



ต้นแบบจำลองพลวัตระบบเพื่อการวางแผนพัฒนาเหมืองหินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา
A System Dynamics Prototype Model for Quarrying Development
Planning in the Songkhla Lake Basin

จिरายุส วิวัฒนานุกูล
Jirayus Wiwattananukul

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mining and Materials Engineering
Prince of Songkla University

2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ต้นแบบจำลองพลวัตระบบเพื่อการวางแผนพัฒนาเหมืองหินในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา
A System Dynamics Prototype Model for Quarrying Development
Planning in the Songkhla Lake Basin

จिरายุส วิวัฒนานุกูล
Jirayus Wiwattananukul

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mining and Materials Engineering
Prince of Songkla University

2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ต้นแบบจำลองพลวัตระบบเพื่อการวางแผนพัฒนาเมืองหินในลุ่มน้ำทะเลสาบ

สงขลา

ผู้เขียน นายจิรายุส วิวัฒนานุกูล

สาขาวิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์พัฒน์ สันทะมิโน)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ บุญนวล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดนุพล ตันนโยภาส)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนูญ มาศนิยม)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนูญ มาศนิยม)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ ราชเพ็ชร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ ราชเพ็ชร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์พัฒน์ สันทะมิโน)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเหมือง
แร่และวัสดุ

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟาร์รุ่งสา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และแสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์พัฒน์ สนทะมิโน)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนูญ มาศนิยม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ ราชเพ็ชร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นายจิรายุส วิวัฒน์านุกุล)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายจिरายุส วิวัฒนานุกุล)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ต้นแบบจำลองพลวัตระบบเพื่อการวางแผนพัฒนาเมืองหินในลุ่มน้ำทะเลสาบ
สงขลา
ผู้เขียน นายจิรายุส วิวัฒนานุกูล
สาขาวิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นพื้นที่ศึกษาที่มีความหลากหลายของทรัพยากรธรรมชาติและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจและการพัฒนาประเทศ การจัดการทรัพยากรหินอุตสาหกรรมเพื่อให้เกิดความเหมาะสมและยั่งยืนของการใช้ทรัพยากรในพื้นที่เพื่อการก่อสร้างจึงเป็นประเด็นที่มีความสำคัญพลวัตระบบเป็นวิธีที่เหมาะสมในการอธิบายและช่วยให้เข้าใจด้วยการพัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบโดยเป็นเครื่องมือในการวางแผนพัฒนาทรัพยากรในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างเหมาะสมในเชิงนโยบาย และสร้างผลจำลองคาดการณ์ความต้องการใช้หินอุตสาหกรรมก่อสร้างในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาพร้อมทั้งสะท้อนผลจำลองของจำนวนประธานบัตรที่จำเป็นเพื่อสนองความต้องการใช้หินนี้ได้อย่างเพียงพอ จากสถานการณ์จำลองสามารถแบ่งแนวโน้มความต้องการใช้หินมวลรวมได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ระดับสูง ระดับปานกลาง และระดับต่ำจากชุดข้อมูลทางสถิติในอดีต ซึ่งให้ผลจำลองที่สะท้อนพฤติกรรมระบบด้วยจำนวนของการอนุญาตประธานบัตรที่เหมาะสมและมีศักยภาพรองรับความต้องการที่หลากหลายตามแต่ละสถานการณ์ โดยแนวโน้มที่ระดับค่าเฉลี่ยจะมีความต้องการจำนวนประธานบัตรอย่างน้อยประมาณ 3-4 แห่ง จากสถานการณ์ปัจจุบันคาดว่าประธานบัตรที่ยังมีใบอนุญาตอยู่ 2 แห่ง โดยปริมาณสำรองของเหมืองและอายุประธานบัตรเดิม 2 แห่งนี้กำลังจะหมดลง และจะมีศักยภาพรองรับความต้องการใช้หินในพื้นที่ไม่เพียงพอในอนาคต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องการพิจารณาอนุญาตให้พัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเหมืองหินแห่งใหม่หรือการต่ออายุประธานบัตรเดิมที่กำลังจะหมดลงเพื่อเพิ่มและรักษาสมดุลการผลิตหินต่อความต้องการใช้ในพื้นที่ และจากผลจำลองด้วยเครื่องมือ Optimization ให้ข้อเสนอแนะถึงจำนวนประธานบัตรที่มีความเหมาะสมในการรองรับความต้องการใช้หินก่อสร้างควรอยู่ที่ 3 แห่ง โดยมีอัตรากำลังการผลิตต่อเหมืองที่ปรับตัวขึ้นกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 400,000 – 473,000 เมตริกตันต่อปี หรือคิดเป็นกำลังการผลิตรวมที่ 1.2-1.4 ล้านเมตริกตันต่อปี จนกระทั่งทรัพยากรในพื้นที่หมดลง

Thesis Title A System Dynamics Prototype Model for Quarrying Development Planning in the Songkhla Lake Basin

Author Mr. Jirayus Wiwattananukul

Major Program Mining and Materials Engineering

Academic Year 2021

Abstract

The Songkhla Lake Basin is a diversified resource and an important socioeconomic development area. Industrial rock resource management is important to managing appropriate and sustainable use of industrial rock resources in the area. Creating a system dynamics model is an excellent technique to describe and comprehend system dynamics. It will be a good tool for mineral resource development planning for quarrying in the Songkhla Lake Basin, allowing policymakers to design an optimal resource utilization. The prototype model performs a simulation to estimate demand for industrial rocks and responds with simulation results of the number of mining permits with the potential to meet demand. Based on prior statistics, the simulation result, industrial crushed rock aggregate demand, can be split into 3 trends: high, mean, and low level. It gives simulation results that show the amount of mining permits that are appropriate and capable of meeting the demands that change depending on the scenarios. On average condition, at least 3 - 4 quarries are required. In the current situation, these 2 existing quarries are unable to meet the demand for industrial rock in the area, and their mining permits and mine reserves are running out. Therefore, it is critical to consider allowing new quarries and/or renewing existing quarries that are about to expire in order to maintain and enhance production capacity to satisfy demand. Finally, the optimization tool simulation findings indicate that the area also requires at least 3 mining permits, with a production capacity that can change based on demand increasing in the range of each quarry 400,000 – 473,000 metric tons per year, or the net demand 1.2-1.4 MMT per year until the resources run out.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์พัฒน์ สนทะมิโน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนูญ มาศนิยม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ ราชเพชร อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ท่านอื่นๆ รวมไปถึงบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ ที่ได้เอื้อนามทุกท่าน ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา และคำชี้แนะแนวทางแก่ผู้วิจัย ตลอดการปฏิบัติงานทั้งทางด้านทฤษฎีและการปฏิบัติ ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตลอดจนทุนงบประมาณแผ่นดิน รหัส ENG600233S ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยและทุนการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. พิษณุ บุญวอล และรองศาสตราจารย์ ดร.ตฤพล ตันนโยภาส สำหรับคำแนะนำที่มีประโยชน์สำหรับการปรับปรุงและแก้ไขงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 1 สงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบพระคุณ พ่อแม่ พี่ๆ อันเป็นครอบครัวที่รักยิ่งที่คอยผลักดันให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและเป็นกำลังที่สำคัญยิ่งในทุกด้าน

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ ที่ให้ความช่วยเหลือเกื้อกูลกันด้วยดีตลอดมา

จิรายุส วิวัฒนานุกูล

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญรูป	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	4
2.1 ทฤษฎีพลวัตระบบ	4
2.1.1 แผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล (Causal loop diagrams, CLDs)	5
2.1.2 แบบจำลองพลวัตระบบ (System dynamics model)	9
2.1.3 การสร้างแบบจำลองพลวัตระบบ (SDM development)	10
2.2 ทรัพยากรหินมวลรวม	13
2.3 หินอุตสาหกรรมของประเทศไทย	15
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	27
3.1 แผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล	28
3.2 ประชากร	30
3.3 ปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรม	32
3.4 กำลังการผลิตหินอุตสาหกรรม	35
3.5 ความต้องการใช้ประโยชน์หินอุตสาหกรรม	39
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	49
4.1 แบบจำลองประชากร	51
4.2 แบบจำลองกำลังการผลิตและปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรม	53
4.3 แบบจำลองความต้องการหินอุตสาหกรรม	59

สารบัญ

	หน้า
4.4 แบบจำลองสมมูลปริมาณหินมวลรวมก่อสร้างในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	60
4.5 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่อพฤติกรรมระบบ	61
4.6 ผลจำลองสถานการณ์ต่างๆ	64
4.6.1 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 1	66
4.6.2 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 2	68
4.6.3 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 3	70
4.6.4 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 4	72
4.6.5 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 5	74
4.6.6 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 6	76
4.6.7 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 7	78
4.6.8 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 8	80
4.6.9 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 9	82
4.6.10 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 10	84
4.6.11 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 11	86
4.6.12 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 12	88
4.6.13 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 13	90
4.6.14 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 14	92
4.6.15 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 15	94
4.6.16 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 16	96
4.6.17 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 17	98
4.6.18 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 18	100
4.6.19 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 19	102
4.6.20 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 20	104
4.7 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (SENSITIVITY ANALYSIS)	106
4.8 การหาค่าที่เหมาะสม (OPTIMIZATION)	115
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	119
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	119

สารบัญ

	หน้า
5.2. ข้อเสนอแนะ	121
บรรณานุกรม	124
ภาคผนวก ก ข้อมูลประธานบัตร ประชากร พื้นที่ก่อสร้าง และกำลังการผลิตหินของ พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	131
ภาคผนวก ข รายละเอียดสมการความสัมพันธ์และหน่วยของแบบจำลอง	170
ภาคผนวก ค ประวัติผู้เขียนและผลงานที่ได้จากการวิจัย	180

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ปริมาณสำรองของแหล่งหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างของประเทศไทย (กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย, ม.ป.ป.)	16
ตารางที่ 2 ประทานบัตรหินอุตสาหกรรมของประเทศไทย (คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ, 2561)	17
ตารางที่ 3 ความต้องการใช้หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างรายกลุ่มจังหวัด (คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ, 2561)	20
ตารางที่ 4 การพยากรณ์ปริมาณการผลิตและการใช้หินปูนเพื่อการก่อสร้าง พ.ศ. 2560-2565 (คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ, 2561)	21
ตารางที่ 5 รายชื่อผู้ถือประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมมีอายุในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (กลุ่มควบคุมสัมปทานและกำกับการผลิต สำนักเหมืองแร่และสัมปทาน, ม.ป.ป.)	22
ตารางที่ 6 รายละเอียดพื้นที่ของจังหวัดที่อยู่ภายใต้ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (ศูนย์ป้องกันวิกฤตน้ำ, 2016)	26
ตารางที่ 7 ปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมแต่ละแหล่งของจังหวัดสงขลา (กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย, ม.ป.ป.)	33
ตารางที่ 8 ปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมแต่ละแหล่งของจังหวัดพัทลุง (กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย, ม.ป.ป.)	34
ตารางที่ 9 ปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	35
ตารางที่ 10 อัตรากำลังการผลิตหินอุตสาหกรรมของประทานบัตรในพื้นที่ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาตามแผนผังโครงการ	36
ตารางที่ 11 สัดส่วนองค์ประกอบของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนของประเทศไทย ช่วงปี พ.ศ. 2545-2548 (Kofoworola, & Gheewala, 2009)	37
ตารางที่ 12 ค่าทางสถิติพื้นที่งานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	46
ตารางที่ 13 สรุปอิทธิพลของพารามิเตอร์ควบคุมที่ส่งผลกระทบต่อหินมวลรวมในพื้นที่	61
ตารางที่ 14 ค่าตัวแปรสำหรับสร้างผลจำลองสถานการณ์ต่างๆ	65

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 ตัวอย่างโครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบอย่างง่าย (Sontamino, & Drebenstedt, 2013)	5
รูปที่ 2 การเชื่อมโยงตัวแปรเหตุ (Senaras, 2017)	7
รูปที่ 3 วงจรความสัมพันธ์แบบเสริมแรงหรือผลสะท้อนทางบวก : การเติบโตของเงินฝากในบัญชี (Kirkwood, 1998)	8
รูปที่ 4 วงจรความสัมพันธ์แบบสมดุลหรือผลสะท้อนทางลบ : การควบคุมอุณหภูมิของ เครื่องปรับอากาศ (Kirkwood, 1998)	8
รูปที่ 5 Causal loop diagrams and stock-flow diagrams (Jafari, Hesamamiri, Sadjadi, & Bourouni, 2012)	11
รูปที่ 6 ข่ายความสัมพันธ์ของระบบประชากรของ World3 Model (Meadows, & Randers, 2004)	12
รูปที่ 7 ร้อยละของประชากรที่อาศัยอยู่ในเขตเมืองจำแนกตามรายได้ช่วงปี ค.ศ. 1950-2050 (UN DESA, 2019)	14
รูปที่ 8 การถ่ายเทของหินมวลรวมของสหราชาอาณาจักร (Bloodworth, Scott, & McEvoy, 2009)	15
รูปที่ 9 แผนที่แหล่งหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง (กรมทรัพยากรธรณี, 2561)	18
รูปที่ 10 แผนที่ประทานบัตรหินอุตสาหกรรมของประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2561)	19
รูปที่ 11 ขั้นตอนและวิธีการพัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบ	28
รูปที่ 12 แผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลของพลวัตของทรัพยากรหินมวลรวม	29
รูปที่ 13 เส้นแนวโน้มอัตราการเกิดของประชากรในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ระหว่าง ปี พ.ศ. 2550-2562	30
รูปที่ 14 เส้นแนวโน้มอัตราการเสียชีวิตของประชากรในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ระหว่าง ปี พ.ศ. 2550-2562	31
รูปที่ 15 เส้นแนวโน้มอัตราการเติบโตของประชากรในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ระหว่าง ปี พ.ศ. 2551-2562	31

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 16 สัดส่วนปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมของจังหวัดสงขลา (กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย, ม.ป.ป.)	33
รูปที่ 17 สัดส่วนปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมของจังหวัดพัทลุง (กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย, ม.ป.ป.)	34
รูปที่ 18 ตำแหน่งที่ตั้งประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมที่เปิดดำเนินการ ในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	38
รูปที่ 19 สัดส่วนงานก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของจังหวัดสงขลา ช่วงปี พ.ศ. 2550-2562	39
รูปที่ 20 สัดส่วนงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของจังหวัดสงขลา ช่วงปี พ.ศ. 2550-2562	40
รูปที่ 21 สัดส่วนงานก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของจังหวัดพัทลุง ช่วงปี พ.ศ. 2550-2562	40
รูปที่ 22 สัดส่วนงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของจังหวัดพัทลุง ช่วงปี พ.ศ. 2550-2562	41
รูปที่ 23 สัดส่วนงานก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของจังหวัดนครศรีธรรมราช ช่วงปี พ.ศ. 2550-2562	41
รูปที่ 24 สัดส่วนงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของจังหวัดนครศรีธรรมราช ช่วงปี พ.ศ. 2550-2562	42
รูปที่ 25 พื้นที่งานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารของจังหวัดสงขลาช่วงปี พ.ศ. 2550-2562	43
รูปที่ 26 พื้นที่งานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารของจังหวัดพัทลุงช่วงปี พ.ศ. 2550-2562	43
รูปที่ 27 พื้นที่งานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารของจังหวัดนครศรีธรรมราช ช่วงปี พ.ศ. 2550-2562	44
รูปที่ 28 สัดส่วนงานก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ช่วงปี พ.ศ. 2550-2562	45
รูปที่ 29 สัดส่วนงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ช่วงปี พ.ศ. 2550-2562	45

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 30 พื้นที่งานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ช่วงปี พ.ศ. 2550-2562	46
รูปที่ 31 แพกเตอร์และขั้นตอนการแปลงหน่วยพื้นที่ก่อสร้างเป็นหน่วยตันหินก่อสร้าง	47
รูปที่ 32 ค่าการใช้หินก่อสร้างต่อหัวประชากรของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	48
รูปที่ 33 อัตรากำลังการผลิตและปริมาณการใช้หินมวลรวมของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ช่วงปี พ.ศ. 2560-2563	50
รูปที่ 34 แบบจำลองประชากรขั้นต้น	52
รูปที่ 35 แบบจำลองประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่เปลี่ยนแปลงตามการเติบโตของ ประชากร	53
รูปที่ 36 แบบจำลองกำลังผลิตและปริมาณสำรองหินสำหรับเหมืองแห่งหนึ่งในพื้นที่ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	57
รูปที่ 37 แบบจำลองเสริมสำหรับการพิจารณาเปลี่ยนแปลงจำนวนการอนุญาตประทานบัตร	58
รูปที่ 38 แบบจำลองหินมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล	58
รูปที่ 39 แบบจำลองความต้องการหินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	59
รูปที่ 40 แบบจำลองสมดุลของหินอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	60
รูปที่ 41 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 1	67
รูปที่ 42 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 1	67
รูปที่ 43 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 2	69
รูปที่ 44 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 2	69
รูปที่ 45 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 3	71
รูปที่ 46 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 3	71
รูปที่ 47 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 4	73

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 48 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 4	73
รูปที่ 49 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 5	75
รูปที่ 50 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 5	75
รูปที่ 51 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 6	77
รูปที่ 52 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 6	77
รูปที่ 53 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 7	79
รูปที่ 54 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 7	79
รูปที่ 55 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 8	81
รูปที่ 56 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 8	81
รูปที่ 57 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 9	83
รูปที่ 58 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 9	83
รูปที่ 59 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 10	85
รูปที่ 60 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 10	85
รูปที่ 61 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 11	87
รูปที่ 62 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 11	87
รูปที่ 63 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 12	89
รูปที่ 64 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 12	89

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 65 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 13	91
รูปที่ 66 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 13	91
รูปที่ 67 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 14	93
รูปที่ 68 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 14	93
รูปที่ 69 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 15	95
รูปที่ 70 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 15	95
รูปที่ 71 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 16	97
รูปที่ 72 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 16	97
รูปที่ 73 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 17	99
รูปที่ 74 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 17	99
รูปที่ 75 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 18	101
รูปที่ 76 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 18	101
รูปที่ 77 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 19	103
รูปที่ 78 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 19	103
รูปที่ 79 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 20	105
รูปที่ 80 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สถานการณ์ที่ 20	105
รูปที่ 81 ตัวอย่างกราฟความอ่อนไหวที่ให้ช่วงความเชื่อมั่นของผลลัพธ์แบ่งตามแถบสี ความเชื่อมั่นของผลลัพธ์ (Vensim, n.d.)	107

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 82 ผลจำลองความอ่อนไหวคาดการณ์จำนวนประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	108
รูปที่ 83 ผลจำลองความอ่อนไหวคาดการณ์การใช้หินมวลรวมก่อสร้างในพื้นที่ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	109
รูปที่ 84 ผลจำลองความอ่อนไหวของแพกเตอร์การใช้หินมวลรวมต่อประชากรในพื้นที่ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	110
รูปที่ 85 ผลจำลองความอ่อนไหวของการใช้หินมวลรวมของประชากรในพื้นที่ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	111
รูปที่ 86 ผลจำลองความอ่อนไหวของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	112
รูปที่ 87 ผลจำลองความอ่อนไหวของจำนวนประทุนบัตรที่จำเป็นในพื้นที่ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	112
รูปที่ 88 ผลจำลองความอ่อนไหวของปริมาณทรัพยากรหินมวลรวมในพื้นที่ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	113
รูปที่ 89 ผลจำลองความอ่อนไหวของการส่งออกผลผลิตหินมวลรวมสู่ภายนอกพื้นที่ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	114
รูปที่ 90 ผลจำลองความอ่อนไหวของการนำเข้าผลผลิตหินมวลรวมสู่ภายในพื้นที่ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	114
รูปที่ 91 ผลจำลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	118
รูปที่ 92 ผลจำลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ปรับแก้ช่วงเวลา	118

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันประชากรมนุษย์ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดการขยายตัวของชุมชน ความต้องการที่อยู่อาศัย เส้นทางคมนาคม และระบบสาธารณสุขที่มากขึ้น ตามมาเพื่อการดำรงชีวิตและกิจกรรมของสังคมมนุษย์ ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะทรัพยากรหินเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างซึ่งเป็นวัสดุหลักที่สำคัญและจำเป็นสำหรับงานก่อสร้างแทบทุกประเภท หินมวลรวมถูกใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตในงานก่อสร้างโดยหินที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างส่วนใหญ่ คือ หินปูน หินแกรนิต หินทราย หินบะซอลต์ และหินแอนดีไซต์ เป็นต้น วัสดุหินที่ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างปัจจุบันเหล่านี้ล้วนมีที่มาจากการทำอุตสาหกรรมเหมืองแร่ชนิดหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างแทบทั้งสิ้น ถึงแม้ว่าจะมีการใช้วัสดุอื่นทดแทนบ้างในปัจจุบันแต่ก็ไม่เปลี่ยนแปลงข้อเท็จจริงนี้ อย่างไรก็ตามการดำเนินการกิจกรรมในภาคอุตสาหกรรมเหมืองแร่เป็นกิจกรรมเพื่อนำทรัพยากรแร่ชนิดต่างๆ ด้วยหลักวิชาการทางวิศวกรรมไปสู่ภาคอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เพื่อสนองความต้องการและดำเนินกิจกรรมของสังคมมนุษย์

ทรัพยากรแร่และหินล้วนเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไปและมีอยู่อย่างจำกัดเนื่องจากใช้ระยะเวลายาวนานในการฟื้นฟูกลับมาตามวัฏจักรในธรรมชาติ ดังนั้นการจัดสรรทรัพยากรอย่างเหมาะสมและยั่งยืนเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็น ทรัพยากรหินเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทยมีแหล่งทรัพยากรกระจายตัวอยู่ทั่วประเทศและส่วนใหญ่เป็นชนิดหินปูน สำหรับขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาส่วนใหญ่มีทรัพยากรหินเป็นชนิดหินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีแกรนิต และควอตซ์ไซต์เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยปัจจุบันแหล่งทรัพยากรเหล่านี้มีผู้ประกอบการดำเนินกิจกรรมเหมืองหินเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างอยู่หลายประตานบัตรในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ซึ่งหากมองเชิงพื้นที่ในแง่ของความเหมาะสม สมดุล และสอดคล้องระหว่างความต้องการใช้หินกับปริมาณผลผลิตหินมวลรวมเหล่านี้ยังเป็นประเด็นที่ซับซ้อนและควรพิจารณาเพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืนและเกิดประโยชน์สูงสุด

ประเด็นที่มีความซับซ้อนนี้สามารถนำมาศึกษาวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีพลวัตระบบที่มองประเด็นหรือปัญหาอย่างเป็นระบบพร้อมแจกแจงองค์ประกอบที่มีอิทธิพลหรือความสัมพันธ์เชื่อมโยงต่อกันภายในระบบนั้น โดยพัฒนาแบบจำลองจะทำให้เห็นการเชื่อมโยงกันของตัวแปรต่างๆ ที่ชัดเจน

และนำไปสู่การแก้ไขปัญหาที่ตรงจุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการพัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบเพื่อใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการศึกษาและวางแผนพัฒนาเหมืองหินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยเน้นการประเมินภาพรวมของความเหมาะสมระหว่างการใช้หินและการทำเหมืองหินอุตสาหกรรม ให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของประชากรและการเติบโตทางเศรษฐกิจ เช่น แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ โครงการก่อสร้าง และงบประมาณจากภาครัฐ ที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาด้วยทฤษฎีพลวัตระบบ ซึ่งผลการวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลและเครื่องมือที่เป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องใช้ประกอบการตัดสินใจในการวางแผนพัฒนาแหล่งหินอุตสาหกรรมเชิงนโยบาย อันจะช่วยให้เกิดการพัฒนายั่งยืนต่อคนในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่เหมาะสมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

สร้างต้นแบบจำลองพลวัตระบบและเพื่อศึกษาแหล่งทรัพยากรหินอุตสาหกรรมทั้งชนิดและปริมาณกำลังการผลิตหิน และความต้องการใช้ประโยชน์หินอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เพื่อคาดการณ์แนวโน้มในอนาคต และพัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบเพื่อช่วยในการสร้างสถานการณ์จำลองที่อาจเกิดขึ้น ช่วยให้เกิดความเข้าใจในการวางแผนพัฒนาสมดุลของการจัดการแหล่งหินและเหมืองหินอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ต้นแบบการจำลองพลวัตระบบที่สามารถสร้างสถานการณ์จำลองต่างๆ อันช่วยในการหาสมดุลของการพัฒนาเหมืองหินในส่วนของปริมาณสำรอง ศักยภาพกำลังการผลิต และความต้องการใช้ประโยชน์ให้เกิดความยั่งยืน โดยที่สถานการณ์จำลองจะช่วยให้เกิดความเข้าใจในภาพกว้าง ซึ่งหน่วยงานที่รับผิดชอบจะสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการทรัพยากรหินอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาได้อย่างเหมาะสมในอนาคต

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาชนิดและปริมาณของทรัพยากรหินอุตสาหกรรมเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง กำลังการผลิตของเหมืองหินทุกชนิดที่ยังดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน ตลอดจนความต้องการใช้ประโยชน์หินอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ครอบคลุม 3 จังหวัดได้แก่ จังหวัด

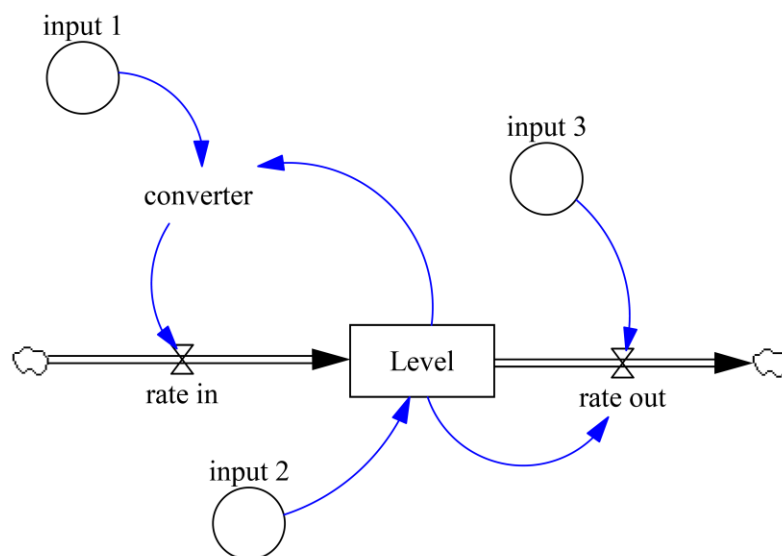
นครศรีธรรมราช (บางส่วนของอำเภอชะอวดและอำเภอหัวไทร) จังหวัดพัทลุงทั้งจังหวัด และจังหวัดสงขลา (ยกเว้นพื้นที่อำเภอนาทวี อำเภอจะนะ อำเภอเทพา และอำเภอสะบ้าย้อย) รวม 147 ตำบล 26 อำเภอ (ศูนย์ป้องกันวิกฤตน้ำ, 2562) โดยใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากการสอบถามและสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง ร่วมกับข้อมูลทุติยภูมิจากเอกสาร รายงาน และงานวิจัย เพื่อพัฒนาต้นแบบการจำลองพลวัตระบบด้วยโปรแกรม Vensim เวอร์ชัน DSS (Ventana Systems, 2015)

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ทฤษฎีพลวัตระบบ

ทฤษฎีของพลวัตระบบ (System dynamics) มีแนวคิดที่ว่าทุกสิ่งในธรรมชาตินั้นล้วนมีความเชื่อมโยงต่อกัน ทุกการกระทำย่อมส่งผลลัพธ์ต่อบางอย่างเสมอ พลวัตระบบจึงประกอบด้วยแผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล (Causal loop diagrams, CLDs) และ แผนภูมิสถานะและการไหล (Stock and flow diagrams, SFDs) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ค่าของตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปตามอัตราและเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงสถานะของตัวแปร ณ เวลาใดๆ จะส่งผลกระทบต่อตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องและส่งผลต่อระบบ (ศรติ, 2556) พลวัตระบบจึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการอธิบาย ประมวลผล และวิเคราะห์ประเด็นหรือระบบที่ซับซ้อนและขนาดใหญ่ในแง่ของกระบวนการ ข้อมูล ขอบเขตขององค์กรและกลยุทธ์ (Pruyt, 2013) พลวัตระบบถูกพัฒนาในช่วงท้ายของปี ค.ศ. 1950 และเริ่มแนะนำโดย Jay Wright Forrester ในช่วงปี ค.ศ. 1960 ที่ Sloan School of Management of the Massachusetts Institute of Technology (Forrester, 1961; Forrester, 1995) การสร้างแบบจำลองพลวัตระบบเป็นเทคนิคกระบวนการในการเชื่อมโยงตัวแปรต่างๆ ทั้งตัวแปรเชิงปริมาณและคุณภาพด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของแผนภูมิสถานะและการไหล ซึ่งมีความซับซ้อนเนื่องจากการปฏิสัมพันธ์หลายองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบ โดยสามารถสร้างผลจำลองจากแบบจำลองที่ออกแบบไว้ได้หลากหลายสถานการณ์ (Centeno, 1996; Duggan, 2016; Sterman, 2000) การปรับเปลี่ยนค่าและพัฒนาขยายความสัมพันธ์ของระบบนั้นสามารถทำได้ง่าย ทั้งการสร้างสถานการณ์จำลองเพื่อความเข้าใจในระบบที่ศึกษาสามารถทำได้สะดวกรวดเร็วและยืดหยุ่นเมื่อปัจจัยหรือเงื่อนไขเปลี่ยนแปลงไป (Bach and Ceric, 2007; Sterman, 1994) โดยแบบจำลองมีตัวอย่างลักษณะโครงสร้างของแบบจำลองดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างโครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบอย่างง่าย (Sontamino, & Drebenstedt, 2013)

ปัจจุบันการประยุกต์ใช้ทฤษฎีพลวัตระบบเป็นที่ยอมรับและถูกใช้งานในหลายแขนงทั้งด้าน เศรษฐศาสตร์ ระบบเศรษฐกิจ สังคม นโยบายการจัดการองค์กร รวมทั้งการจัดการทรัพยากรและ สิ่งแวดล้อม โดยมีจุดเริ่มต้นจากแบบจำลอง Industrial Dynamics (Forrester, 1961) และ แบบจำลอง World Model ซึ่งต่อมาได้ถูกพัฒนาเป็นแบบจำลอง World2 Model และ World3 Model (Meadows, & Randers, 2004) ที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ของระบบต่างๆ ที่เป็น ส่วนประกอบย่อยของแบบจำลองได้แก่ อาหารที่เกี่ยวกับการเกษตรและการผลิตอาหาร อุตสาหกรรม ประชากร ทรัพยากรที่ไม่มีหมุนเวียน และมลพิษ ในช่วงปี ค.ศ. 1900 ถึง 2100 โดยสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เชื่อมโยงกันจะถูกสร้างเป็นแผนภาพวงจรความสัมพันธ์เชิง เหตุและผล และแผนภูมิสถานะและการไหล ช่วยให้สามารถทดสอบสถานการณ์จำลองต่างๆ ตาม สมมติฐานที่แตกต่างกัน

2.1.1 แผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล (Causal loop diagrams, CLDs)

ตลอดเวลา มักมีคำถามว่าปัญหาคืออะไรและทำไมถึงเกิดปัญหาลักษณะนี้ เราสามารถแก้ไข หรือเข้าใจปัญหาด้วยแผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลได้ โดยที่ขอบเขตของระบบก็คือปัญหา เหล่านั้น มันสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่าเป็นอย่างไรหรือทำนายพฤติกรรมของ ปัญหาอย่างเป็นเหตุและผล (Haraldsson, 2004) การคิดเชิงระบบได้รับการอธิบายว่าเป็นภาษา

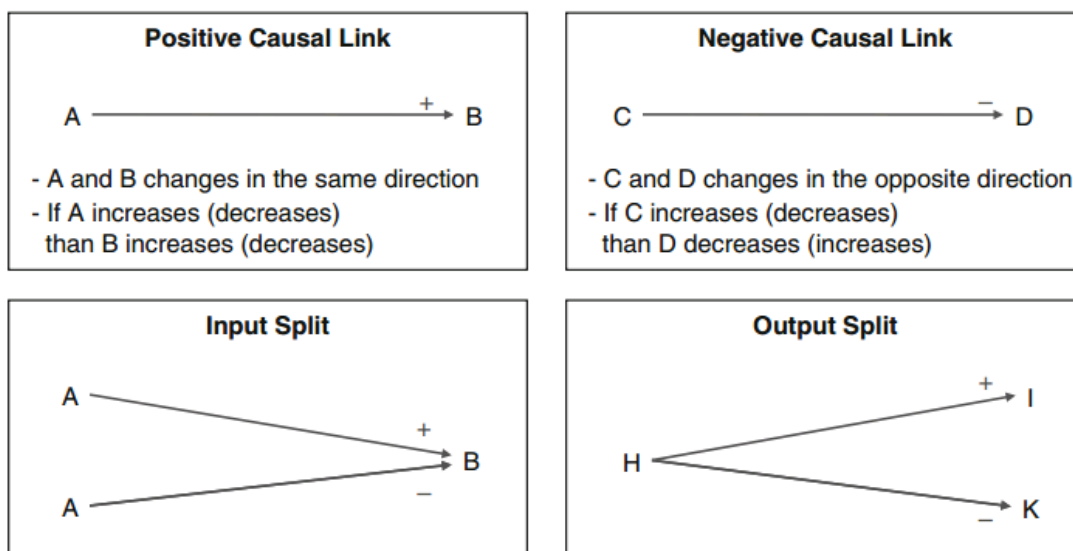
สำหรับการพูดคุยถึงเป็นประเด็นที่ซับซ้อนและมีความสัมพันธ์ที่พันกันและกัน จุดประสงค์ของมันคือการแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบใดในระบบพลวัตทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่ออีกองค์ประกอบในลักษณะใด เพื่อให้เข้าใจหรือคาดการณ์พฤติกรรมของระบบ และสามารถเป็นเครื่องมือในการพัฒนาหรือต่อต้านพฤติกรรมบางอย่างที่ระบบแสดงออกมา (Kim, 1992; Lannon, 2012; Morecroft, & Sterman, 2000; Senaraz, 2017) แผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลนี้ถูกเรียกอีกอย่างว่าแผนภูมิอิทธิพล (Influence diagram) (Wolstenholm, 1990)

แผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลสามารถสร้างหรือกำหนดตัวแปรต่างๆในระบบและระบุความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรเหล่านี้ผ่านการเชื่อมโยง ซึ่งการเชื่อมตัวแปรหลายๆตัวแปรก็อาจกลายเป็นวงจรความสัมพันธ์สะท้อนกลับ (Feedback loop) คือ องค์ประกอบหนึ่งส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบอื่นจนสุดท้ายผลสะท้อนย้อนกลับมายังตัวเองเป็นวงจรปิด (Closed loop) หรืออีกลักษณะคือองค์ประกอบหนึ่งส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบอื่นไปในทิศทางเดียวโดยไม่มีผลสะท้อนกลับก็จะมีลักษณะเป็นวงจรเปิด (Open loop) การเขียนความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบในแผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลจะใช้สัญลักษณ์เป็นลูกศรเชื่อมโยงจากองค์ประกอบหนึ่งไปยังอีกองค์ประกอบหนึ่งพร้อมกับมีเครื่องหมายบวก (Positive) หรือลบ (Negative) ซึ่งความหมายของสัญลักษณ์และเครื่องหมายเป็นดังนี้

1) ถ้าลูกศรชี้จากตัวแปร A ไปยังตัวแปร B พร้อมกับเครื่องหมายบวก หมายความว่า เมื่อตัวแปร A (เป็นเหตุ) มีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะหนึ่งจะส่งผลให้ตัวแปร B (เป็นผล) เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน เช่น ตัวแปร A มีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ตัวแปร B มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน หรือก็คือมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน

2) ถ้าลูกศรชี้จากตัวแปร A ไปยังตัวแปร B พร้อมกับเครื่องหมายลบ หมายความว่า เมื่อตัวแปร A (เป็นเหตุ) มีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะหนึ่งจะส่งผลให้ตัวแปร B (เป็นผล) เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางตรงกันข้าม เช่น ตัวแปร A มีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ตัวแปร B มีค่าลดลง หรือก็คือมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางตรงกันข้าม

หมายเหตุ: การเชื่อมโยงความสัมพันธ์เหตุและผลไม่จำเป็นต้องมีตัวแปรเหตุหรือตัวแปรผลเพียงตัวแปรตัวเดียว สามารถมีตัวแปรมากกว่าหนึ่งตัวในการเชื่อมโยงเหตุและผลแสดงดังรูปที่ 2



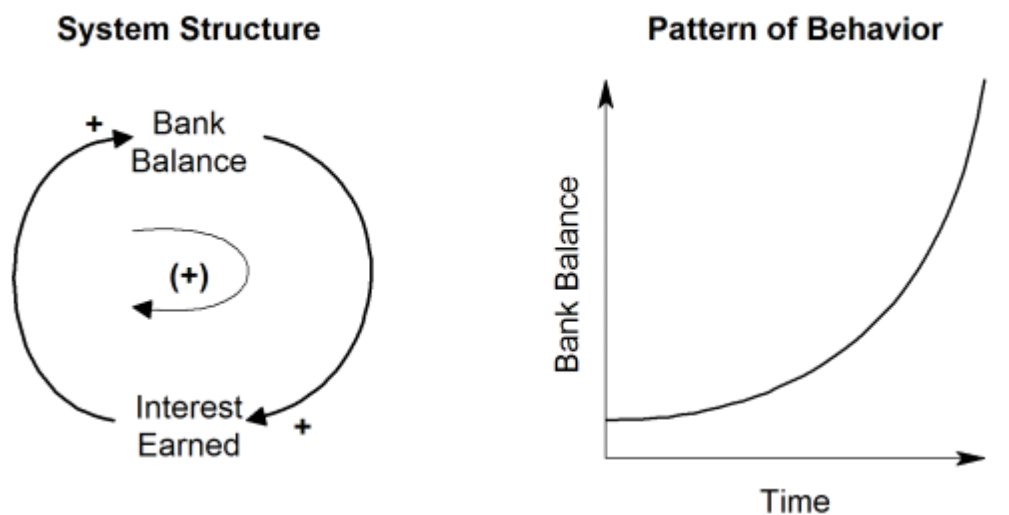
รูปที่ 2 การเชื่อมโยงตัวแปรเหตุ (Senaras, 2017)

วงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลมีสองลักษณะ คือ วงจรความสัมพันธ์แบบเสริมแรง (Reinforcing loop) และวงจรความสัมพันธ์แบบสมดุล (Balancing loop) โดย

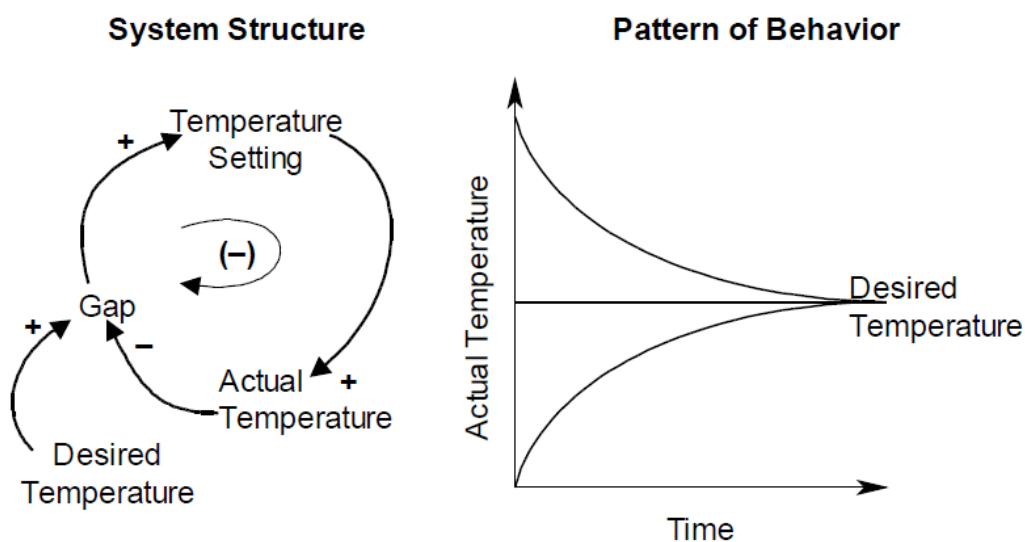
1) วงจรความสัมพันธ์แบบเสริมแรง (Reinforcing loop) หรือเรียกว่าผลสะท้อนทางบวก เป็นวงจรที่มีความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบส่งอิทธิพลเปลี่ยนไปในทิศทางเดียว ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มขึ้นหรือลดลง นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง รูปแบบการเปลี่ยนแปลงนี้มักเรียกว่าการเติบโตแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล สังเกตว่าในช่วงแรกของการเปลี่ยนแปลงจะค่อนข้างช้าแต่เมื่อเวลาผ่านไปจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วขึ้นอย่างทวีคูณ ซึ่งอาจถูกหลีกเลี่ยงได้จากการเปลี่ยนแปลงในช่วงต้นของวงรอบเสริมแรงนี้จนอาจสายเกินไปที่จะแก้ไขปัญหานั้น ตัวอย่างความสัมพันธ์ลักษณะนี้เช่น การเติบโตของประชากรกับมลพิษ หรือยอดเงินในธนาคารกับดอกเบี้ยที่ได้รับ (รูปที่ 3) เป็นวงจรความสัมพันธ์รูปแบบเสริมแรงที่อธิบายถึงการเติบโตของยอดเงินในบัญชีธนาคารจากดอกเบี้ยสะสม โดยยอดเงินในบัญชีที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ดอกเบี้ยเงินฝากที่ได้ก็เพิ่มขึ้นตามและดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้นก็ส่งผลสะท้อนกลับมาให้เงินฝากในธนาคารมากขึ้นตาม

2) วงจรความสัมพันธ์แบบสมดุล (Balancing loop) หรือเรียกว่าผลสะท้อนกลับทางลบ เป็นวงจรที่มีความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเปลี่ยนแปลงไปในทางตรงกันข้าม หากองค์ประกอบที่สนใจมีพฤติกรรมหรือระดับเปลี่ยนแปลงเข้าใกล้หรือเกินเป้าหมายหนึ่ง วงรอบจะลดระดับการเปลี่ยนแปลงไปหรือเปลี่ยนไปในทางตรงข้ามเพื่อรักษาสมดุลของระบบ เช่น การควบคุมอุณหภูมิห้องด้วยเครื่องปรับอากาศ (รูปที่ 4) เมื่อเครื่องปรับอากาศลดอุณหภูมิห้องได้ถึงระดับอุณหภูมิที่ต้องการ

เครื่องก็จะหยุดการทำงานจึงทำให้อุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นอีก ดังนั้นระบบทำความเย็นก็จะเริ่มกลับทำงานอีกครั้งเป็นวนลูบไปเรื่อย ๆ



รูปที่ 3 วงจรความสัมพันธ์แบบเสริมแรงหรือผลสะท้อนทางบวก : การเติบโตของเงินฝากในบัญชี (Kirkwood, 1998)



รูปที่ 4 วงจรความสัมพันธ์แบบสมดุลหรือผลสะท้อนทางลบ : การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ (Kirkwood, 1998)

2.1.2 แบบจำลองพลวัตระบบ (System dynamics model)

แผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล (CLDs) เป็นการเชื่อมโยงความสัมพันธ์องค์ประกอบต่างๆ ในระบบเพื่อแสดงถึงกลไกเชิงสาเหตุที่ตั้งสมมติฐาน มีประโยชน์ในการอธิบายมุมมองระดับสูงของระบบโดยเฉพาะคนที่มีความเข้าใจในการคิดเชิงระบบหรือพลวัตระบบซึ่งเข้าใจได้ง่ายและเป็นขั้นตอนแรกที่ดีสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาอย่างเป็นระบบ และสามารถเป็นฐานสำหรับอ้างอิงพฤติกรรมของระบบในการพัฒนาโครงสร้างของแบบจำลองพลวัต เนื่องจากแผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลอธิบายถึงพฤติกรรมของระบบโดยขาดรายละเอียด การพัฒนาแบบจำลองจึงจำเป็นต้องแสดงถึงข้อบกพร่องนั้น การพัฒนาแบบจำลองพลวัตจะอธิบายด้วยแผนภูมิสถานะและการไหล (Stock and flow diagrams, SFDs) ทำให้การวิเคราะห์ที่มีความเข้มงวดมากขึ้นซึ่งแตกต่างจากแผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล ซึ่งการสร้างแบบจำลองอาจจะต้องเพิ่มองค์ประกอบบางอย่างในระบบนอกเหนือจากที่มีอยู่เดิมในแผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล นอกจากนี้ผู้สร้างแบบจำลองจึงจำเป็นต้องมีความรู้เชิงลึกเกี่ยวกับระบบที่พิจารณา (Aronson & Angelakis, 1999; Binder, Vox, Belyazid, Haraldsson, & Svensson, 1998)

“stock and flow” เป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการพัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบ โดย “stock” อาจถูกใช้คำแทนหรือเรียกว่า “level” หรือ “accumulation” มันเป็นเอนทิตีที่สามารถสะสมค่าหรือหมดลงได้ เช่น อ่างน้ำที่เติมน้ำจากก๊อกน้ำ คลังสินค้าคงคลัง ในทางกลับกัน “flow” หรืออาจเรียกว่า “rate” มันเป็นเอนทิตีที่สามารถทำให้ stock เพิ่มขึ้นหรือลดลง เช่น ก๊อกน้ำ (ทำให้น้ำในอ่างเพิ่มขึ้น) และท่อระบายน้ำ (ทำให้น้ำในอ่างลดลง) หรือการผลิต (ทำให้สินค้าในคลังเพิ่มขึ้น) และการขายสินค้า (ทำให้สินค้าในคลังลดลง) เป็นต้น เทคนิคที่ใช้กันโดยทั่วไปในการแยกแยะว่าองค์ประกอบใดในระบบเป็น “stock” หรือ “flow” คือการพิจารณาว่าเกิดอะไรขึ้นเมื่อเวลาหยุดลง โดยองค์ประกอบที่มีการสะสมค่าจะยังคงอยู่นั่นคือ “stock” ส่วนกรณีของ “flow” จะหายไปเนื่องเป็นการกระทำ เช่น ในช่วงเวลาหนึ่งสินค้าภายในคลังสามารถทราบค่าได้จึงเป็น stock ในทางกลับกัน การผลิตสินค้าเป็นองค์ประกอบที่ขึ้นอยู่กับเวลา มันจึงเป็น “flow” (Aronson & Angelakis, 1999)

2.1.3 การสร้างแบบจำลองพลวัตระบบ (SDM development)

การสร้างแบบจำลองพลวัตระบบอาจเริ่มต้นจากการพิจารณาพารามิเตอร์หรือตัวแปรในระบบว่าเป็นตัวแปรลักษณะใด จากรูปที่ 5 เป็นตัวอย่างที่เสนอถึงระบบประชากรที่แสดงถึงวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลระหว่างตัวแปรอันก่อให้เกิดพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรว่าเป็นอย่างไร อันประกอบด้วยวงจรความสัมพันธ์แบบเสริมแรง (ด้านซ้าย จะใช้สัญลักษณ์ + บนลูกศร) ที่แสดงพฤติกรรม的增加ขึ้นของจำนวนประชากรอันเกิดขึ้นจากการส่งเสริมกันและกันของตัวแปรประชากรและอัตราการเกิด และวงจรความสัมพันธ์แบบสมมูล (ด้านขวา จะใช้สัญลักษณ์ - บนลูกศร) ที่แสดงพฤติกรรมลดลงของประชากรอันเนื่องมาจากตัวแปรการเสียชีวิตของประชากร จากแนวคิดบนแผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลถูกพัฒนาเป็นแบบจำลองพลวัตระบบในรูปแบบแผนภูมิสถานะและการไหล โดยการพัฒนาโครงสร้างแบบจำลองมีลักษณะองค์ประกอบของแบบจำลองประกอบด้วยองค์ประกอบดังนี้

- 1) Stock คือสต็อกสะสมค่าผลต่างระหว่างการไหลเข้าหรือไหลออกของ “flow” โดยมีลักษณะเป็นกล่องรูปสี่เหลี่ยม
- 2) Inflow คือการไหลเข้าของค่าสต็อกมีลักษณะเป็นรูปลูกศรชี้เข้าหา “stock”
- 3) Outflow คือการไหลออกของค่าสต็อกมีลักษณะเป็นรูปลูกศรชี้ออกจาก “stock”
- 4) Cloud คือแหล่งที่มาหรือแหล่งที่ไปของการไหลมีลักษณะเป็นรูปเมฆ

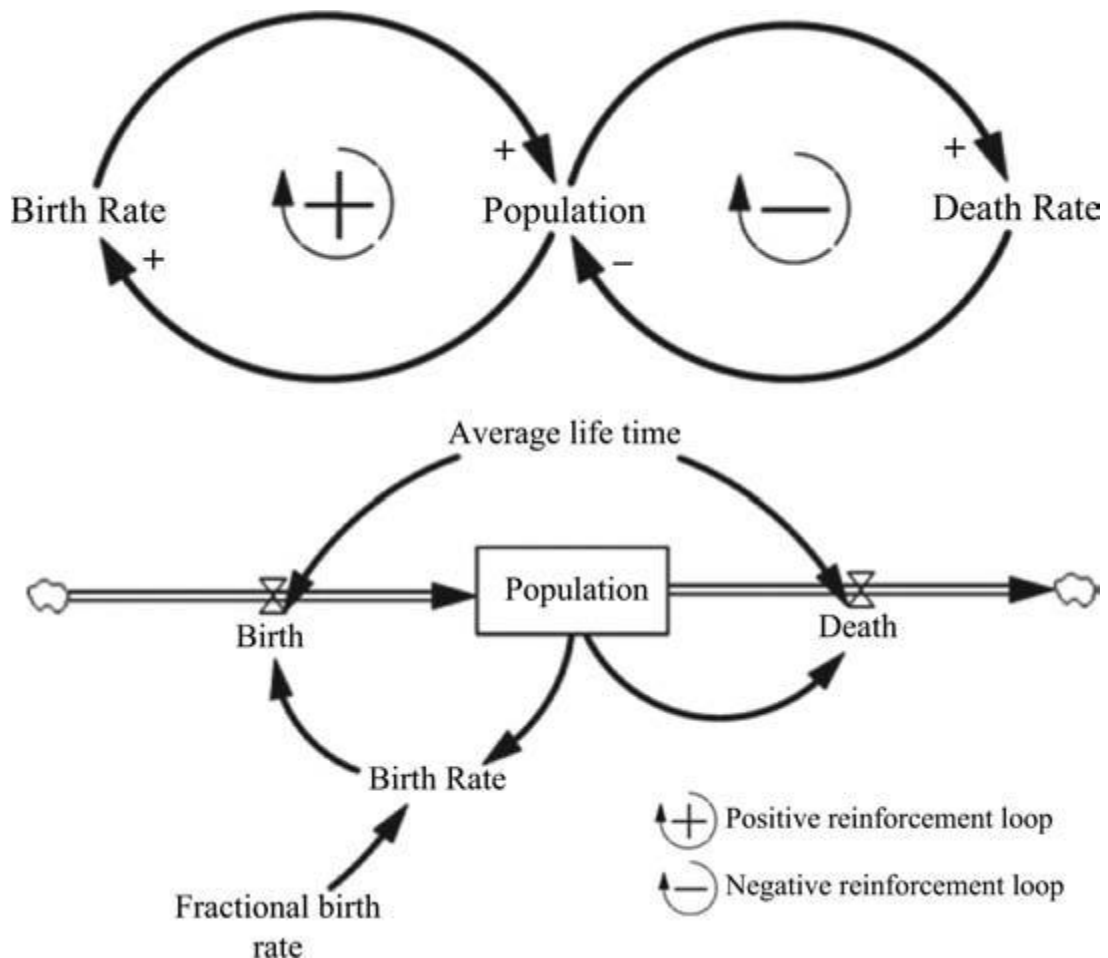
ในการหาค่าของสต็อก ณ ช่วงเวลาใด มีสิ่งที่จะต้องถูกระบุ คือ 1) ค่าเริ่มต้นของสต็อก (initial) และ 2) สมการของการไหล โดยสามารถหาค่าสะสมของ stock ณ เวลา t ได้จากสมการที่ (1) และค่าของ stock ณ เวลา t จากสมการที่ (2) ดังนี้

$$\text{Stock}_t = \text{Stock}_{t-dt} + dt * (\text{Inflow}_{t-dt} - \text{Outflow}_{t-dt}) \quad (1)$$

$$d(\text{Stock})/dt = \text{Inflow}_t - \text{Outflow}_t \quad (2)$$

จากแบบจำลองพลวัตระบบประชากร (รูปที่ 5) ตัวแปร “Population” นำเสนอเป็น “Stock” (มีหน่วยเป็น Person) ขณะที่ตัวแปรทั้ง “Birth” และ “Death” นำเสนอเป็น “Flow” (มีหน่วยเป็น Person/Year) นอกจากนี้ยังเพิ่มเติมตัวแปรสำหรับแบบจำลองนี้ นั่นคือ “Fraction birth rate” ที่อธิบายถึงสัดส่วนการเกิดต่อคน ตัวอย่างเช่นคู่สามีภรรยาหนึ่งที่มีลูกสี่คนตลอดช่วงอายุขัยของพวกเขา ดังนั้น fraction birth rate จึงมีค่าเป็น 2 (มีหน่วยเป็น dimensionless) ซึ่งถ้าประชากรปัจจุบันมีหนึ่งพันคนและคาดหวังว่าจะมีจำนวนการเกิดจะเท่ากับหนึ่งพันในตลอดช่วงอายุขัย (Birth

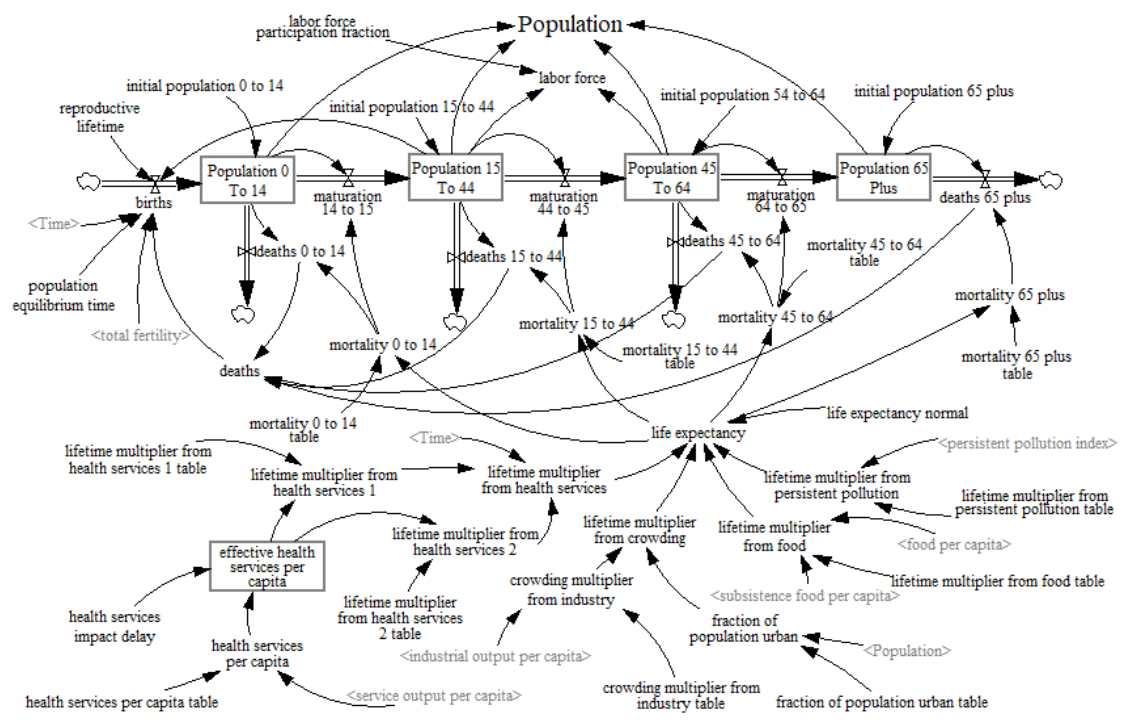
rate = fraction birth rate x population) ในขณะที่การเกิด (Birth) เป็นกระบวนการที่ยาวนานซึ่งสามารถหาได้จากประชากรต่ออายุขัยเฉลี่ย (Birth = Birth rate / Average life time) การแจกแจงอายุของประชากรถือว่าเป็นแบบเฉลี่ยและอัตราส่วนชายและหญิงเป็นหนึ่งต่อหนึ่ง ขณะเดียวกันอัตราการเสียชีวิตรายปี (Death rate) สามารถหาได้จากประชากรต่ออายุขัยเฉลี่ย (Death = Population / Average life time) (Jafari, Hesamamiri, Sadjadi, & Bourouni, 2012)



รูปที่ 5 Causal loop diagrams and stock-flow diagrams (Jafari, Hesamamiri, Sadjadi, & Bourouni, 2012)

จากรูปที่ 6 เป็นแบบจำลองพลวัตระบบประชากรที่พิจารณาถึงจำนวนประชากรโลกในแต่ละช่วงอายุ ที่เป็นความสัมพันธ์ของการเกิด การเสียชีวิต ช่วงอายุ และบริการด้านสุขภาพ ที่เชื่อมโยงกันด้วยสมการตามสมมติฐาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงไปของตัวแปรหรือสมมติฐานบางตัวที่เป็นเหตุ จะส่งผลกระทบต่อตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องที่เป็นผลของการเปลี่ยนแปลงสมมติฐานนี้ตามสมการความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงตัวแปรต่อกัน

จุดเด่นของการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้ทฤษฎีพลวัตระบบคือ ความสามารถในการเชื่อมโยงตัวแปรต่างๆ เข้าด้วยกันทั้งตัวแปรเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยอาศัยความเข้าใจของผู้พัฒนาแบบจำลอง สามารถใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการคำนวณความสัมพันธ์ที่เปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนค่าตัวแปรใดๆ และพัฒนาขยายความสัมพันธ์ของระบบได้ สถานการณ์จำลองที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาระบบมีความจำเพาะ ละเอียดยิ่ง และยืดหยุ่นเมื่อปัจจัยเงื่อนไขเปลี่ยนแปลงไปแบบจำลองพลวัตระบบจึงเหมาะสมกับการเป็นเครื่องมือในการพิจารณาในการหาค่าหรือจุดเหมาะสม (optimum point) ที่สะท้อนผลลัพธ์และพฤติกรรมระบบอันเป็นเป้าหมายของตัวแบบจำลอง การนำทฤษฎีพลวัตระบบมาใช้พัฒนาแบบจำลองในงานวิจัยนี้จึงมีความเหมาะสมและจะเป็นเครื่องมือที่ใช้ประโยชน์ได้จริงในการบริหารจัดการภาพรวมของเมืองหินอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในอนาคต



รูปที่ 6 ข่ายความสัมพันธ์ของระบบประชากรของ World3 Model

(Meadows, & Randers, 2004)

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองพลวัตระบบในปัจจุบันมีผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ที่หลากหลาย โดยโปรแกรมที่มีชื่อเสียงและได้รับความนิยมจนถูกใช้เป็นเครื่องมือพัฒนาแบบจำลองในงานวิจัยได้แก่ Vensim (Ventana Systems, 2015) iThink/Stella (Isee

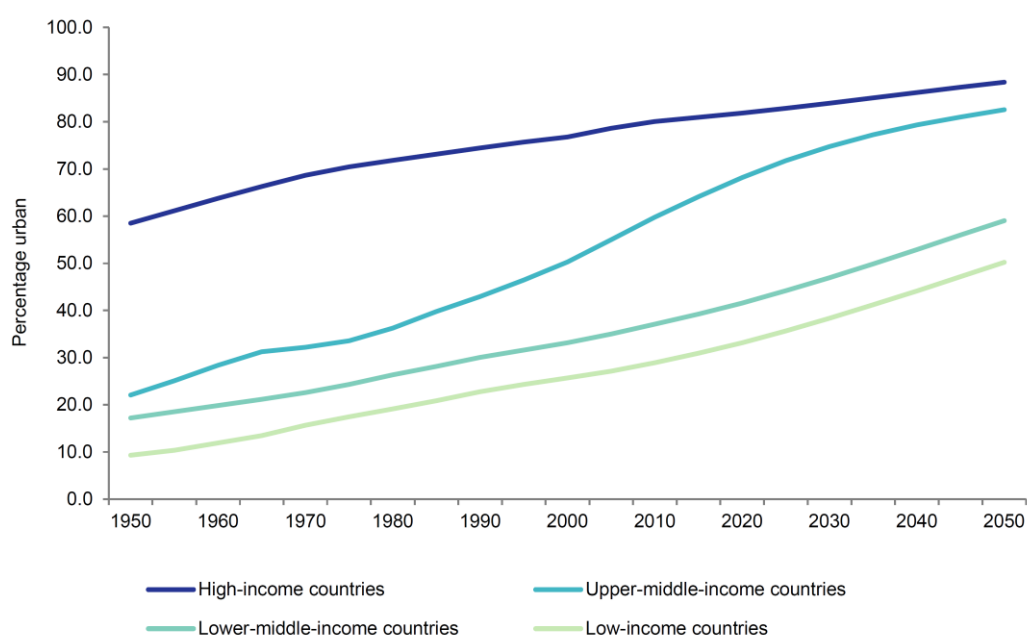
Systems, 2019) Powersim (Powersim Software, 2019) และ AnyLogic (AnyLogic Company, 2018)

2.2 ทรัพยากรหินมวลรวม

หินมวลรวม คือ หินบด หรือทรายและกรวดตามธรรมชาติ (Primary aggregate) รวมถึงผลิตภัณฑ์พลอยได้จากอุตสาหกรรม เช่น ตะกรัน และวัสดุเหลือใช้ที่นำกลับมาใช้ใหม่ เช่น คอนกรีต เพื่อเป็นส่วนเสริมสำหรับวัสดุจากเหมืองหิน (Secondary aggregate) (Harisson & Bloodworth, 1994) หินมวลรวมเป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญสำหรับงานก่อสร้างแทบทุกประเภท เช่น อาคาร ถนน สะพาน และอื่นๆ (Langer, 2002) หินมวลรวมแทบทั้งสิ้นได้มาจากการทำเหมืองหินด้วยกระบวนการทางวิศวกรรม มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต เศรษฐกิจ และสังคมของมนุษย์มาอย่างยาวนาน จนกระทั่งปัจจุบัน เป้าหมายหลักของการทำเหมืองแร่ก็นำทรัพยากรเหล่านี้มาสนองความต้องการของมนุษย์ที่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น (Langer, 2016; Tausova, Culkova, Domaracka, & Drebenstedt, 2017; Dubinski, 2013) หินมวลรวมจัดเป็นทรัพยากรที่ไม่ใช่เชื้อเพลิงที่มีค่าที่สุดในโลก และเรียกได้ว่าเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไปเนื่องจากใช้ระยะเวลายาวนานมากในการฟื้นฟูกลับคืนมา (Langer, Drew, & Sachs, 2004) ในอุตสาหกรรมก่อสร้างหินมวลรวมถูกใช้เป็นวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตโดยคิดเป็นกว่าร้อยละ 70-80 ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด (The concrete production and aggregate, 2000) มีค่าความถ่วงจำเพาะทั่วไปที่ใช้อยู่ระหว่าง 1,200 – 1,750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Shahriar, n.d.)

กว่าหลายทศวรรษที่ผ่านมาทั่วโลกมีการขยายตัวในภาคอุตสาหกรรมเหมืองแร่เพื่อรองรับการพัฒนาประเทศ และคาดว่าจะมีการขยายตัวของเมืองเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะกลุ่มประเทศรายได้ปานกลางระดับสูง (Upper-middle-income) และแรงหนุนประเทศที่มีประชากรมากโดยเฉพาะประเทศจีนและประเทศไทยที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มประเทศที่มีการขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็วประมาณร้อยละ 2.9 และ 1.9 ตามลำดับ (United Nations Department of Economic and Social Affairs [UN DESA], 2019) ดังรูปที่ 7 ความต้องการทรัพยากรแร่ที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวข้องกับการเติบโตของประชากรโลกและการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเศรษฐกิจซึ่งมีผลต่อสิ่งแวดล้อมและความมั่นคงของวัตถุดิบ โดยยิ่งก่อสร้างมากก็ยิ่งใช้หินมวลรวมจากธรรมชาติมากขึ้นตาม ในทางกลับกันก็เกิดคอนกรีตจากการรีไซเคิลของสิ่งก่อสร้างมากขึ้น คอนกรีตเหล่านี้สามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลายและหนึ่งในแนวทางการใช้ประโยชน์คือการใช้ทดแทนหินมวลรวมสำหรับการก่อสร้าง การก่อสร้างปัจจุบันมีการรีไซเคิล

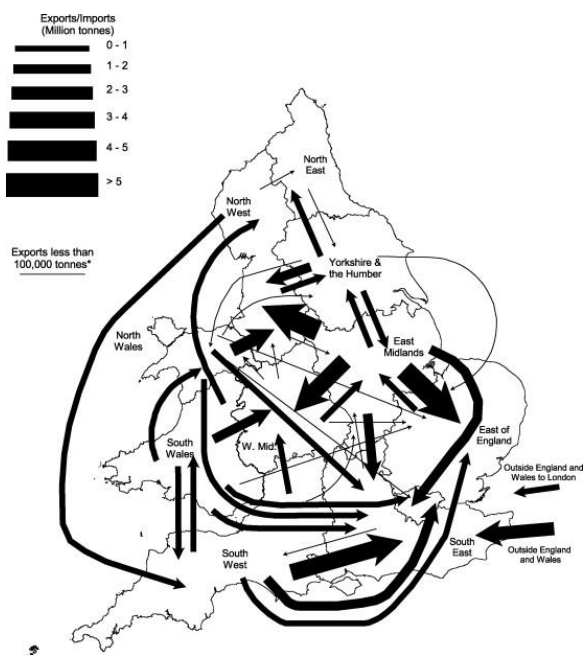
คอนกรีตจากสิ่งปลูกสร้างเก่ามาใช้ทดแทนหรือเป็นส่วนเสริมหินมวลรวมที่มาจากเหมืองอย่างแพร่หลาย แต่สำหรับประเทศไทยยังขาดการสนับสนุนผลักดันนโยบายด้านนี้ (Tangtinthai, Heidrich, & Manning, 2019) สิ่งนี้เป็นความท้าทายสำหรับการจัดการทรัพยากรหินมวลรวมให้เกิดความยั่งยืนของประเทศไทย



รูปที่ 7 ร้อยละของประชากรที่อาศัยอยู่ในเขตเมืองจำแนกตามรายได้ช่วงปี ค.ศ. 1950-2050 (UN DESA, 2019)

ปัจจุบันการปกป้องทรัพยากรธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์และการจัดการทรัพยากรที่เหมาะสมอันสอดคล้องกับเศรษฐกิจ รวมถึงการใช้เทคโนโลยีที่สะอาด หรือการพัฒนาเทคนิควิธีการดำเนินงานที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Marica, Ceteana, & Lazaroiu, 2008) โดยปัจจัยที่มีแนวโน้มจะกระทบต่อความยั่งยืนของการจัดการทรัพยากร คือ แร่คุณภาพต่ำ (low grade ore) ที่เข้าสู่กระบวนการผลิตมากขึ้น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น มลภาวะจากการทำเหมืองที่เพิ่มสูงขึ้น และแรงกดดันทางสังคมที่เพิ่มสูงขึ้น โดยปัจจัยเหล่านี้มีความเชื่อมโยงกันและส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตโดยเฉพาะผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Prior, Giurco, Mudd, Mason, & Behrisch, 2012) กรณีของสหราชอาณาจักรที่มีทรัพยากรกระจายซึ่งที่ดินถูกใช้ประโยชน์เพื่อการทำเหมืองแร่ไม่สอดคล้องกับพื้นที่ความต้องการ โดยมีอุปสงค์การก่อสร้างมากในพื้นที่ตะวันออกเฉียงใต้ของอังกฤษแต่ขาดแหล่งทรัพยากรหินมวลรวมที่เหมาะสม จึงมีความจำเป็นต้องนำเข้าหินมวล

รวมเป็นจำนวนมาก ปัญหาเหล่านี้ถูกจัดการจากการแทรกแซงของนโยบายภาครัฐผ่านระบบการจัดการอุปทานหินมวลรวมโดยการคาดคะเนภาวะเศรษฐกิจ และจัดสรรทรัพยากรเกิดความสอดคล้องของอุปสงค์และอุปทานเชิงพื้นที่ (รูปที่ 8) ก่อให้เกิดเสถียรภาพของหินมวลรวม (Bloodworth, Scott, & McEvoy, 2009)



รูปที่ 8 การถ่ายเทของหินมวลรวมของสหราชอาณาจักร (Bloodworth, Scott, & McEvoy, 2009)

2.3 หินอุตสาหกรรมของประเทศไทย

หินอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะแบ่งตามลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์เป็น 2 ประเภท คือ หินอุตสาหกรรมเพื่ออุตสาหกรรมซีเมนต์และหินอุตสาหกรรมเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง สำหรับประเทศไทยนั้นนิยมใช้ หินปูน หินบะซอลต์ หินแกรนิต หินแอนดีไซต์ หินโรโอไลต์ และหินทราย เป็นหินเพื่อการก่อสร้าง โดยหินปูนมีการใช้งานมากที่สุดเนื่องจากใช้ร่วมกับงานก่อสร้างได้ทุกประเภท เสียค่าใช้จ่ายในการย่อยขนาดต่ำกว่าหินชนิดอื่น และหาได้ง่ายตามแต่ละภูมิภาคของประเทศ ยกเว้นภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลางและตอนล่าง ขณะทำงานทางรถไฟจะนิยมใช้หินอัคนีจำพวก หินแกรนิต หินแอนดีไซต์ หินบะซอลต์ และหินไดโอไลต์ เนื่องจากมีสมบัติเหมาะสมในการถ่าน้ำหนักที่เกิดจากล้อรถไฟบดอัดกับราง

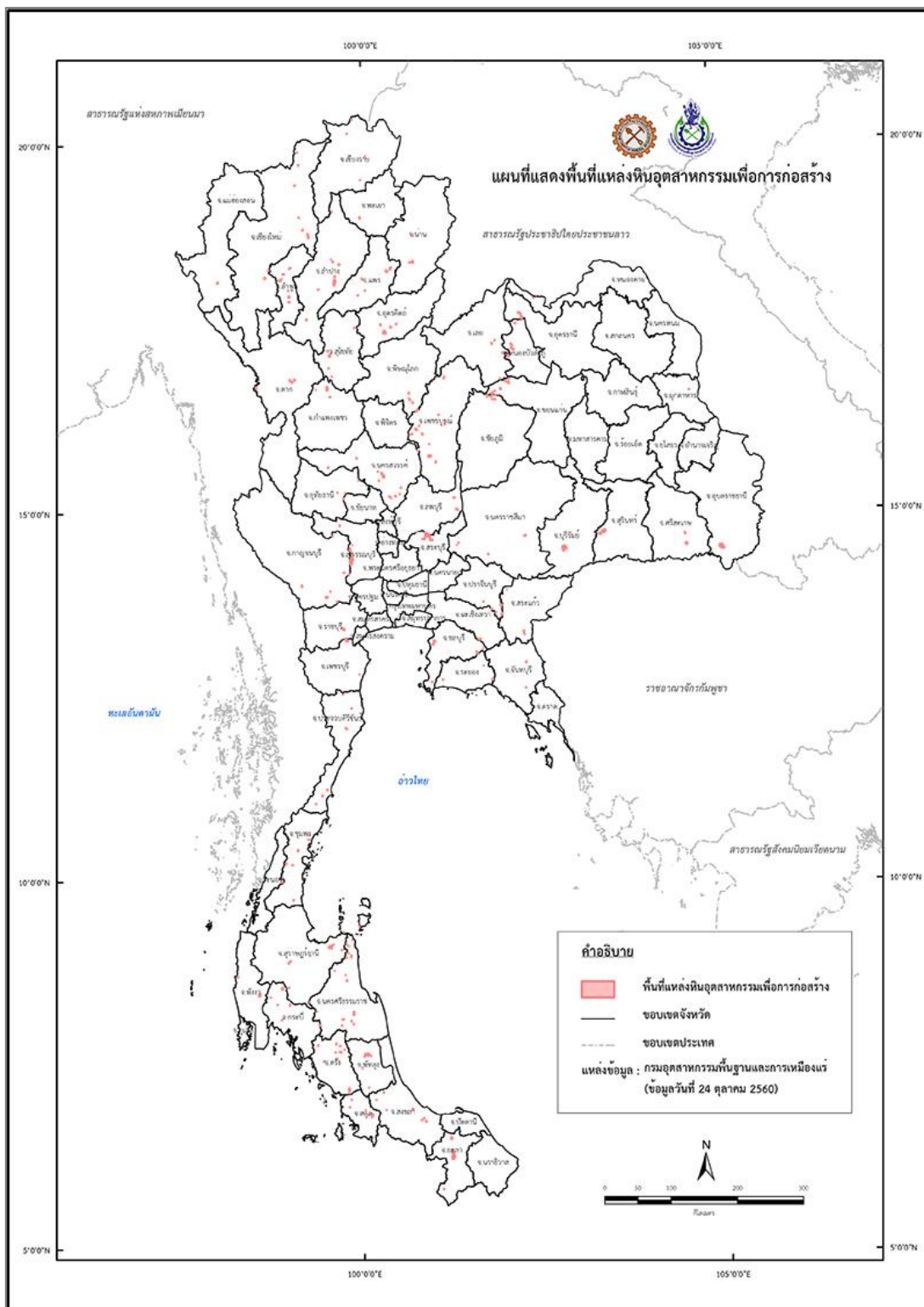
ในปัจจุบันประเทศไทยมีแหล่งหินอุตสาหกรรมเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างรวมกันทั่วประเทศจำนวน 318 แหล่ง ปริมาณทรัพยากรรวมทั้งสิ้น 8,010 ล้านเมตริกตัน มีรายละเอียดตามตารางที่ 1 (กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย, ม.ป.ป.) และมีตำแหน่งของแหล่งหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างกระจายตัวอยู่ทั่วประเทศดังรูปที่ 9 (กรมทรัพยากรธรณี, 2561) โดยปัจจุบันมีเหมืองเปิดดำเนินการประมาณ 569 แห่ง มีประทานบัตรที่ยังไม่สิ้นอายุประมาณ 1,032 แปลง (ข้อมูล ณ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560) พื้นที่ประทานบัตรรวมทั้งสิ้นประมาณ 201,439 ไร่ เป็นประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างจำนวน 384 แปลง และประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมเพื่อซีเมนต์จำนวน 172 แปลง (คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ, 2561) มีตำแหน่งของประทานบัตรหินอุตสาหกรรมของประเทศไทยดังรูปที่ 10 (กรมทรัพยากรธรณี, 2561) และสามารถแจกแจงข้อมูลจำนวนประทานบัตรตามชนิดหินของประเทศไทยได้ดังตารางที่ 2 (คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ, 2561) ปริมาณการผลิตหินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างในช่วงทศวรรษที่ผ่านมามีค่าเฉลี่ยปีละ 82 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าเฉลี่ยปีละ 9,100 ล้านบาท ซึ่งมากที่สุดในบรรดาผลผลิตแร่ทุกชนิดของประเทศไทย สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจแก่ประเทศในฐานะอุตสาหกรรมต้นน้ำสำหรับอุตสาหกรรมผลิตวัสดุก่อสร้าง ขณะที่มูลค่าการใช้หินในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีทิศทางสอดคล้องกับการผลิต อันเป็นผลมาจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมก่อสร้างอย่างรวดเร็ว แต่มูลค่าส่งออกมีแนวโน้มลดลงชี้ให้เห็นว่ามีการใช้ประโยชน์ภายในประเทศเป็นหลัก และยังมีส่วนช่วยพัฒนาเศรษฐกิจมหภาคผ่านช่องทางรายได้ของรัฐในรูปของค่าภาคหลวงแร่ การจ้างงานทางตรงในเหมือง และทางอ้อมในสาขาการผลิตอื่นที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 1 ปริมาณสำรองของแหล่งหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างของประเทศไทย (กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย, ม.ป.ป.)

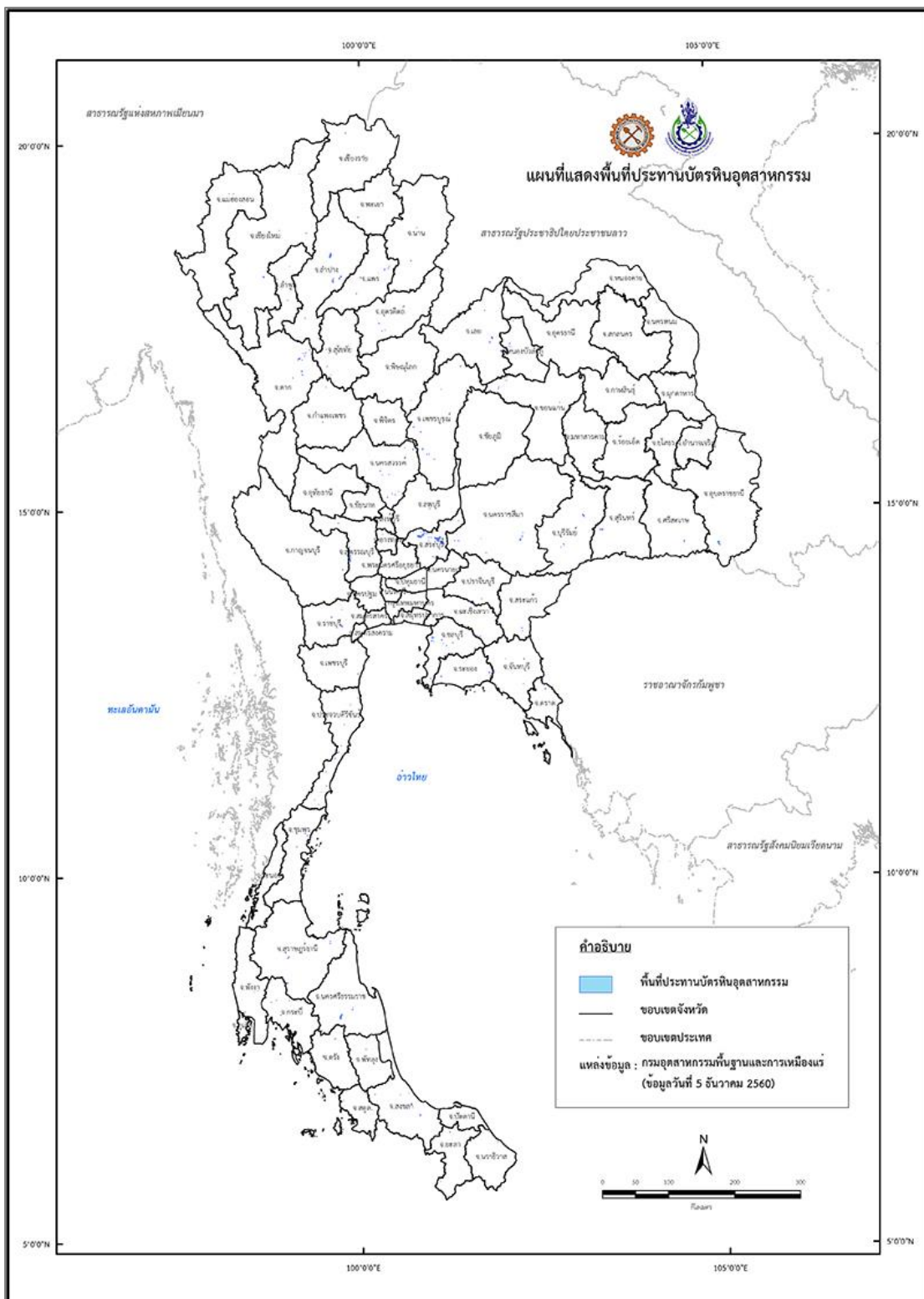
ภูมิภาค	จำนวนแหล่งหิน (แหล่ง)	พื้นที่ (ไร่)	ปริมาณสำรอง	
			ล้านเมตริกตัน	ร้อยละ
ภาคกลาง	62	26,990	3,296.81	41.16
ภาคเหนือ	118	45,394	2,574.32	32.14
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	49	43,110	791.60	9.88
ภาคใต้	77	20,399	1,108.56	13.84
ภาคตะวันออก	12	5,501	238.75	2.98
รวม	318	141,394	8,010.04	100.00

ตารางที่ 2 ประทานบัตรหินอุตสาหกรรมของประเทศไทย (คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ, 2561)

ชนิด	จำนวนประทานบัตร	พื้นที่			
		ไร่	งาน	ตารางวา	ร้อยละ
หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมซีเมนต์	148	37,162	0	82	40.82
หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง	241	34,041	2	47	37.4
หินทราย	10	549	3	99	0.69
หินแกรนิต	77	11,072	0	92	12.16
หินบะซอลต์	41	6,820	2	15	7.49
หินแอนดีไซต์	4	623	1	66	0.68
หินโรโอไลต์	1	82	0	77	0.09
หินควอร์ตไซต์	1	52	3	59	0.06
หินแกรย์แวกซ์	1	92	2	66	0.1
หินไนส์	1	145	3	3	0.16
หินทรายเวอร์ทีน	1	79	0	94	0.09
หินทรายแป้งเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง	1	51	3	29	0.06
อื่นๆ	3	260	1	45	0.29
รวม	532	91,028	3	74	100



รูปที่ 9 แผนที่แหล่งหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง (กรมทรัพยากรธรณี, 2561)



รูปที่ 10 แผนที่ประธานบริหารอุทกศาสตร์ของประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2561)

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ, 2561) ประเมินปริมาณสำรองแหล่งหินโดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ตามความต้องการใช้หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างในแต่ละกลุ่มจังหวัด ได้แก่ 1) กลุ่มที่ขาดแคลนหิน มีปริมาณสำรองใช้ได้ไม่เกิน 20 ปี (สีแดง) 2) กลุ่มที่มีหินสมดุล มีปริมาณสำรองใช้ได้ 20-30 ปี (สีเหลือง) และ 3) กลุ่มที่มีหินมาก มีปริมาณสำรองใช้ได้เกิน 30 ปีขึ้นไป (สีเขียว) มีรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความต้องการใช้หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างรายกลุ่มจังหวัด (คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ, 2561)

แหล่งหินตามกลุ่มจังหวัด	ปริมาณสำรองแหล่งหิน (ล้านเมตริกตัน)	ความต้องการใช้หิน (ล้านเมตริกตัน)		ระยะเวลาที่รองรับได้ (ปี)	ระดับความเสี่ยง
		ความต้องการต่อปี	เวลา 30 ปี (คาดการณ์ +5%)		
1) กลุ่มจังหวัดเชียงราย พะเยา	71.83	3.80	252.47	13.63	สีแดง
2) กลุ่มจังหวัดแม่ฮ่องสอน	0.00	0.60	39.86	0.00	สีแดง
3) กลุ่มจังหวัดเชียงใหม่ ลำปาง ลำพูน	1312.72	11.55	767.37	38.93	สีเขียว
4) กลุ่มจังหวัดน่าน	64.62	1.60	106.30	22.64	สีเหลือง
5) กลุ่มจังหวัดพิจิตร พิษณุโลก เพชรบูรณ์ อุตรดิตถ์	523.16	5.85	388.67	34.83	สีเขียว
6) กลุ่มจังหวัดแพร่	162.24	0.93	61.79	46.61	สีเขียว
7) กลุ่มจังหวัดนครสวรรค์ อุทัยธานี ชัยนาท	336.31	6.97	463.08	25.16	สีเหลือง
8) กลุ่มจังหวัดตาก	143.00	1.43	95.01	36.72	สีเขียว
9) กลุ่มจังหวัดสุโขทัย	43.31	1.76	116.93	16.44	สีแดง
10) กลุ่มจังหวัดกำแพงเพชร	128.35	1.89	125.57	30.34	สีเขียว
11) กลุ่มจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	364.23	6.10	405.28	28.33	สีเหลือง
12) กลุ่มจังหวัดขอนแก่น ชัยภูมิ	169.59	6.18	410.59	17.70	สีแดง
13) กลุ่มจังหวัดนครราชสีมา	83.62	3.20	212.60	17.13	สีแดง
14) กลุ่มจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	349.35	14.38	955.39	16.29	สีแดง
15) กลุ่มจังหวัดกรุงเทพฯ และปริมณฑล	2992.19	62.71	4166.38	25.00	สีเหลือง
16) กลุ่มจังหวัดระยอง จันทบุรี ตราด	182.43	3.91	259.78	24.67	สีเหลือง
17) กลุ่มจังหวัดปราจีนบุรี สระแก้ว	41.87	1.54	102.32	17.59	สีแดง
18) กลุ่มจังหวัดประจวบคีรีขันธ์	168.64	2.83	188.02	28.30	สีเหลือง
19) กลุ่มจังหวัดชุมพร ระนอง	229.41	3.40	225.89	30.24	สีเขียว
20) กลุ่มจังหวัดสุราษฎร์ธานี	178.48	2.64	175.40	30.27	สีเขียว
21) กลุ่มจังหวัดพังงา ภูเก็ต กระบี่	128.06	6.01	399.30	14.86	สีแดง
22) กลุ่มจังหวัดสงขลา สตูล	343.57	3.71	246.49	35.42	สีเขียว
23) กลุ่มจังหวัดยะลา ปัตตานี นราธิวาส	83.11	3.93	261.10	14.78	สีแดง
24) กลุ่มจังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง ตรัง	453.89	6.26	415.91	31.39	สีเขียว

ตารางที่ 3 ความต้องการใช้หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างรายกลุ่มจังหวัด (คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ, 2561) (ต่อ)

แหล่งหินตามกลุ่มจังหวัด	ปริมาณ สำรอง แหล่งหิน (ล้าน เมตริกตัน)	ความต้องการใช้หิน (ล้านเมตริกตัน)		ระยะเวลา ที่รองรับ ได้ (ปี)	ระดับ ความ เพียงพอ
		ความ ต้องการ ต่อปี	เวลา 30 ปี (คาดการณ์ +5%)		
รวม	8,553.98	163.18	10,841.50		

ขณะที่สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทยพยากรณ์การผลิตและการใช้หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างระหว่างปี พ.ศ. 2560-2565 บนสมมุติฐานที่ว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เป็นผลกระทบจากตัวแปรภายนอก เช่น ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ รายจ่ายของรัฐบาล และราคาแร่มีแนวโน้มเป็นไปตามสภาพในอดีต ให้ผลว่าปริมาณการผลิตและการใช้หินอุตสาหกรรมก่อสร้างภายในประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยปริมาณการผลิตเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 4.2 ต่อปี และปริมาณการใช้เฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 3.5 ต่อปี มีรายละเอียดดังตารางที่ 4 (คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ, 2561)

ตารางที่ 4 การพยากรณ์ปริมาณการผลิตและการใช้หินปูนเพื่อการก่อสร้าง พ.ศ. 2560-2565 (คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ, 2561)

ปี พ.ศ.	การพยากรณ์สำหรับหินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง	
	ปริมาณการผลิต (เมตริกตัน)	ปริมาณการใช้ (เมตริกตัน)
2560	106,000,000	105,000,000
2561	110,000,000	109,000,000
2562	116,000,000	113,000,000
2563	120,000,000	117,000,000
2564	126,000,000	121,000,000
2565	130,000,000	125,000,000

หากพิจารณาเฉพาะภาคใต้รายจังหวัดที่อยู่ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและพื้นที่ข้างเคียง ซึ่งได้แก่ จังหวัดสงขลา จังหวัดสตูล จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดพัทลุง และจังหวัดตรัง พบว่ามีข้อมูลการออกประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมสถานะมีอายุในจังหวัดสงขลาจำนวน 7 แปลง (ตารางที่ ก1) จังหวัดสตูลไม่มี จังหวัดพัทลุง (ตารางที่ ก2) จังหวัดตรัง 4 แปลง (ตารางที่ ก3)

และจังหวัดนครศรีธรรมราช 51 แปลง (ตารางที่ ก4) โดยมีประธานบัตรที่อยู่ภายในขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาทั้งหมด 2 แปลงดังตารางที่ 5 (กลุ่มควบคุมสัมปทานและกำกับการผลิต สำนักเหมืองแร่และสัมปทาน, ม.ป.ป.)

ตารางที่ 5 รายชื่อผู้ถือประธานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมมีอายุในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (กลุ่มควบคุมสัมปทานและกำกับการผลิต สำนักเหมืองแร่และสัมปทาน, ม.ป.ป.)

ผู้ถือประธานบัตร	ประธานบัตร	จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	ชนิดแร่
นายกฤษณ์ เชาว์บวร (ทจก. กฤษณ์ศิลาพร)	23956/15410	พัทลุง	ควนขนุน	พนม วังค์	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง
บจก.เชาบันไดนาง ศิลา	27667/16228	สงขลา	หาดใหญ่	คองหงส์	หินแกรนิต หินควอร์ตไซต์ และหิน ฮอว์นเฟลส์เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง

จากรายงานการจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดสงขลาปี พ.ศ. 2557 (กรมทรัพยากรธรณี, 2557) ระบุว่าจังหวัดสงขลามีแหล่งทรัพยากรแร่ที่สำคัญทางเศรษฐกิจ 10 ชนิด คือ หินแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง หินควอร์ตไซต์เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง หินปูนที่จำแนกไม่ได้เนื่องจากไม่มีข้อมูลผลวิเคราะห์ทางเคมี ดีบุก แมงกานีส หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมเคมี ทราวยแก้ว โดโลไมต์ และถ่านหิน โดยแบ่งตามการใช้ประโยชน์เป็นจำนวน 4 กลุ่มแร่ ได้แก่ 1) กลุ่มแร่เพื่อพัฒนาสาธารณูปโภคพื้นฐานและโครงการขนาดใหญ่ของรัฐ 2) กลุ่มแร่เพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม 3) กลุ่มแร่เพื่อการเกษตร และ 4) กลุ่มแร่พลังงาน

สำหรับกลุ่มแร่เพื่อพัฒนาสาธารณูปโภคพื้นฐานและโครงสร้างขนาดใหญ่ของรัฐ หรือแร่เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างนี้ประกอบด้วยชนิดหินอุตสาหกรรม จำนวนแหล่งแร่ และปริมาณทรัพยากรแร่สำรองที่มีศักยภาพเป็นได้ดังนี้

1. หินแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างมีปริมาณทรัพยากรสำรองที่มีศักยภาพเป็นไปได้ประมาณ 3,270.98 ล้านเมตริกตัน และมีจำนวนแหล่งหินทั้งสิ้น 6 แหล่ง
2. หินควอร์ตไซต์เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างมีปริมาณทรัพยากรสำรองที่มีศักยภาพเป็นไปได้ประมาณ 1.15 ล้านเมตริกตัน และมีจำนวนแหล่งหินทั้งสิ้น 1 แหล่ง
3. หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างมีปริมาณทรัพยากรสำรองที่มีศักยภาพเป็นไปได้ประมาณ 818.73 ล้านเมตริกตัน และมีจำนวนแหล่งหินทั้งสิ้น 8 แหล่ง

4. หินปูนที่จำแนกไม่ได้เนื่องจากไม่มีข้อมูลผลวิเคราะห์ทางเคมีมีปริมาณทรัพยากรสำรองที่มีศักยภาพเป็นไปได้ประมาณ 1,391.70 ล้านเมตริกตัน และมีจำนวนแหล่งหินทั้งสิ้น 13 แหล่ง

จากรายงานการจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดพัทลุง (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) ระบุว่าจังหวัดพัทลุงมีทรัพยากรแร่ที่สำคัญทางเศรษฐกิจเพียงชนิดเดียว คือ หินปูน ในอดีตพัทลุงมีทรัพยากรแร่ที่เคยมีการผลิตอีกหนึ่งชนิด คือ แร่ตะกั่ว แต่ปัจจุบันแหล่งแร่ตะกั่วอยู่ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติเขาปู่-เขาย่า จึงหยุดการผลิตลงด้วยข้อจำกัดทางกฎหมาย นอกจากนี้ยังมีทรัพยากรธรณีอีกชนิดหนึ่ง คือ ทรายก่อสร้าง โดยสามารถจำแนกตามลักษณะการใช้ประโยชน์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มแร่เพื่อการพัฒนาสาธารณูปโภคพื้นฐานและโครงการขนาดใหญ่ของรัฐ และ 2) กลุ่มแร่เพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม โดยที่แหล่งหินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างมีปริมาณทรัพยากรหินปูนสำรองที่มีศักยภาพเป็นไปได้ประมาณ 28,430 ล้านเมตริกตัน

จากรายงานการจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดนครศรีธรรมราช (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) ระบุว่าจังหวัดนครศรีธรรมราชมีทรัพยากรที่สำคัญทางเศรษฐกิจหลายชนิด ได้แก่ หินปูน โดโลไมต์ ยิปซัม ถ่านหิน ดีบุก ทังสแตน ตะกั่ว พลวง แปะไรต์ ดินขาว บอลเคลย์ เฟลด์สปาร์ และทรายแก้ว โดยสามารถจำแนกตามลักษณะการใช้ประโยชน์ได้ 4 กลุ่ม เช่นเดียวกับกันกับของจังหวัดสงขลา โดยกลุ่มแร่เพื่อการพัฒนาาระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานและโครงการขนาดใหญ่ของรัฐประกอบด้วยชนิดหิน จำนวนแหล่ง และปริมาณทรัพยากรสำรองที่มีศักยภาพเป็นได้ดังนี้

1. หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ มีปริมาณสำรองแร่ที่มีศักยภาพเป็นไปได้ประมาณ 4,770 ล้านเมตริกตัน และมีจำนวนแหล่งหินทั้งสิ้น 15 แหล่ง
2. หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง มีปริมาณสำรองแร่ที่มีศักยภาพเป็นไปได้ประมาณ 21,260 ล้านเมตริกตัน และมีจำนวนแหล่งหินทั้งสิ้น 38 แหล่ง
3. หินปูนจำแนกประเภทไม่ได้ มีปริมาณสำรองแร่ที่มีศักยภาพเป็นไปได้ประมาณ 53,810 ล้านเมตริกตัน และมีจำนวนแหล่งหินทั้งสิ้น 75 แหล่ง
4. ยิปซั่ม มีปริมาณสำรองแร่ที่มีศักยภาพเป็นไปได้ประมาณ 120 ล้านเมตริกตัน และมีจำนวนแหล่งหินทั้งสิ้น 7 แหล่ง
5. ทรายเพื่อการก่อสร้าง มีสองประเภทคือ แหล่งทรายแม่น้ำที่ดูได้จากทางน้ำสายหลักหรือคลองต่างๆ และแหล่งทรายบกที่ได้จากเหมืองดีบุก

จากรายงานโครงการสำรวจเพื่อการจัดการทรัพยากรธรณีลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (กรมทรัพยากรธรณี, 2549) พบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (ตอนกลาง) ประกอบด้วยทรัพยากรแร่หลายชนิดทั้งแร่โลหะและแร่อุตสาหกรรม เช่น ดีบุก ทังสแตน ตะกั่ว แบริต์ หินปูน หินแกรนิต และแหล่งทราย โดยแหล่งทรัพยากรประเภทวัสดุก่อสร้างสามารถจำแนกได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่

1. แหล่งหินปูนในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาตอนกลางเป็นหินปูนที่เกิดในยุคไทรแอสซิกเพอร์เมียน และออร์โดวิเซียน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 12 ตร.กม. และมีปริมาณสำรองรวมประมาณ 1,371.65 ล้านเมตริกตัน หินปูนเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างและบางบริเวณสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ได้ ภูเขาหินปูนส่วนใหญ่เป็นเขาลูกโดดและกระจายตัวอยู่ทั่วไปในเขตอำเภอตะโหมด อำเภอศรีบรรพต อำเภอกงหรา อำเภอปากพะยูน อำเภอเขาชัยสน และอำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง รวมทั้งอำเภอรัตนภูมิ จังหวัดสงขลา จากการประเมินทรัพยากรแหล่งหินในพื้นที่พบว่า 1) แหล่งหินปูนอำเภอเขาชัยสนมีปริมาณทรัพยากรหินปูนอยู่ประมาณ 192.40 ล้านเมตริกตัน 2) แหล่งหินปูนอำเภอตะโหมดมีปริมาณทรัพยากรหินปูนอยู่ประมาณ 981 ล้านเมตริกตัน 3) แหล่งหินปูนอำเภอป่าบอนมีปริมาณทรัพยากรหินปูนอยู่ประมาณ 10.50 ล้านเมตริกตัน และ 4) แหล่งหินปูนอำเภอรัตนภูมิมีปริมาณทรัพยากรหินปูนอยู่ประมาณ 187.75 ล้านเมตริกตัน

2. แหล่งทรายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาพบศักยภาพครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 184.80 ตร.กม. สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ 1) ทรายบกรอบคลุมพื้นที่ประมาณ 156.08 ตร.กม. กระจายตัวสองฝั่งลำคลองและแม่น้ำ และมีหินแกรนิตเขาบรรทัดเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญ มีปริมาณสำรองประมาณ 1,763.46 ล้านเมตริกตัน 2) ทรายแก้วครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 6.63 ตร.กม. มีปริมาณสำรองเบื้องต้นประมาณ 4,027,725 เมตริกตัน 3) ทรายทะเลสะสมตัวตามแนวชายหาดครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 22.09 ตร.กม. มีปริมาณสำรองเบื้องต้นประมาณ 96.62 ล้านเมตริกตัน

3. แหล่งหินแกรนิตในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาพบเป็นเทือกเขาสูงวางตัวแนวยาวในทิศทางประมาณเหนือ - ใต้ ที่บริเวณช่องเขาประตู เขาหลวง เขาลูกกลม และเขาแก้ว ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเทือกหินแกรนิตเขาบรรทัดรวมพื้นที่ประมาณ 280 ตร.กม. อยู่ในเขตพื้นที่อำเภอกงหรา อำเภอป่าบอน อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุง และอำเภอรัตนภูมิ จังหวัดสงขลา หินแกรนิตที่พบเป็นไบโอไทต์แกรนิต (Biotite granite) ไบโอไทต์ - มัสโคไวต์แกรนิต (Biotite - Muscovite granite) ทัวร์มาลีนแกรนิต (Tourmaline granite) แอปไลต์ (Aplite) และเพกมาไทต์ (Pegmatite) หินแกรนิตมีเนื้อหยาบปานกลางถึงหยาบมาก มีสีชมพูถึงขาวและสีเทาอ่อน มีสายควอตซ์ตัดแทรกในหลายบริเวณ โดยมีปริมาณสำรองเบื้องต้นประมาณ 72,800 ล้านเมตริกตัน

4. แหล่งหินทรายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีคุณสมบัติใกล้เคียงกับมาตรฐานที่กำหนดให้ใช้เป็นหินก่อสร้างได้ พบด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ลุ่มน้ำครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 25 ตร.กม. หินทรายบริเวณนี้จัดอยู่ในกลุ่มหินตะกอนยุคแคมเบรียน มีสีเทาแกมน้ำตาล สีน้ำตาลแกมเหลือง หินทรายเนื้อควอตซ์ เนื้อละเอียดถึงปานกลาง มีปริมาณสำรองเบื้องต้นประมาณ 3,900 ล้านเมตริกตัน

5. แหล่งแร่เก่าในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาพบแหล่งแร่แบไรต์ และแหล่งแร่ดีบุก - ทังสแตน โดยอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอรัตถุมิเป็นแหล่งแร่เก่าที่ปริมาณสำรองหมดลงจากการทำเหมือง

2.4 พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นลุ่มน้ำที่ใหญ่ที่สุดทางภาคใต้ของประเทศไทยครอบคลุมพื้นที่ 3 จังหวัด ได้แก่จังหวัดพัทลุงทั้งจังหวัด จังหวัดสงขลา 12 อำเภอ (ได้แก่ อำเภอเมืองสงขลา อำเภอสทิงพระ อำเภอระโนด อำเภอกระเสสินธุ์ อำเภอรัตถุมิ อำเภอสะเดา อำเภอหาดใหญ่ อำเภอนาหม่อม อำเภอควนเนียง อำเภอบางกล่ำ อำเภอสิงหนคร และอำเภอคลองหอยโข่ง) และจังหวัด นครศรีธรรมราช 2 อำเภอ (ได้แก่ อำเภอชะอวด และอำเภอหัวไทร) พื้นที่รวมประมาณ 8,484.35 ตารางกิโลเมตร มีพื้นที่ผิวดินประมาณ 7,652.81 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ผิวน้ำทะเลสาบประมาณ 831.54 ตารางกิโลเมตร (ศูนย์ป้องกันวิกฤตน้ำ, 2016) โดยครอบคลุมพื้นที่ในแต่ละจังหวัดละคิดเป็นสัดส่วนดังตารางที่ 6

พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในทางตอนใต้ของประเทศไทย ระบบนิเวศเป็นแบบผสมผสานของทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม จึงมีความหลากหลายทางทรัพยากรทั้งทางบกและทางทะเล บริเวณโดยรอบทะเลสาบสงขลามีทั้งแหล่งชุมชน ทั้งชุมชนชนบท และชุมชนเมือง พื้นที่พรุ พื้นที่การเกษตร พื้นที่อุตสาหกรรมและปายาเลน จากยุทธศาสตร์การบริหารจัดการแร่ 20 ปี พ.ศ. 2561-2580 (คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ, 2563) จังหวัดสงขลาเป็นหนึ่งในพื้นที่เป้าหมายสำหรับการพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษชายแดนเพื่อส่งเสริมการเพิ่มผลิตภาพและสร้างมูลค่าเพิ่มในปัจจุบันไปสู่ภาคการผลิตและบริการแห่งอนาคตที่มีศักยภาพ โดยใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในพื้นที่ผสมกับเทคโนโลยีและนวัตกรรมและความสะดวกสบายทางกายภาพ และที่ตั้งของพื้นที่ รวมทั้งเป็นเป้าหมายของการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านขนส่ง อาทิ ระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนขนาดรอง (Right Rail) รถโดยสารด่วนพิเศษ (Bus Rapid Transit : BRT) และ รถราง

ตารางที่ 6 รายละเอียดพื้นที่ของจังหวัดที่อยู่ภายใต้ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (ศูนย์ป้องกันวิกฤตน้ำ, 2016)

จังหวัด	พื้นที่จังหวัด (ตร.กม.)	พื้นที่ในเขตลุ่มน้ำ		ร้อยละของ พื้นที่จังหวัด	ร้อยละของพื้นที่ใน ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา
		(ตร.กม.)	(ไร่)		
นครศรีธรรมราช	9,910.90	175.83	109,891	1.77	2.07
พัทลุง	3,401.81	3,246.43	2,029,019	95.43	38.26
ตรัง	4,605.53	6.68	4,174	0.15	0.08
สงขลา	7,368.88	4,201.59	2,625,993	57.02	49.52
สตูล	2,648.08	22.28	13,927	0.84	0.26
ทะเลสาบสงขลา	-	831.54	519,712	-	9.80
รวม		8,484.35	5,302,716		100.00

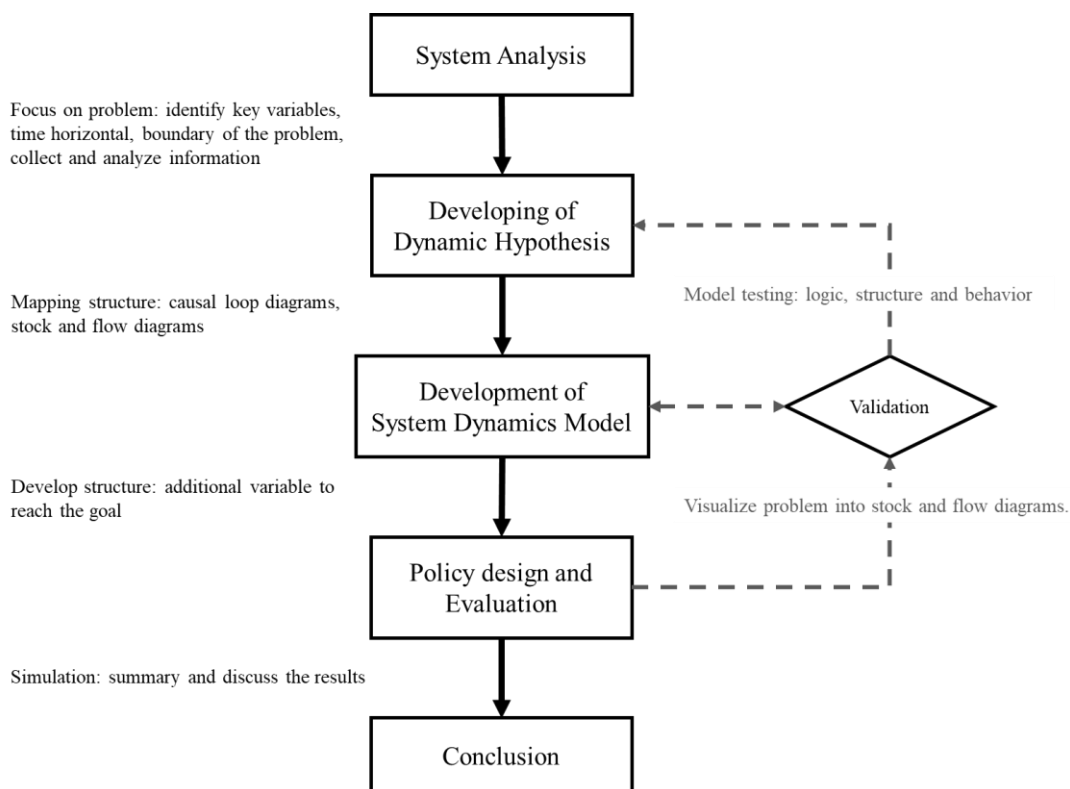
จากการทบทวนวรรณกรรมและข้อมูลที่เกี่ยวข้องเชิงพื้นที่ พบว่าการพัฒนาเครื่องมือในรูปแบบของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดการเหมืองหินที่ช่วยให้เกิดความเชื่อมโยงกันทั้งระบบ ยังมีการศึกษาไม่มาก จึงเป็นความน่าสนใจและจะเป็นประโยชน์อย่างมากหากงานวิจัยนี้สามารถพัฒนาเป็นต้นแบบจำลองเพื่อการวางแผนพัฒนาเหมืองหินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาอย่างเป็นระบบ ซึ่งจะต้องศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลในพื้นที่ศึกษาในหลายส่วน ทั้งการเปลี่ยนแปลงของประชากร ปริมาณอัตราการกำลังการผลิตหินมวลรวมก่อสร้างในพื้นที่ ปริมาณงานก่อสร้างในพื้นที่เพื่อให้ทราบความต้องการใช้หินก่อสร้างในพื้นที่ เพื่อคาดการณ์แนวโน้มและพลวัตของหินมวลรวมก่อสร้างในอนาคต อันจะนำไปสู่การวางแผนการจัดการหินก่อสร้างที่เหมาะสมต่อไป

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การพัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบจะเริ่มต้นด้วยแนวคิดสมมติฐานทั่วไปในการพิจารณาและวิเคราะห์ถึงประเด็นหรือปัญหาของการศึกษาเพื่อกำหนดขอบเขตของประเด็นศึกษา ภายใต้ขอบเขตนี้จะถูกแจกแจงพารามิเตอร์หรือตัวแปรหลักที่เป็นองค์ประกอบเกี่ยวข้องกับประเด็นศึกษา สำหรับการพัฒนาเชื่อมโยงความสัมพันธ์เชิงอิทธิพลระหว่างองค์ประกอบเหล่านั้นหรือที่เรียกว่าแผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เหตุและผล (Causal loop diagrams) ซึ่งจะช่วยในการชี้แจงและอธิบายความสัมพันธ์และผลสะท้อนเชิงอิทธิพลระหว่างตัวแปรเหล่านี้ได้ง่ายและเป็นระบบ ประกอบกับศึกษารวบรวมและวิเคราะห์ค่าข้อมูลของตัวแปรเหล่านั้น นอกจากนี้ยังเป็นพื้นฐานสำหรับการอ้างอิงพฤติกรรมหรือแนวทางในการพัฒนาและสร้างแบบจำลองพลวัตระบบในรูปแบบของ “stock and flow diagrams” ด้วยซอฟต์แวร์ที่สนับสนุนการพัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบ

แนวทางของการพัฒนาแบบจำลองพลวัตก็จะขึ้นอยู่กับการออกแบบข้อกำหนดเงื่อนไขเชิงนโยบายหรือลักษณะการประเมินของตัวแบบจำลองที่ต้องการใช้แสดงผลลัพธ์ออกมา ซึ่งการพัฒนาโครงสร้างแบบจำลองจะทำความคุ้นเคยกับการทดสอบตัวแบบจำลอง เช่น การทำงานของแบบจำลองหรือพฤติกรรมของระบบที่แสดงออกมา เพื่อให้แบบจำลองมีความถูกต้องสำหรับเป็นเครื่องมือในการสร้างสถานการณ์จำลองต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขและชุดข้อมูล โดยต้นแบบจำลองพลวัตระบบเพื่อวางแผนและพัฒนาเหมือนในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีสั้นตอนและวิธีการพัฒนาแบบจำลองดังรูปที่ 11



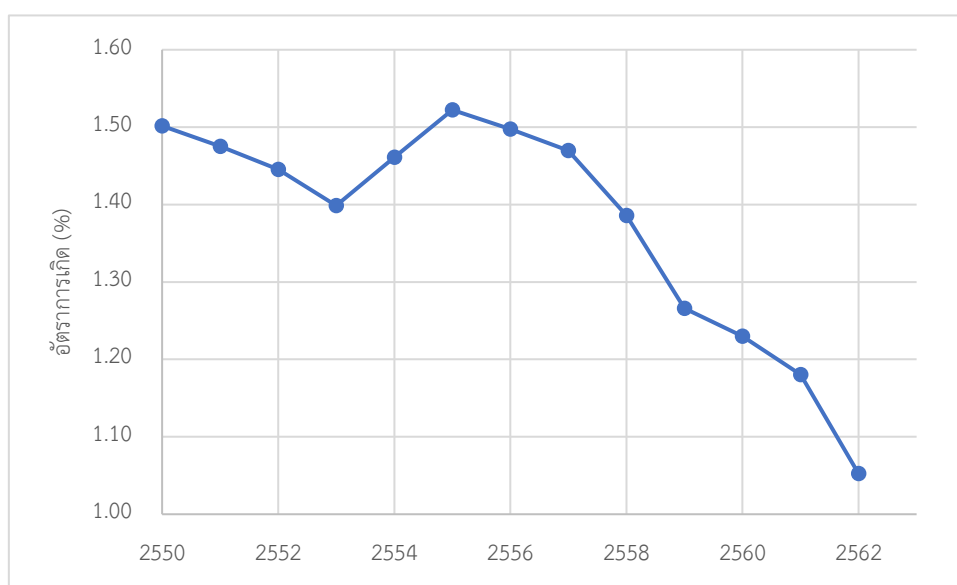
รูปที่ 11 ขั้นตอนและวิธีการพัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบ

3.1 แผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล

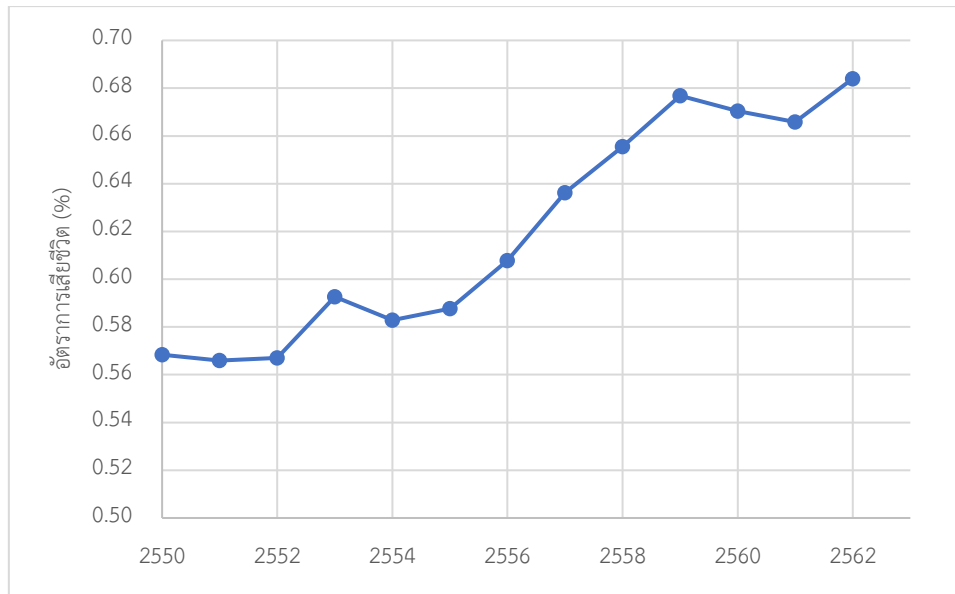
แนวคิดพื้นฐานของต้นแบบจำลองพลวัตระบบเพื่อวางแผนและพัฒนาเมืองหินในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามุ่งเป้าศึกษาพลวัตของทรัพยากรหินมวลรวมก่อสร้างเชิงพื้นที่อันเนื่องจากการพัฒนาทรัพยากรและการทำเหมืองเพื่อเป็นอุปทานหินมวลรวมก่อสร้างสนองความต้องการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ ดังนั้นภายใต้ขอบเขตของประเด็นประกอบด้วย 3 ประเด็นหลัก คือ ทรัพยากรหินมวลรวม อุปสงค์ และอุปทาน ซึ่งมีองค์ประกอบย่อยอื่นเชื่อมโยงสัมพันธ์เชิงเหตุและผลเข้าด้วยกันเป็นระบบองค์ประกอบเหล่านี้มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันเป็นระบบมันส่งผลกระทบเชิงบวกและลบต่อกัน โดยอุปสงค์เกิดจากความต้องการของมนุษย์มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและเป็นเหตุให้เกิดการลดลงของทรัพยากรหินมวลรวมผ่านการพัฒนาแหล่งทรัพยากรและการทำเหมืองเพื่อสร้างอุปทานสนองความต้องการนั้น ความสัมพันธ์เชิงระบบเหล่านี้ถูกเขียนเป็นแผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล (CLDs) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ขององค์ประกอบหลักและย่อยในระบบดังรูปที่ 12

3.2 ประชากร

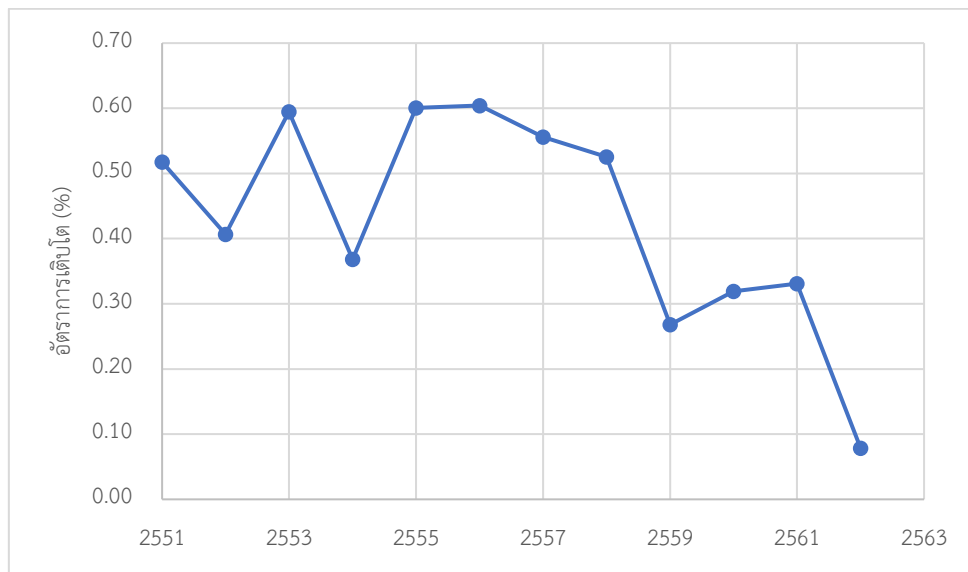
จากแนวคิดพื้นฐานทั่วไปของการใช้ประโยชน์ทรัพยากรที่หลากหลายถูกสะท้อนผ่านความต้องการประชากรมนุษย์ ข้อมูลประชากรในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งบอกถึงความต้องการใช้ที่ดินก่อสร้างในพื้นที่ นี่จึงเป็นข้อมูลที่ถูกให้ความสำคัญต่อระบบพลวัตของทรัพยากรหินมวลรวม การเปลี่ยนแปลงของประชากรประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ประการ ได้แก่ การเกิด การเสียชีวิต และการย้ายถิ่นฐานของประชากร ข้อมูลเหล่านี้ถูกใช้เพื่อการวิเคราะห์และคาดการณ์ความต้องการใช้ประโยชน์หินมวลรวมอันมาจากประชากรในพื้นที่ โดยเป็นข้อมูลที่รวบรวมจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ (ม.ป.ป.) และสำนักบริหารการทะเบียน (ม.ป.ป.) ในช่วงปี พ.ศ. 2550 ถึง 2562 ถูกวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับแบบจำลองพลวัตระบบ ประกอบด้วย อัตราการเกิดของประชากรดังรูปที่ 13 (ตารางที่ ก5) อัตราการเสียชีวิตของประชากรดังรูปที่ 14 (ตารางที่ ก6) และอัตราการเติบโตของประชากรดังรูปที่ 15 (ตารางที่ ก7)



รูปที่ 13 เส้นแนวโน้มอัตราการเกิดของประชากรในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาระหว่างปี พ.ศ. 2550-2562



รูปที่ 14 เส้นแนวโน้มอัตราการเสียชีวิตของประชากรในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาระหว่างปี พ.ศ. 2550-2562



รูปที่ 15 เส้นแนวโน้มอัตราการเติบโตของประชากรในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาระหว่างปี พ.ศ. 2551-2562

ปัจจุบันภายใต้ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ยังไม่มีการรวบรวมและเผยแพร่ข้อมูลอย่างชัดเจนเป็นทางการ ข้อมูลข้างต้นได้มาจากการรวบรวมจากข้อมูลประชากรในระดับจังหวัดและอำเภอที่อยู่ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา นี้ เนื่องด้วยเหตุนี้แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ประการ ได้แก่ การเกิด การเสียชีวิต และการย้ายถิ่นฐาน

ของประชากร แต่ข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลภายใต้ขอบเขตของจังหวัดหรืออำเภอซึ่งไม่สอดคล้องกับภาพรวมของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา การเปลี่ยนแปลงของประชากรของพื้นที่นี้จึงเลือกใช้ อัตราการเติบโตของประชากรที่วิเคราะห์จากข้อมูลจำนวนประชากรของพื้นที่ โดยพบว่ามียัตราเติบโตเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณร้อยละ 0.431 ต่อปี มีอัตราสูงสุดที่ประมาณร้อยละ 0.604 ต่อปี มีอัตราต่ำสุดที่ประมาณร้อยละ 0.079 ต่อปี และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.157 ดังตารางที่ ก8

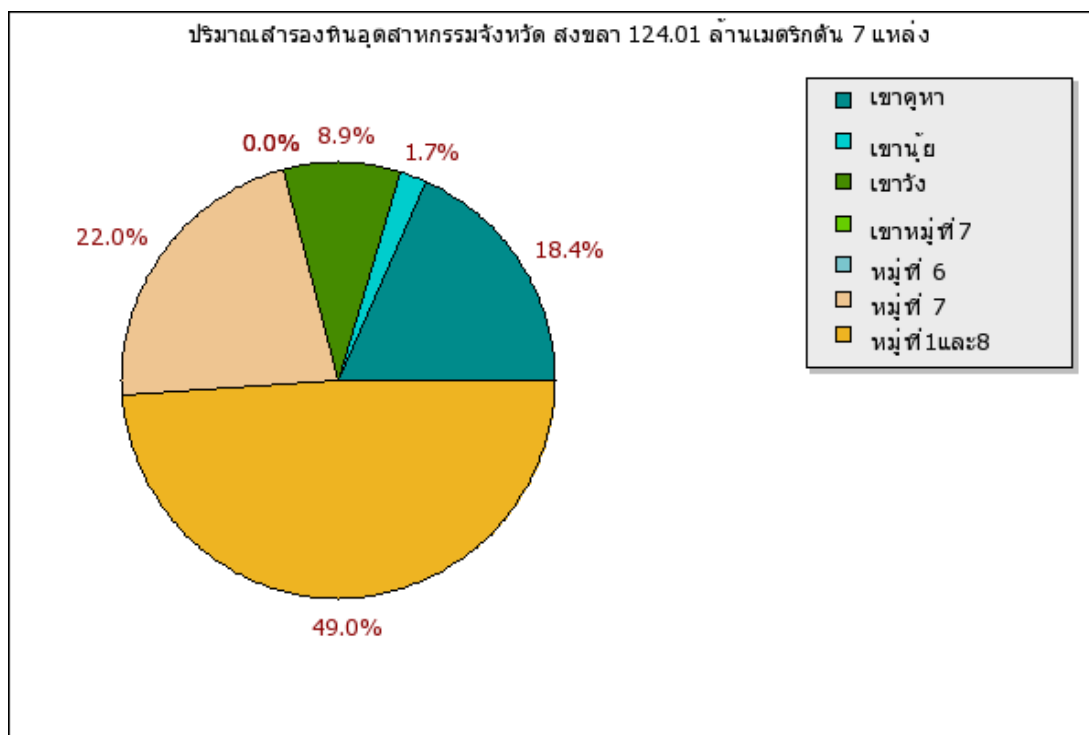
3.3 ปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรม

พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีขอบเขตพื้นที่ครอบคลุม 3 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดสงขลา จังหวัดพัทลุง และจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มาจากจังหวัดพัทลุงและจังหวัดสงขลาเป็นหลัก เนื่องจากบางส่วนของจังหวัดนครศรีธรรมราชที่อยู่พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (อำเภอหัวไทร และอำเภอชะอวด) ไม่มีแหล่งหินอุตสาหกรรม ข้อมูลจากกลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย สำนักเหมืองแร่และสัมปทาน (กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย, ม.ป.ป.) พบว่าจังหวัดสงขลามีแหล่งหินอุตสาหกรรมทั้งหมด 7 แหล่ง ซึ่งมีปริมาณสำรองดังตารางที่ 7 และคิดเป็นสัดส่วนปริมาณสำรองแต่ละแหล่งของทั้งหมดดังรูปที่ 16 ส่วนจังหวัดพัทลุงมีแหล่งหินอุตสาหกรรมอยู่ทั้งหมด 5 แหล่ง ซึ่งมีปริมาณสำรองดังตารางที่ 8 และคิดเป็นสัดส่วนปริมาณสำรองของแต่ละแหล่งของทั้งหมดดังรูปที่ 17

เมื่อพิจารณาแหล่งหินและปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมทั้งหมดพบว่าจังหวัดสงขลามีแหล่งหินอุตสาหกรรม 3 แหล่งที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและมีปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมรวมเป็น 36 ล้านเมตริกตัน ส่วนจังหวัดพัทลุงมีแหล่งหินอุตสาหกรรม 3 แหล่งอยู่ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและมีปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมรวมเป็น 72.78 ล้านเมตริกตัน นั่นคือในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีแหล่งหินอุตสาหกรรมทั้งสิ้น 6 แหล่ง และมีปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมรวมทั้งสิ้น 108.78 ล้านเมตริกตัน (ไม่รวมแหล่งหิน 2 แหล่ง ในจังหวัดพัทลุงได้แก่ เขาหวัง และเขาหินแท่น) แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 7 ปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมแต่ละแหล่งของจังหวัดสงขลา (กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย, ม.ป.ป.)

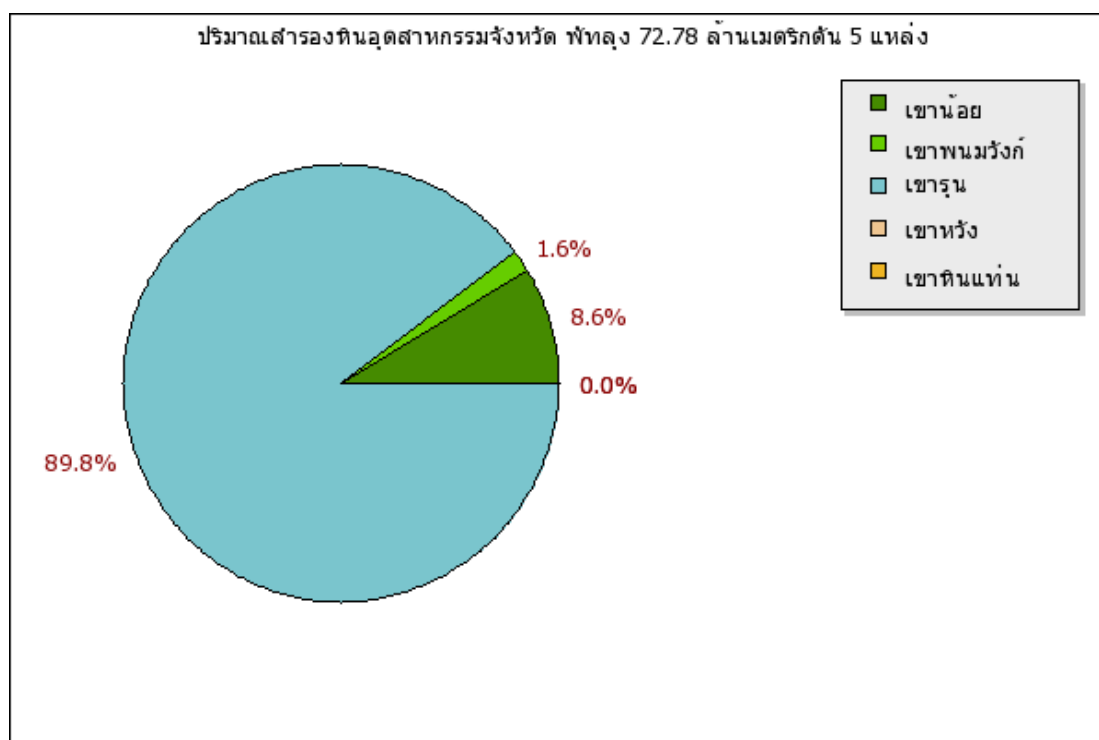
ลำดับ	ชื่อแหล่งหิน	ที่ตั้ง	พื้นที่ (ไร่)	ปริมาณสำรอง	
				ล้านเมตรกตัน	ร้อยละ
1	เขาคูหา	อ.รัตภูมิ	210	22.82	18.40
2	เขาน้อย	อ.หาดใหญ่	60	2.17	1.75
3	เขาวัง	อ.รัตภูมิ	60	11.01	8.88
4	เขาหมู่ที่ 7	อ.เทพา	0	0 (ที่ดินกรรมสิทธิ์)	
5	หมู่ที่ 6	อ.จะนะ	0	0 (ที่ดินกรรมสิทธิ์)	
6	หมู่ที่ 7	อ.จะนะ	235	27.30	22.01
7	หมู่ที่ 1 และ 8	อ.จะนะ	1,100	60.71	48.96
รวม			1,665	124.01	100



รูปที่ 16 สัดส่วนปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมของจังหวัดสงขลา (กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย, ม.ป.ป.)

ตารางที่ 8 ปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมแต่ละแหล่งของจังหวัดพัทลุง (กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย, ม.ป.ป.)

ลำดับ	ชื่อแหล่งหิน	ที่ตั้ง	พื้นที่ (ไร่)	ปริมาณสำรอง	
				ล้านเมตริกตัน	ร้อยละ
1	เขาน้อย	อ.ตะโหมด	68	6.25	8.59
2	เขาพนมวังก์	อ.ควนขนุน	20	1.20	1.65
3	เขารูน	อ.ควนขนุน	170	65.33	89.76
4	เขาหวัง	อ.กงหรา	200	0 (เตรียมเสนอยกเลิก)	
5	เขาหินแท่น	อ.เมือง	20	0 (เตรียมเสนอยกเลิก)	
รวม			478	72.78	100



รูปที่ 17 สัดส่วนปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมของจังหวัดพัทลุง (กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย, ม.ป.ป.)

ตารางที่ 9 ปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ลำดับ	ชื่อแหล่งหิน	ที่ตั้ง	พื้นที่ (ไร่)	ปริมาณสำรอง	
				ล้านเมตริกตัน	ร้อยละ
1	เขาน้อย	อ.ตะโหมด	68	6.25	5.75
2	เขาพนมวังก	อ.ควนขนุน	20	1.20	1.10
3	เขารูน	อ.ควนขนุน	170	65.33	60.06
4	เขาคูหา	อ.รัตภูมิ	210	22.82	20.98
5	เขาน้อย	อ.หาดใหญ่	60	2.17	1.99
6	เขาวัง	อ.รัตภูมิ	60	11.01	10.12
รวม			588	108.78	100.00

3.4 กำลังการผลิตหินอุตสาหกรรม

ปัจจุบันภายใต้ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีประทานบัตรดำเนินการเหมืองหินอุตสาหกรรมที่มีอายุอยู่ทั้งสิ้น 2 แห่ง ได้แก่ หจก.ภคณศิลาพร และ บจก.เขابخันไตนางศิลา ซึ่งหากมองย้อนไปช่วงเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมาจะพบว่าเดิมมีประทานบัตรที่ดำเนินการเหมืองหินเพื่ออุตสาหกรรมอยู่ทั้งสิ้น 5 แห่ง และได้สิ้นอายุลงไปแล้ว ได้แก่ หจก.ไทยพาณิชย์ค้าไม้ (สิ้นอายุ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2563) บจก.เขาแดงคอนสตรัคชั่น (สิ้นอายุ 10 เมษายน พ.ศ. 2564) และ บจก.ศิลาชัยหาดใหญ่ (สิ้นอายุ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2562) ประกอบกับประกาศอุตสาหกรรมพื้นฐานและงานเหมืองแร่ เรื่อง หลักเกณฑ์และแนวทางการประเมินความคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจสำหรับการอนุญาตประทานบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561 ซึ่งมีเกณฑ์กำหนดอัตราการผลิตแร่ขั้นต่ำต่อปีที่คุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ โดยหินอุตสาหกรรมชนิดหินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างมีอัตราการผลิตขั้นต่ำอยู่ที่ 400,000 เมตริกตันต่อปี รวมถึงหินอุตสาหกรรมชนิดอื่นๆ ที่มีเกณฑ์อัตราการผลิตขั้นต่ำตั้งแต่ 200,000 ถึง 400,000 เมตริกตันต่อปี (ยกเว้นหินอุตสาหกรรมชนิดเพอร์ไลต์ที่มีอัตราการผลิตขั้นต่ำ 35,000 เมตริกตันต่อปี) เมื่อมองภาพรวมจากประทานบัตร 5 แห่งเดิมนี้นี้ ประทานบัตรแต่ละแห่งล้วนมีอัตราการผลิตต่ำกว่าเกณฑ์อัตราการผลิตขั้นต่ำต่อปีที่คุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ (ยกเว้น บจก.เขابخันไตนางศิลา) โดยแต่ละประทานบัตรมีตำแหน่งที่ตั้งแสดงดังรูปที่ 18

สิ่งเหล่านี้เป็นข้อสังเกตว่าประทานบัตรเดิม 3 แปลงที่สิ้นอายุในช่วงของการประกาศหลักเกณฑ์ความคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจนี้ จนทำให้เดิมประทานบัตร 5 แปลง เหลือประทานบัตรเพียง

2 แปลง ที่ยังดำเนินการอยู่จนถึงปัจจุบัน เนื่องจากประธานบัตร์เหล่านั้นไม่มีศักยภาพพอที่จะยกระดับอัตราการผลิตให้เข้าหลักเกณฑ์หรือไม่ ซึ่งมันส่งผลให้ศักยภาพในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาแตกต่างกัน โดยเหมืองแต่ละแห่งมีปริมาณสำรองหินและอัตราการผลิตตามแผนผังโครงการดังตารางที่ 10 แต่ในการดำเนินงานจริงคงเป็นเรื่องยากที่แต่ละประธานบัตร์จะสามารถสร้างผลผลิตเป็นไปตามกำลังผลิตที่ได้ขออนุญาตไว้ตามแผนผังโครงการทำเหมืองเนื่องด้วยสาเหตุต่างๆ สำหรับอัตราการผลิตที่ดำเนินการจริงของแต่ละประธานบัตร์นั้น สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เขต 1 สงขลา ได้เก็บรวบรวมข้อมูลอัตราการผลิตรายเดือนและรายปี (ผนวก ก ตารางที่ 26ก-31ก)

ตารางที่ 10 อัตราการผลิตหินอุตสาหกรรมของประธานบัตร์ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาตามแผนผังโครงการ

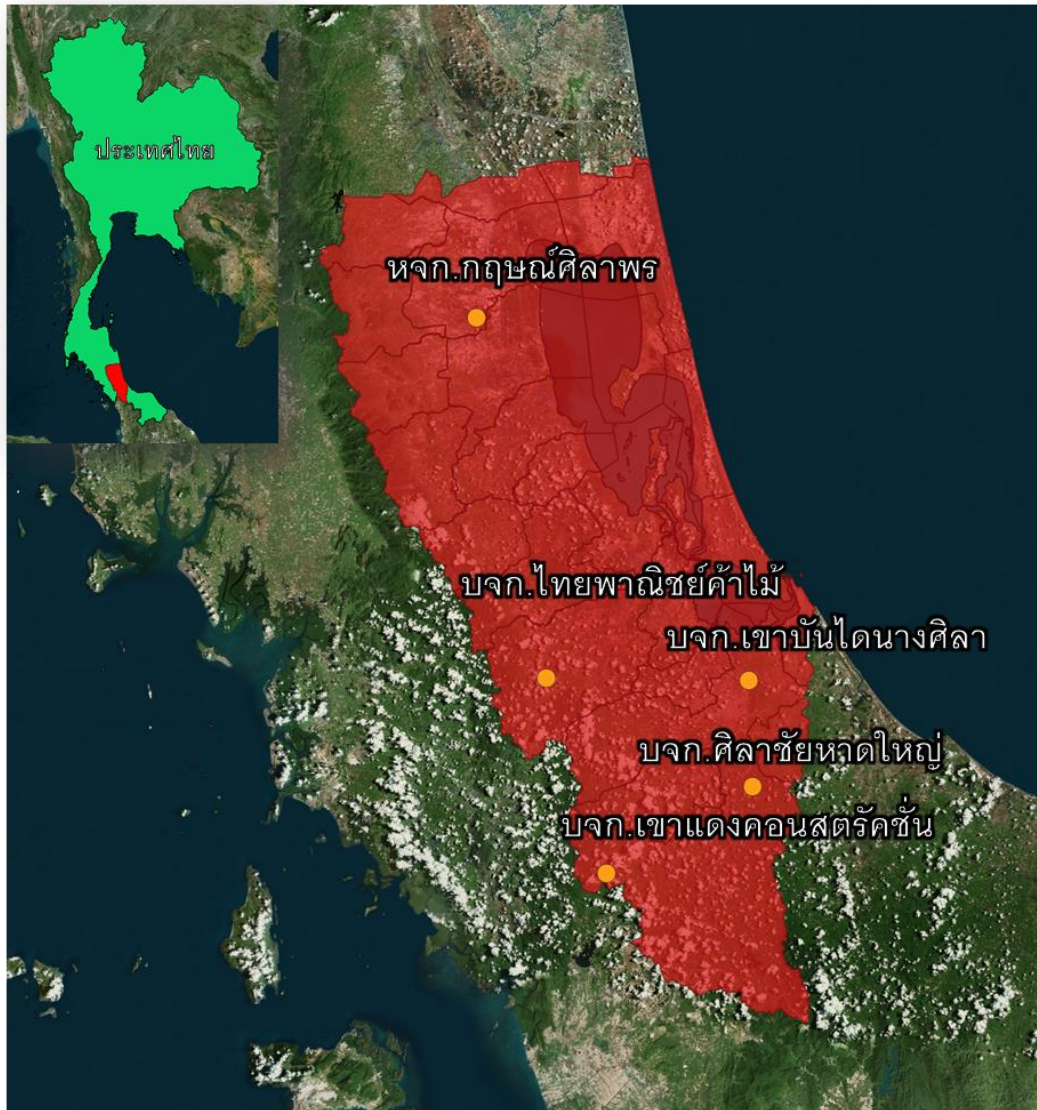
ลำดับ	ผู้ถือประธานบัตร์	กำลังการผลิต (เมตรตัน/ปี)	ปริมาณสำรอง (เมตรตัน)	อายุ (ปี)	ปีสิ้นสุด (ปี พ.ศ.)
1	หจก. ไทยพาณิชย์ค้าไม้	170,000	5,320,200	20	2563
2	บจก. เขาแดงคอนสตรัคชั่น	310,000	3,019,000	10	2564
3	บจก. เขابันไดนางศิลา	400,000	3,736,400	13	2573
4	หจก. กฤษณ์ศิลาพร	400,000	2,890,000	10	2566
5	บจก. ศิลาชัยหาดใหญ่	400,000	1,738,000	10	2562
รวม		1,930,000	16,703,600		

โดยส่วนใหญ่หินมวลรวมที่ถูกใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างล้วนได้มาจากการเหมืองหินอุตสาหกรรม ซึ่งปัจจุบันมีการใช้หินมวลรวมที่ได้จากการรีไซเคิลของเสียคอนกรีตสิ่งก่อสร้างอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นส่วนเสริม ซึ่งเป็นของเสียที่ได้จากการก่อสร้างและรื้อถอนสิ่งก่อสร้าง ถูกเรียกว่า “หินมวลรวมจากการรีไซเคิลคอนกรีต” (Recycled concrete aggregate, RCA) แต่ก็ยังถือว่าเป็นส่วนน้อยและเรื่องใหม่สำหรับบางประเทศเนื่องด้วยเหตุผลทางประสิทธิภาพระหว่างหินมวลรวมรีไซเคิลและจากการทำเหมือง เทคโนโลยี หรือปัญหาเชิงนโยบาย โดยเฉพาะประเทศไทยที่ยังขาดการผลักดันนโยบายด้านนี้ (Chual et al., 2017; Tanginthai et al., 2019) ช่วงปี พ.ศ. 2545-2548 ประเทศไทยมีของเสียจากการก่อสร้างและการรื้อถอน (Construction and Demolition waste, C&D waste) ประมาณ 12.2, 17.7, 21.5, และ 19.7 กิโลกรัมต่อประชากรตามลำดับ โดยทั่วไปของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนมีสัดส่วนเป็นคอนกรีตประมาณร้อยละ 46

โดยน้ำหนักจากของเสียทั้งหมด ซึ่งมีองค์ประกอบของเสียแต่ละประเภทดังตารางที่ 11 (Kofoworola, & Gheewala, 2009) การรีไซเคิลของเสียคอนกรีตแต่ละภูมิภาคทั่วโลกมีอัตราการกู้คืน (recovery rate) ที่แตกต่างกัน โดยยุโรปมีการอัตราการกู้คืนของเสียคอนกรีตจากการก่อสร้างและรื้อถอนประมาณร้อยละ 30, ประเทศสหรัฐอเมริกาประมาณร้อยละ 82 และประเทศญี่ปุ่นประมาณร้อยละ 80 และมีอุปสรรคในการปรับปรุงยกระดับอัตราการกู้คืนนี้แตกต่างกันไปตามภูมิภาค ข้อมูลอัตราของการรีไซเคิลของเสียนี้ในหลายประเทศยังขาดข้อมูลและเผยแพร่ข้อมูลเหล่านี้ อยู่โดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนา (World business council for sustainable development, 2009) ประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2543 มีการรีไซเคิลของเพียงประมาณร้อยละ 7 ซึ่งถือว่าม้อตราที่ต่ำมาก (Kofoworola และ Gheewala, 2009) โดยหिनมวบรวมจากคอนกรีตรีไซเคิลสามารถรีไซเคิลได้จากของเสียคอนกรีตประมาณร้อยละ 70 หรือมากกว่าโดยน้ำหนักทั้งหมด (Pavlu, 2018)

ตารางที่ 11 สัดส่วนองค์ประกอบของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนของประเทศไทย ช่วงปี พ.ศ. 2545-2548 (Kofoworola, & Gheewala, 2009)

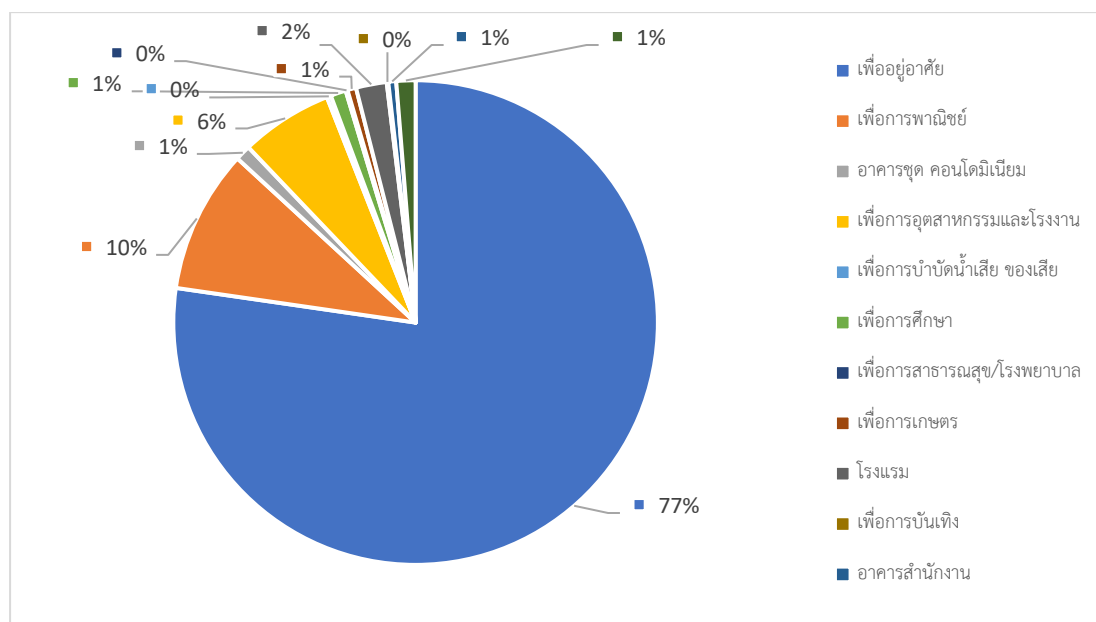
No	Material	(10 ³) tons				Average (%)
		2002	2003	2004	2005	
1	Asbestos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Hazardous waste	1.8	2.6	3.2	2.9	0.0
3	Concrete/bricks	354.8	517.2	634.1	586.7	46.0
4	Gypsum	48.4	70.6	86.5	80.1	6.0
5	Glass	3.6	5.3	6.5	6.0	0.0
6	Insulation/EPS	14.5	21.1	25.9	24.0	2.0
7	Metal	10.2	14.9	18.3	16.9	1.0
8	Paper/cardboard/plastics	34.9	50.8	62.3	57.6	5.0
9	Wood	105.9	154.4	189.2	175.1	14.0
10	Unknown composition	200.6	292.4	358.4	331.6	26.0



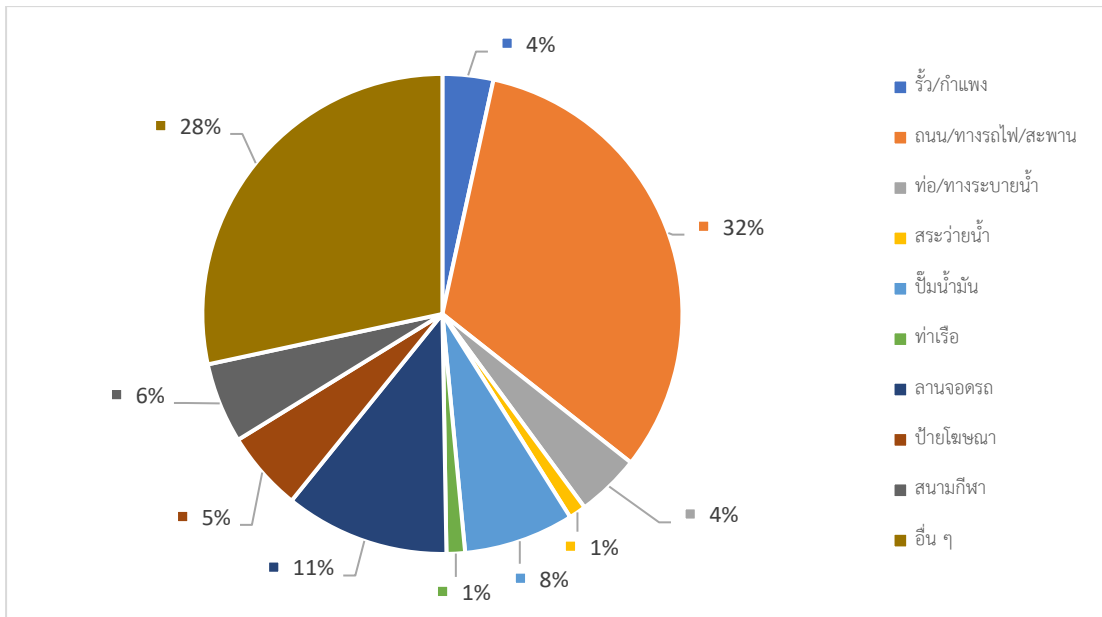
รูปที่ 18 ตำแหน่งที่ตั้งประธานบวรเมืองหินอุตสาหกรรมที่เปิดดำเนินการในกลุ่มน้ำ
ทะเลสาบสงขลา

3.5 ความต้องการใช้ประโยชน์หินอุตสาหกรรม

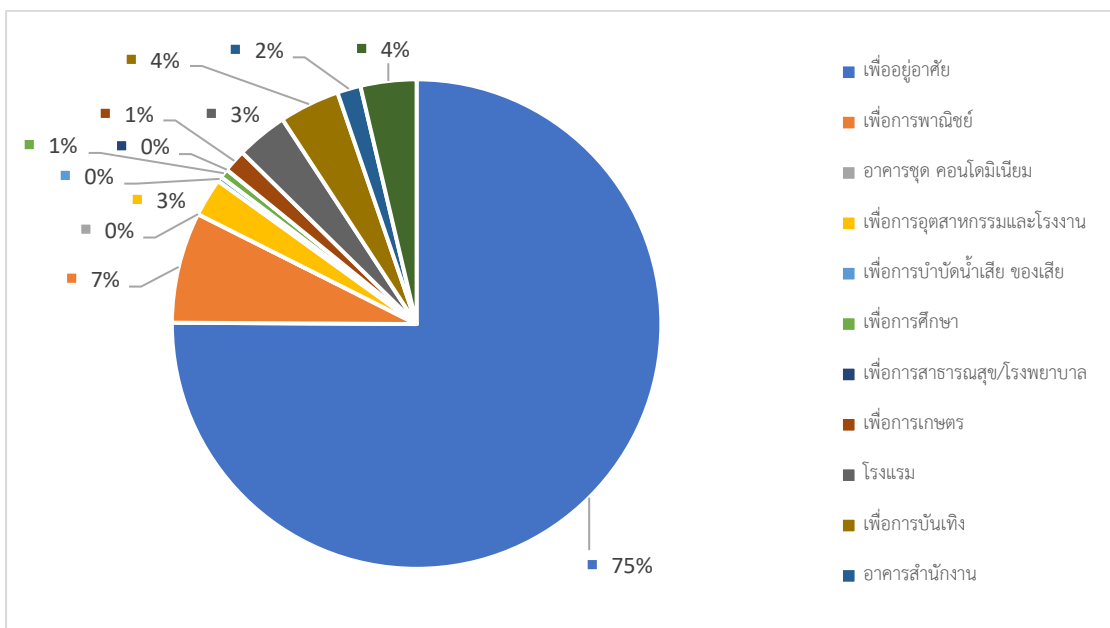
หินอุตสาหกรรมถูกใช้ในการดำเนินกิจกรรมของสังคมมนุษย์ นั่นคือ เป็นวัตถุดิบหลักที่สำคัญสำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ เพื่อสนองความต้องการของมนุษย์ พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่มีขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมพื้นที่สามจังหวัด ได้แก่ จังหวัดสงขลา จังหวัดพัทลุง และจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยในช่วงปี พ.ศ. 2550 ถึง 2562 มีงานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารหลากหลายประเภท โดยจังหวัดสงขลามีค่าเฉลี่ยสัดส่วนงานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารแต่ละประเภทแสดงดังรูปที่ 19 และรูปที่ 20 จะเห็นว่างานก่อสร้างอาคารส่วนใหญ่เป็นงานก่อสร้างเพื่ออยู่อาศัยคิดเป็นร้อยละ 77 และงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารเป็นงานก่อสร้างถนน ทางรถไฟ และสะพานคิดเป็นร้อยละ 32 และอื่นๆ อีกกว่าร้อยละ 28 สำหรับจังหวัดพัทลุงมีค่าเฉลี่ยสัดส่วนงานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารแต่ละประเภทดังรูปที่ 21 และรูปที่ 22 จะเห็นว่างานก่อสร้างอาคารส่วนใหญ่เป็นงานก่อสร้างอาคารเพื่ออยู่อาศัยคิดเป็นร้อยละ 75 และงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารเป็นงานก่อสร้างถนน สะพาน และทางรถไฟคิดเป็นร้อยละ 89 และสำหรับจังหวัดนครศรีธรรมราชมีค่าเฉลี่ยสัดส่วนงานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารแต่ละประเภทดังรูปที่ 23 และรูปที่ 24 จะเห็นว่างานก่อสร้างอาคารส่วนใหญ่เป็นงานก่อสร้างเพื่ออยู่อาศัยคิดเป็นร้อยละ 78 และงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารเป็นงานก่อสร้างถนน สะพาน และทางรถไฟคิดเป็นร้อยละ 45 และอื่นๆ อีกร้อยละ 31



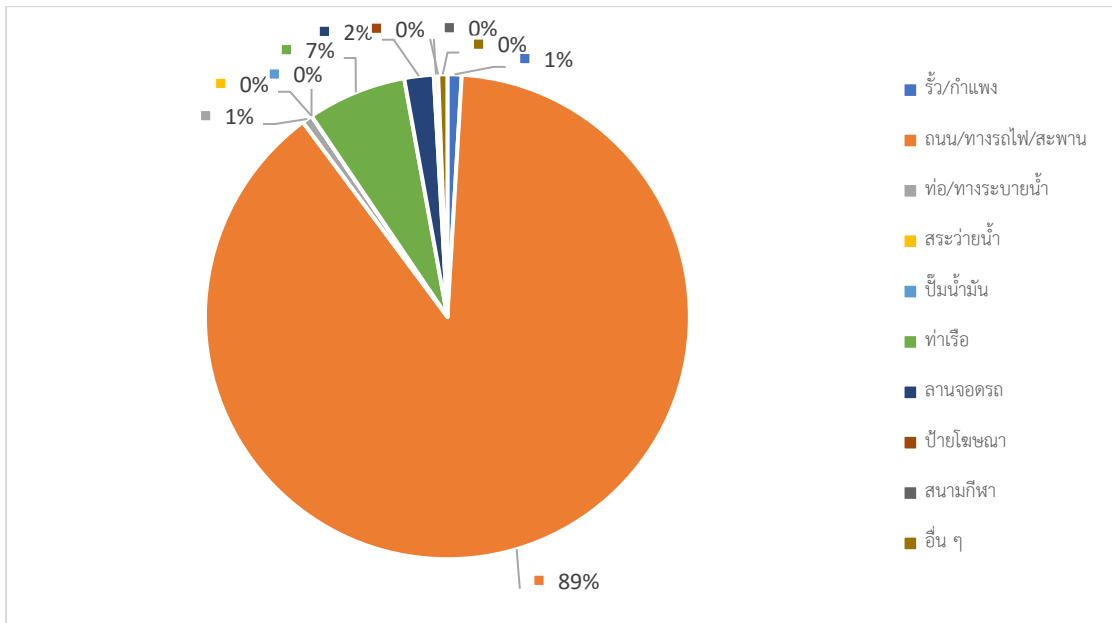
รูปที่ 19 สัดส่วนงานก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของจังหวัดสงขลาช่วงปี พ.ศ. 2550-2562



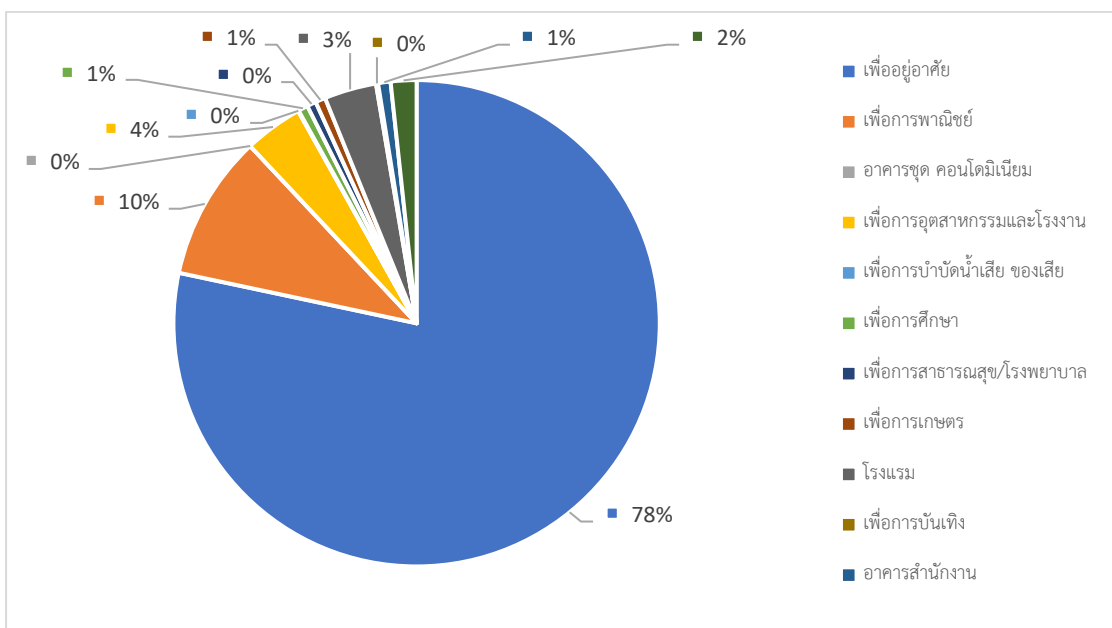
รูปที่ 20 สัดส่วนงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของจังหวัดสงขลาช่วงปี พ.ศ. 2550-2562



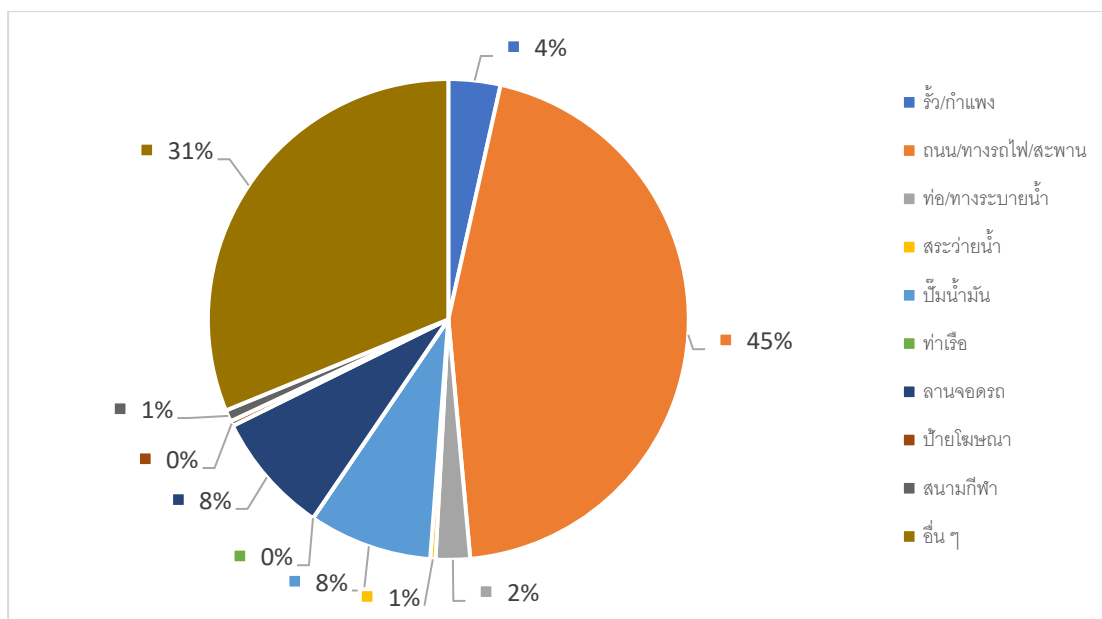
รูปที่ 21 สัดส่วนงานก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของจังหวัดพัทลุงช่วงปี พ.ศ. 2550-2562



รูปที่ 22 สัดส่วนงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของจังหวัดพัทลุงช่วงปี พ.ศ. 2550-2562

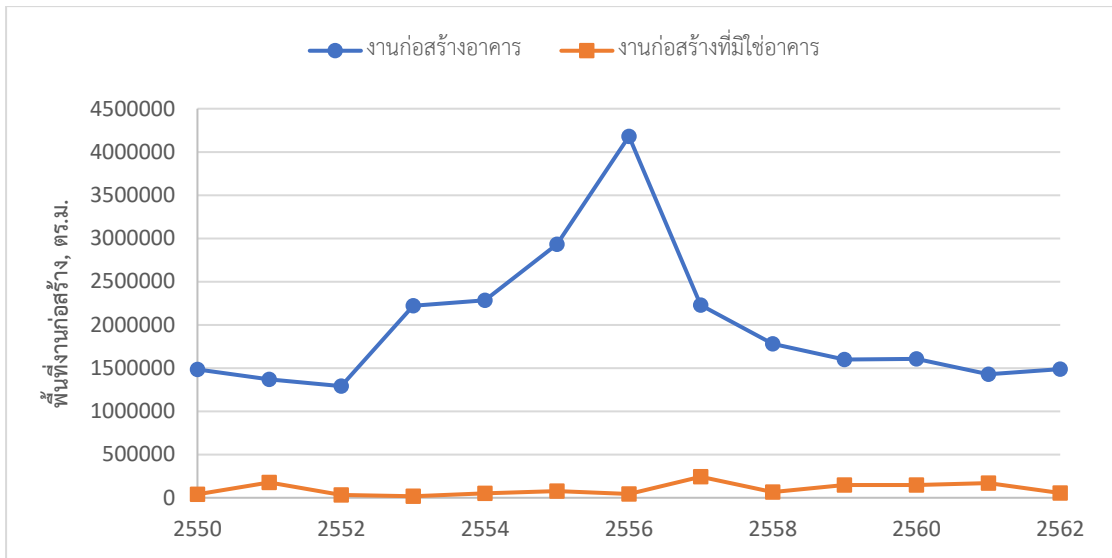


รูปที่ 23 สัดส่วนงานก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของจังหวัดนครศรีธรรมราชช่วงปี พ.ศ. 2550-2562

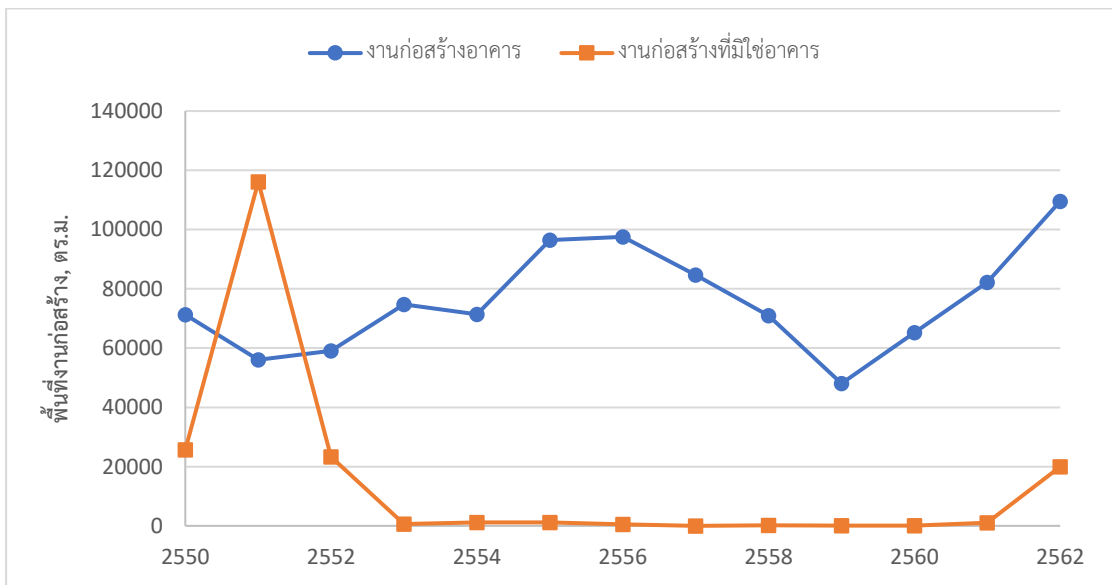


รูปที่ 24 สัดส่วนงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของจังหวัดนครศรีธรรมราชช่วงปี พ.ศ. 2550-2562

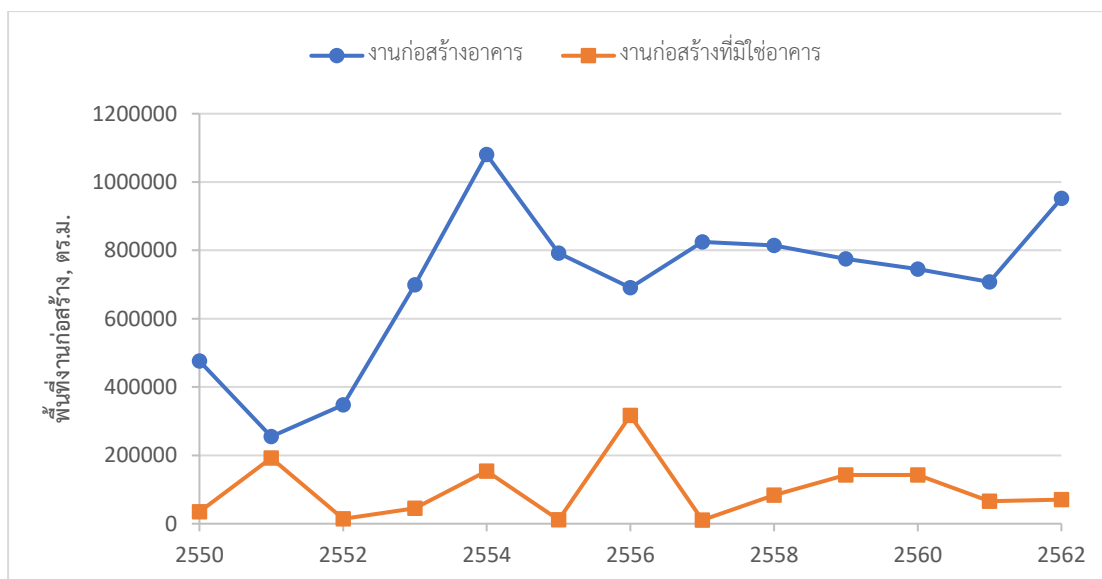
หากมองภาพรวมจังหวัดสงขลามีงานก่อสร้างอาคารเป็นส่วนใหญ่มื่อเทียบกับงานก่อสร้างที่มีใช้อาคาร โดยมีงานก่อสร้างอาคารเฉลี่ยประมาณ 2 ล้านตารางเมตร ช่วงปี พ.ศ. 2556 มีพื้นที่งานก่อสร้างสูงถึงประมาณ 4 ล้านตารางเมตร ดังรูปที่ 25 โดยกว่า 3.6 ล้านตารางเมตรเป็นงานก่อสร้างเพื่ออยู่อาศัย (ตารางที่ ก11 และ ก18) สำหรับจังหวัดพัทลุงมีงานก่อสร้างอาคารเฉลี่ยประมาณ 0.08 ล้านตารางเมตร และงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารจากปี พ.ศ. 2551 มีสูงถึงประมาณ 0.11 ล้านตารางเมตร แต่หลังจากนั้นแทบไม่มีงานก่อสร้างเกิดขึ้นเลย รูปที่ 26 (ตารางที่ ก10 และ ก17) ส่วนสำหรับจังหวัดนครศรีธรรมราชมีงานก่อสร้างอาคารเฉลี่ยประมาณ 0.7 ล้านตารางเมตร และงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารมีงานก่อสร้างเฉลี่ยประมาณ 0.1 ล้านตารางเมตร ดังรูปที่ 27 (ตารางที่ ก9 และ ก16)



รูปที่ 25 พื้นที่งานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารของจังหวัดสงขลาช่วงปี พ.ศ. 2550-2562



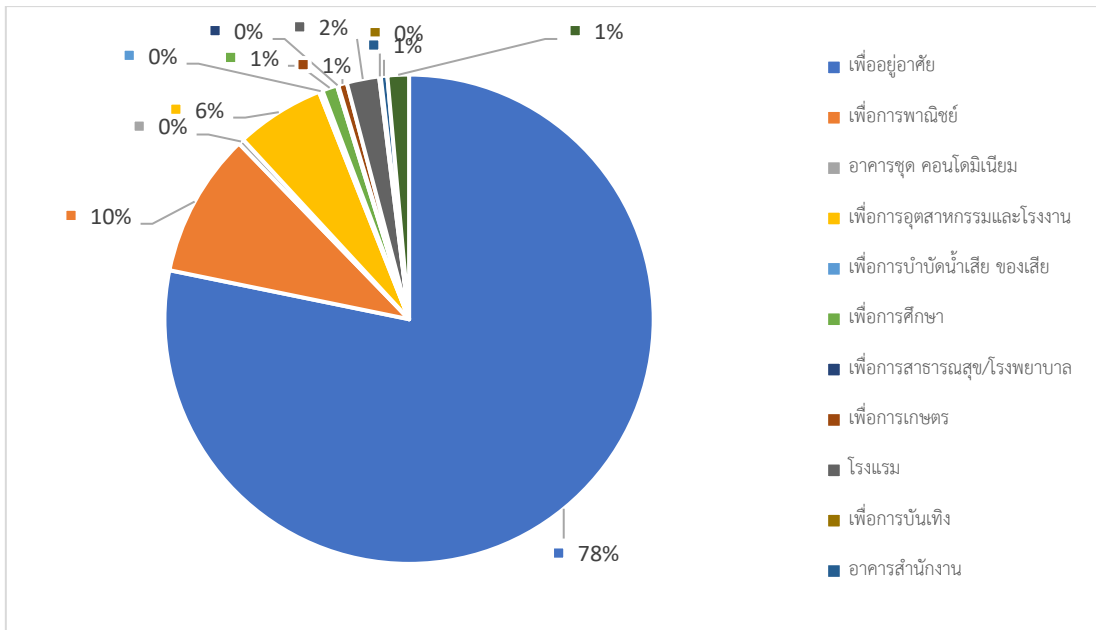
รูปที่ 26 พื้นที่งานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารของจังหวัดพัทลุงช่วงปี พ.ศ. 2550-2562



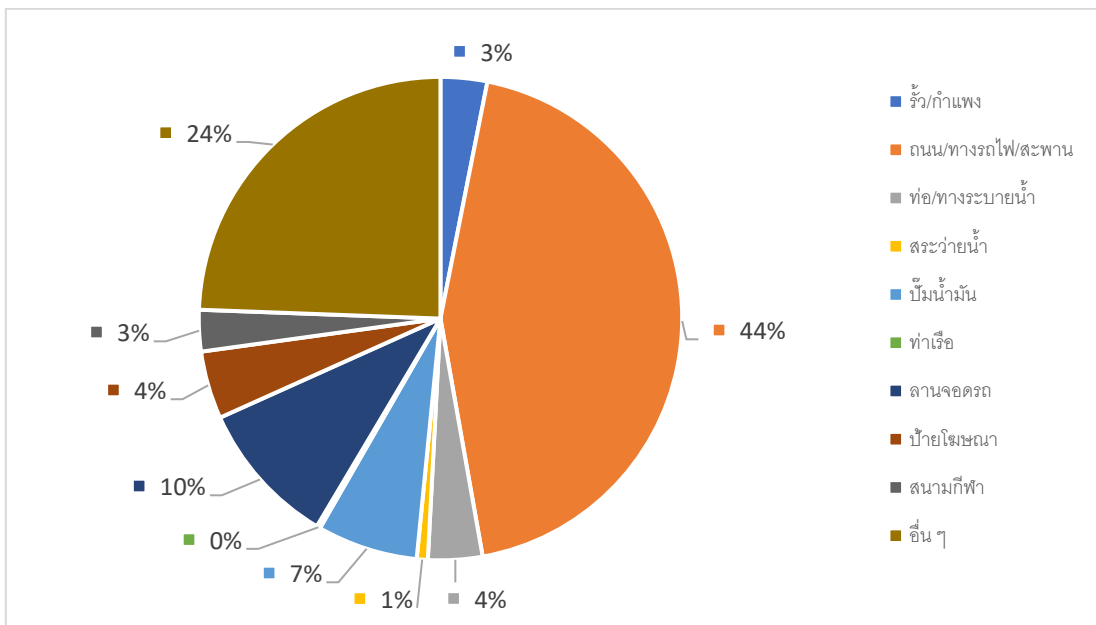
รูปที่ 27 พื้นที่งานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารของจังหวัดนครศรีธรรมราชช่วงปี พ.ศ. 2550-2562

โดยสรุปประเภทของงานก่อสร้างส่วนใหญ่ทั้งของจังหวัดสงขลา จังหวัดพัทลุง และจังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นงานก่อสร้างเพื่ออยู่อาศัยสำหรับงานก่อสร้างอาคารคิดเป็นร้อยละ 77, 75, และ 78 ตามลำดับ และเป็นงานก่อสร้างถนน สะพาน และทางรถไฟสำหรับงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารคิดเป็นร้อยละ 32, 89, และ 45 ตามลำดับ

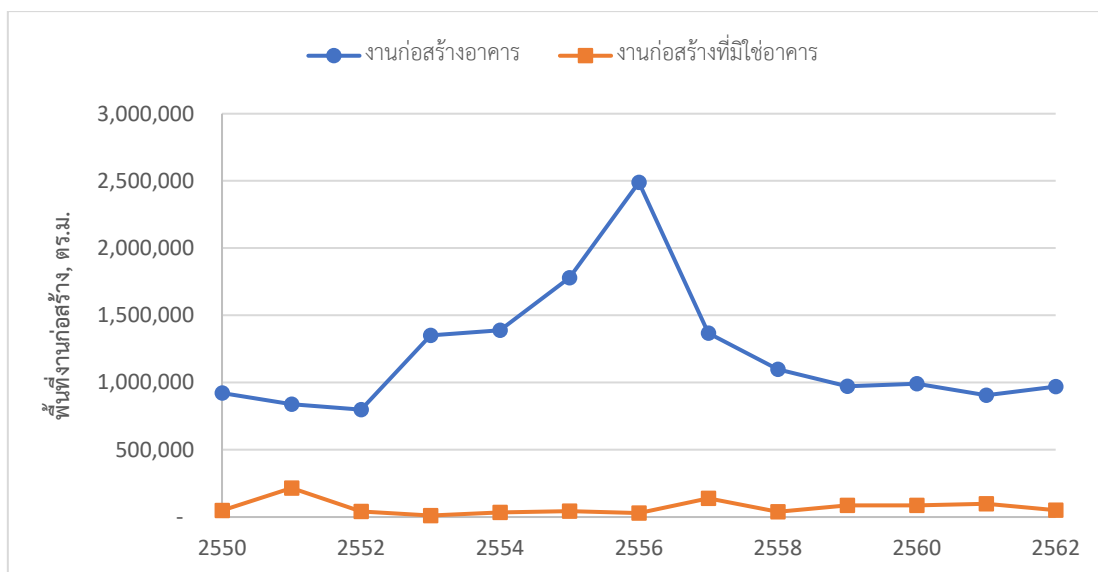
เนื่องด้วยภายใต้ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาไม่มีการศึกษาและเผยแพร่อย่างเป็นทางการ จึงมีความจำเป็นต้องแปลงข้อมูลจากขอบเขตพื้นที่ของทั้งสามจังหวัดที่อยู่ภายใต้ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยใช้วิธีการเทียบสัดส่วนพื้นที่แต่ละจังหวัดจากตารางที่ 6 โดยมีค่าเฉลี่ยสัดส่วนงานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารแต่ละประเภทของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ดังรูปที่ 28 และรูปที่ 29 จะเห็นว่างานก่อสร้างอาคารส่วนใหญ่เป็นงานก่อสร้างเพื่ออยู่อาศัยคิดเป็นร้อยละ 78 และงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารเป็นงานก่อสร้างถนน สะพาน และทางรถไฟคิดเป็นร้อยละ 44 ในภาพรวมของพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นงานก่อสร้างอาคารเมื่อเทียบกับงานก่อสร้างที่มีใช้อาคาร พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีงานก่อสร้างอาคารเฉลี่ยประมาณ 1.2 ล้านตารางเมตร โดยช่วงปี พ.ศ. 2556 มีปริมาณงานก่อสร้างสูงถึงประมาณ 2.5 ล้านตารางเมตร และมีงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารเฉลี่ยประมาณ 0.07 ล้านตารางเมตร ดังรูปที่ 30 (ตารางที่ ก19 และ ก20)



รูปที่ 28 สัดส่วนงานก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาช่วงปี พ.ศ. 2550-2562



รูปที่ 29 สัดส่วนงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ โดยเฉลี่ยของกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาช่วงปี พ.ศ. 2550-2562



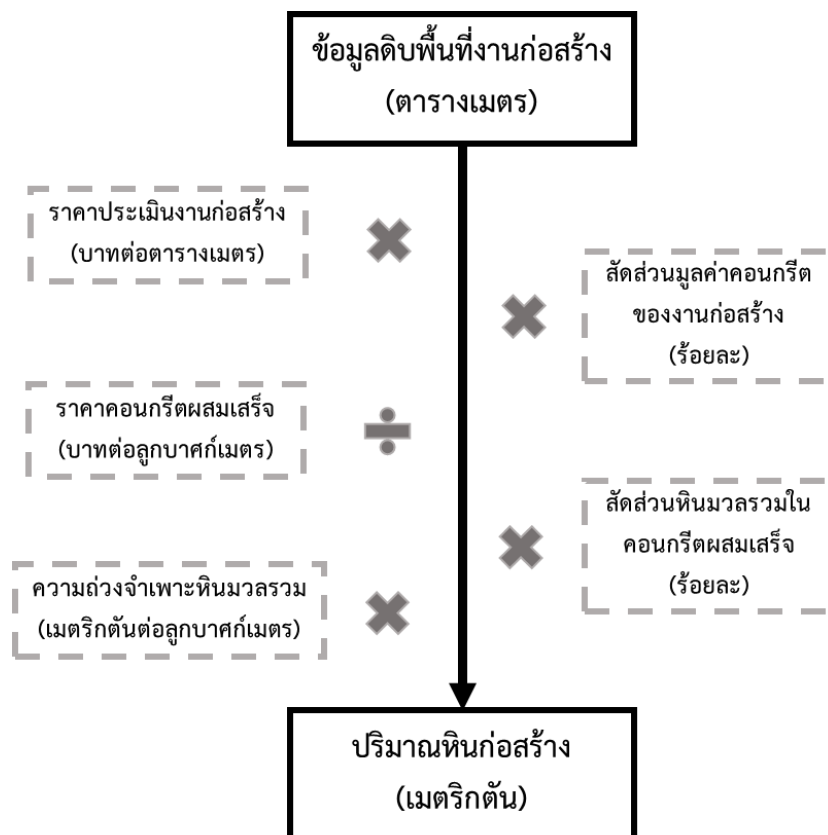
รูปที่ 30 พื้นที่งานก่อสร้างอาคารและที่มีใ้อาคารของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาช่วงปี พ.ศ. 2550-2562

พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีพื้นที่งานก่อสร้างอาคารและงานก่อสร้างที่มีใ้อาคารที่เกิดขึ้นเป็นค่าทางสถิติช่วงปี พ.ศ. 2550-2562 โดยงานก่อสร้างอาคารมีงานก่อสร้างเกิดขึ้นสูงสุดประมาณ 2.48 ล้านตารางเมตร เฉลี่ยประมาณ 1.22 ล้านตารางเมตร และต่ำสุดประมาณ 0.79 ล้านตารางเมตร และงานก่อสร้างที่มีใ้อาคารมีงานก่อสร้างเกิดขึ้นสูงสุดประมาณ 0.21 ล้านตารางเมตร เฉลี่ยประมาณ 0.07 ล้านตารางเมตร และต่ำสุดประมาณ 0.01 ล้านตารางเมตร แสดงดังตารางที่ 12

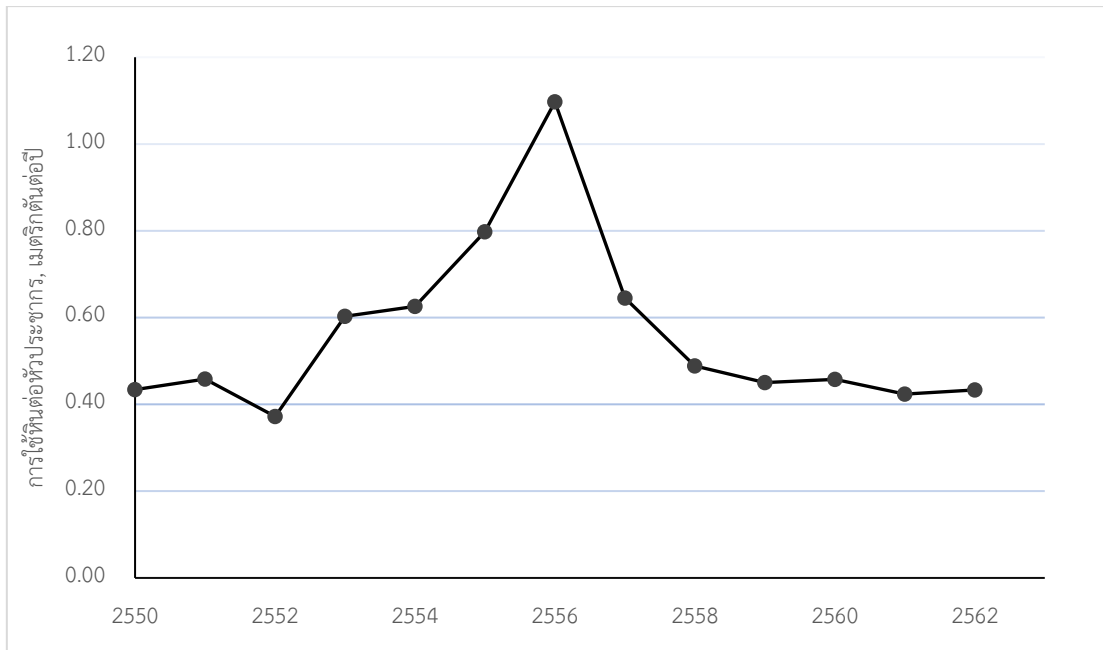
ตารางที่ 12 ค่าทางสถิติพื้นที่งานก่อสร้างอาคารและที่มีใ้อาคารของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

งานก่อสร้าง	พื้นที่งานก่อสร้าง (ตารางเมตร)			เบี่ยงเบนมาตรฐาน
	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	
อาคาร	2,488,751	1,220,812	798,820	473,485
มีใ้อาคาร	215,977	71,505	11,368	55,420

ปัจจุบันข้อมูลความต้องการใช้ประโยชน์หินอุตสาหกรรมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลายังไม่มี การศึกษาและเผยแพร่อย่างเป็นทางการที่แน่ชัด การได้มาซึ่งข้อมูลความต้องการใช้ประโยชน์หิน อุตสาหกรรมในเชิงปริมาณของพื้นที่นี้เพื่อนำไปใช้เป็นค่าอินพุตในแบบจำลองพลวัตระบบ เบื้องต้น สามารถใช้วิธีการประมาณจากการแปลงข้อมูลพื้นที่งานก่อสร้างประเภทต่างๆ ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำ ทะเลสาบสงขลา (ตารางเมตร) ซึ่งเผยแพร่โดยสำนักงานสถิติแห่งชาติมาเป็นปริมาณหินอุตสาหกรรม ที่ใช้ประโยชน์ในหน่วยเมตริกตันหิน โดยขั้นตอนและแพ็คเกจที่เกี่ยวข้องแสดงดังรูปที่ 31 ซึ่งแสดง รายละเอียดของแพ็คเกจและตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ก และมีค่าแพ็คเกจของการแปลง พื้นที่งานก่อสร้างหน่วยตารางเมตรเป็นหน่วยเมตริกตันหินก่อสร้างสำหรับงานก่อสร้างอาคารมี ค่าประมาณ 0.87 เมตริกตันต่อตารางเมตร และงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารประมาณ 0.75 เมตริกตันต่อ ตารางเมตร



รูปที่ 31 แพ็คเกจและขั้นตอนการแปลงหน่วยพื้นที่ก่อสร้างเป็นหน่วยตันหินก่อสร้าง



รูปที่ 32 ค่าการใช้ไฟฟ้าก่อสร้างต่อหัวประชากรของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

โดยเมื่อวิเคราะห์ปริมาณไฟฟ้าก่อสร้างที่ถูกใช้ประโยชน์ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ร่วมกับข้อมูลจำนวนประชากร ในช่วงปี พ.ศ. 2550 ถึง 2562 พบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่มีการใช้ไฟฟ้าก่อสร้างต่อหัวประชากรโดยเฉลี่ยประมาณ 0.56 เมตริกตันต่อปี และมีการใช้ไฟฟ้าก่อสร้างสูงสุดอยู่ที่ 1.10 เมตริกตันต่อปี และมีการใช้ไฟฟ้าก่อสร้างต่ำสุดอยู่ที่ 0.37 เมตริกตันต่อปี (รูปที่ 32)

บทที่ 4

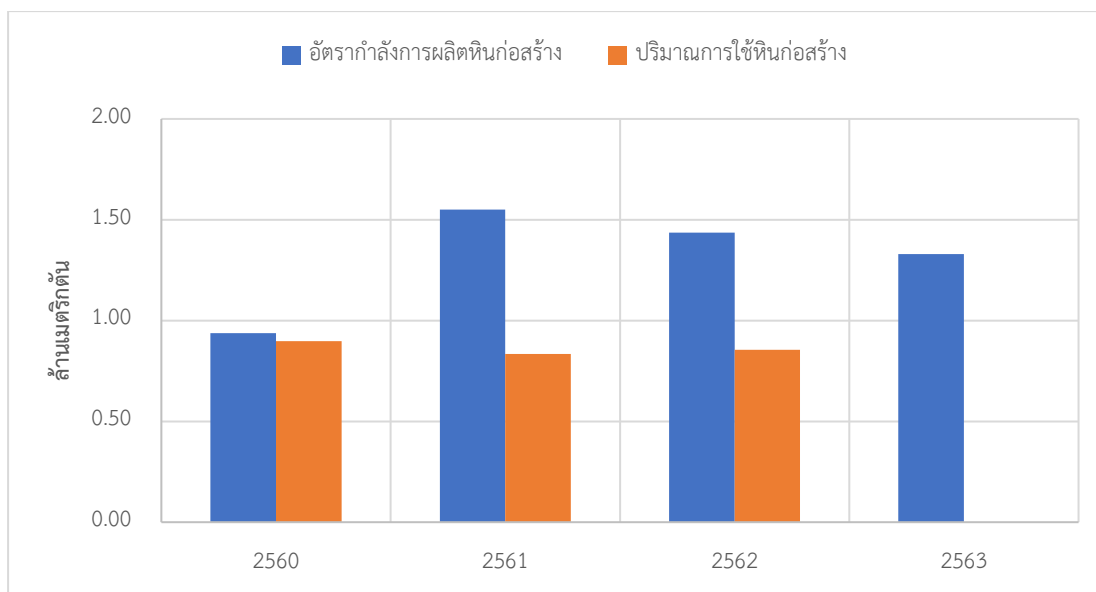
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

แบบจำลองพลวัตระบบเพื่อวางแผนและพัฒนาเมืองในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาพัฒนาด้วยแนวคิดของการศึกษาพลวัตของหินมวลรวมก่อสร้างที่เชื่อมโยงกับความต้องการใช้หินมวลรวมของประชากรและผลผลิตหินมวลรวมทั้งที่มาจากกรังไชเคิล (ส่วนเสริม) และการทำเหมืองหินที่ส่งผลต่อการลดลงของแหล่งทรัพยากร เหล่านี้ถูกพัฒนาสอดคล้องเชื่อมโยงกันเป็นแบบจำลองพลวัตระบบ โดยโครงสร้างแบบจำลองมีกรอบแนวคิดสมมติฐานของการพัฒนามาจากแผนภูมิวงจรความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล (CLDs) ของพลวัตหินมวลรวมก่อสร้างดังรูปที่ 12 ประกอบกับข้อกำหนดเงื่อนไขที่เป็นพื้นฐานของการพัฒนาโครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบอยู่ภายใต้กรอบแนวคิดดังนี้

- ทรัพยากรหินอุตสาหกรรมเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาทั้งหมดสามารถถูกนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นหินสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ ของประชากรในพื้นที่ได้ทั้งหมด โดยมีได้พิจารณาจำแนกแยกชนิดของทรัพยากรหินอุตสาหกรรม
- ผลผลิตหินอุตสาหกรรมก่อสร้างทั้งหมดที่นำไปใช้ประโยชน์ได้พิจารณาจำแนกแยกประเภทและขนาด
- เมื่อปริมาณสำรองของเมืองหมดลง อนุญาตให้มีการพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองใหม่เสมอจนกระทั่งทรัพยากรหมดลง
- ตลอดช่วงเวลาของการสร้างผลจำลองในแต่ละสถานการณ์ ไม่มีการปรับศักยภาพของกำลังผลิตของเหมือง แต่เป็นการปรับศักยภาพของกำลังผลิตผ่านการเปลี่ยนแปลงจำนวนของประทานบัตรหรือเหมือง
- การเปลี่ยนแปลงของจำนวนประทานบัตร (จำนวนเพิ่มขึ้นหรือลดลง) สามารถเปลี่ยนแปลงได้เสมอเมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

โดยแบบจำลองพลวัตระบบมีโครงสร้างแบบจำลองที่สามารถแบ่งเป็นแบบจำลองย่อยได้ทั้งหมด 4 กลุ่มโครงสร้างแบบจำลอง ดังนี้

1. แบบจำลองประชากร
2. แบบจำลองกำลังผลิตและปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรม
3. แบบจำลองความต้องการหินอุตสาหกรรม
4. แบบจำลองสมดุลปริมาณหินมวลรวม



รูปที่ 33 อัตรากำลังการผลิตและปริมาณการใช้หินมวลรวมของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาช่วงปี พ.ศ. 2560-2563

ในช่วงปี พ.ศ. 2560-2563 ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีระดับของอัตรากำลังการผลิตและปริมาณการใช้หินมวลรวมก่อสร้างดังรูปที่ 33 แสดงให้เห็นว่าระดับอัตรากำลังการผลิตหินมวลรวมในพื้นที่ที่มีระดับที่สูงกว่าการใช้หินมวลรวมก่อสร้างอยู่พอสมควรโดยเฉพาะปี พ.ศ. 2561 มากกว่าประมาณ 0.7 ล้านเมตรกตัน (ปริมาณการใช้หินมวลรวมปี พ.ศ. 2563 ยังไม่มีข้อมูล) จนกระทั่งปัจจุบันปี พ.ศ. 2564 เหลือประธานบัตรมีอายุอยู่ 2 แห่ง ได้แก่ “ห้างหุ้นส่วนจำกัด กฤษณ์ศิลาพร” และ “บริษัท เขaban ไดนางศิล จำกัด” หากใช้ข้อมูลทางสถิติของกำลังผลิตของประธานบัตรทั้ง 2 แห่ง คาดการณ์กำลังผลิตจนกระทั่งปริมาณสำรองหรืออายุประธานบัตรหมดลง พบว่า “บริษัท เขaban ไดนางศิล” มีแนวโน้มที่จะดำเนินการทำเหมืองจนปริมาณสำรองหินที่ได้รับได้อนุญาตหมดลงก่อนปีสิ้นอายุของประธานบัตรในปี พ.ศ. 2573 โดยปริมาณสำรองหินหมดลงในปี พ.ศ. 2565 สำหรับกรณีที่มีอัตรากำลังผลิตในระดับสูง (ประมาณ 899,113 เมตรกตันต่อปี) และหมดลงในปี พ.ศ. 2566 สำหรับกรณีที่มีอัตรากำลังผลิตในระดับเฉลี่ย (ประมาณ 720,148 เมตรกตันต่อปี) และหมดลงในปี พ.ศ. 2567 สำหรับกรณีที่มีอัตรากำลังผลิตในระดับต่ำ (ประมาณ 287,489 เมตรกตันต่อปี) ส่วนประธานบัตรของ “ห้างหุ้นส่วนจำกัด กฤษณ์ศิลาพร” ดำเนินการเหมืองจนปริมาณสำรองหินหมดลงสอดคล้องกับการหมดอายุของประธานบัตรที่สิ้นสุดลงในปี พ.ศ. 2566 สำหรับกรณีอัตรากำลังผลิตต่ำ (ประมาณ 237,125 เมตรกตันต่อปี) และหมดลงในปี พ.ศ. 2565 สำหรับกรณี

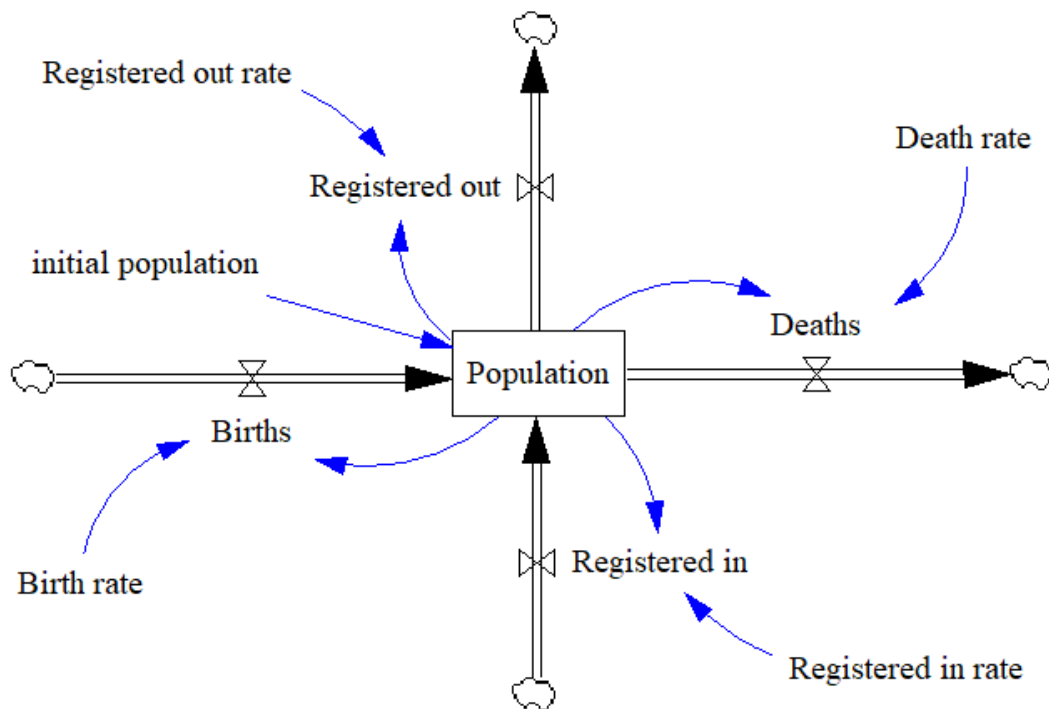
ที่มีอัตราการกำลังการผลิตในระดับเฉลี่ยและสูง (ประมาณ 294,246 ถึง 344,056 เมตริกตันต่อปี) (Wiwattananukul, Sontamino, Masniyom, & Rachpech, 2021)

ฉะนั้นแบบจำลองพลวัตจะถูกพัฒนาเพื่อคาดการณ์ความต้องการใช้หินมวลรวมก่อสร้างของประชากรและสะท้อนไปยังการสร้างผลผลิตหินมวลรวมที่มีศักยภาพสนองต่อความต้องการอย่างเพียงพอ และนำเสนอจำนวนประธานบัตรที่เหมาะสมต่อการสร้างผลผลิตหินมวลรวมที่เพียงพอนี้ โดยอ้างอิงจากค่าประกาศอัตราการผลิตขั้นต่ำที่คัมค่าเชิงพาณิชย์ นั่นคือ 400,000 เมตริกตันต่อปี เป็นฐานข้อมูลสำหรับการพิจารณาจำนวนของประธานบัตรและถูกใช้เป็นตัวอัตราการผลิตของเหมืองต่อแห่งในแบบจำลอง

แบบจำลองพลวัตระบบนี้มีโครงสร้างแบบจำลองที่ถูกพัฒนาให้มีความเชื่อมโยงสอดคล้องกัน ด้วยสมการและเงื่อนไขในการทำงาน การส่งและรับผลสะท้อนระหว่างตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกัน ภายใต้กรอบแนวคิดที่กำหนด เครื่องมือหลักที่ใช้ในการสร้างเงื่อนไขในการทำงานของแบบจำลอง คือ คำสั่ง IF THEN ELSE มันเป็นคำสั่งเลือกทำหรือแสดงค่าตัวแปรภายใต้เงื่อนไขและทางเลือกที่กำหนด เพื่อให้แบบจำลองแสดงพฤติกรรมและมีการทำงานอย่างเป็นตรรกะ

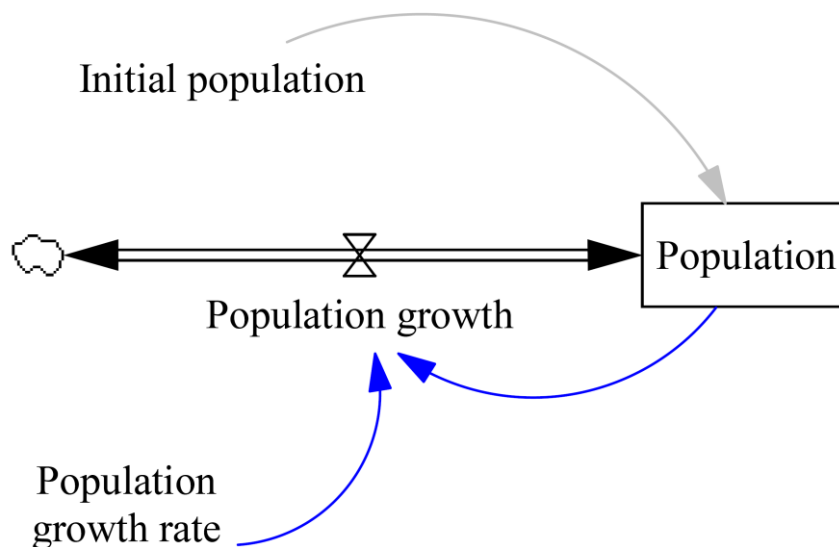
4.1 แบบจำลองประชากร

แบบจำลองประชากรกล่าวถึงการเติบโตของประชากรที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาด้วยปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของประชากรทั้งเพิ่มขึ้นหรือลดลง ด้วยแนวคิดจาก World3 Model (Meadows, & Randers, 2004) ที่กล่าวถึงการเติบโตของประชากรโลกในแต่ละช่วงอายุที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาโดยมีการเกิดและการเสียชีวิตเป็นตัวแปรสำคัญ แต่เนื่องจากขอบเขตของโมเดลนี้คือพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา จึงมีปัจจัยเพิ่มเติมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของประชากรในพื้นที่คือ การย้ายถิ่นที่อยู่อาศัยของประชากรระหว่างภายในและภายนอกพื้นที่ จึงมีแบบจำลองดังรูปที่ 34 โดยโครงสร้างแบบจำลองแสดงสมการความสัมพันธ์ เงื่อนไข และหน่วยของแต่ละองค์ประกอบดังตารางที่ ข1



รูปที่ 34 แบบจำลองประชากรขั้นต้น

เนื่องด้วยขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาไม่มีข้อมูลประชากรที่ศึกษาและเผยแพร่ทางการชัดเจน แม้จะสามารถรวบรวมข้อมูลประชากร (การเกิด การเสียชีวิต และการย้ายถิ่นฐาน) จากขอบเขตพื้นที่ในระดับอำเภอและจังหวัดที่อยู่ภายในขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลานี้ได้ แต่ไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้สำหรับแบบจำลองได้เนื่องจากไม่สะท้อนความเป็นจริงของพื้นที่นี้ สำหรับแบบจำลองประชากรนี้จึงถูกแก้ไขให้สร้างผลจำลองคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของประชากรตามอัตราการเติบโตของประชากร (Population growth rate) ที่สะสมค่าของจำนวนประชากรด้วยตัวแปรสต็อกของประชากร (Population) และจำนวนประชากร ณ ปี พ.ศ. 2562 เป็นจำนวนประชากรเริ่มต้นของการสร้างสถานการณ์จำลอง (Initial population) แสดงดังรูปที่ 35 โดยโครงสร้างแบบจำลองแสดงสมการความสัมพันธ์ เงื่อนไข และหน่วยของแต่ละองค์ประกอบดังตารางที่ ข2



รูปที่ 35 แบบจำลองประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่เปลี่ยนตามการเติบโตของประชากร

4.2 แบบจำลองกำลังการผลิตและปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรม

แบบจำลองกำลังการผลิตและปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรม (รูปที่ 36) มีโครงสร้างแบบจำลองและการทำงานที่พัฒนาจากแนวคิดพื้นฐานทั่วไปจากทรัพยากรถูกเปลี่ยนไปเป็นผลผลิตที่ผ่านกระบวนการทำเหมือง อันประกอบด้วยสต็อกของปริมาณทรัพยากรหินมวลรวมก่อสร้างทั้งหมดในพื้นที่ (Resources) ที่มองภาพรวมของทรัพยากรทุกแหล่งหินเป็นกลุ่มก้อนเดียวกัน โดยปริมาณทรัพยากรนี้อาจเพิ่มขึ้นจากการสำรวจ (Exploration) และการฟื้นฟูตามธรรมชาติ (Regeneration) และลดลงจากการพัฒนาแหล่งทรัพยากร (Developing reserves) ไปเป็นปริมาณสำรองสำหรับการทำเหมืองที่แทนด้วยตัวแปรสต็อกของปริมาณสำรองของเหมือง (Reserves) และสต็อกของปริมาณสำรองนี้ลดลงเนื่องจากการทำเหมือง (Mining) ที่มีค่าเป็นไปตามอัตรากำลังการผลิต (Production rate desired) เมื่อสต็อกของปริมาณสำรองเหมืองนั้นหมดลงจะส่งผลสะท้อนย้อนกลับไปยังการพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อให้เกิดการพัฒนาแหล่งทรัพยากรใหม่ที่มีค่าตามค่าออกแบบของปริมาณสำรองแห่งใหม่ (New reserves desired) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากค่าของอัตราการผลิตและอายุประทานบัตร ($\text{Production rate desired} \times \text{Mining permit lifespan}$) กระบวนการทำงานเหล่านี้จะเกิดการทวนซ้ำขึ้นอย่างไม่รู้จบภายใต้ตรรกะเงื่อนไขของแบบจำลองที่พัฒนาไว้จนกว่าจะไม่เกิดผลผลิตหินมวลรวมจากการทำเหมืองหินเนื่องจากปริมาณทรัพยากรหมดลง

นอกจากนี้ยังมีโมเดลย่อยที่ใช้เป็นส่วนเสริมในการทำงานของแบบจำลองโดยเป็นตัวแทนสำหรับการพิจารณาเปลี่ยนแปลงจำนวนประธานบัตรในพื้นที่เพื่อให้ศักยภาพหรืออัตรากำลังการผลิตสอดคล้องและเพียงพอกับปริมาณความต้องการใช้หินมวลรวม (รูปที่ 37) ซึ่งใช้ตัวแปรสต็อกในการนับ (Count) สำหรับสะสมค่าจากจำนวนที่เพิ่มขึ้น (Increase) หรือลดลง (Decrease) เมื่อตัวแปรเหตุที่เชื่อมโยงสะท้อนเข้าเกณฑ์เงื่อนไขที่กำหนดดังนี้

1. ถ้าปริมาณความต้องการใช้หินมวลรวมมากกว่าผลผลิตหินมวลรวม ($\text{Aggregate consumption} > \text{Aggregate production}$) และทรัพยากรหินมวลรวมมากกว่าหรือเท่ากับผลคูณของอัตรากำลังการผลิตจากเหมืองและระยะเวลาหน่วยของการพิจารณา ($\text{Resources} \geq \text{Mining production rate} \times \text{Consideration time}$) กำหนดให้ค่าของ increase มีค่าเป็น 1 นั่นคือถ้าอุปสงค์มากกว่าอุปทานและยังมีทรัพยากรเหลือเพียงพอให้พัฒนาเป็นแหล่งปริมาณสำรอง

2. ถ้าปริมาณความต้องการใช้หินมวลรวมมากกว่าผลผลิตหินมวลรวม ($\text{Aggregate consumption} > \text{Aggregate production}$) แต่ทรัพยากรหินมวลรวมน้อยกว่าผลคูณของอัตรากำลังการผลิตจากเหมืองและระยะเวลาหน่วยของการพิจารณา ($\text{Resources} < \text{Mining production rate} \times \text{Consideration time}$) กำหนดให้ค่าของ increase มีค่าเป็น 0 นั่นคือแม้ว่าอุปสงค์มากกว่าอุปทานแต่ไม่มีทรัพยากรเหลือให้พัฒนาเป็นแหล่งปริมาณสำรอง

3. ถ้าผลผลิตหินมวลรวมหักลบกับปริมาณความต้องการใช้หินมวลรวมแล้วมากกว่าหรือเท่ากับอัตรากำลังการผลิตที่กำหนด ($\text{Aggregate production} - \text{Aggregate consumption} \geq \text{Production rate desired}$) กำหนดให้ increase มีค่าเป็น -1 นั่นคืออุปทานมากกว่าอุปสงค์อย่างน้อยเท่ากับอัตรากำลังผลิตของเหมืองแห่งหนึ่ง

สต็อกการนับ (Count) จะสะสมค่าจากเงื่อนไขที่เพิ่มหรือลดที่ละหนึ่ง โดยการนับค่านี้นับค่าที่เพิ่มหรือลดลงทางใดทางหนึ่งติดต่อกันมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับระยะเวลาพิจารณา (Consideration time) จึงส่งค่าต่อไปยังสต็อกของการจำนวนเหมืองที่จำเป็น (Mining permit needed)ว่าจะเพิ่มหรือลดลง เช่น กำหนดให้ระยะเวลาพิจารณามีค่าเป็น 3 ปี สำหรับกรณีหากผลจำลองเข้าเงื่อนไขที่ 1 ติดต่อกัน 3 ปี เป็นผลให้มีจำนวนเหมืองเพิ่มขึ้น และหากเกิดกรณีที่ผลจำลองเข้าเงื่อนไขที่ 1 หรือ 3 ไม่ติดต่อกันจนเท่ากับระยะเวลาพิจารณา เช่น ผลจำลองเข้าเงื่อนไขที่ 1 ติดต่อกัน 2 ครั้ง และครั้งที่ 3 เข้าเงื่อนไขอื่น กำหนดให้ decrease มีการล้างค่าสะสมของสต็อกการ

นับกลับเป็นศูนย์เสมอ โดยโครงสร้างแบบจำลองแสดงสมการความสัมพันธ์ เงื่อนไข และหน่วยของแต่ละองค์ประกอบดังตารางที่ ข4

จากรูปที่ 36 จะเห็นว่าโครงสร้างแบบจำลองหลายชุดตั้งแต่ชุดที่ 1 ถึง 10 โดยโครงสร้างแบบจำลองเหล่านี้เป็นตัวแทนของประธานบัตรแต่ละแห่งที่พิจารณาปริมาณสำรองและอัตราการผลิตการผลิตแยกออกจากกัน โดยที่รองรับจำนวนประธานบัตรได้สูงสุดที่ 10 แห่ง (ทั้งนี้สามารถเพิ่มเติมจำนวนที่รองรับได้ในโครงสร้างแบบจำลอง) ซึ่งแบบจำลองแต่ละชุดมีลักษณะการทำงานคือเป็นแบบจำลองตุ๊กตาที่คอยรองรับการส่งค่าและทำงานตามค่าจากสต็อกของจำนวนประธานบัตรที่จำเป็นที่สะท้อนมา โดยการทำงานของแบบจำลองแต่ละชุดในที่นี้ก็คือมีการพัฒนาแหล่งปริมาณสำรอง หรือการอนุญาตประธานบัตร (Developing reserves) กลายเป็นปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมือง (Reserves) และสร้างผลผลิตหินมวลรวมด้วยการทำเหมือง (Mining) การทำงานของแบบจำลองแต่ละชุดจะเป็นไปตามลำดับเสมอ (ลำดับที่ 1 – 10) โดยมีลำดับเงื่อนไขของการตอบรับการทำงานดังนี้ (ตัวอย่างสำหรับเกิดความจำเป็นต้องการเหมืองเพิ่มเป็นแห่งที่ 4)

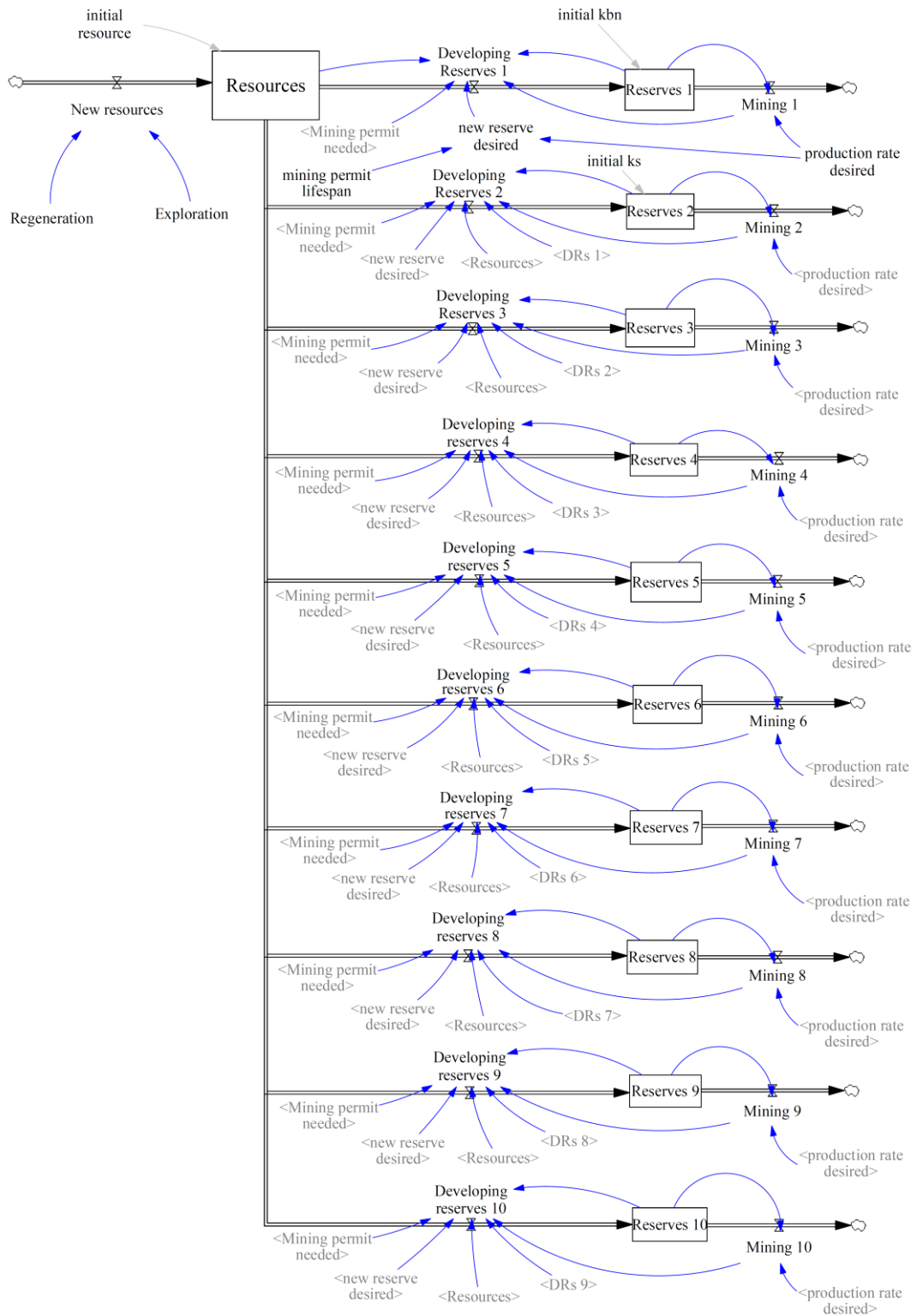
เงื่อนไขเบื้องต้น เป็นการเช็คเงื่อนไขเบื้องต้นสำหรับตัวแปร Developing reserves ว่าตัวแปรเหตุที่เชื่อมโยงกับตัวมันเองเข้าเงื่อนไขดังต่อไปนี้หรือไม่ คือ

1. เงื่อนไขที่ตรวจสอบว่าการทำเหมืองขณะนั้นทำให้ปริมาณสำรองของเหมืองหมดลงหรือไม่ (Reserves – Mining \leq 0)
2. เงื่อนไขที่พิจารณาว่าจำนวนประธานบัตรที่จำเป็นนั้นมากกว่าจำนวนประธานบัตรที่ดำเนินการอยู่เดิมหรือไม่ (Mining permit needed $>$ 3)
3. พิจารณาว่าปริมาณทรัพยากรในพื้นที่ยังมีเหลืออยู่หรือไม่ (Resources $>$ 0)

เงื่อนไขรอง เป็นการเช็คเงื่อนไขเมื่อตัวแปรเหตุที่เชื่อมโยงกับตัวแปร Developing reserves ผ่านเงื่อนไขเบื้องต้นแล้ว โดยมีเงื่อนไขคือ “ถ้าผลรวมของการพัฒนาปริมาณสำรองของลำดับก่อนหน้ามีค่ามากกว่าปริมาณทรัพยากรที่เหลืออยู่แล้วนั้น (Developing reserves 1 + ... + Developing reserves 3 $>$ Resources โดยผลรวมนี้แทนด้วยตัวแปร DRs 3) กำหนดให้ตัวแปรมีค่าเป็นศูนย์” นั้นหมายความว่าสำหรับการพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองของลำดับที่ 4 นั้นไม่เพียงพอและถูกกำหนดให้ตัวแปรมีค่าเป็นศูนย์เพื่อไม่ให้เกิดการพิจารณาซ้อนทับกับลำดับก่อนหน้า แต่ถ้าหากไม่เข้าเงื่อนไขรองนี้จะถูกนำไปพิจารณาในเงื่อนไขถัดไป

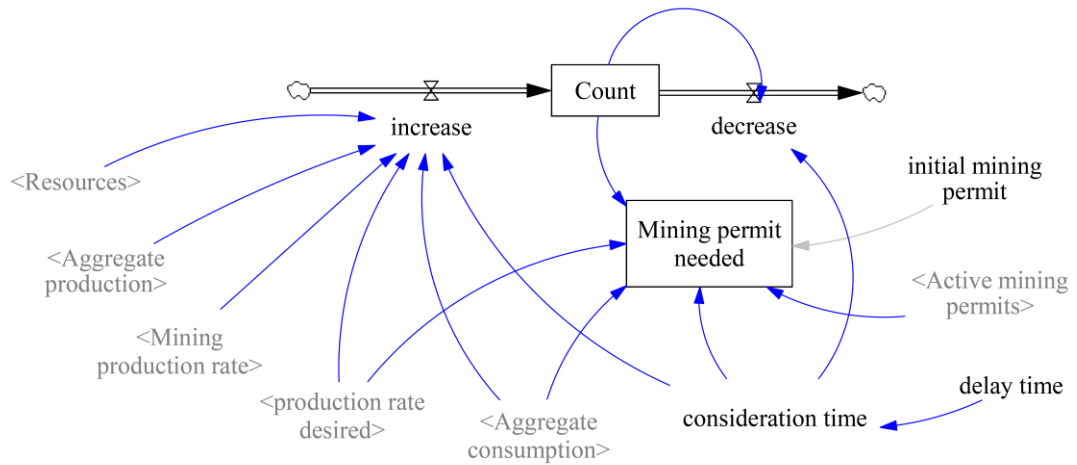
เงื่อนไขสุดท้าย เป็นการเช็คเงื่อนไขและให้ผลลัพธ์สุดท้ายเมื่อตัวแปรเหตุที่เชื่อมโยงกับตัวแปร Developing reserves ผ่านเงื่อนไขชั้นรองแล้วนั้นหมายความว่า “ผลรวมของการพัฒนาปริมาณสำรองของลำดับก่อนหน้านี้น้อยกว่าปริมาณทรัพยากรที่เหลือ” นั่นคือทรัพยากรยังเหลือเพียงพอให้การพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองของลำดับที่สี่นี้ แต่อาจไม่เพียงพอกับปริมาณสำรองแหล่งใหม่ที่กำหนด (New reserves desired) ดังนั้นเงื่อนไขชั้นสุดท้ายมีเงื่อนไขคือ “ถ้าปริมาณทรัพยากรที่เหลือหักลบผลรวมของการพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองลำดับก่อนหน้านี้น้อยกว่าปริมาณสำรองแหล่งใหม่ที่กำหนด ($\text{Resources} - \text{DRs } 3 < \text{New reserves desired}$) กำหนดให้ตัวแปร Developing reserves มีค่าเท่ากับผลลัพธ์ของปริมาณทรัพยากรที่เหลือหักลบผลรวมของการพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองลำดับก่อนหน้า” แต่ถ้าไม่เข้าเงื่อนไขนั้นคือปริมาณทรัพยากรที่เหลือลบผลรวมของการพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองลำดับก่อนหน้านี้น้อยกว่าปริมาณสำรองแหล่งใหม่ที่กำหนด ($\text{Resources} - \text{DRs } 3 > \text{New reserves desired}$) กำหนดให้ค่าของตัวแปร Developing reserves มีค่าเท่ากับ New reserves desired หรือก็คือปริมาณทรัพยากรยังเหลือเพียงพอให้พัฒนา แม้การพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองใหม่ทั้งสี่ลำดับเกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน โดยโครงสร้างแบบจำลองแสดงสมการความสัมพันธ์เงื่อนไข และหน่วยของแต่ละองค์ประกอบดังตารางที่ ข3

เงื่อนไขเหล่านี้ถูกพัฒนาให้แบบจำลองมีการทำงานอย่างเป็นระบบ โดยโครงสร้างแบบจำลองมีการทำงานในลักษณะของการรอรับค่าหรือผลสะท้อนจากการพิจารณาความเหมาะสมและความเพียงพอของผลจำลองศักยภาพของอัตรากำลังการผลิตหินมวลรวมก่อสร้างที่มีต่อผลจำลองความต้องการใช้หินมวลรวมก่อสร้าง โดยที่แบบจำลองตอบสนองด้วยการปรับศักยภาพของอัตรากำลังการผลิตผ่านโมเดลย่อยของการพิจารณาปรับเปลี่ยนจำนวนประธานบัตรที่สามารถมีศักยภาพของอัตรากำลังการผลิตสอดคล้องและรองรับความต้องการใช้หินมวลรวมก่อสร้างได้อย่างเพียงพอ โดยพฤติกรรมการทำงานของแบบจำลองในการปรับเปลี่ยนจำนวนประธานบัตรจะให้ความสำคัญกับชุดแบบจำลองลำดับก่อนหน้าเสมอ มีการพิจารณาตรวจเช็คปริมาณทรัพยากรถึงความเพียงพอต่อการพัฒนาปริมาณสำรองในลำดับถัดมาหรือไม่ เพื่อป้องกันการดำเนินงานอย่างไม่เป็นตรรกะของตัวแบบจำลองที่สะท้อนผลลัพธ์ในบางกรณี เช่น ทรัพยากรในพื้นที่ที่มีผลจำลองเป็นลบ เป็นต้น



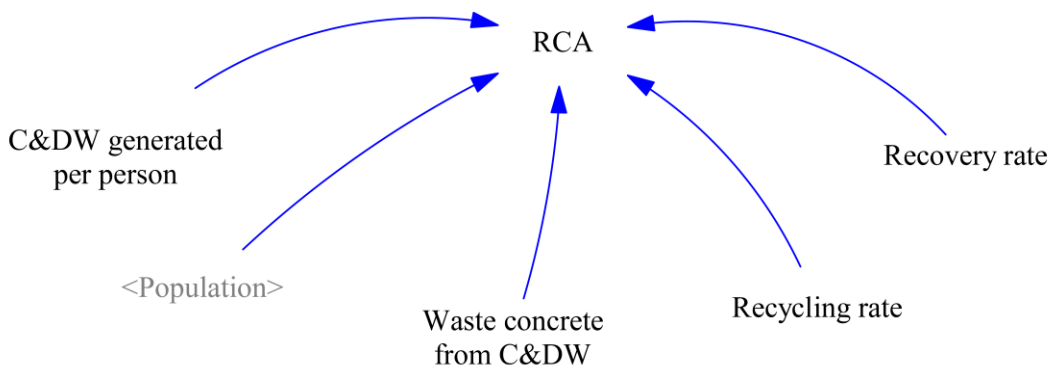
รูปที่ 36 แบบจำลองกำลังผลิตและปริมาณสำรองหินสำหรับเหมืองแห่งหนึ่งในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบ

สงขลา



รูปที่ 37 แบบจำลองเสริมสำหรับการพิจารณาเปลี่ยนแปลงจำนวนการอนุญาตประทานบัตร

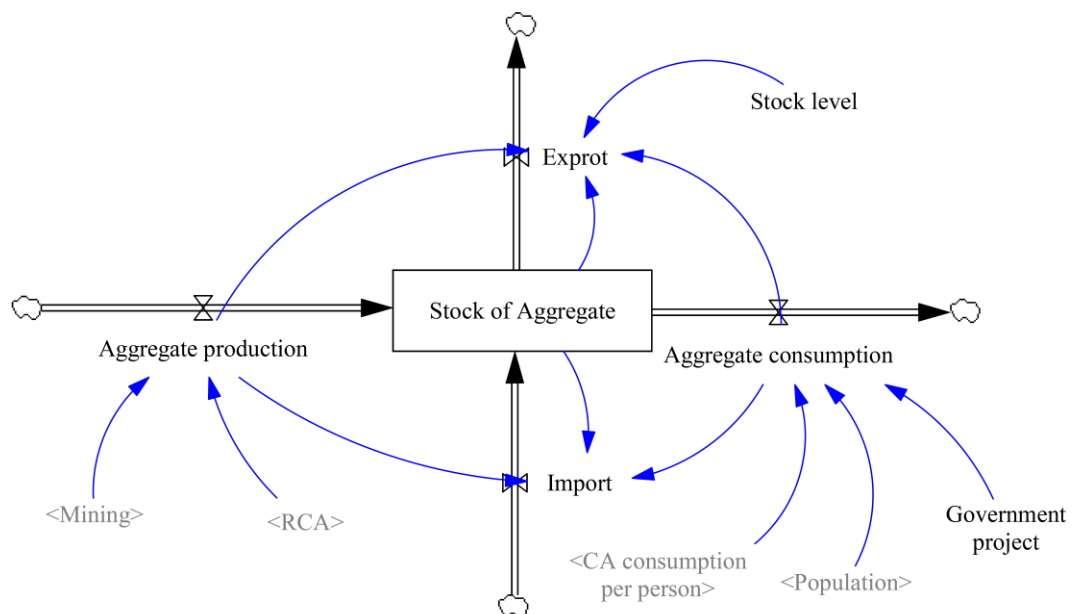
นอกจากนี้อุปทานหินมวลรวมอีกแหล่งที่ได้มานอกเหนือจากการทำเหมือง นั่นคือ หินมวลรวมที่ได้จากการรีไซเคิลคอนกรีต (RCA) โดยเป็นส่วนเสริมของอุปทานหลักจากการทำเหมือง แบบจำลองหินมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (รูปที่ 38) ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรของการสร้างของเสียจากการก่อสร้างและรีไซเคิลต่อหัวประชากร (C&DW generated per person) คุณด้วยสต็อกของจำนวนประชากร (Population) และแฟกเตอร์สัดส่วนของเสียคอนกรีตจากของเสียที่ได้จากการก่อสร้างและรีไซเคิลทั้งหมด (Waste concrete from C&DW, %) จากนั้นเทียบหาสัดส่วนการรีไซเคิลเป็นหินมวลรวม (Recycling rate) และสัดส่วนการกู้คืนของเสียเพื่อการรีไซเคิล (Recovery rate) จึงได้เป็นผลจำลองปริมาณหินมวลรวมจากคอนกรีตรีไซเคิลที่เกิดจากประชากร (RCA) โดยโครงสร้างแบบจำลองแสดงสมการความสัมพันธ์ เงื่อนไข และหน่วยของแต่ละองค์ประกอบดังตารางที่ 5



รูปที่ 38 แบบจำลองหินมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล

4.4 แบบจำลองสมดุลปริมาณหินมวลรวมก่อสร้างในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

แบบจำลองสมดุลของหินอุตสาหกรรมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (รูปที่ 40) อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของหินมวลรวมก่อสร้างอันเกิดจากการอุปสงค์และอุปทานหินมวลรวมภายในขอบเขตพื้นที่และส่วนเสริมอื่นๆ โดยแบบจำลองใช้ตัวแปรสต็อกเป็นตัวแทนสำหรับการแสดงให้เห็นถึงปริมาณและการเปลี่ยนแปลงของหินมวลรวมของพื้นที่ (Stock of aggregate) ซึ่งประกอบด้วยโฟลว์ไหลเข้าของผลผลิตหินมวลรวม (Aggregate production) ที่มาจากการทำเหมือง (Mining) และการรีไซเคิล (RCA) และโฟลว์ไหลออกของความต้องการใช้หินมวลรวมก่อสร้างจากกิจกรรมก่อสร้างของประชากร (Aggregate consumption) และกิจกรรมการก่อสร้างจากการลงทุนของภาครัฐ (Government project) ประกอบกับตัวแปรเสริม นั่นคือโฟลว์ของการส่งออกและการนำเข้าหินมวลรวมระหว่างภายในและภายนอกขอบเขตพื้นที่ (Export & Import) ซึ่งตัวแปรสต็อกของหินมวลรวมนี้ถูกควบคุมระดับมวลหินด้วยแพกเตอร์ระดับของสต็อก (stock level) ที่เป็นแพกเตอร์แทนค่าระดับเพดานของระดับมวลหินในพื้นที่ โดยมีการปรับสมดุลมวลหินในพื้นที่ภายใต้เงื่อนไขคือ มีการลดระดับของมวลหินในพื้นที่ด้วยการส่งออกสู่ภายนอกเมื่อระดับหินมวลรวมในพื้นที่สูงเกินระดับที่กำหนดหรือการนำเข้าจากภายนอกสำหรับกรณีที่มีการใช้หินสูงเกินกว่าผลผลิตหินที่มีในพื้นที่ เป็นต้น โดยโครงสร้างแบบจำลองแสดงสมการความสัมพันธ์ เงื่อนไข และหน่วยของแต่ละองค์ประกอบดังตารางที่ ข7



รูปที่ 40 แบบจำลองสมดุลของหินอุตสาหกรรมในพื้นที่กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

4.5 อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่อพฤติกรรมระบบ

จากผลจำลองสถานการณ์ที่หลากหลายพบว่าพารามิเตอร์ควบคุมหรือพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการสร้างสถานการณ์จำลอง นั้นคือ อัตราค่าลังการผลิตของเหมือง อายุของประธานบัตร ระยะเวลาหน่วยของการพิจารณาปรับจำนวนประธานบัตร และปริมาณของสต็อกหินในพื้นที่ ซึ่งมีอิทธิพลและส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมระบบของการสร้างผลผลิตหินมวลรวมก่อสร้างสนองต่อความต้องการใช้หินมวลรวมของประชากร และการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมขององค์ประกอบอื่นที่เกี่ยวข้องกับการจัดการทรัพยากรหินมวลรวมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ซึ่งมีผลสะท้อนต่อการเปลี่ยนแปลงหรืออิทธิพลต่อพฤติกรรมที่แตกต่างกันดังตารางที่ 13 โดยพารามิเตอร์ควบคุมเหล่านี้อาจมีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ชัดเจนหรือไม่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ พารามิเตอร์อื่นที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงต่อกัน และค่าเริ่มต้นที่เหมาะสม

ตารางที่ 13 สรุปอิทธิพลของพารามิเตอร์ควบคุมที่ส่งผลกระทบต่อหินมวลรวมในพื้นที่

พารามิเตอร์ควบคุม	อิทธิพลของพารามิเตอร์ควบคุมที่ส่งผลกระทบต่อระบบ			
	การส่งออกหินสู่ภายนอกพื้นที่	การนำเข้าหินจากภายนอกพื้นที่	ปริมาณทรัพยากรในพื้นที่	จำนวนประธานบัตร
อัตราค่าลังการผลิต	ด้วยพฤติกรรมของแบบจำลองที่ต้องการให้มีการปรับศักยภาพกำลังผลิตให้เพียงพอหรือสูงกว่าความต้องการใช้หินเสมอ ปริมาณการส่งออกหินสู่ภายนอกพื้นที่ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของอัตราค่าลังการผลิตที่มีต่อความต้องการใช้หินในแต่ละสถานการณ์ โดยที่อัตราค่าลังการผลิตที่ต่ำนั้นมีความยืดหยุ่นในการปรับศักยภาพให้สอดคล้องกับความต้องการและอาจช่วยลดปริมาณของการส่งออกนี้	เช่นเดียวกันกับการส่งออกหินมวลรวมที่อัตราค่าลังการผลิตนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของอัตราค่าลังการผลิตที่มีต่อความต้องการใช้หินในแต่ละสถานการณ์	อัตราค่าลังการผลิตมีอิทธิพลต่อระดับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทรัพยากรอย่างชัดเจน โดยอัตราค่าลังการผลิตที่สูงนั้นส่งผลให้ระดับปริมาณทรัพยากรลดลงเร็วขึ้น และหากอัตราค่าลังการผลิตมีระดับค่าที่ต่ำก็ส่งผลให้ปริมาณทรัพยากรลดช้าลงเช่นกัน ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับอายุของประธานบัตรเช่นกัน	อัตราค่าลังการผลิตที่สูงนั้นส่งผลให้มีจำนวนประธานบัตรที่น้อยลงหรือหากมีอัตราค่าลังการผลิตที่ต่ำนั้นก็ส่งผลให้จำนวนประธานบัตรมีมากขึ้นตาม ขึ้นอยู่กับระดับปริมาณความต้องการใช้หิน

ตารางที่ 13 สรุปอิทธิพลของพารามิเตอร์ควบคุมที่ส่งผลกระทบต่อหินมวลรวมในพื้นที่ (ต่อ)

พารามิเตอร์ควบคุม	อิทธิพลของพารามิเตอร์ควบคุมที่ส่งผลกระทบต่อระบบ			
	การส่งออกหินสู่ภายนอกพื้นที่	การนำเข้าหินจากภายนอกพื้นที่	ปริมาณทรัพยากรในพื้นที่	จำนวนประทานบัตร
อายุของประทานบัตร	อายุประทานบัตรไม่สะท้อนอิทธิพลต่อการส่งออกอย่างชัดเจน โดยขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบอื่น	เช่นเดียวกันกับการส่งออกที่อายุประทานบัตรไม่สะท้อนอิทธิพลต่อการส่งออกอย่างชัดเจน โดยมันขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบอื่น	อายุประทานบัตรมีความสัมพันธ์กับอัตรากำลังการผลิต ซึ่งมีอิทธิพลต่อระดับปริมาณของการพัฒนาปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมือง ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทรัพยากรในพื้นที่	อายุประทานบัตรไม่มีอิทธิพลต่อการพิจารณาจำนวนประทานบัตรอย่างชัดเจน แต่สำหรับกรณีที่มีความจำเป็นของการลดจำนวนประทานบัตรลง การที่ประทานบัตรมีอายุที่มาก ก็อาจเป็นผลต่อความล่าช้าของการเปลี่ยนแปลงตอบรับกับสถานการณ์การใช้หินที่เปลี่ยนไป
ระยะเวลาหน่วงของการพิจารณาปรับจำนวนประทานบัตร	สำหรับกรณีที่มีความจำเป็นต้องลดจำนวนประทานบัตรให้น้อยลง ช่วงระยะเวลาหน่วงในการพิจารณาที่มากขึ้น จะส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการตอบสนองสถานการณ์ที่มีผลผลิตหินเกินความต้องการ ทำให้เกิดสถานการณ์ที่มีการส่งออกหินมวลรวมก่อสร้างในปริมาณที่มากขึ้นตาม	สำหรับกรณีที่มีความจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนประทานบัตรให้มากขึ้น ช่วงระยะเวลาหน่วงในการพิจารณาที่มากขึ้น จะส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการตอบสนองสถานการณ์ที่มีความต้องการใช้หินมากขึ้น ทำให้เกิดสถานการณ์ที่มีการนำเข้าหินมวลรวมก่อสร้างในปริมาณที่มากขึ้นตาม	ช่วงระยะเวลาหน่วงในการพิจารณาไม่สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทรัพยากรถึงการหมดลงที่เร็วขึ้นหรือช้าลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้ขึ้นกับระดับอัตรากำลังการผลิตและอายุของประทานบัตรที่สัมพันธ์กัน	ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประทานบัตรโดยตรง สำหรับการใช้นหินมวลรวมก่อสร้างที่มีพฤติกรรมไม่แน่นอน ประกอบกับพฤติกรรมของแบบจำลองที่ต้องการให้มีการปรับศักยภาพกำลังผลิตให้เพียงพอหรือสูงกว่าความต้องการใช้หินเสมอ การพิจารณาปรับจำนวนประทานบัตรโดยที่ช่วงระยะเวลาที่สั้นไป ทำให้เกิดสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประทานบัตรอย่างรวดเร็ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอาจไม่สะท้อนกับแนวโน้มความต้องการ หรือระยะเวลาที่ยาวไปก็มีผลต่อความล่าช้าในการสนองกับสถานการณ์ความต้องการใช้หิน

ตารางที่ 13 สรุปอิทธิพลของพารามิเตอร์ควบคุมที่ส่งผลกระทบต่อหินมวลรวมในพื้นที่ (ต่อ)

พารามิเตอร์ ควบคุม	อิทธิพลของพารามิเตอร์ควบคุมที่ส่งผลกระทบต่อระบบ			
	การส่งออกหินสู่ ภายนอกพื้นที่	การนำเข้าหินจาก ภายนอกพื้นที่	ปริมาณทรัพยากร ในพื้นที่	จำนวนประทุนบัตร
ระดับสต็อกหินมวล รวมในพื้นที่	ระดับสต็อกสามารถ ช่วยลดปริมาณการ ส่งออกหินมวลรวมได้ ด้วยการสะสมผลผลิต หินมวลรวมที่เกินความ ต้องการไว้ในพื้นที่ โดย ปริมาณการส่งออกนั้น ขึ้นอยู่กับระดับของ สต็อกว่ามีปริมาณที่ มากหรือน้อยเพียงใด	เช่นเดียวกับการส่งออก ที่ระดับสต็อกสามารถ ช่วยลดปริมาณการ นำเข้าหินมวลรวมได้ เพียงส่วนหนึ่ง ขึ้นอยู่ กับระดับของสต็อกว่ามี ปริมาณที่มากหรือน้อย เพียงใด	ระดับสต็อกไม่มี อิทธิพลต่อปริมาณ ทรัพยากร	ระดับสต็อกไม่มีอิทธิพล ต่อจำนวนประทุนบัตร ในระยะสั้น

4.6 ผลจำลองสถานการณ์ต่างๆ

แบบจำลองพลวัตระบบนี้จะสร้างผลจำลองด้วยชุดข้อมูลทางสถิติในช่วงปี พ.ศ. 2550 ถึง 2562 ของอัตราการเติบโตของประชากร (ตารางที่ ก8) และปริมาณพื้นที่ก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (ตารางที่ 12) อันประกอบด้วยค่าสูงสุด (Max) ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าต่ำสุด (Min) และค่ากระจายตัวแบบสุ่มจากชุดข้อมูลทางสถิติ (Random normal distribution หรือเป็นเทคนิคที่ถูกรเรียกว่า “Truncated normal distribution” เป็นวิธีการสร้างผลลัพธ์แบบสุ่มภายใต้ชุดค่าข้อมูลทางสถิติ) (User Guide - Vensim Introduction & Tutorials, n.d.) ควบคู่กับระยะเวลาของการพิจารณาเปลี่ยนแปลงจำนวนการอนุญาตประทานบัตร (ระยะเวลา 3 และ 5 ปี) นำมาสร้างผลจำลองด้วยแบบจำลองพลวัตระบบนี้เป็น 20 สถานการณ์ แสดงดังตารางที่ 14 ภายใต้ค่าตัวแปรหรือข้อหนดสมมติฐานทั่วไปดังนี้

- อัตรากำลังการผลิตของเหมืองแต่ละแห่งมีอัตราอยู่ที่ 400,000 เมตริกตันต่อปี
- กำหนดให้ประทานบัตรมีอายุ 20 ปี นั่นคือปริมาณสำรองที่ถูกพัฒนาใหม่มีค่าเท่ากับ 8,000,000 เมตริกตัน จากอัตรากำลังการผลิตที่ 400,000 เมตริกตันต่อปี
- กำหนดให้มีค่าควบคุมระดับสต็อกเป็นศูนย์ นั่นคือไม่มีการสำรองผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่
- จำนวนประทานบัตรเริ่มต้นของผลจำลองคือ 2 แห่ง (จากสถานการณ์ในพื้นที่ที่เหลือประทานบัตรมีอายุอยู่ 2 แห่ง)

ระยะเวลาของผลจำลองที่สร้างขึ้นแต่ละสถานการณ์จะครอบคลุมไปถึงระยะเวลาที่ปริมาณทรัพยากรและอัตรากำลังการผลิตหินมวลรวมในพื้นที่หมดลง โดยจะนำเสนอผลจำลองในลักษณะของกราฟพฤติกรรมของตัวแปรหลักที่สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงหินมวลรวมในพื้นที่และเป้าหมายของแบบจำลองที่นำเสนอได้แก่

- ระดับหินมวลรวมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (Stock of aggregate)
- ผลผลิตหินมวลรวม (Aggregate production)
- การใช้หินมวลรวม (Aggregate consumption)
- การนำเข้าและส่งออกหินมวลรวม (Import & Export)
- ปริมาณทรัพยากรในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (Resources)

หมายเหตุ: บางองค์ประกอบตัวแปรที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับพลวัตของการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรหินอุตสาหกรรมก่อสร้าง (Exploration และ Regeneration) และความ

ต้องการใช้หินมวลรวมก่อสร้างของภาครัฐ (Government project) ตัวแปรเหล่านี้ยังไม่ถูกพิจารณาในการสร้างสถานการณ์จำลอง

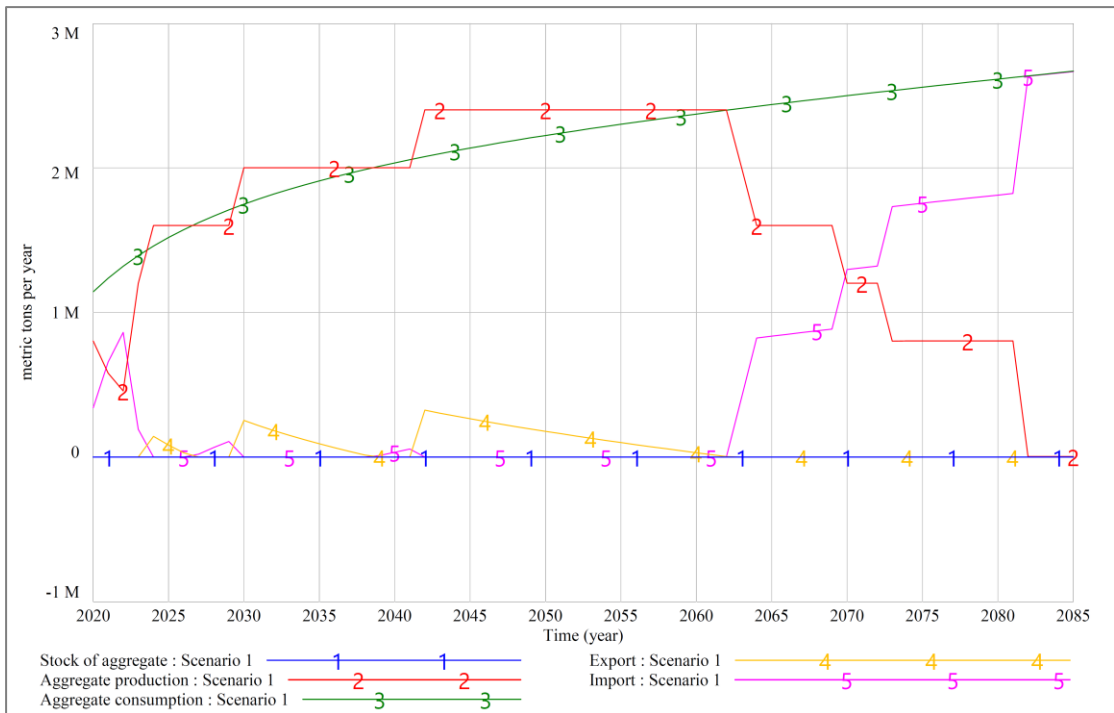
ตารางที่ 14 ค่าตัวแปรสำหรับสร้างผลจำลองสถานการณ์ต่างๆ

No	Construction area	Population growth rate	Consideration/delay time
1	Max	Max	3
2	Max	Mean	3
3	Max	Min	3
4	Mean	Max	3
5	Mean	Mean	3
6	Mean	Min	3
7	Min	Max	3
8	Min	Mean	3
9	Min	Min	3
10	Max	Max	5
11	Max	Mean	5
12	Max	Min	5
13	Mean	Max	5
14	Mean	Mean	5
15	Mean	Min	5
16	Min	Max	5
17	Min	Mean	5
18	Min	Min	5
19	Random normal	Random normal	3
20	Random normal	Random normal	5

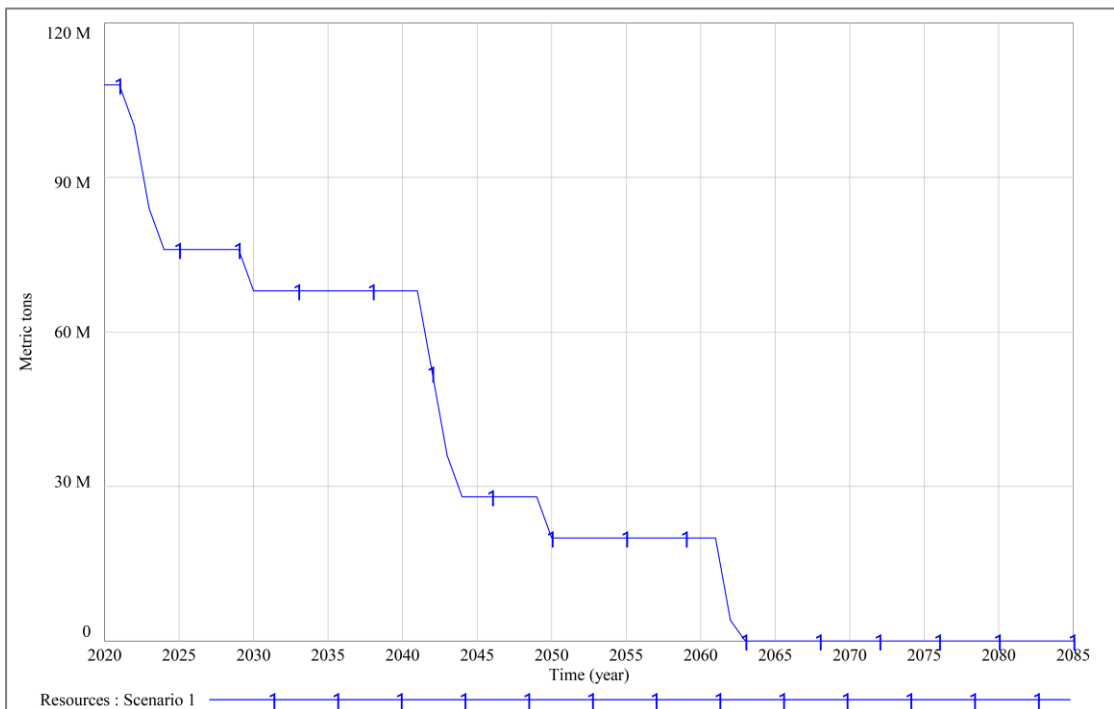
4.6.1 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 1

สถานการณ์ที่ 1 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าสูงสุดและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าสูงสุดประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 3 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 41 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่าความต้องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอันเนื่องจากมีปริมาณก่อสร้างในพื้นที่ในปริมาณที่มากและการเติบโตของประชากรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง ความต้องการหินมวลรวมที่สูงเช่นนี้ส่งผลให้เกิดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมมากขึ้นตาม ในช่วงต้นจะเห็นว่าด้วยประทานบัตรเดิม 2 แห่ง สร้างผลผลิตหินมวลรวมไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้หินจึงเกิดความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่เป็นปริมาณมาก จนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2030 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินมวลรวมในพื้นที่ด้วยประทานบัตร 5 แห่ง

ในปี ค.ศ. 2043 เกิดความจำเป็นของการเพิ่มประทานบัตรใหม่อีกครั้งรวมเป็น 6 แห่ง และเกิดผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ไปจนถึงปี ค.ศ. 2062 ผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้นี้ถูกส่งออกสู่ภายนอกพื้นที่ทั้งหมดเป็นปริมาณที่ไม่มากนัก เนื่องจากการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากช่วงปี ค.ศ. 2065 ระดับของผลผลิตหินมวลรวมเริ่มลดลงจากจำนวนประทานบัตรที่ลดลงเนื่องจากปริมาณทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2064 ดังรูปที่ 42 ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่ และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2083



รูปที่ 41 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 1

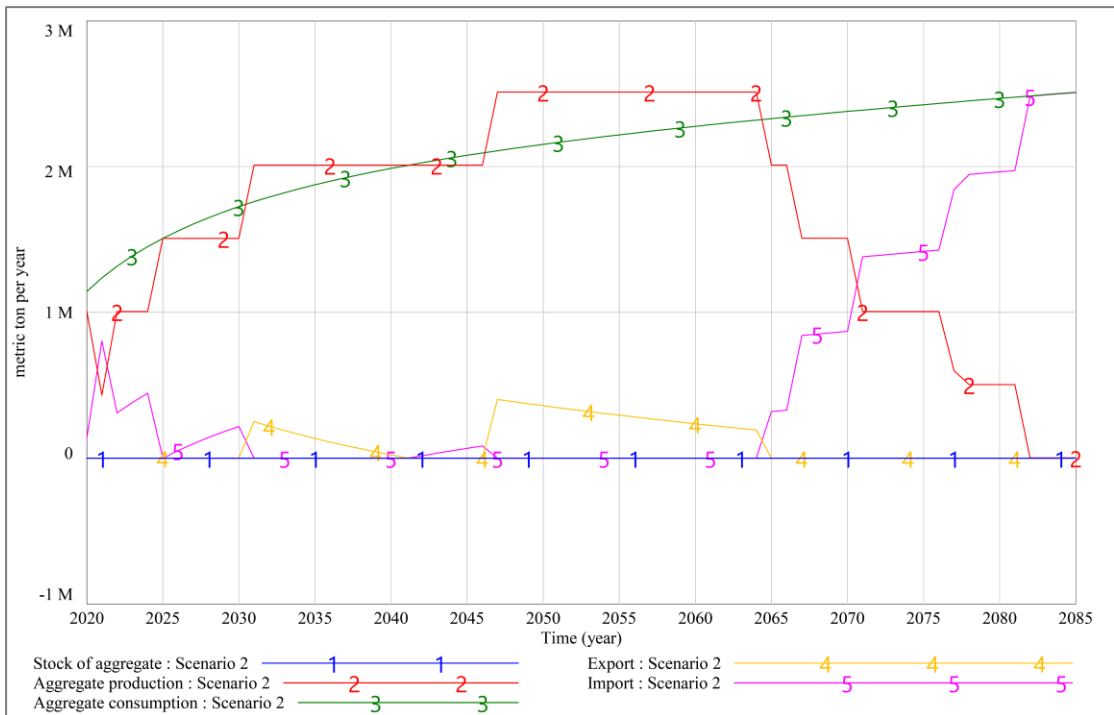


รูปที่ 42 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหิมนวมรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสถานการณ์ที่ 1

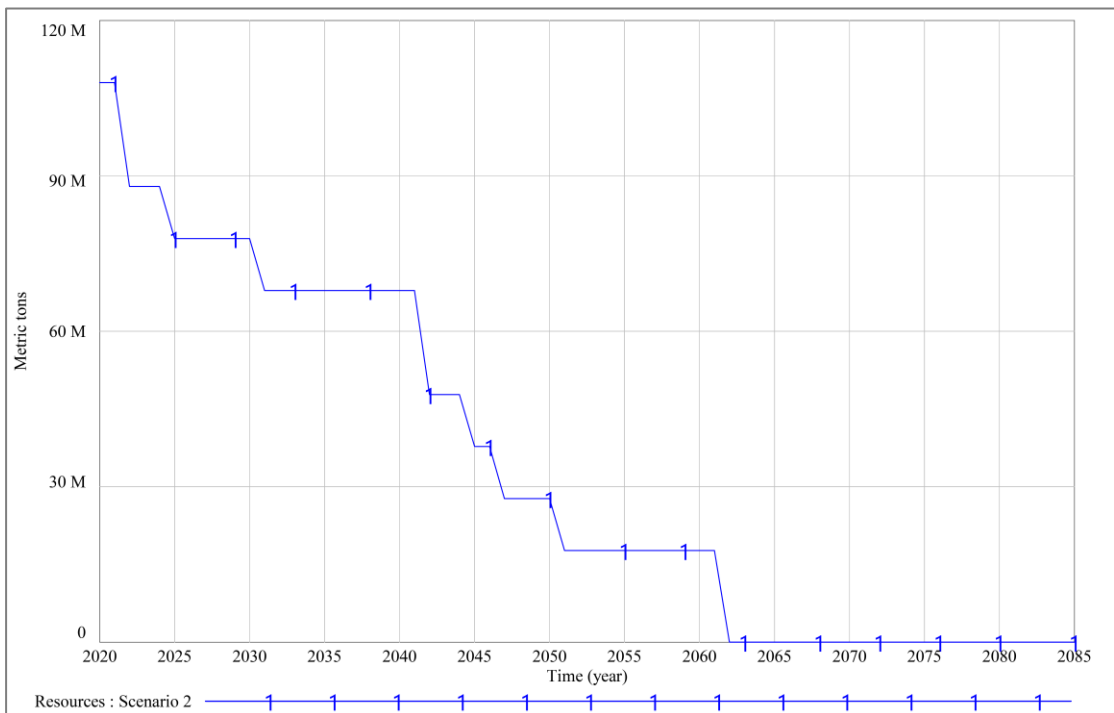
4.6.2 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 2

สถานการณ์ที่ 2 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าสูงสุดและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าเฉลี่ยประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 3 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 43 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่ามีแนวโน้มพฤติกรรมลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 1 โดยความต้องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอันเนื่องจากมีปริมาณก่อสร้างในพื้นที่ในปริมาณที่มากแม้ว่ามีอัตราการเติบโตของประชากรในอัตราเฉลี่ย ความต้องการหินมวลรวมที่สูงเช่นนี้ส่งผลให้เกิดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเหมือนหินอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมมากขึ้นตาม ในช่วงต้นจะเห็นว่าด้วยประทานบัตรเดิม 2 แห่ง สร้างผลผลิตหินมวลรวมไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้หินจึงเกิดความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่เป็นปริมาณมากจนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2031 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตร 5 แห่ง

ในปี ค.ศ. 2045 เกิดความจำเป็นของการเพิ่มประทานบัตรใหม่อีกครั้งรวมเป็น 6 แห่ง และเกิดผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ไปจนถึงปี ค.ศ. 2065 ผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้นี้ถูกส่งออกสู่ภายนอกพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งยาวนานและมากกว่าสถานการณ์ที่ 1 เนื่องจากมีอัตราการเติบโตของการใช้หินมวลรวมต่ำกว่า หลังจากช่วงปี ค.ศ. 2065 ระดับของผลผลิตหินมวลรวมเริ่มลดลงจากจำนวนประทานบัตรที่ลดลงเนื่องจากปริมาณทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2065 ดังรูปที่ 44 ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2083



รูปที่ 43 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 2

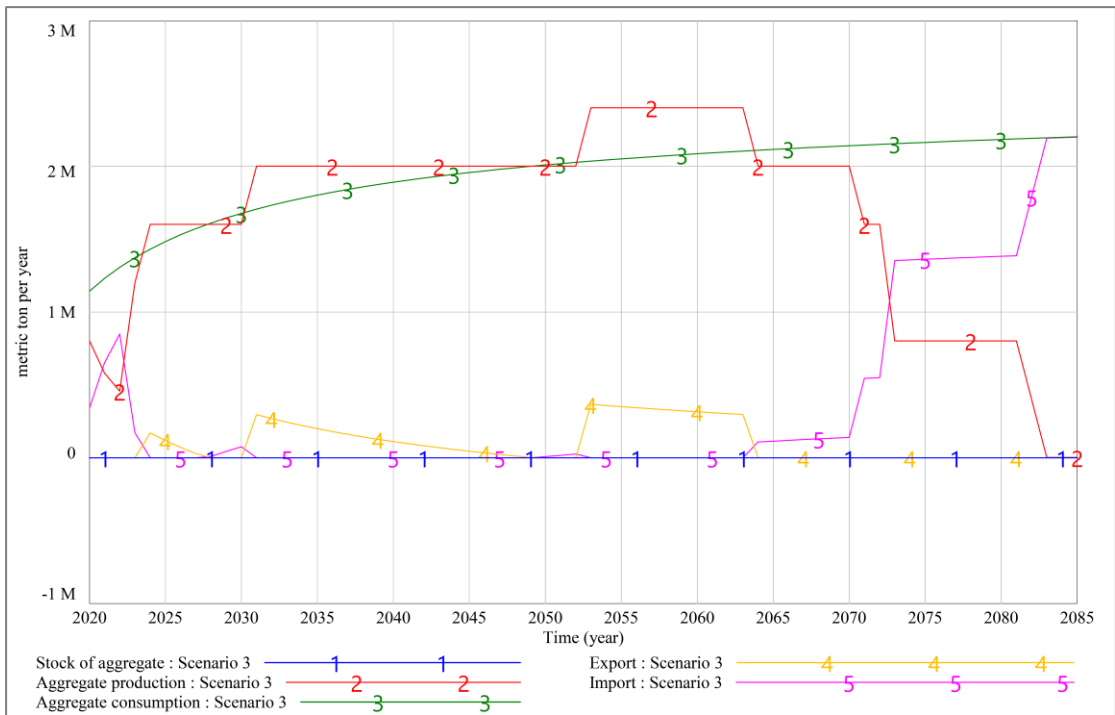


รูปที่ 44 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสถานการณ์ที่ 2

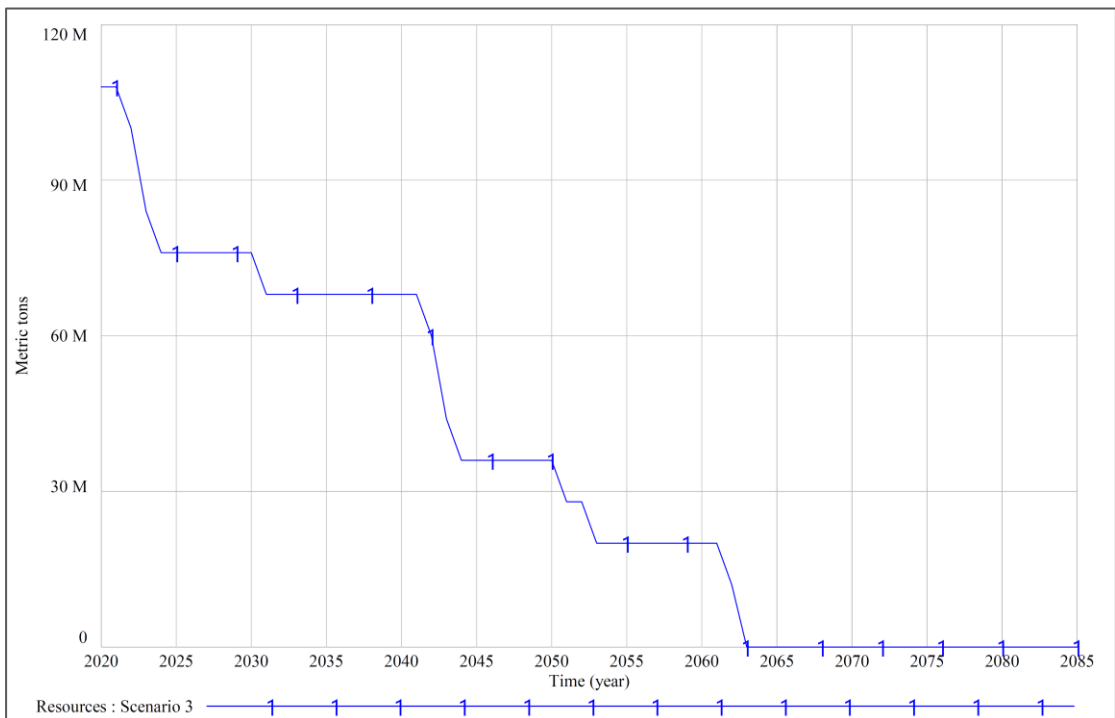
4.6.3 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 3

สถานการณ์ที่ 3 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าสูงสุดและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าต่ำสุดประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 3 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 45 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่ามีแนวโน้มพฤติกรรมลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 1 และ 2 โดยความต้องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอันเนื่องมาจากมีปริมาณก่อสร้างในพื้นที่ในปริมาณที่มากแม้ว่ามีอัตราการเติบโตของประชากรในอัตราที่ต่ำ ความต้องการหินมวลรวมที่สูงเช่นนี้ส่งผลให้เกิดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเหมือนหินอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมมากขึ้นตาม ในช่วงต้นจะเห็นว่าด้วยประทานบัตรเดิม 2 แห่ง สร้างผลผลิตหินมวลรวมไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้หินจึงเกิดความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่เป็นปริมาณมากจนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2031 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตร 5 แห่ง

ในปี ค.ศ. 2055 เกิดความจำเป็นของการเพิ่มประทานบัตรใหม่อีกครั้งรวมเป็น 6 แห่ง และเกิดผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ไปจนถึงปี ค.ศ. 2067 ผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้นี้ถูกส่งออกสู่ภายนอกพื้นที่ทั้งหมด เมื่อเทียบต่อปีกับสถานการณ์ที่ 1 และ 2 มีปริมาณที่มากกว่าเนื่องจากมีอัตราการเติบโตของการใช้หินมวลรวมต่ำกว่า แต่ระยะเวลาสั้นกว่าเนื่องจากเป็นช่วงที่ทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2065 ดังรูปที่ 46 ส่งผลให้ผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลงหลังจากช่วงปี ค.ศ. 2067 ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ส่วนทางการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่ และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2083



รูปที่ 45 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 3

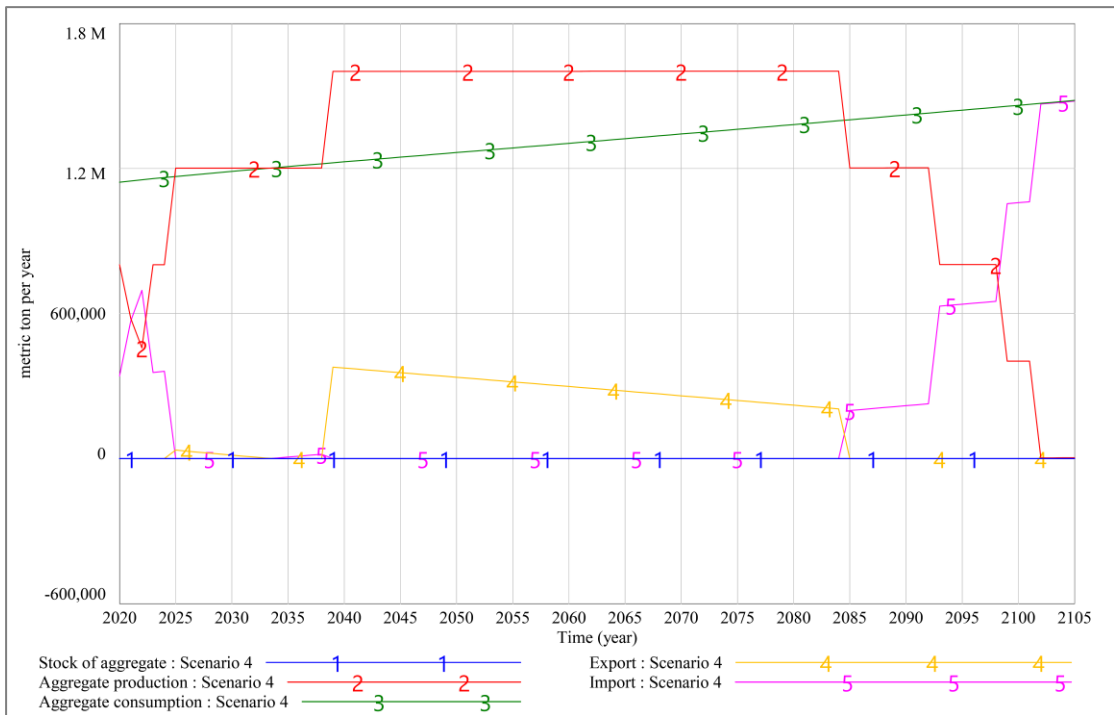


รูปที่ 46 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสถานการณ์ที่ 3

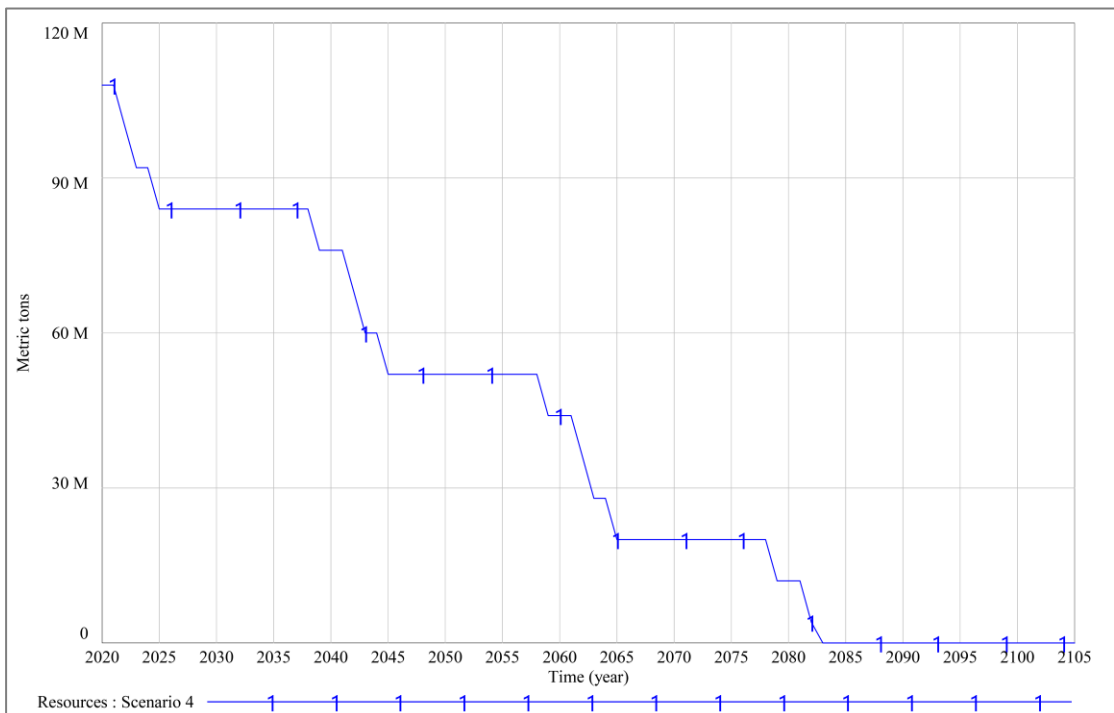
4.6.4 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 4

สถานการณ์ที่ 4 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าเฉลี่ยและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าสูงสุดประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 3 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 47 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่าความต้องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราที่ไม่สูงมากนักเนื่องจากมีปริมาณงานก่อสร้างในพื้นที่ในระดับปานกลางแม้ว่าอัตราการเติบโตของประชากรในอัตราสูง มีความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเหมือนหินอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพิ่มเติมเนื่องจากประทานบัตรเดิม 2 แห่งนั้นสร้างผลผลิตหินมวลรวมไม่เพียงพอต่อการใช้หินจึงเกิดความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในระยะสั้น จนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2025 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตรแห่งที่ 3 ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอและมีระดับใกล้เคียงกับความต้องการ

ในปี ค.ศ. 2039 เกิดความจำเป็นของการเพิ่มประทานบัตรใหม่อีกครั้งเป็นประทานบัตรแห่งที่ 4 สร้างความแตกต่างของผลผลิตหินมวลรวมและการใช้หินจึงเกิดหินมวลรวมเหลือใช้ในปริมาณที่มาก ผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ถูกส่งออกสู่ภายนอกพื้นที่ทั้งหมดเป็นปริมาณที่มากในแต่ละปีไปจนถึงหลังช่วงปี ค.ศ. 2084 ปริมาณของผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลงต่ำกว่าระดับการใช้หินเนื่องจากจำนวนประทานบัตรลดลงเหตุจากทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2083 ดังรูปที่ 48 จึงไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองได้อีกต่อไป ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2102



รูปที่ 47 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 4

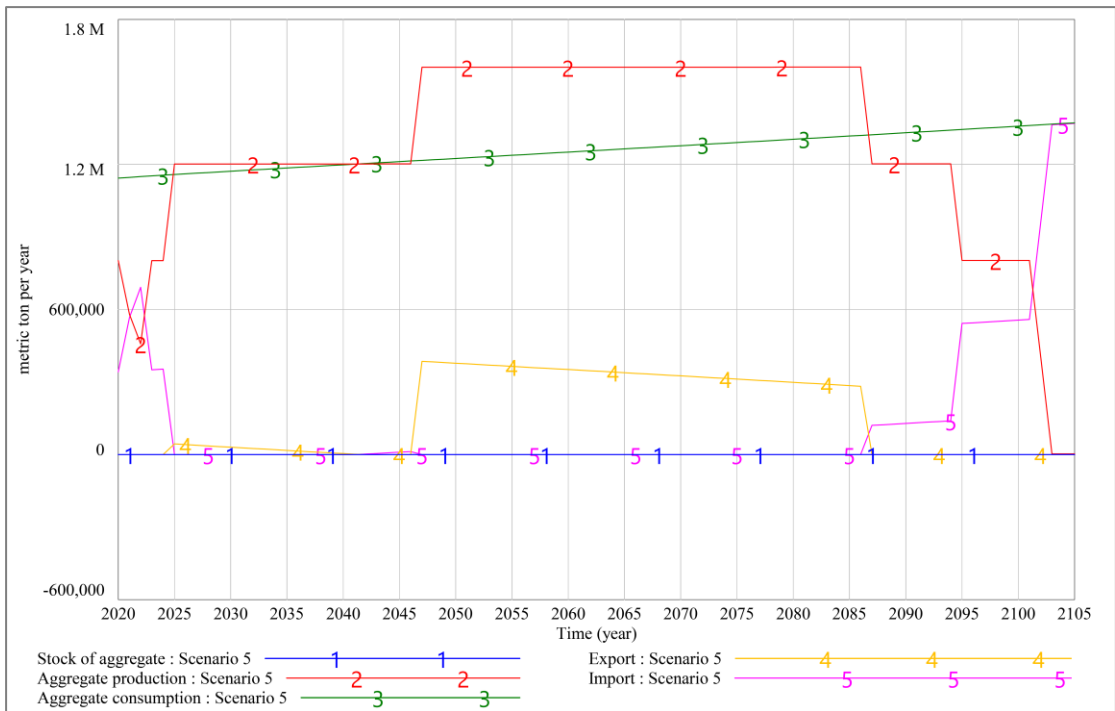


รูปที่ 48 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสถานการณ์ที่ 4

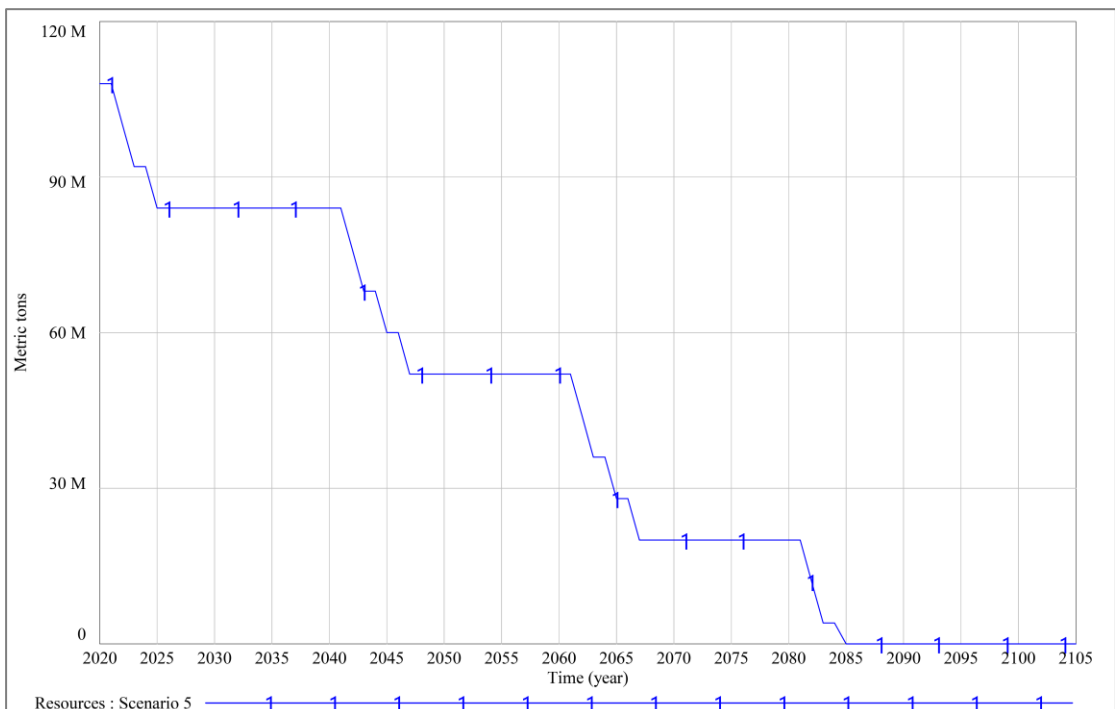
4.6.5 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 5

สถานการณ์ที่ 5 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าเฉลี่ยและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าเฉลี่ยประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 3 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 49 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่ามีแนวโน้มพฤติกรรมลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 4 ความต้องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราที่ไม่สูงมากอันเนื่องจากมีปริมาณงานก่อสร้างในพื้นที่ในระดับปานกลางและมีอัตราการเติบโตของประชากรในอัตราเฉลี่ย มีความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพิ่มเติมเนื่องจากประทานบัตรเดิม 2 แห่งนั้นสร้างผลผลิตหินมวลรวมไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้หินจึงเกิดความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในระยะสั้น จนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2025 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตรแห่งที่ 3 ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอและมีระดับใกล้เคียงกับความต้องการ

ในปี ค.ศ. 2047 เกิดความจำเป็นของการเพิ่มประทานบัตรใหม่อีกครั้งเป็นประทานบัตรแห่งที่ 4 สร้างความแตกต่างของผลผลิตหินมวลรวมและการใช้หินจึงเกิดหินมวลรวมเหลือใช้ในปริมาณที่มาก ผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้นี้ถูกส่งออกสู่ภายนอกพื้นที่ทั้งหมดเป็นปริมาณที่มากในแต่ละปีไปจนถึงหลังช่วงปี ค.ศ. 2087 ปริมาณของผลผลิตหินมวลรวมลดระดับต่ำกว่าระดับการใช้หินเนื่องจากจำนวนประทานบัตรลดลงด้วยเหตุจากทรัพยากรในพื้นที่นั้นหมดลงในปี ค.ศ. 2085 ดังรูปที่ 50 จึงไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองได้อีกต่อไป ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2103



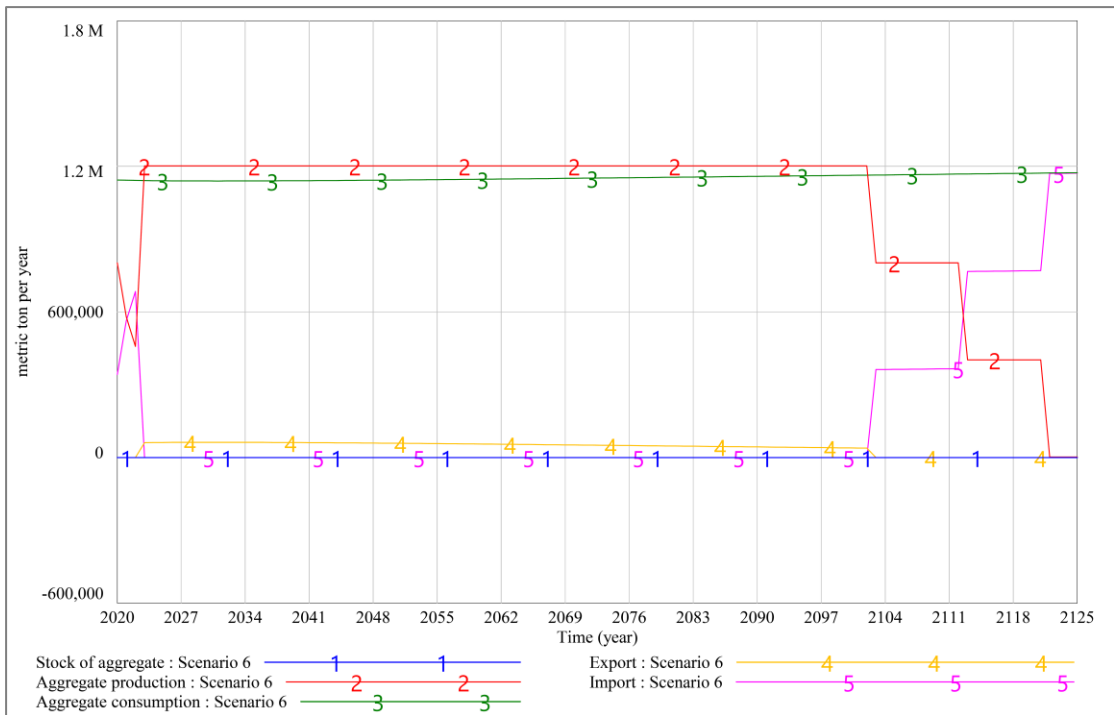
รูปที่ 49 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 5



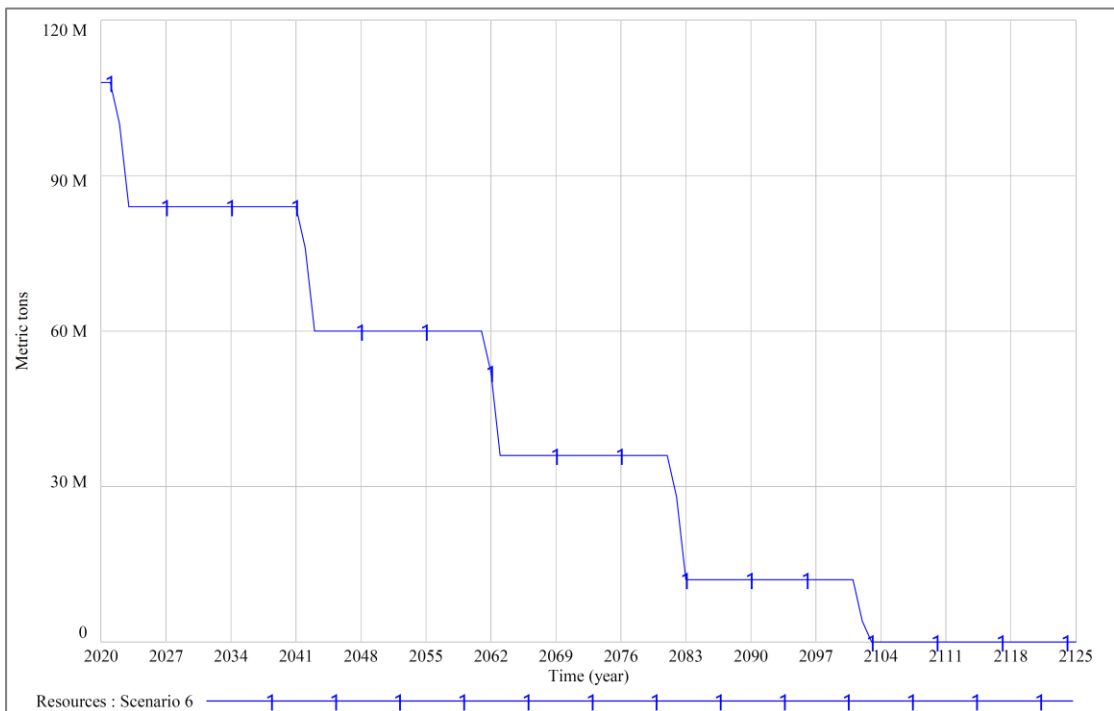
รูปที่ 50 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสถานการณ์ที่ 5

4.6.6 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 6

สถานการณ์ที่ 6 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าเฉลี่ยและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าต่ำสุดประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 3 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 51 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่ามีแนวโน้มพฤติกรรมลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 4 และ 5 ความต้องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราที่ต่ำมากอันเนื่องจากมีปริมาณงานก่อสร้างในพื้นที่ในระดับปานกลางและมีอัตราการเติบโตของประชากรในอัตราต่ำ มีความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพิ่มเติมเนื่องจากประทานบัตรเดิม 2 แห่งนั้นสร้างผลผลิตหินมวลรวมไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้หินจึงเกิดความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในระยะสั้น จนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2025 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตรแห่งที่ 3 ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอและมีระดับสูงกว่าการใช้หินเล็กน้อย เกิดการส่งออกผลผลิตหินมวลรวมไม่มากในแต่ละปีไปจนถึงช่วงหลังปี ค.ศ. 2104 ปริมาณของผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลงต่ำกว่าระดับการใช้หินเนื่องจากจำนวนประทานบัตรลดลงเหตุจากทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2103 ดังรูปที่ 52 จึงไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองได้อีกต่อไป ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2122



รูปที่ 51 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 6



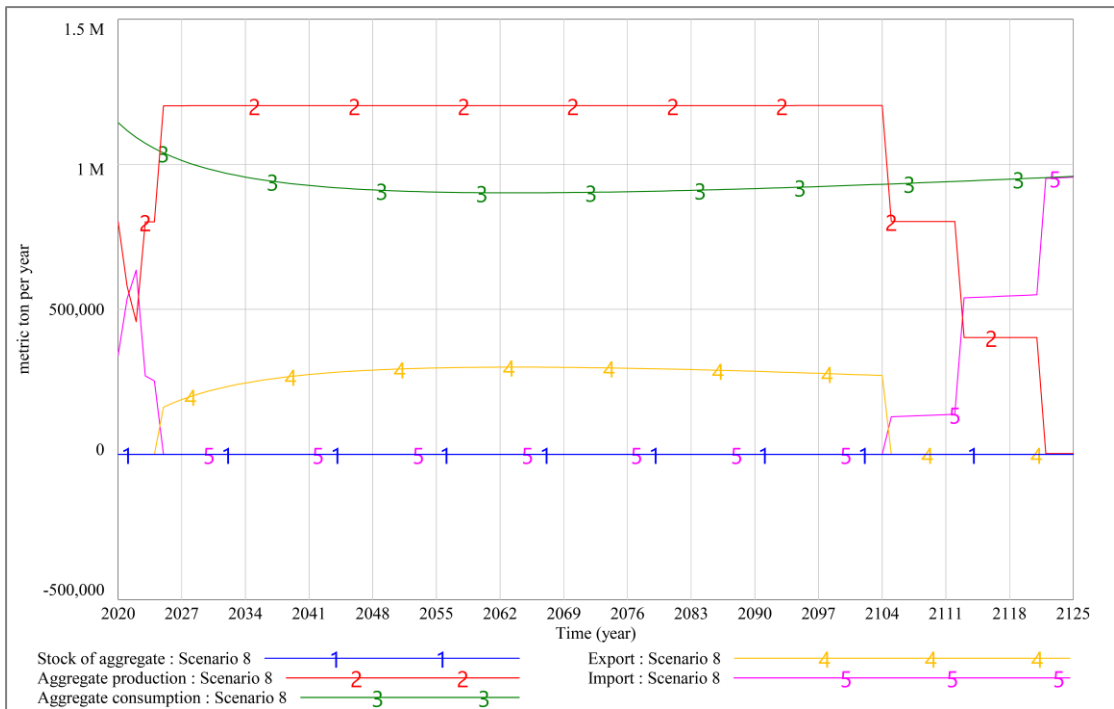
รูปที่ 52 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสถานการณ์ที่ 6

4.6.7 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 7

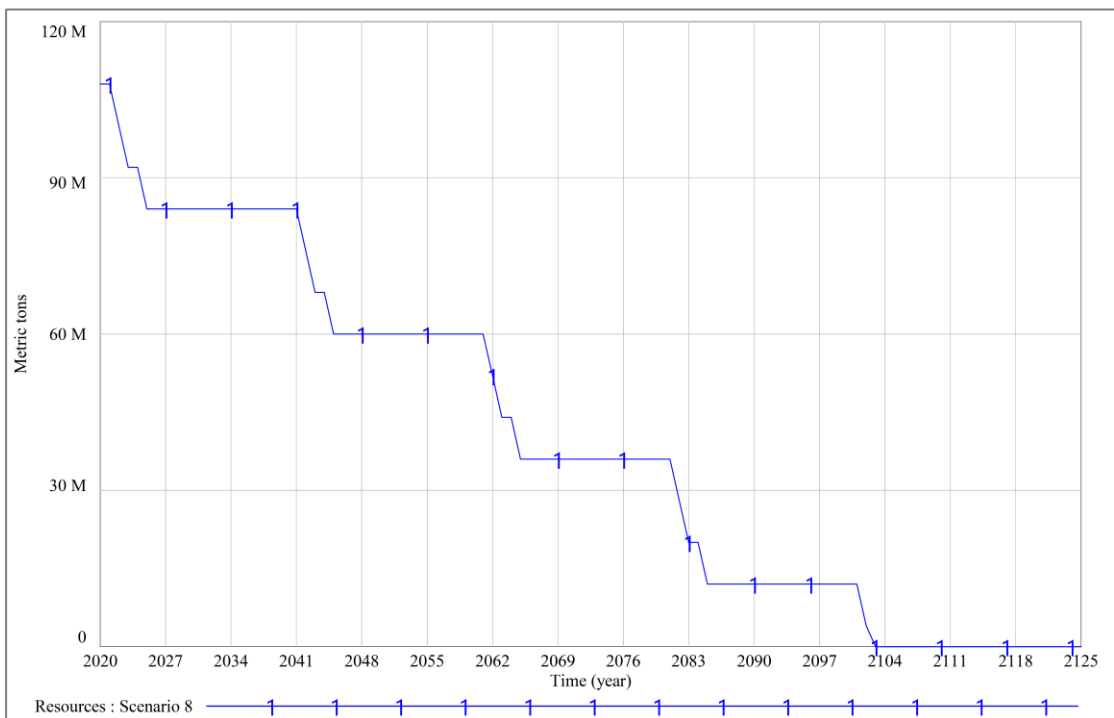
สถานการณ์ที่ 7 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าต่ำสุดและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าสูงสุดประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 3 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 53 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่าพฤติกรรมของความต้องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากโครงสร้างแบบจำลองที่ใช้แฟกเตอร์การใช้หินมวลรวมต่อหัวประชากรในการคาดการณ์การใช้หินมวลรวมของประชากรในพื้นที่ ซึ่งแฟกเตอร์นี้ค่าเริ่มต้นมาจากค่าสะสมของการใช้หินมวลรวมและจำนวนประชากรของข้อมูลในช่วงอดีตที่ถูกรวบรวมมา (ปี ค.ศ. 2007 ถึง 2019) และผลจำลองของสถานการณ์นี้มีปริมาณพื้นที่ก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารในระดับที่ต่ำ การใช้หินมวลรวมในพื้นที่จึงแสดงพฤติกรรมในลักษณะนี้ แต่ด้วยมีอัตราการเติบโตของประชากรในอัตราที่สูงเมื่อระยะผ่านไปช่วงหนึ่งจะเห็นว่าการใช้หินมวลรวมกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยประทานบัตรเดิม 2 แห่งไม่สามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอต่อความต้องการใช้หิน มีความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในระยะสั้น จนกระทั่งปี ค.ศ. 2025 สามารถมีผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตรแห่งที่ 3 ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอและมีระดับสูงกว่าการใช้หินมากขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านมาเนื่องการใช้หินมีแนวโน้มลดลง ด้วยเหตุจึงเกิดผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ในปริมาณที่มากและส่งผลให้มีการส่งออกผลผลิตหินมวลรวมมากในแต่ละปี จนกระทั่งช่วงหลังปี ค.ศ. 2054 การส่งออกผลผลิตหินมวลรวมจึงมีแนวโน้มลดลงเนื่องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปจนถึงช่วงหลังปี ค.ศ. 2104 ปริมาณของผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลงต่ำกว่าระดับความต้องการใช้หินเนื่องจากจำนวนประทานบัตรลดลงด้วยเหตุจากทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2103 ดังรูปที่ 54 จึงไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองได้อีกต่อไป ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2122

4.6.8 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 8

สถานการณ์ที่ 8 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าต่ำสุดและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าเฉลี่ยประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 3 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 55 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่าพฤติกรรมของความต้องการใช้หินมวลรวมมีพฤติกรรมในลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 7 แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่า โดยประทานบัตรเดิม 2 แห่งไม่สามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอต่อการใช้หิน มีความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในระยะสั้น จนกระทั่งปี ค.ศ. 2025 สามารถมีผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตรแห่งที่ 3 ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอและมีระดับสูงกว่าการใช้หินมากขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านมาเนื่องการใช้หินมีแนวโน้มลดลง ด้วยเหตุจึงเกิดผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ในปริมาณที่มากและส่งผลให้เกิดการส่งออกผลผลิตหินมวลรวมมากในแต่ละปี จนกระทั่งหลังช่วงปี ค.ศ. 2064 การส่งออกผลผลิตหินมวลรวมจึงมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยไปจนถึงช่วงหลังปี ค.ศ. 2104 ปริมาณของผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลงต่ำกว่าระดับความต้องการใช้หินเนื่องจากจำนวนประทานบัตรลดลงเหตุจากทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2103 ดังรูปที่ 56 จึงไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองได้อีกต่อไป ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2122



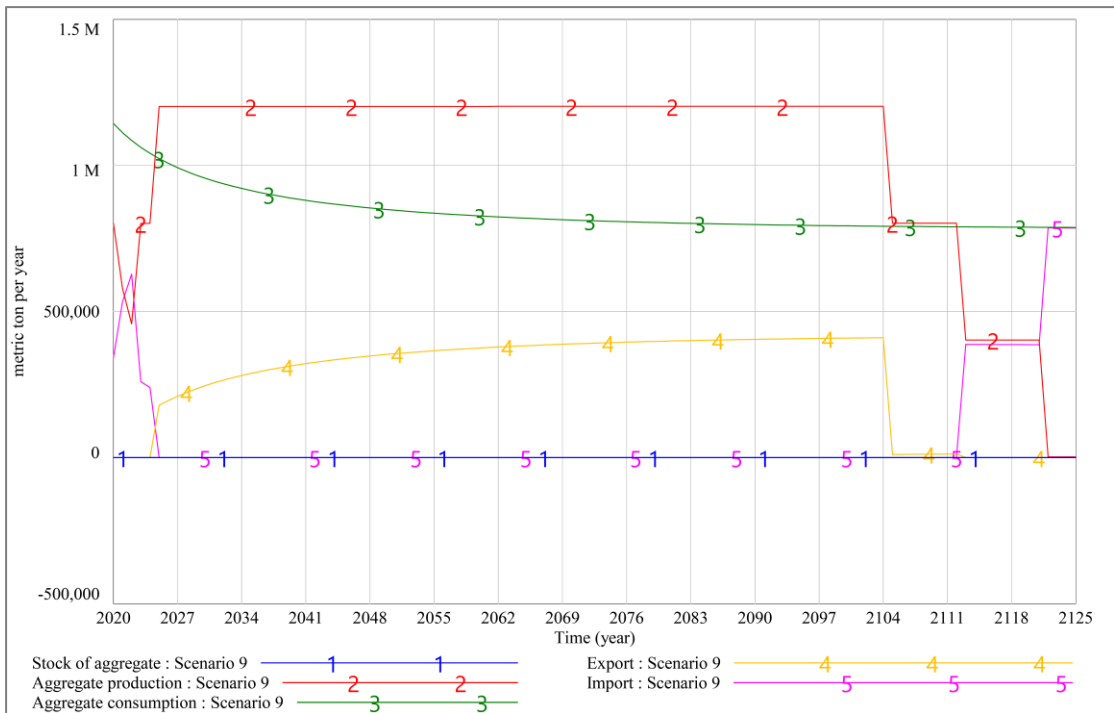
รูปที่ 55 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 8



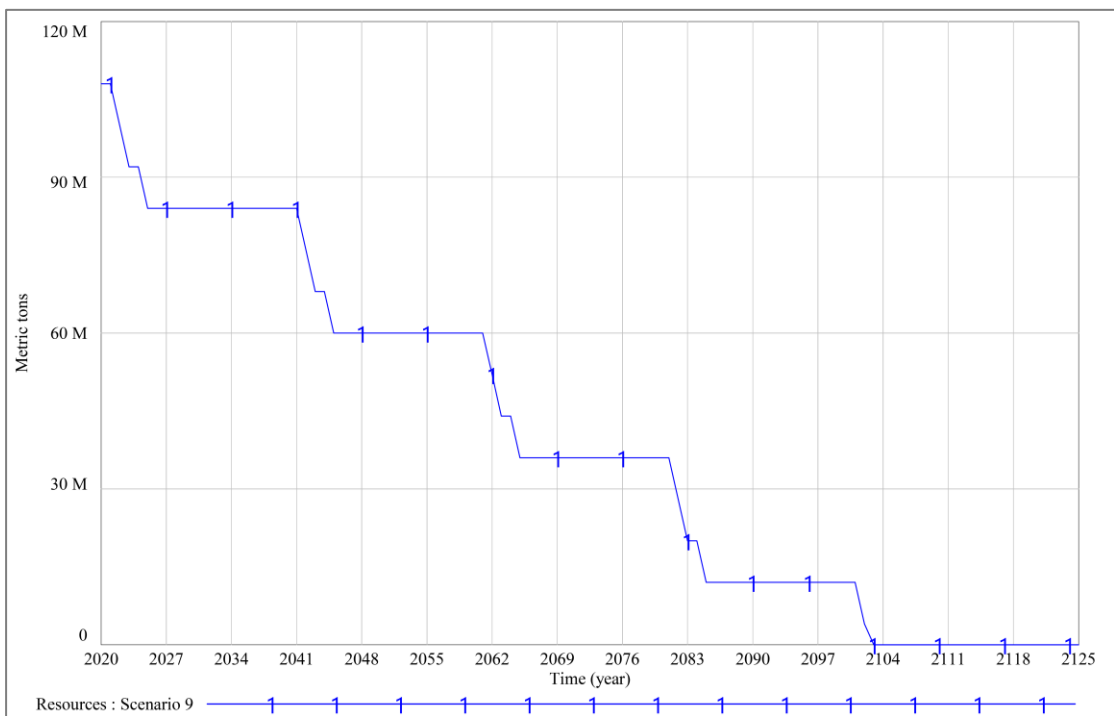
รูปที่ 56 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสถานการณ์ที่ 8

4.6.9 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 9

สถานการณ์ที่ 9 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าต่ำสุดและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าเฉลี่ยประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 3 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 57 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่าพฤติกรรมของความต้องการใช้หินมวลรวมมีพฤติกรรมคล้ายกันกับสถานการณ์ที่ 7 และ 8 แต่มีแนวโน้มของการใช้หินมวลรวมลดลงอย่างต่อเนื่องไปในทิศทางเดียว โดยประทานบัตรเดิม 2 แห่งไม่สามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอต่อความต้องการใช้หิน มีความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในระยะสั้น จนกระทั่งปี ค.ศ. 2025 สามารถมีผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตรแห่งที่ 3 ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอและมีระดับสูงกว่าการใช้หินมากขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านมาเนื่องการใช้หินมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุจึงเกิดผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ในปริมาณที่มากและส่งผลให้เกิดการส่งออกผลผลิตหินมวลรวมมากในแต่ละปี จนกระทั่งเกิดความจำเป็นของการลดจำนวนประทานบัตรลงตามเงื่อนไขโครงสร้างแบบจำลองและลดลงเหลือเพียง 2 แห่ง ในปี ค.ศ. 2102 ประกอบกับเป็นช่วงเวลาที่ทรัพยากรในพื้นที่นั้นหมดลงในปี ค.ศ. 2103 ดังรูปที่ 58 จึงไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองได้อีกต่อไป จนกระทั่งช่วงหลังปี ค.ศ. 2112 ระดับผลผลิตหินมวลรวมลดต่ำกว่าความต้องการใช้หิน ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2122



รูปที่ 57 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 9

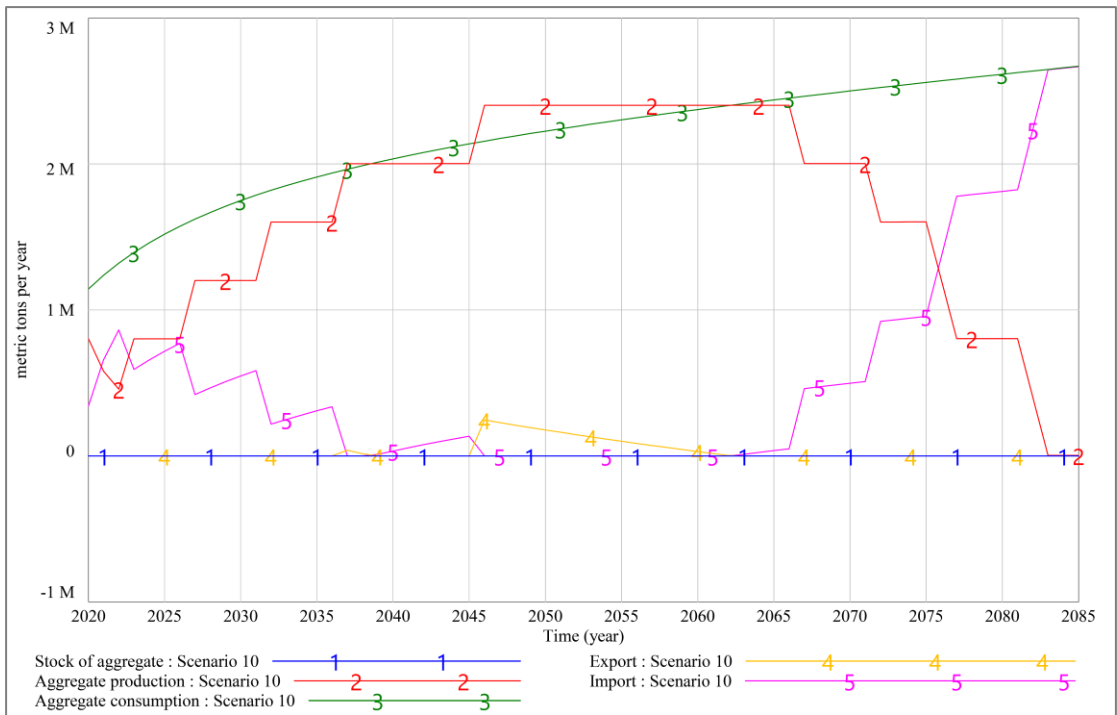


รูปที่ 58 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสถานการณ์ที่ 9

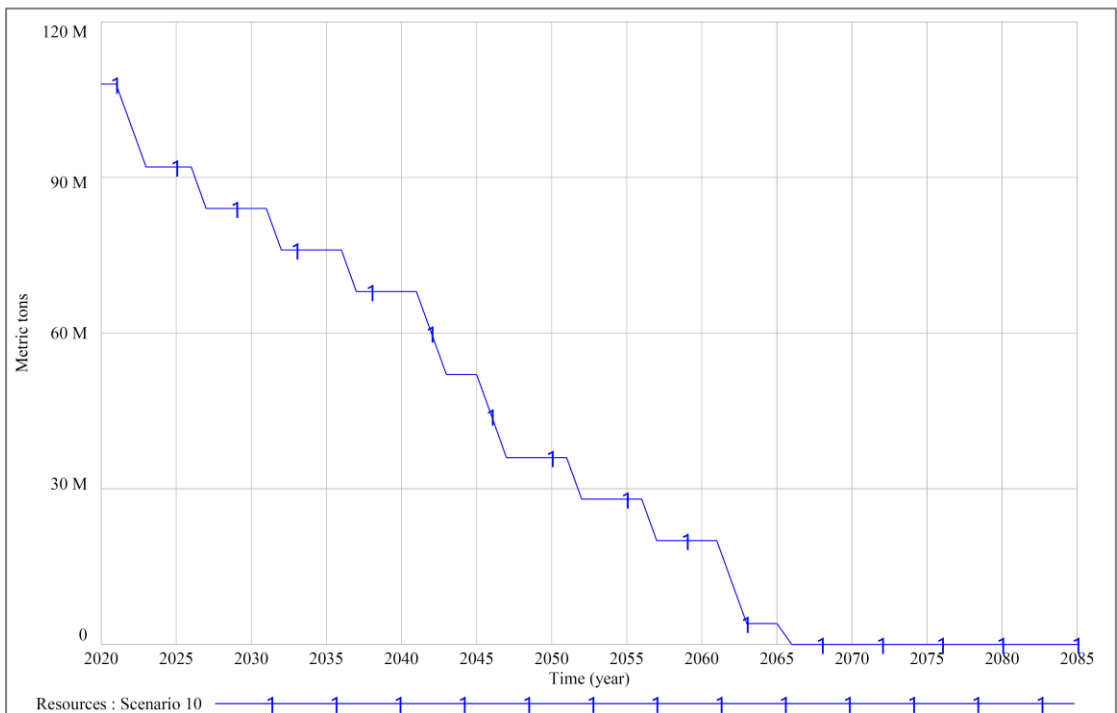
4.6.10 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 10

สถานการณ์ที่ 10 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าสูงสุดและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าสูงสุดประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 5 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 59 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่ามีพฤติกรรมลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 1 คือความต้องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่องจากมีปริมาณงานก่อสร้างในพื้นที่ในปริมาณที่มากและการเติบโตของประชากรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง แตกต่างกันในเรื่องของระยะเวลาที่ใช้ในการพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมให้มีระดับใกล้เคียงกันกับแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของการใช้หินเนื่องจากใช้เวลาในการพิจารณาที่ยาวนานกว่า มีความจำเป็นในการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในปริมาณที่มากเป็นระยะยาวนานจนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2037 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตร 5 แห่ง

ในปี ค.ศ. 2046 เกิดความจำเป็นของการเพิ่มประทานบัตรใหม่อีกครั้งรวมเป็น 6 แห่ง และเกิดผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ไปจนถึงปี ค.ศ. 2062 ผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้นี้ถูกส่งออกสู่ภายนอกพื้นที่ทั้งหมดเป็นปริมาณที่ไม่มากนักเนื่องจากการใช้หินมวลรวมในพื้นที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งหลังจากช่วงปี ค.ศ. 2067 ระดับของผลผลิตหินมวลรวมเริ่มลดลงจากจำนวนประทานบัตรที่ลดลงเนื่องจากปริมาณทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2066 ดังรูปที่ 60 ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2083



รูปที่ 59 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 10

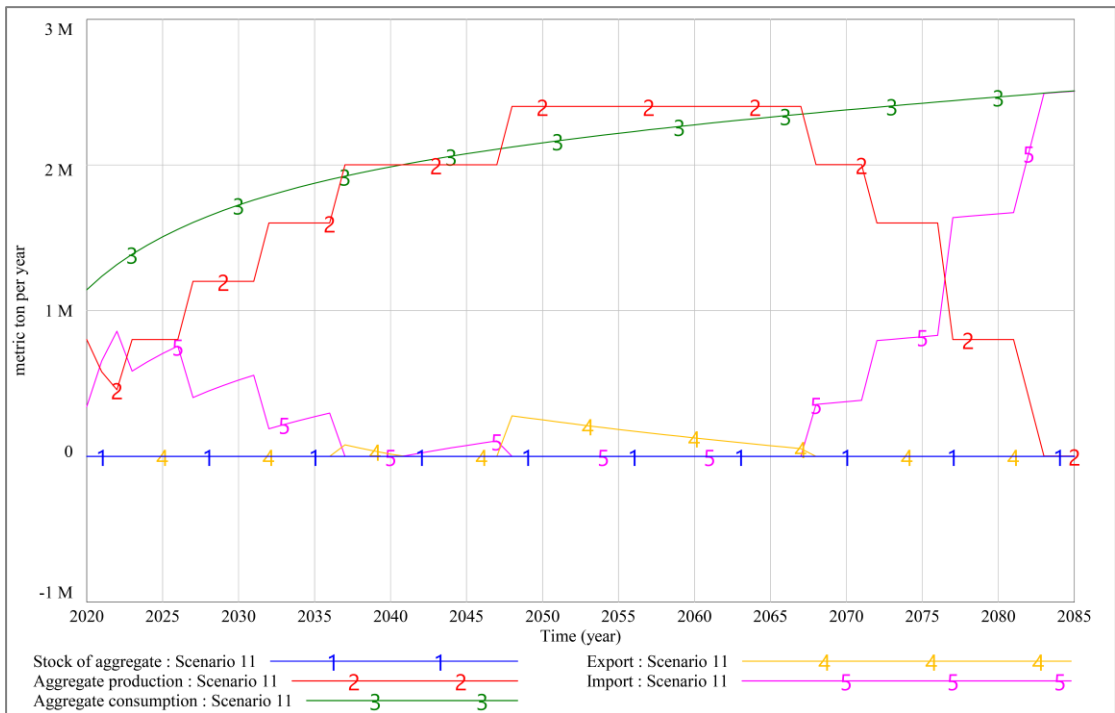


รูปที่ 60 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสถานการณ์ที่ 10

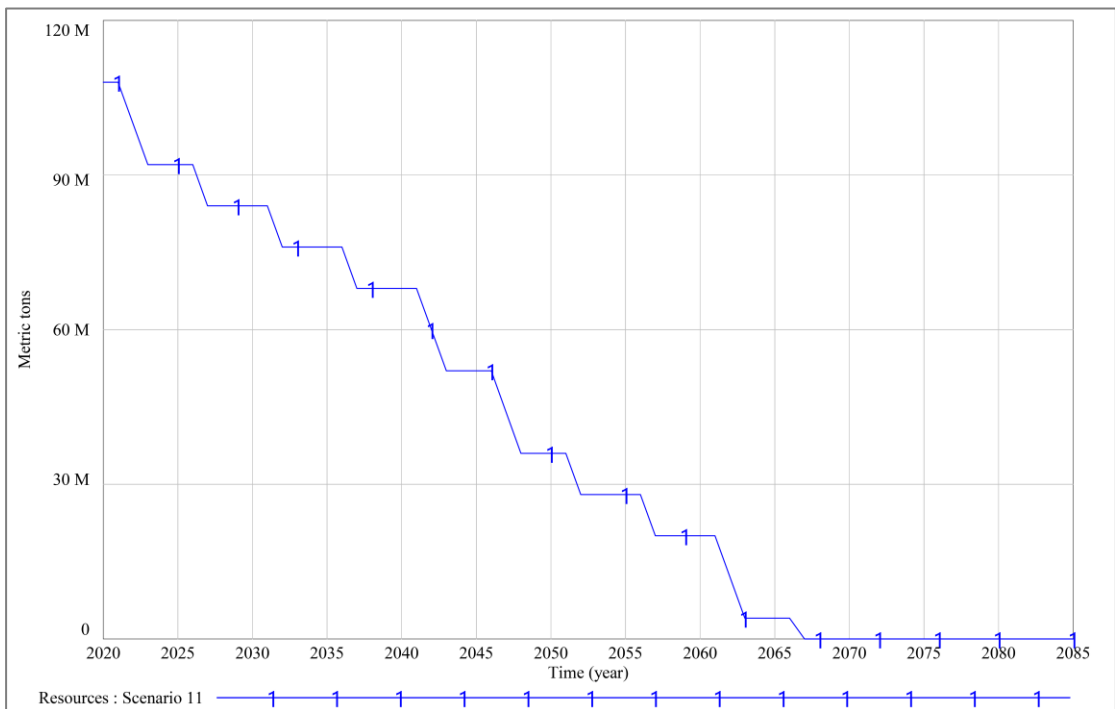
4.6.11 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 11

สถานการณ์ที่ 11 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าสูงสุดและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าเฉลี่ยประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 5 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 61 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่ามีพฤติกรรมลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 2 คือความต้องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่องจากมีปริมาณงานก่อสร้างในพื้นที่ในปริมาณที่มากและการเติบโตของประชากรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง แตกต่างกันในเรื่องของระยะเวลาที่ใช้ในการพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมให้มีระดับใกล้เคียงกับแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของการใช้เนื่องจากใช้เวลาในการพิจารณาที่ยาวนานกว่า มีความจำเป็นในการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในปริมาณที่มากเป็นระยะเวลายาวนานจนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2037 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตร 5 แห่ง

ในปี ค.ศ. 2048 เกิดความจำเป็นของการเพิ่มประทานบัตรใหม่อีกครั้งรวมเป็น 6 แห่ง และเกิดผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ไปจนถึงปี ค.ศ. 2067 ผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้นี้ถูกส่งออกสู่ภายนอกพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งยาวนานและมากกว่าสถานการณ์ที่ 10 เนื่องจากมีอัตราการเติบโตของการใช้หินมวลรวมต่ำกว่า จนกระทั่งหลังจากช่วงปี ค.ศ. 2067 ระดับของผลผลิตหินมวลรวมเริ่มลดลงจากจำนวนประทานบัตรที่ลดลงเนื่องจากปริมาณทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2067 ดังรูปที่ 62 ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ส่วนทางการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่ และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2083



รูปที่ 61 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 11

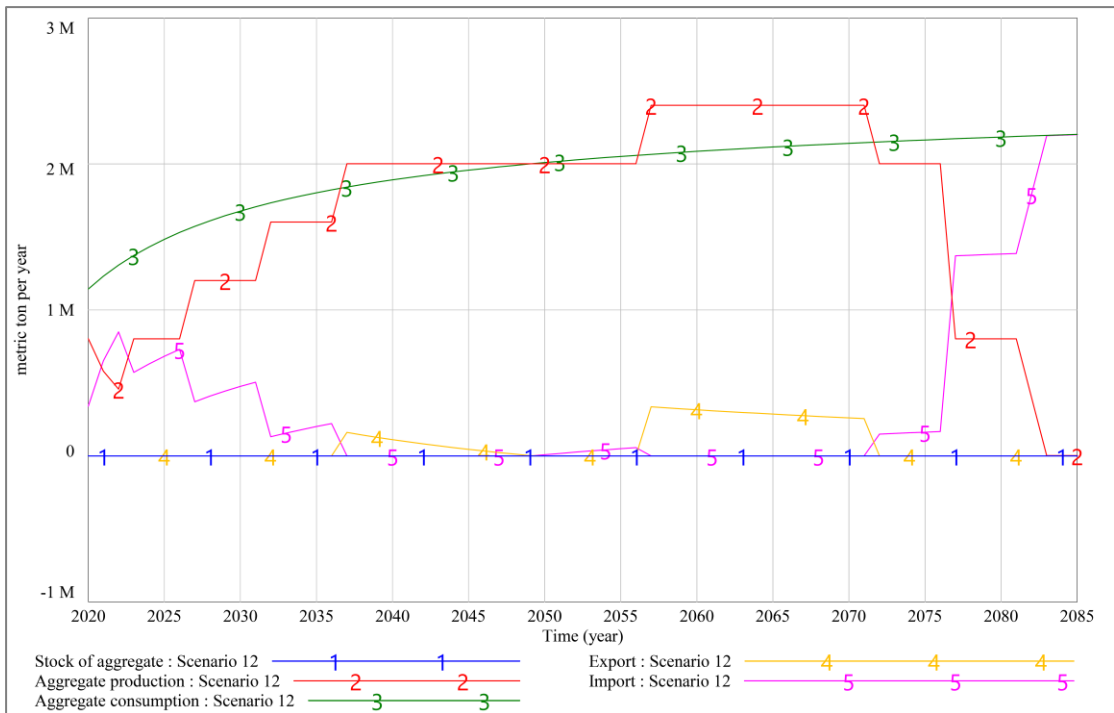


รูปที่ 62 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสถานการณ์ที่ 11

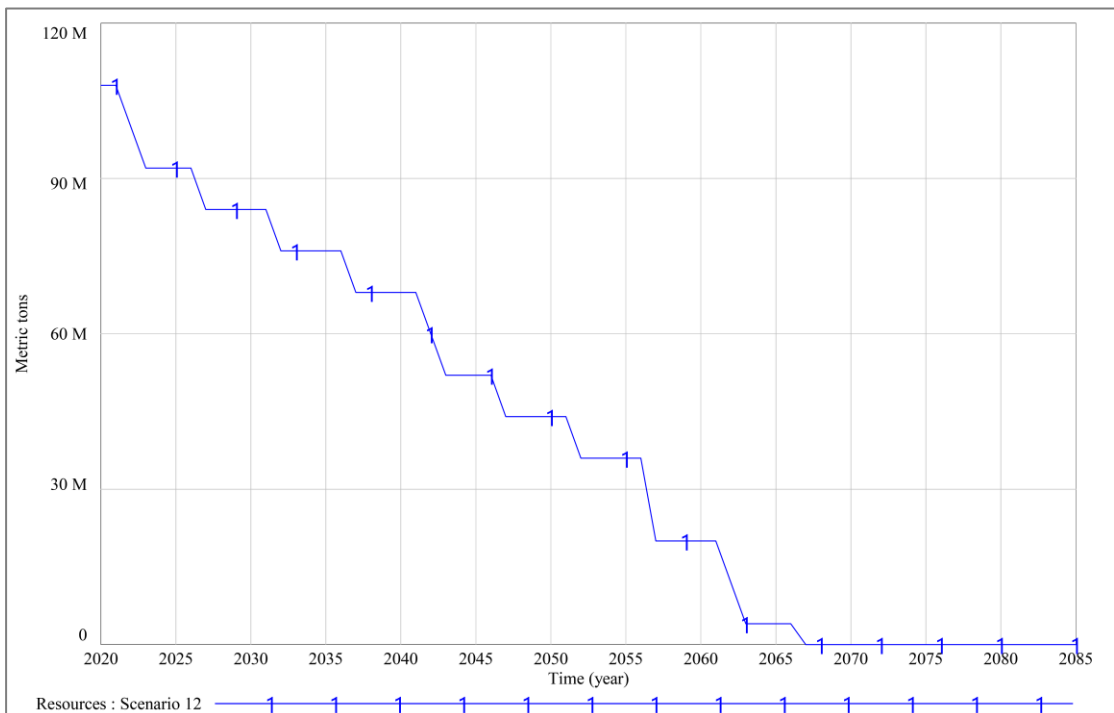
4.6.12 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 12

สถานการณ์ที่ 12 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าสูงสุดและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าเฉลี่ยประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 5 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 63 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่ามีพฤติกรรมลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 3 คือความต้องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่องจากมีปริมาณงานก่อสร้างในพื้นที่ในปริมาณที่มากและการเติบโตของประชากรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง แตกต่างกันในเรื่องของระยะเวลาที่ใช้ในการพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมให้มีระดับใกล้เคียงกับแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของการใช้หินเนื่องจากใช้เวลาในการพิจารณาที่ยาวนานกว่า มีความจำเป็นในการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในปริมาณที่มากเป็นระยะเวลายาวนานจนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2037 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตร 5 แห่ง

ในปี ค.ศ. 2057 เกิดความจำเป็นของการเพิ่มประทานบัตรใหม่อีกครั้งรวมเป็น 6 แห่ง และเกิดผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ไปจนถึงปี ค.ศ. 2072 ผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้นี้ถูกส่งออกสู่ภายนอกพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งเป็นปริมาณที่มากกว่าสถานการณ์ที่ 10 และ 11 เนื่องจากมีอัตราการเติบโตของการใช้หินมวลรวมต่ำกว่า แต่ระยะเวลาสั้นกว่าเนื่องจากเป็นช่วงที่ทรัพยากรในพื้นที่หมดลงจึงเป็นเหตุผลให้ผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลง จนกระทั่งหลังจากช่วงปี ค.ศ. 2072 ระดับของผลผลิตหินมวลรวมเริ่มลดลงจากจำนวนประทานบัตรที่ลดลงเนื่องจากปริมาณทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2067 ดังรูปที่ 64 ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ส่วนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่ และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2083



รูปที่ 63 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 12



รูปที่ 64 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสถานการณ์ที่ 12

4.6.13 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 13

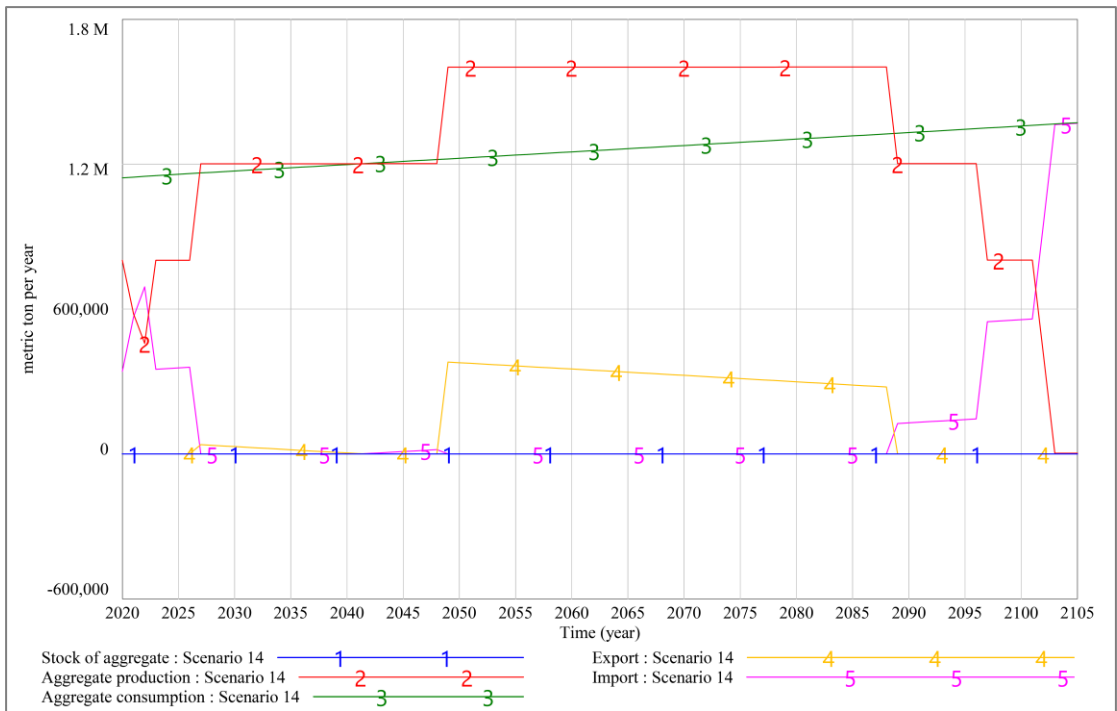
สถานการณ์ที่ 13 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าเฉลี่ยและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าสูงสุดประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 5 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 65 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่ามีพฤติกรรมลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 4 คือความต้องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราที่ไม่สูงมากอันเนื่องจากมีปริมาณงานก่อสร้างในพื้นที่ในระดับปานกลางแม้ว่ามีอัตราการเติบโตของประชากรในอัตราสูง มีความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเหมือนหินอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพิ่มเติมเนื่องจากประทานบัตรเดิม 2 แห่งนั้นสร้างผลผลิตหินมวลรวมไม่เพียงพอต่อการใช้หินจึงเกิดความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในระยะสั้น จนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2027 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตรแห่งที่ 3 ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอและมีระดับใกล้เคียงกับความต้องการ

ในปี ค.ศ. 2041 เกิดความจำเป็นของการเพิ่มประทานบัตรใหม่อีกครั้งเป็นประทานบัตรแห่งที่ 4 สร้างความแตกต่างของผลผลิตหินมวลรวมและการใช้หินจึงเกิดหินมวลรวมเหลือใช้ในปริมาณที่มาก ผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้นี้ถูกส่งออกสู่ภายนอกพื้นที่ทั้งหมดเป็นปริมาณที่มากในแต่ละปีไปจนถึงหลังช่วงปี ค.ศ. 2086 ปริมาณของผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลงต่ำกว่าระดับการใช้หินเนื่องจากจำนวนประทานบัตรลดลงเหตุจากทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2083 ดังรูปที่ 66 จึงไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองได้อีกต่อไป ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2102

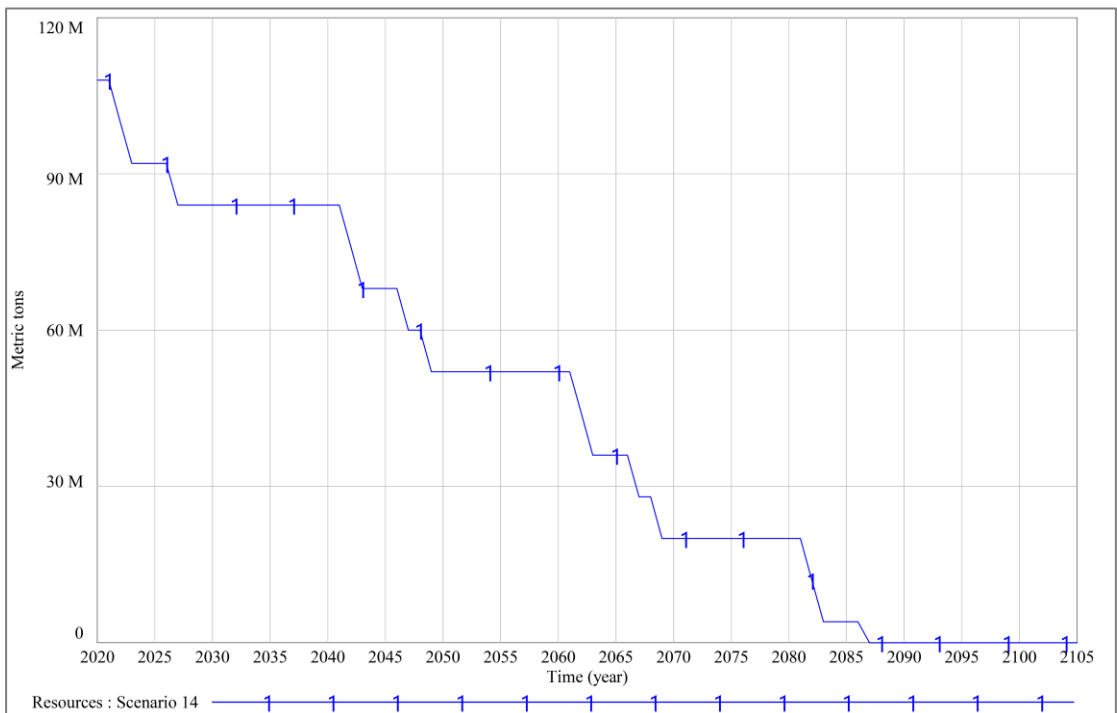
4.6.14 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 14

สถานการณ์ที่ 14 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าเฉลี่ยและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าเฉลี่ยประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 5 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 67 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่ามีพฤติกรรมลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 5 คือความต้องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราที่ไม่สูงมากอันเนื่องจากมีปริมาณงานก่อสร้างในพื้นที่ในระดับปานกลางแม้ว่ามีอัตราการเติบโตของประชากรในอัตราเฉลี่ย มีความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพิ่มเติมเนื่องจากประทานบัตรเดิม 2 แห่งนั้นสร้างผลผลิตหินมวลรวมไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้หินจึงเกิดความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในระยะสั้น จนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2027 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตรแห่งที่ 3 ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอและมีระดับใกล้เคียงกับความต้องการ

ในปี ค.ศ. 2049 เกิดความจำเป็นของการเพิ่มประทานบัตรใหม่อีกครั้งเป็นประทานบัตรแห่งที่ 4 สร้างความแตกต่างของผลผลิตหินมวลรวมและการใช้หินจึงเกิดหินมวลรวมเหลือใช้ในปริมาณที่มาก ผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้นี้ถูกส่งออกสู่ภายนอกพื้นที่ทั้งหมดเป็นปริมาณที่มากในแต่ละปีไปจนถึงหลังช่วงปี ค.ศ. 2088 ปริมาณของผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลงต่ำกว่าระดับการใช้หินเนื่องจากจำนวนประทานบัตรลดลงเหตุจากทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2087 ดังรูปที่ 68 จึงไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองได้อีกต่อไป ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2103



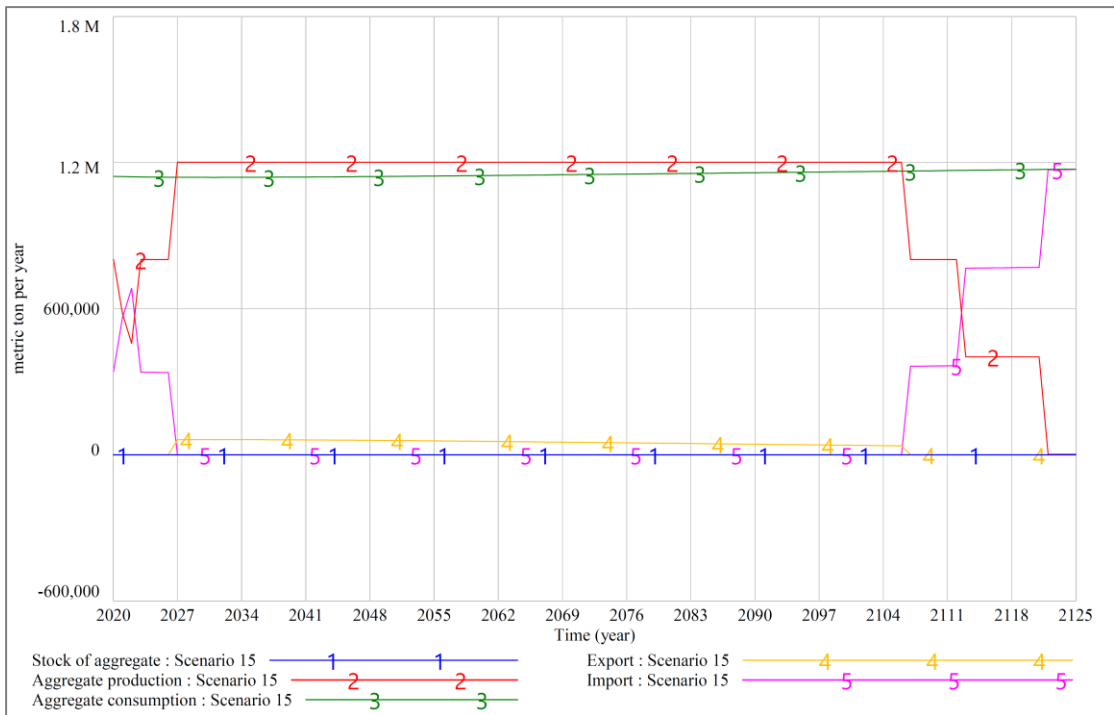
รูปที่ 67 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 14



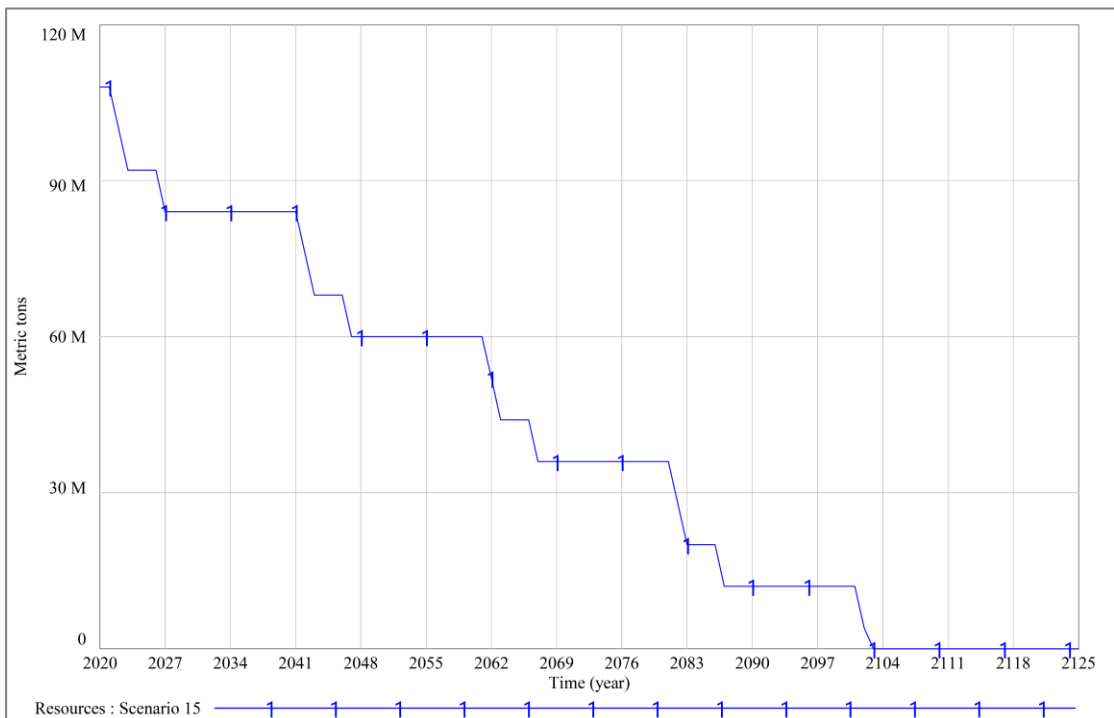
รูปที่ 68 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสถานการณ์ที่ 14

4.6.15 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 15

สถานการณ์ที่ 15 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าเฉลี่ยและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าต่ำสุดประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 5 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 69 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่ามีพฤติกรรมลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 4 คือความต้องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราที่ต่ำมากอันเนื่องจากอัตราการเติบโตของประชากรในอัตราต่ำแม้ว่ามีปริมาณงานก่อสร้างในพื้นที่ในระดับปานกลาง มีความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพิ่มเติมเนื่องจากประทานบัตรเดิม 2 แห่งนั้นสร้างผลผลิตหินมวลรวมไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้หินจึงเกิดความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในระยะสั้น จนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2027 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตรแห่งที่ 3 ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอและมีระดับใกล้เคียงกับการใช้หินไปจนถึงปี ค.ศ. 2106 มีผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้เล็กน้อย ผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้นี้ถูกส่งออกสู่ภายนอกพื้นที่ทั้งหมดเป็นปริมาณที่ไม่มากในแต่ละปี จนกระทั่งหลังจากช่วงปี ค.ศ. 2106 ปริมาณของผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลงต่ำกว่าระดับการใช้หินเนื่องจากจำนวนประทานบัตรลดลงเหตุจากทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2103 ดังรูปที่ 70 จึงไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองได้อีกต่อไป ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2122



รูปที่ 69 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 15



รูปที่ 70 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสถานการณ์ที่ 15

4.6.16 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 16

สถานการณ์ที่ 16 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าต่ำสุดและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าสูงสุดประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 5 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 71 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่าพฤติกรรมของความต้องการใช้หินมวลรวมมีพฤติกรรมในลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 7 การใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มลดลงในช่วงระยะเริ่มต้นของผลจำลองและเมื่อระยะเวลาผ่านไปการใช้หินกลับมามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยประทานบัตรเดิม 2 แห่งไม่สามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอต่อการใช้หิน มีความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในระยะสั้น จนกระทั่งปี ค.ศ. 2027 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตรแห่งที่ 3 ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอและมีระดับสูงกว่าการใช้หินมากขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านมาเนื่องการใช้หินมีแนวโน้มลดลง ด้วยเหตุนี้จึงเกิดผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ในปริมาณที่มากและส่งผลให้มีการส่งออกผลผลิตหินมวลรวมปริมาณมากในแต่ละปี จนกระทั่งช่วงหลังปี ค.ศ. 2054 การส่งออกผลผลิตหินมวลรวมจึงมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มขึ้นไปจนถึงช่วงหลังปี ค.ศ. 2106 ปริมาณของผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลงต่ำกว่าระดับการใช้หินเนื่องจากจำนวนประทานบัตรลดลงด้วยเหตุจากทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2103 ดังรูปที่ 72 จึงไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองได้อีกต่อไป ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2122

4.6.17 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 17

สถานการณ์ที่ 17 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าต่ำสุดและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าเฉลี่ยประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 5 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 73 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่าพฤติกรรมของความต้องการใช้หินมวลรวมมีพฤติกรรมในลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 8 การใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มลดลงในช่วงระยะเริ่มต้นของผลจำลองและเมื่อระยะเวลาผ่านไปการใช้หินกลับมามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยประทานบัตรเดิม 2 แห่งไม่สามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอต่อความต้องการใช้หิน มีความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในระยะสั้น จนกระทั่งปี ค.ศ. 2027 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตรแห่งที่ 3 ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอและมีระดับสูงกว่าใช้หินมากขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านมาเนื่องการใช้หินมีแนวโน้มลดลง ด้วยเหตุนี้จึงเกิดผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ในปริมาณที่มากและส่งผลให้มีการส่งออกผลผลิตหินมวลรวมปริมาณมากในแต่ละปี จนกระทั่งช่วงหลังปี ค.ศ. 2064 การส่งออกผลผลิตหินมวลรวมจึงมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มขึ้นไปจนถึงช่วงหลังปี ค.ศ. 2106 ปริมาณของผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลงต่ำกว่าระดับการใช้หินเนื่องจากจำนวนประทานบัตรลดลงด้วยเหตุจากทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในปี ค.ศ. 2103 ดังรูปที่ 74 จึงไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองได้อีกต่อไป ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2122

4.6.18 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 18

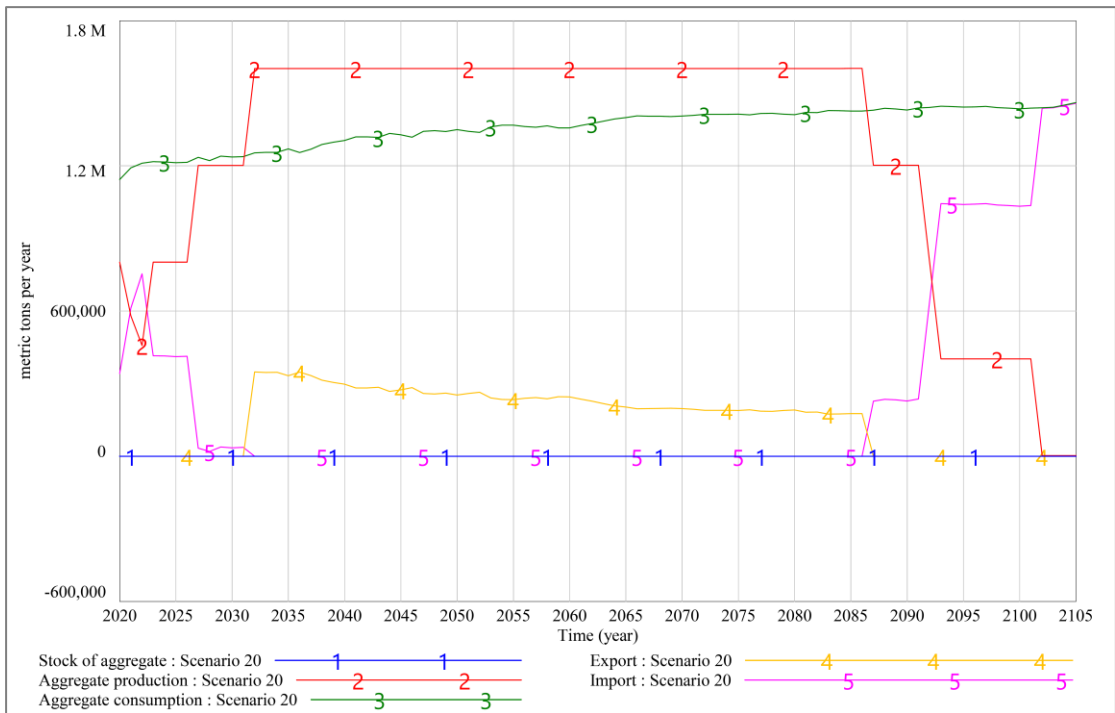
สถานการณ์ที่ 18 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารเป็นค่าต่ำสุดและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าต่ำสุดประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 5 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 75 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่าพฤติกรรมของความต้องการใช้หินมวลรวมมีพฤติกรรมลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 9 ที่มีแนวโน้มของความต้องการใช้หินมวลรวมลดลงอย่างต่อเนื่องไปในทิศทางเดียว โดยประทานบัตรเดิม 2 แห่งไม่สามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอต่อความต้องการ มีความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในระยะสั้น จนกระทั่งปี ค.ศ. 2027 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตรแห่งที่ 3 ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอและมีระดับสูงกว่าการใช้หินมากขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านไปเนื่องการใช้หินมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้จึงเกิดผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ในปริมาณที่มากและส่งผลให้เกิดการส่งออกผลผลิตหินมวลรวมปริมาณมากในแต่ละปี จนกระทั่งเกิดความจำเป็นของการลดจำนวนประทานบัตรลงตามเงื่อนไขโครงสร้างแบบจำลองและลดลงเหลือเพียง 2 แห่ง ในปี ค.ศ. 2107 ประกอบกับเป็นช่วงเวลาที่ทรัพยากรในพื้นที่นั้นหมดลงในปี ค.ศ. 2103 ดังรูปที่ 76 จึงไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองได้อีกต่อไป ช่วงหลังปี ค.ศ. 2112 ระดับผลผลิตหินมวลรวมลดต่ำกว่าการใช้หินส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2122

4.6.19 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 19

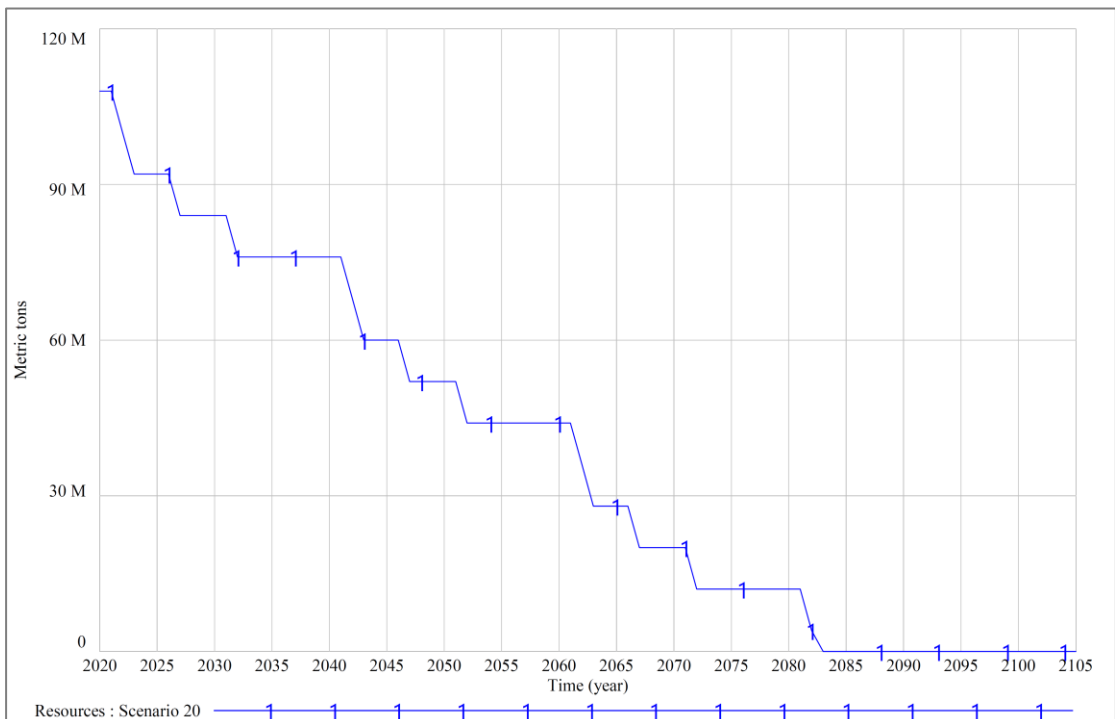
สถานการณ์ที่ 19 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าแบบสุ่มจากช่วงข้อมูลทางสถิติในอดีตประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 3 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 77 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่าความต้องการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราที่ไม่สูงมากใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่ 5 ที่ใช้ค่าตัวแปรเหตุในอัตราเฉลี่ย เริ่มต้นผลจำลองมีความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเหมือนหินอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพิ่มเติมเนื่องจากประทานบัตรเดิม 2 แห่งนั้นสร้างผลผลิตหินมวลรวมไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้หินจึงเกิดความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในช่วงระยะหนึ่ง จนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2028 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตรแห่งที่ 4 ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอแต่มีระดับของผลผลิตหินมวลรวมเกินกว่าการใช้หินในปริมาณที่มาก จึงเกิดผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ที่ถูกส่งออกสู่ภายนอกพื้นที่ทั้งหมดเป็นปริมาณที่มากในแต่ละปี แต่แนวโน้มการส่งออกผลผลิตหินมวลรวมลดลงเนื่องจากการใช้หินมวลรวมที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปจนถึงหลังช่วงปี ค.ศ. 2084 ปริมาณของผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลงต่ำกว่าระดับการใช้หินเนื่องจากจำนวนประทานบัตรลดลงด้วยเหตุจากทรัพยากรในพื้นที่นั้นหมดลงในปี ค.ศ. 2083 ดังรูปที่ 78 จึงไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองได้อีกต่อไป ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่สวนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2102

4.6.20 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 20

สถานการณ์ที่ 20 เป็นสถานการณ์ที่ใช้ชุดข้อมูลตัวแปรเหตุของปริมาณพื้นที่การก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารและอัตราการเติบโตของประชากรเป็นค่าแบบสุ่มจากช่วงข้อมูลทางสถิติในอดีตประกอบกับเงื่อนไขระยะเวลาของการพิจารณาการเพิ่มหรือลดความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเป็นเวลา 5 ปี ให้ผลจำลองดังรูปที่ 79 แสดงผลจำลองในลักษณะกราฟพฤติกรรม พบว่ามีพฤติกรรมลักษณะเดียวกันกับสถานการณ์ที่ 19 เริ่มต้นผลจำลองมีความจำเป็นของการอนุญาตประทานบัตรเหมือนหินอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพิ่มเติมเนื่องจากประทานบัตรเดิม 2 แห่งนั้นสร้างผลผลิตหินมวลรวมไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้หินจึงเกิดความจำเป็นของการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ในระยะเวลาที่ยาวนานกว่าจนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2032 จึงสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมเพียงพอต่อความต้องการใช้หินด้วยประทานบัตรแห่งที่ 4 ซึ่งสามารถสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอแต่มีระดับของผลผลิตหินมวลรวมเกินกว่าการใช้หินในปริมาณที่มาก จึงเกิดผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ที่ถูกส่งออกสู่ภายนอกพื้นที่ทั้งหมดเป็นปริมาณที่มากในแต่ละปี แต่แนวโน้มการส่งออกผลผลิตหินมวลรวมลดลงเนื่องจากการใช้หินมวลรวมที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปจนถึงหลังช่วงปี ค.ศ. 2084 ปริมาณของผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลงต่ำกว่าระดับการใช้หินเนื่องจากจำนวนประทานบัตรลดลงด้วยเหตุจากทรัพยากรในพื้นที่นั้นหมดลงในปี ค.ศ. 2083 ดังรูปที่ 80 จึงไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อการทำเหมืองได้อีกต่อไป ส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่ส่วนทางกับการลดลงของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่และผลผลิตหินมวลรวมภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดสิ้นลงในปี ค.ศ. 2102



รูปที่ 79 ผลจำลองสถานการณ์ที่ 20

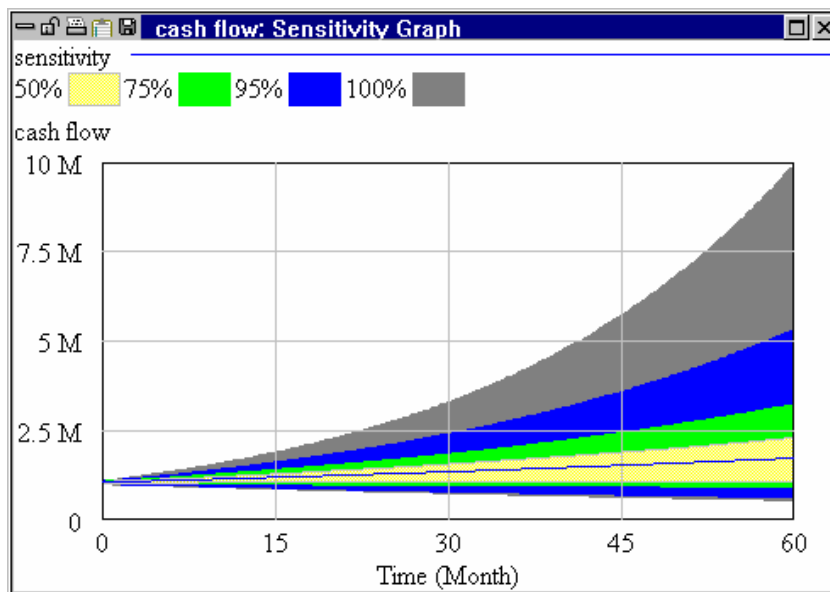


รูปที่ 80 ผลจำลองการหมดลงของทรัพยากรหินมวลรวมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาสถานการณ์ที่ 20

4.7 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis)

Sensitivity analysis เป็นการศึกษาความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ของแบบจำลอง (ตัวเลขหรืออื่นๆ) ภายใต้สมมติฐานทางเลือกเพื่อกำหนดผลกระทบของตัวแปร มันเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์ในการตัดสินใจปัญหาและวิเคราะห์ความอ่อนไหวของช่วงความเป็นไปได้ (Bris, 2007; Saltelli et al., 2008) มันมีประโยชน์ในการใช้ทดสอบความอ่อนไหวของแบบจำลองด้วยพารามิเตอร์หรือตัวแปรอินพุตจำนวนมากถึงอิทธิพลต่อตัวแบบจำลอง การวิเคราะห์ความอ่อนไหวช่วยสร้างความเชื่อมั่นในตัวแบบจำลองโดยการศึกษาพารามิเตอร์จำนวนมากที่มีค่าอันไม่แน่นอนในแบบจำลองพลวัตระบบและเป็นเรื่องยากในการวัดความแม่นยำหรือแม้กระทั่งเป็นไปได้ในโลกความเป็นจริง และโดยทั่วไปผลจำลองแสดงในลักษณะพฤติกรรมมากกว่าค่าเชิงตัวเลข ดังนั้นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวช่วยในการกำหนดระดับความแม่นยำที่จำเป็นสำหรับพารามิเตอร์เพื่อให้แบบจำลองสะท้อนผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริง (Breierova and Choudhari, 2001; Hekimoglu and Barias, 2010; Saltelli, Tarantola, Campolongo, & Ratto, 2004)

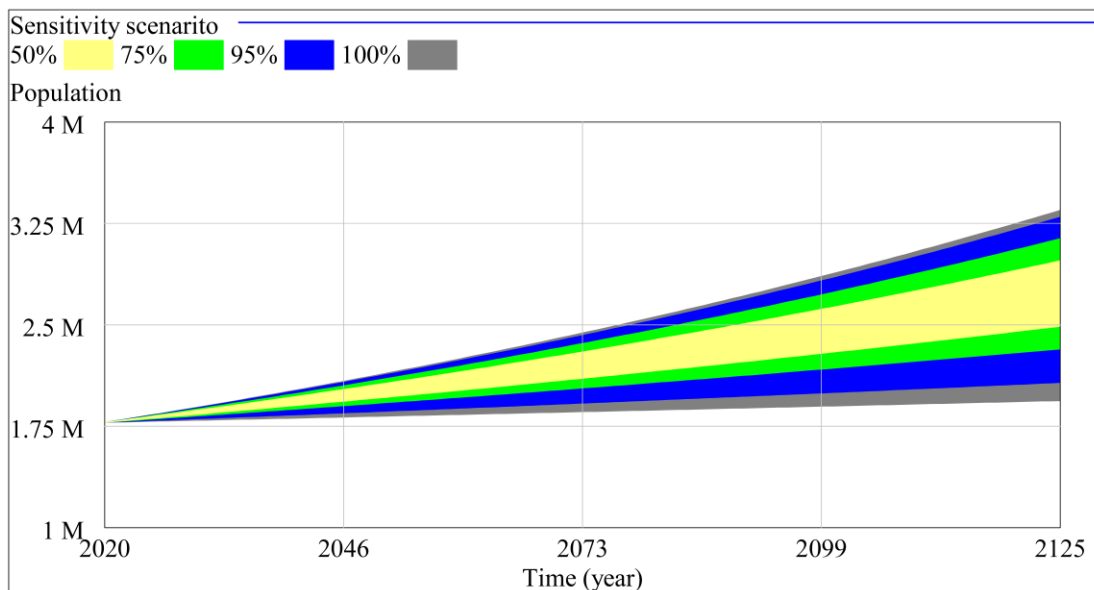
การพัฒนาแบบจำลองพลวัตระบบเพื่อสร้างผลจำลองสถานการณ์ต่างๆ แบบจำลองถูกพัฒนาด้วยซอฟต์แวร์ Vensim รุ่น DSS ที่มีเครื่องมือในการประมวลผลวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Ventana systems, 2015) โดยแสดงผลการจำลองในลักษณะของกราฟความอ่อนไหวที่มีช่วงของผลลัพธ์ที่หลากหลายจากการสร้างผลจำลองแบบสุ่มด้วยชุดข้อมูลทางสถิติหลายครั้งเกิดเป็นผลจำลองความอ่อนไหวที่แสดงถึงช่วงความถี่ของผลจำลองที่เกิดขึ้นพร้อมช่วงร้อยละความเชื่อมั่นและโอกาสของการเกิดผลลัพธ์ตามแถบสีของกราฟความอ่อนไหวดังรูปที่ 81 โดยช่วงแถบสีเหลืองอ่อนมีความถี่ของการเกิดมากและมีช่วงความเชื่อมั่นของการเกิดผลจำลองอยู่ที่ 50% ไปจนถึงช่วงแถบสีเทาที่มีความถี่ของการเกิดน้อยและมีช่วงความเชื่อมั่นของการเกิดผลจำลองอยู่ที่ 100% (ทั้งนี้สามารถกำหนดช่วงร้อยละความเชื่อมั่นได้ตามต้องการ)



รูปที่ 81 ตัวอย่างกราฟความอ่อนไหวที่ให้ช่วงความเชื่อมั่นของผลลัพธ์แบ่งตามแถบสีความเชื่อมั่นของผลลัพธ์ (Vensim, n.d.)

ผลจำลองความอ่อนไหวถูกสร้างจากพารามิเตอร์หรือตัวแปรเหตุสองตัวได้แก่ปริมาณงานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารและอัตราการเติบโตของประชากรด้วยชุดข้อมูลทางสถิติในอดีตช่วงปี พ.ศ. 2551 ถึง 2562 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยมีช่วงระยะเวลาของการสร้างผลจำนวนประมาณ 100 ปี (ครอบคลุมถึงช่วงระยะเวลาที่อัตรากำลังการผลิตในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาหมดลง) ให้ผลจำลองความอ่อนไหวคาดการณ์จำนวนประชากรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 82 โดยแต่ละช่วงความเชื่อมั่นของการคาดการณ์จำนวนประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีช่วงของอัตราการเติบโตประชากรดังนี้

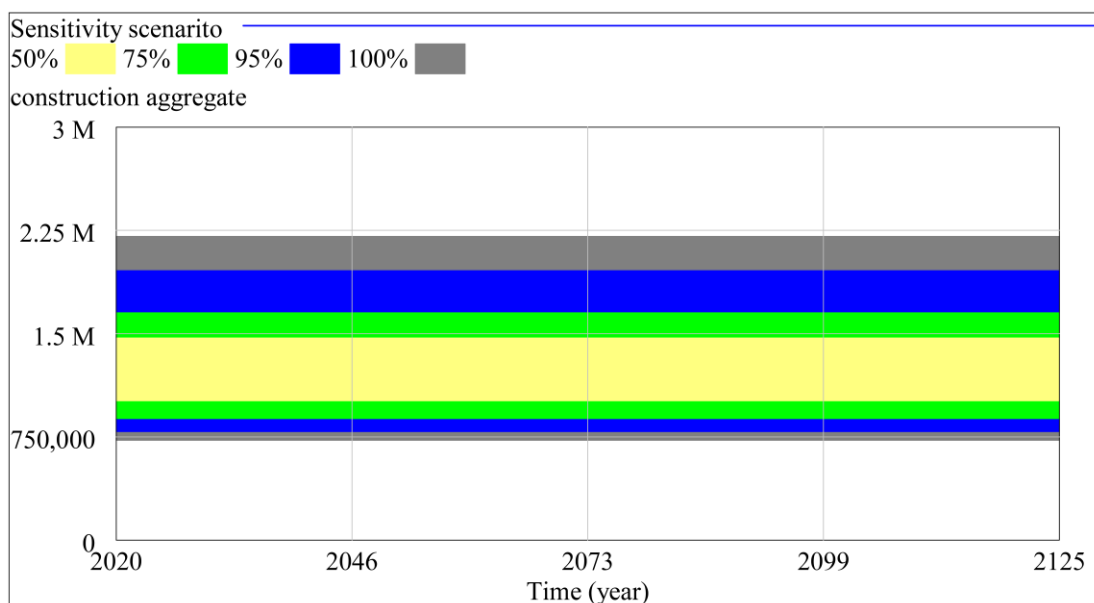
1. ช่วงความเชื่อมั่นที่ 50% จำนวนประชากรมีการเติบโตด้วยอัตราการเติบโตอยู่ที่ช่วงร้อยละประมาณ 0.30 – 0.50
2. ช่วงความเชื่อมั่นที่ 75% จำนวนประชากรมีการเติบโตด้วยอัตราการเติบโตอยู่ที่ช่วงร้อยละประมาณ 0.25 – 0.55
3. ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% จำนวนประชากรมีการเติบโตด้วยอัตราการเติบโตอยู่ที่ช่วงร้อยละประมาณ 0.13 – 0.59
4. ช่วงความเชื่อมั่นที่ 100% จำนวนประชากรมีการเติบโตด้วยอัตราการเติบโตอยู่ที่ช่วงร้อยละประมาณ 0.08 – 0.60



รูปที่ 82 ผลจำลองความอ่อนไหวคาดการณ์จำนวนประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

สำหรับผลจำลองความอ่อนไหวของการใช้หินมวลรวมก่อสร้างที่แปลงค่ามาจากข้อมูลปริมาณงานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารมีพฤติกรรมลักษณะเป็นแถบช่วงค่าแนวราบของการใช้หินมวลรวมก่อสร้าง ไม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมทั้งในทิศทางเพิ่มขึ้นหรือลดลงตลอดช่วงระยะเวลาของผลจำลองดังรูปที่ 83 เนื่องพารามิเตอร์หรือแฟกเตอร์ที่เกี่ยวข้องของการแปลงค่าข้อมูลปริมาณงานก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารล้วนเป็นค่าคงที่ โดยแต่ละช่วงความเชื่อมั่นของการคาดการณ์การใช้หินมวลรวมก่อสร้างในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ดังนี้

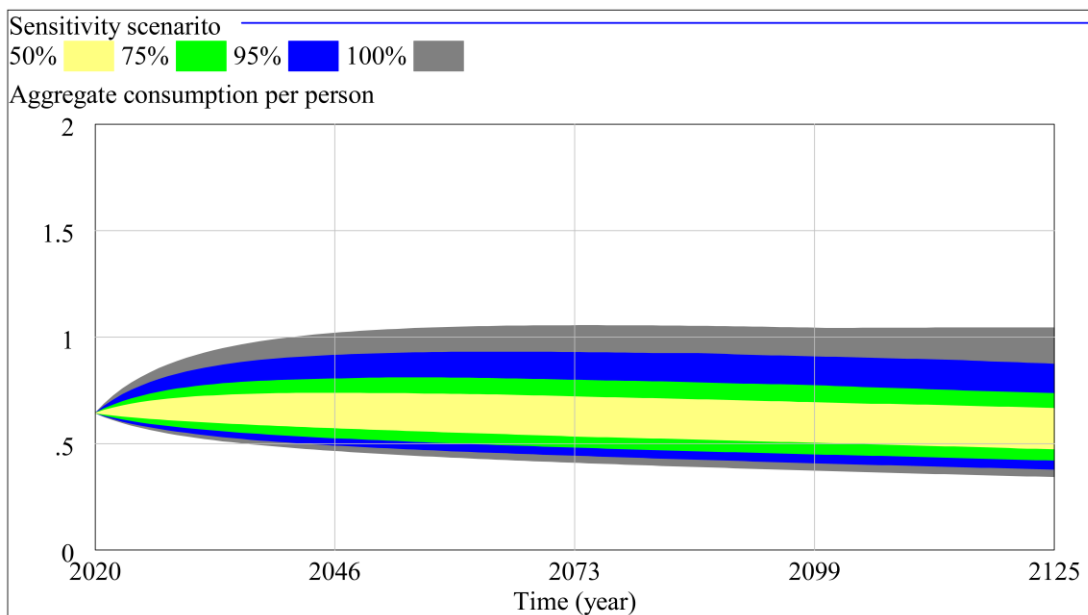
1. ช่วงความเชื่อมั่นที่ 50% มีปริมาณการใช้หินมวลรวมก่อสร้างอยู่ในช่วงประมาณ 1.00 - 1.50 ล้านเมตริกตันต่อปี
2. ช่วงความเชื่อมั่นที่ 75% มีปริมาณการใช้หินมวลรวมก่อสร้างอยู่ในช่วงประมาณ 0.85 - 1.65 ล้านเมตริกตันต่อปี
3. ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% มีปริมาณการใช้หินมวลรวมก่อสร้างอยู่ในช่วงประมาณ 0.78 - 1.95 ล้านเมตริกตันต่อปี
4. ช่วงความเชื่อมั่นที่ 100% มีปริมาณการใช้หินมวลรวมก่อสร้างอยู่ในช่วงประมาณ 0.70 - 2.30 ล้านเมตริกตันต่อปี



รูปที่ 83 ผลจำลองความอ่อนไหวคาดการณ์การใช้หินมวลรวมก่อสร้างในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

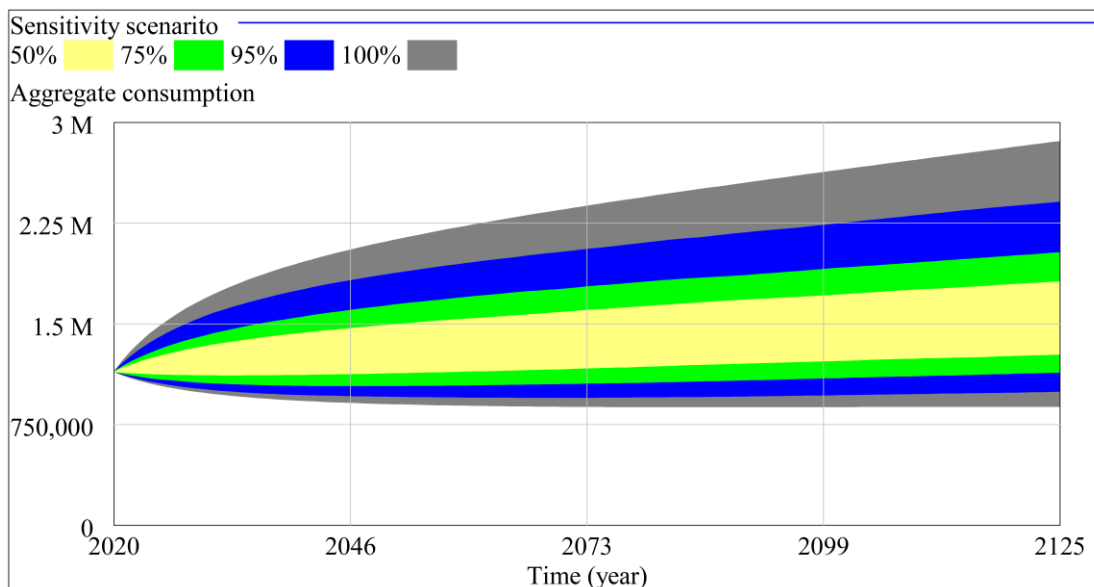
ตัวแปรเหตุทั้งสองมีอิทธิพลโดยตรงต่อแพกเตอร์การใช้หินมวลรวมต่อประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยค่าแพกเตอร์นี้ให้ผลจำลองความอ่อนไหวแสดงพฤติกรรมในระยะเริ่มต้นมีแนวโน้มทั้งในทิศทางเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว จากค่าการใช้หินมวลรวมต่อหัวประชากรเท่ากับ 0.64 เมตริกตันต่อคนต่อปี (ซึ่งเป็นค่าที่มาจากการใช้หินก่อสร้างสะสมต่อประชากรสะสมของช่วงปี ข้อมูลในอดีตช่วงปี พ.ศ. 2550 ถึง 2562) จนถึงช่วงระยะหนึ่งแนวโน้มการใช้หินมวลรวมต่อหัวประชากรเริ่มนิ่งและแนวโน้มเริ่มลดลงเล็กน้อยตามระยะเวลาในอัตราคงที่ดังรูปที่ 84 โดยแต่ละช่วงความเชื่อมั่นของการคาดการณ์มีค่าของอัตราการใช้หินมวลรวมต่อประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีดังนี้

1. ช่วงความเชื่อมั่นที่ 50% มีอัตราการใช้หินมวลรวมต่อประชากรอยู่ในช่วงประมาณ 0.60 - 0.75 เมตริกตันต่อคน
2. ช่วงความเชื่อมั่นที่ 75% มีอัตราการใช้หินมวลรวมต่อประชากรอยู่ในช่วงประมาณ 0.55 - 0.80 เมตริกตันต่อคน
3. ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% มีอัตราการใช้หินมวลรวมต่อประชากรอยู่ในช่วงประมาณ 0.50 - 0.90 เมตริกตันต่อคน
4. ช่วงความเชื่อมั่นที่ 100% มีอัตราการใช้หินมวลรวมต่อประชากรอยู่ในช่วงประมาณ 0.45 - 1.10 เมตริกตันต่อคน



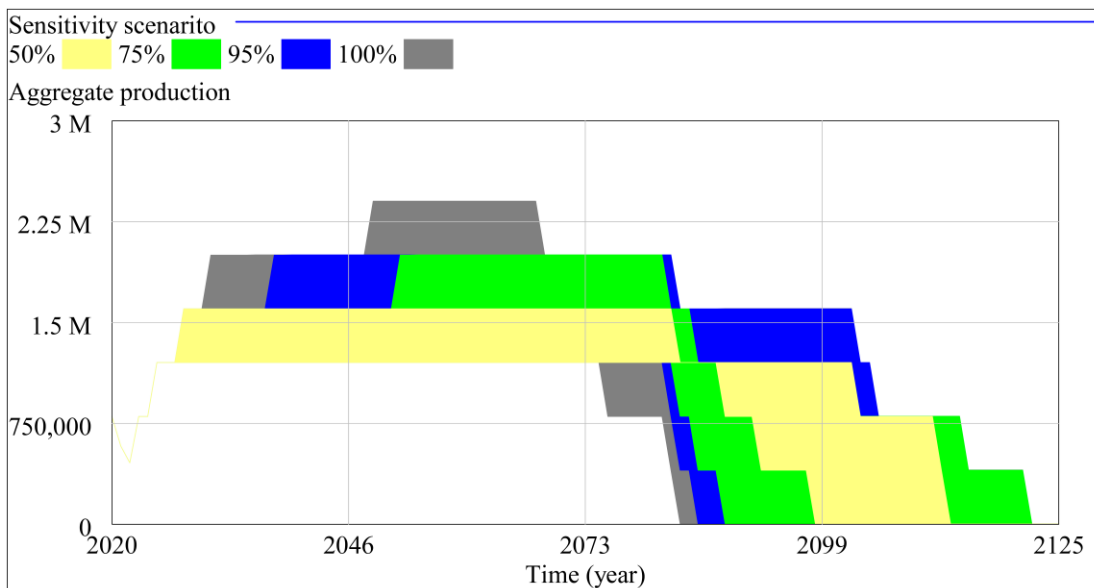
รูปที่ 84 ผลจำลองความอ่อนไหวของแฟกเตอร์การใช้หินมวลรวมต่อประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำ
ทะเลสาบสงขลา

การใช้หินมวลรวมของประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นตัวแปรที่มีค่าของผล
จำลองจากความสัมพันธ์ตัวแปรเหตุที่เชื่อมโยงเข้าหามันนั่นคือการใช้หินมวลรวมต่อประชากรและ
จำนวนประชากรให้ผลจำลองความอ่อนไหวของการใช้หินมวลรวมของประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำ
ทะเลสาบสงขลา มีพฤติกรรมลักษณะคล้ายกับแฟกเตอร์ของการใช้หินมวลรวมต่อประชากร เริ่มต้น
แสดงพฤติกรรมการใช้หินมวลรวมมีแนวโน้มทั้งในทิศทางเพิ่มขึ้นและลดลงไปจนถึงช่วงเวลาหนึ่ง
แนวโน้มการใช้หินมวลรวมนี้กลับมาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราคงที่ตามการเติบโตของประชากร มี
ช่วงค่าของการใช้หินมวลรวมที่กว้างและกว้างมากยิ่งขึ้นตามอัตราการเติบโตของประชากรเมื่อเวลา
ผ่านไปดังรูปที่ 85

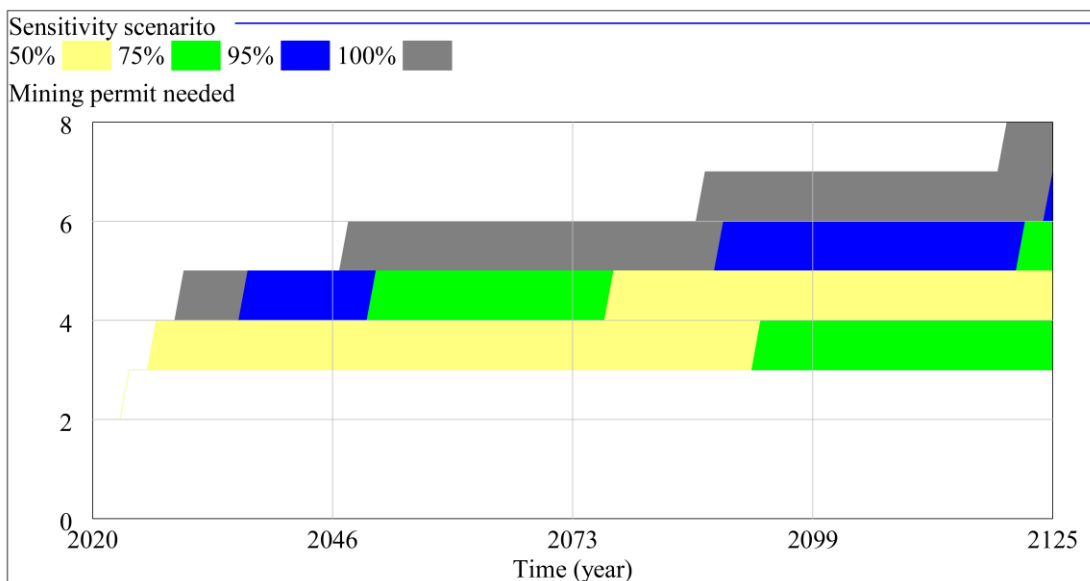


รูปที่ 85 ผลจำลองความอ่อนไหวของการใช้หินมวลรวมของประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ผลจำลองความอ่อนไหวของการใช้หินมวลรวมของประชากรมีช่วงโอกาสหรือความถี่ของการเกิดผลลัพธ์ที่หลากหลายตามช่วงความเชื่อมั่น ส่งผลกระทบต่อไปยังอัตรากำลังการผลิตหินมวลรวมที่สอดคล้องกับความต้องการใช้หินที่หลากหลายอย่างเพียงพอในแต่ละช่วงเวลา ดังรูปที่ 86 จะเห็นผลการจำลองความอ่อนไหวมีพฤติกรรมไปในทิศทางเดียวกันกับการใช้หินมวลรวม นั่นคือมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามแนวโน้มการใช้หินในลักษณะเป็นขั้นบันได เนื่องจากพฤติกรรมในการเพิ่มผลผลิตหินมวลรวมนั้นใช้วิธีการเพิ่มหรือลดจำนวนประทานบัตรและมีอัตรากำลังผลิตแต่ละประทานบัตรในระดับเดียวกัน จนถึงช่วงเวลาหนึ่งที่ระดับผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลงเนื่องจากเป็นช่วงเวลาหลังจากปริมาณทรัพยากรในพื้นที่หมดลง ประทานบัตรที่ดำเนินกิจกรรมสร้างผลผลิตจนปริมาณสำรองเหมืองหมดลงแล้วไม่สามารถพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองมาเพิ่มเติมได้ส่งผลกระทบให้ผลผลิตหินมวลรวมลดระดับลงจนกระทั่งไม่เกิดผลผลิตจากการดำเนินกิจกรรมของอุตสาหกรรมเหมืองหินอีกต่อไป ซึ่งจำนวนประทานบัตรที่มีศักยภาพในการสร้างผลผลิตสอดคล้องกับความต้องการใช้หินอย่างเพียงพอจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 87

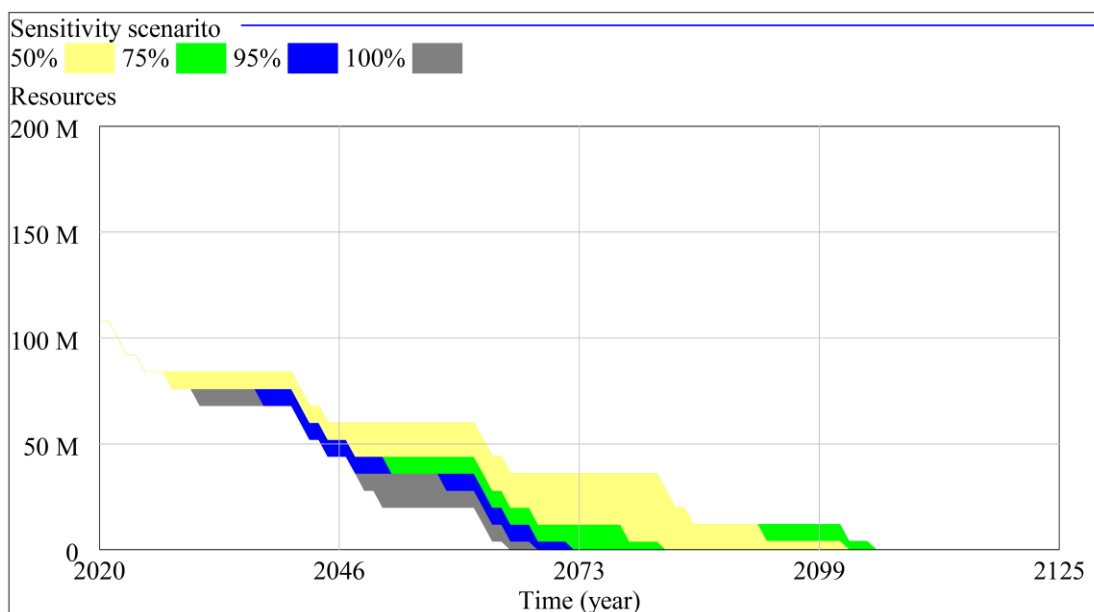


รูปที่ 86 ผลจำลองความอ่อนไหวของผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา



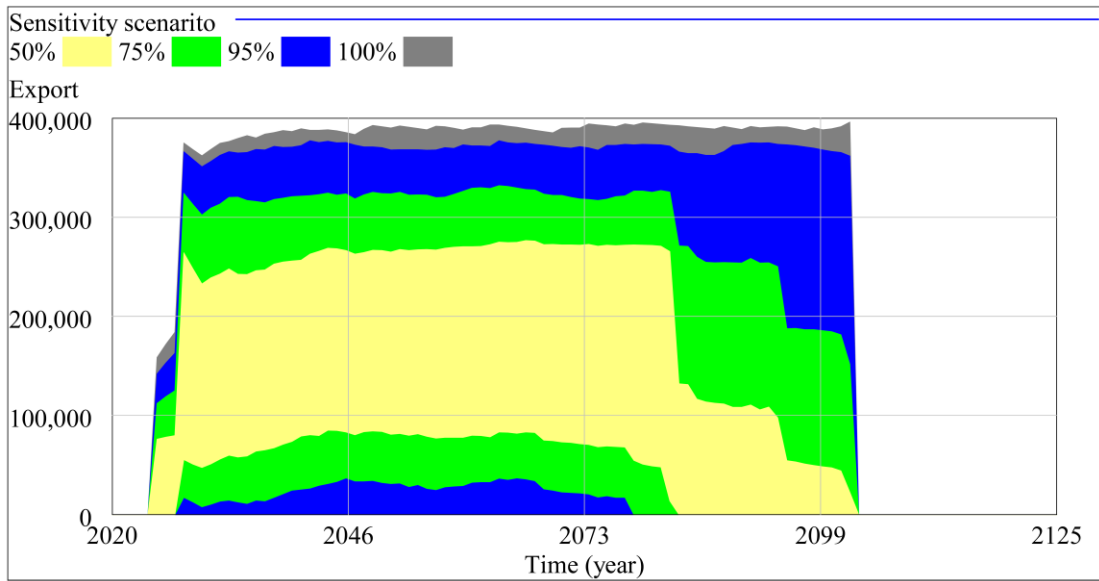
รูปที่ 87 ผลจำลองความอ่อนไหวของจำนวนประทานบัตรที่จำเป็นในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ทรัพยากรหินมวลรวมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่มีผลจำลองที่มีพฤติกรรมแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและลดลงยิ่งขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปจากวงจรของการพัฒนาแหล่งปริมาณสำรองเพื่อกิจกรรมเหมืองหินอุตสาหกรรมเพื่อสนองความต้องการใช้หินที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 88

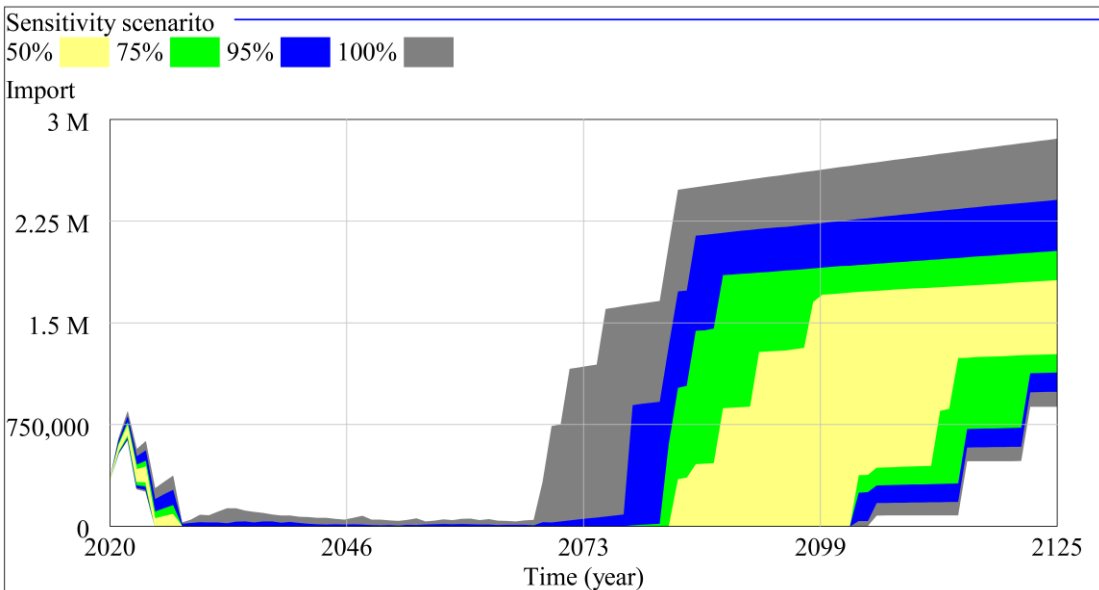


รูปที่ 88 ผลจำลองความอ่อนไหวของปริมาณทรัพยากรหินมวลรวมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

แบบจำลองพลวัตนี้ที่โครงสร้างแบบจำลองถูกพัฒนาให้ผลจำลองมีพฤติกรรมที่พยายามสะท้อนระดับของกำลังการผลิตหินมวลรวมจากกิจกรรมเหมืองหินที่มากกว่าปริมาณความต้องการใช้หินมวลรวมของประชากรเสมอ ดังนั้นหลายสถานการณ์จำลองส่วนใหญ่ล้วนมีผลผลิตหินมวลรวมเกินกว่าความต้องการ ซึ่งปริมาณหินมวลรวมส่วนนี้ถูกอธิบายในรูปแบบตัวแปรสต็อกมีลักษณะการทำงานในการสะสมค่าผลลัพธ์สุทธิเหล่านี้ในแต่ละปีขึ้นกับเงื่อนไขของค่าแพ็คเกจที่กำหนดให้มีระดับสต็อกในการเก็บสะสมผลผลิตเกินความต้องการหรือเหลือใช้ขึ้นเป็นอย่างไร โดยสำหรับผลจำลองที่นำเสนอนี้มีค่าแพ็คเกจควบคุมระดับของสต็อกเป็นศูนย์หรือก็คือพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาไม่สำรองผลผลิตหินมวลรวมเลยในแต่ละปี นั่นคือผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้เหล่านี้ถูกส่งออกสู่ภายนอกพื้นที่ ซึ่งผลจำลองความอ่อนไหวมีพฤติกรรมในลักษณะเป็นภูเขาที่มีขนาดขึ้นกับผลผลิตหินมวลรวมเหลือใช้ที่มีปริมาณการส่งออกอยู่ระหว่าง 0 – 400,000 เมตริกตัน (รูปที่ 89) และสำหรับบางสถานการณ์ที่มีผลผลิตหินมวลรวมไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้หินส่งผลให้มีการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่มาทดแทน จากผลจำลองจะเห็นว่าช่วงต้นของผลจำลองมีการนำเข้าหินมวลรวมไม่มากนักในระยะเวลานั้นๆ และมีการนำเข้าหินมวลรวมอีกครั้งในช่วงเวลาหลังจากที่ทรัพยากรในพื้นที่หมดลง (รูปที่ 90)



รูปที่ 89 ผลจำลองความอ่อนไหวของการส่งออกผลผลิตหินมวลรวมสู่ภายนอกพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา



รูปที่ 90 ผลจำลองความอ่อนไหวของการนำเข้าผลผลิตหินมวลรวมสู่ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ระดับปริมาณของการนำเข้าและส่งออกผลผลิตหินมวลรวมสามารถลดระดับความรุนแรงของค่าทั้งสองนี้ได้ด้วยแพกเตอร์ค่าควบคุมระดับของสต็อกนั้นคือให้มีการสำรองผลผลิตหินมวลรวมในพื้นที่ แพกเตอร์นี้มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของค่าทั้งสองในบางกรณีที่ค่าทั้งสองมีผลลัพธ์ที่ไม่รุนแรงมากนักหรือมีระดับการสำรองหินมวลรวมที่มากพอ

4.8 การหาค่าที่เหมาะสม (Optimization)

Optimization เป็นเครื่องมือในการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในพารามิเตอร์หรือตัวแปรที่มีช่วงกว้างขนาดใหญ่ของค่าที่เป็นไปได้ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์หรือเป้าหมายที่ต้องการด้วยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สนใจซึ่งมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไปสู่เป้าหมายนั้น และสามารถใช้พารามิเตอร์พร้อมกันเป็นจำนวนมากในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ ดังนั้นจึงเป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์ในการหาค่าของอะไรบางประการที่มีอิทธิพลต่อระบบในการออกแบบข้อกำหนดเชิงนโยบาย เพื่อให้ได้ผลลัพธ์หรือพฤติกรรมที่มีประสิทธิภาพที่สุด

การหาค่าเหมาะสมที่สุดของปัญหา ประเด็น หรือเงื่อนไขบางอย่าง แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การหาค่าเหมาะสมที่สุดที่พิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์เดียว (Single objective optimization) และการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่พิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากกว่าหนึ่ง (Multi objective optimization) ในรูปแบบลักษณะนี้อาจมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีความขัดแย้งกันหรือเป็นไปในทางเดียวกัน โดยทั่วไปฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะเป็นการหาค่ามากที่สุด หรือน้อยที่สุดภายใต้องค์ประกอบเงื่อนไขหรือข้อจำกัด

สำหรับแบบจำลองพลวัตระบบนี้ที่ถูกพัฒนาด้วยภายใต้กรอบหลักแนวคิดเพื่อการศึกษาทรัพยากรหินมวลรวมก่อสร้างในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาด้วยทฤษฎีพลวัตระบบอันประกอบด้วยพารามิเตอร์หลากหลายภายใต้โครงสร้างแบบจำลองที่พารามิเตอร์เหล่านี้เชื่อมโยงความสัมพันธ์กระทบต่อกันในรูปแบบของ SFDs โดยเบื้องต้นของการทดลองได้กำหนดกรอบของเป้าหมายหรือผลลัพธ์ที่สะท้อนถึงการใช้ทรัพยากรหินมวลรวมก่อสร้างภายในขอบเขตพื้นที่อย่างยั่งยืนและเหมาะสม ซึ่งโดยพฤติกรรมของแบบจำลองที่พยายามสะท้อนการสร้างผลผลิตหินมวลรวมที่สนองความต้องการใช้หินอย่างเพียงพอ ดังนั้นจึงกำหนดเงื่อนไขหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพิ่มเติมเพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั่นคือ 1) ปริมาณการส่งออกหินมวลรวมสู่ภายนอกพื้นที่มีปริมาณน้อยที่สุด และ 2) ปริมาณการนำเข้าหินมวลรวมสู่ภายในพื้นที่มีปริมาณน้อยที่สุด

พารามิเตอร์ควบคุมหรือพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมระบบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นพารามิเตอร์อินพุต (Input parameter) หรือตัวแปรเหตุ (Cause variable) ซึ่งมีช่วงค่าป้อนที่หลากหลาย ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพที่สุดจึงต้องหาค่าของพารามิเตอร์อินพุตที่เหมาะสมที่สุด โดยพารามิเตอร์ควบคุมที่ใช้สร้างผลจำลองที่ให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับวัตถุประสงค์มากที่สุดประกอบด้วยพารามิเตอร์และช่วงค่าของพารามิเตอร์ในการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการ Optimization มีดังนี้

1. อัตราการผลิตหินมวลรวมที่ออกแบบสำหรับแต่ละประทานบัตร (Production rate desired) โดยกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 400,000 - 1,000,000 เมตริกตันต่อปี ($400,000 \leq \text{Production rate desired} \leq 1,000,000$)
2. ระยะเวลาในการพิจารณาและใช้ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงจำนวนประทานบัตร (Delay time) โดยกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 1 - 5 ปี ($1 \leq \text{Delay time} < 5$)
3. อายุประทานบัตร (Mining permit lifespan) โดยกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 15 - 30 ปี ($15 \leq \text{Mining permit lifespan} \leq 30$)
4. จำนวนประทานบัตรเริ่มต้นที่ต้องการ (Initial mining permit) โดยกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 2 - 8 แห่ง ($2 \leq \text{Initial mining permit} \leq 8$)

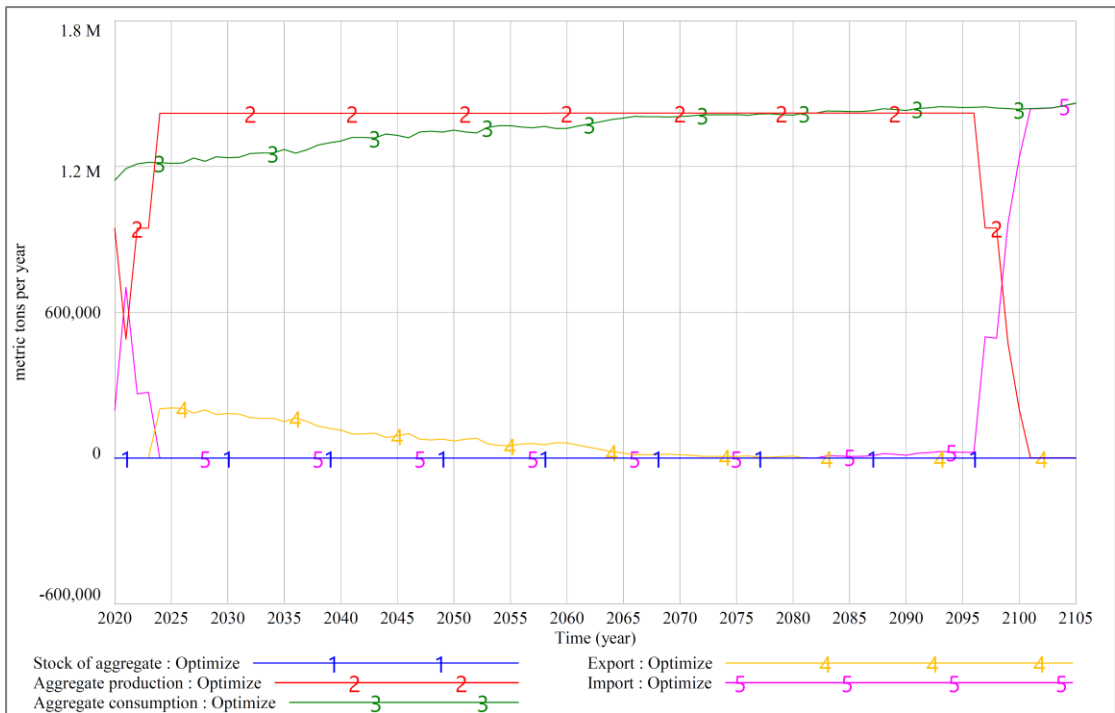
ผลจำลองการหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่สุดนั้นถูกนำเสนอด้วยอัตราการผลิตหินมวลรวมต่อปีของประชากร และปริมาณงานก่อสร้างอาคารและที่มีอาคารที่สร้างผลจำลองแบบสุ่มด้วยชุดข้อมูลทางสถิติจากอดีต โดยผลจำลองที่ได้จากการ optimize จะเห็นว่าระดับของผลผลิตหินมวลรวมแสดงพฤติกรรมในลักษณะของการพยายามปรับระดับให้สอดคล้องกับระดับของการใช้หินมวลรวมมากขึ้นด้วยเงื่อนไขของโครงสร้างแบบจำลอง มีการปรับอัตราการผลิตให้สูงขึ้นเล็กน้อยและด้วยการเพิ่มประทานบัตรแห่งที่ 3 ก็สามารถมีศักยภาพในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมให้เพียงพอต่อความต้องการใช้หิน และส่งผลให้ลดช่วงเวลาของพฤติกรรมระบบที่เกิดสถานการณ์ที่มีการส่งออกผลผลิตหินมวลรวมเป็นปริมาณมากดังรูปที่ 91 ให้ผลลัพธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไขวัตถุประสงค์และระยะเวลาของผลจำลองดังนี้

1. อัตราการผลิตหินมวลรวมสำหรับแต่ละประทานบัตรมีเท่ากับ 472,809 เมตริกตันต่อปี
2. ระยะเวลาในการพิจารณาเพิ่มหรือลดจำนวนประทานบัตรมีค่าเท่ากับ 1.36 หรือก็คือ 2 ปี
3. อายุประทานบัตรมีค่าเท่ากับ 15 ปี
4. จำนวนประทานบัตรเริ่มต้นที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 2 แห่ง

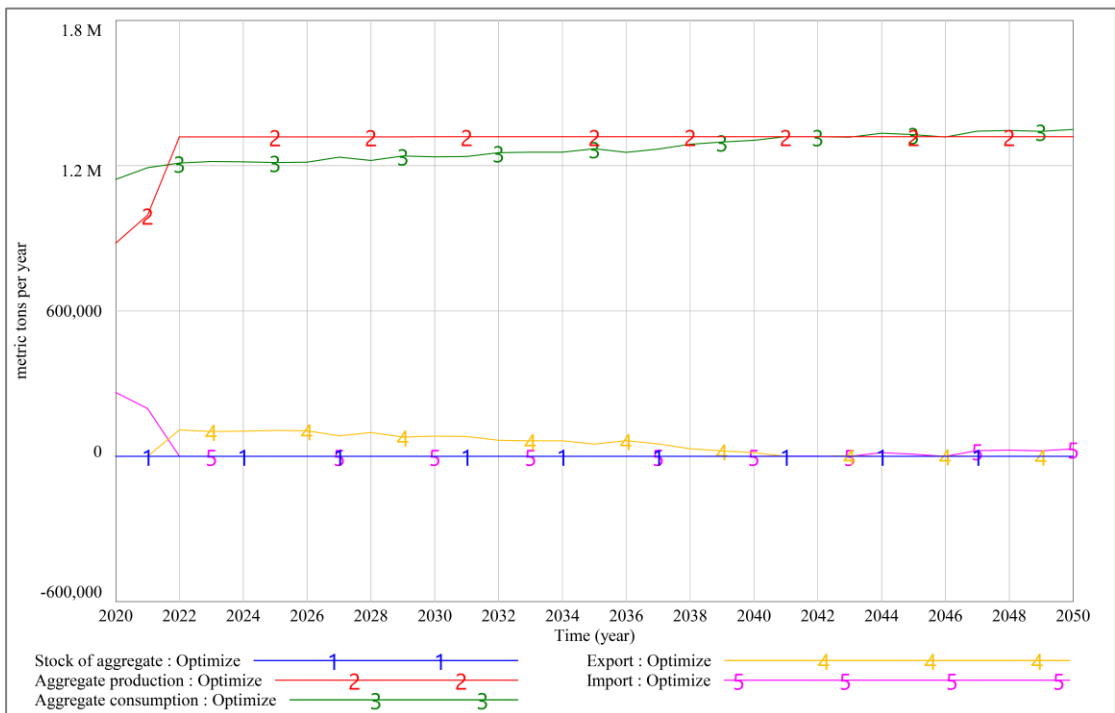
ผลลัพธ์ของการค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไขวัตถุประสงค์ที่ต้องการให้มีปริมาณการส่งออกและนำเข้าหินมวลรวมระหว่างภายในและภายนอกในปริมาณน้อยที่สุด จะเห็นว่าช่วงท้ายของผลจำลองเป็นช่วงที่ระดับปริมาณผลผลิตหินมวลรวมลดลงและส่งผลให้เกิดการนำเข้าหินมวลรวมจากภายนอกพื้นที่เป็นปริมาณที่มากอย่างต่อเนื่องไปจนกระทั่งถึงปี ค.ศ. 2105 หรือก็คือสิ้นช่วงเวลาของผลจำลอง จากผลลัพธ์ของการหาค่าเหมาะสมของพารามิเตอร์ควบคุมข้างต้นนั้นเป็นค่าที่ได้จากการพยายามปรับประคองการจัดการทรัพยากรภายใต้กรอบเวลาของผลจำลองให้พื้นที่มีกำลังผลิตยาวนานที่สุดเพื่อลดปริมาณการนำเข้าหินมวลรวมในช่วงท้ายของผลจำลอง ดังรูปที่ 91 ซึ่งผลลัพธ์นี้อาจไม่สะท้อนหรือเป็นค่าที่เหมาะสมที่แท้จริง นั่นคือระยะเวลาของการสร้างผลจำลองก็เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญและต้องคำนึงถึง ดังนั้นหากปรับช่วงระยะเวลาของการสร้างผลจำลองที่แตกต่างไป ผลจำลองค่าที่เหมาะสมที่สุดก็จะเปลี่ยนไปเช่นกัน ดังรูปที่ 92 เป็นผลจำลองภายใต้เงื่อนไขวัตถุประสงค์และมีพารามิเตอร์ควบคุมเช่นเดียวกันกับผลจำลองก่อนหน้า ซึ่งให้ค่าเหมาะสมของพารามิเตอร์ควบคุมดังนี้

1. อัตรากำลังผลิตหินมวลรวมสำหรับแต่ละประธานบัตรมีเท่ากับ 439,483 เมตริกตันต่อปี
2. ระยะเวลาในการพิจารณาเพิ่มหรือลดจำนวนประธานบัตรมีค่าเท่ากับ 1.57 หรือ 2 ปี
3. อายุประธานบัตรมีค่าเท่ากับ 18.19 หรือก็คือ 19 ปี
4. จำนวนประธานบัตรเริ่มต้นที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 2.74 หรือก็คือ 3 แห่ง

จากผลลัพธ์การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ควบคุมที่ปรับลดช่วงเวลาของการสร้างสถานการณ์จำลองเป็นช่วงปี ค.ศ. 2020-2050 จะเห็นว่าเป็นสถานการณ์ที่ไม่มีคามจำเป็นของการควบคุมกำลังการผลิตในระยะยาวเหมือนกับสถานการณ์จำลองก่อนหน้า ประกอบกับแนวโน้มของความต้องใช้ประโยชน์หินมวลรวมที่ต่ำกว่าจึงทำให้อัตรากำลังผลิตต่อประธานบัตรที่ได้มีค่าต่ำกว่า และเพื่อลดปริมาณการส่งออกผลผลิตหินมวลรวมในช่วงเวลาเริ่มต้นของสถานการณ์จำลองจึงทำให้ระยะเวลาในการเพิ่มจำนวนประธานบัตรที่ได้มีค่าที่ต่ำลงเพื่อให้สามารถเพิ่มศักยภาพของกำลังผลิตในพื้นที่ให้รวดเร็วยิ่งขึ้น



รูปที่ 91 ผลจำลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม



รูปที่ 92 ผลจำลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ปรับแก้ช่วงเวลา

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

1) สรุปผลจำลอง 20 สถานการณ์

จากผลจำลอง 20 สถานการณ์ สามารถแบ่งผลจำลองได้เป็น 3 กลุ่มผลจำลองตามแนวโน้มความต้องการใช้หินมวลรวมก่อสร้างในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยกลุ่มผลจำลองแรกพบว่าสถานการณ์ที่ 1, 2, 3, 10, 11 และ 12 ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่มีแนวโน้มความต้องการใช้หินมวลรวมก่อสร้างในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในระดับสูง โดยต้องการเหมืองหินอย่างน้อย 4 แห่ง และอาจเพิ่มขึ้นเป็น 6 แห่ง ตามแนวโน้มความต้องการที่เพิ่มขึ้น หรือคิดเป็นศักยภาพของกำลังการผลิตอยู่ที่ 1.6 – 2.4 ล้านเมตริกตันต่อปี และทรัพยากรหินในพื้นที่หมดลงในช่วงปี ค.ศ. 2064 – 2067

กลุ่มผลจำลองถัดมาพบว่าสถานการณ์ที่ 4, 5, 13, 14, 19 และ 20 ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่มีแนวโน้มความต้องการใช้หินมวลรวมก่อสร้างในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในระดับปานกลาง โดยต้องการเหมืองหินอย่างน้อย 3 แห่ง และอาจเพิ่มขึ้นเป็น 4 แห่ง ตามแนวโน้มความต้องการที่เพิ่มขึ้น หรือคิดเป็นศักยภาพของกำลังการผลิตอยู่ที่ 1.2 – 1.6 ล้านเมตริกตันต่อปี และทรัพยากรหินในพื้นที่หมดลงในช่วงปี ค.ศ. 2083 – 2087 และกลุ่มผลจำลองสุดท้ายพบว่าสถานการณ์ที่ 6, 7, 8, 9, 15, 16, 17 และ 18 ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่มีแนวโน้มความต้องการใช้หินมวลรวมก่อสร้างในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในระดับที่ต่ำ โดยต้องการเหมืองหินอย่างน้อย 3 แห่ง หรือคิดเป็นศักยภาพของกำลังการผลิตอยู่ที่ 1.2 ล้านเมตริกตันต่อปี ก็สามารถรองรับความต้องการใช้หินได้เพียงพอจนกระทั่งทรัพยากรหินในพื้นที่หมดลงในช่วงปี ค.ศ. 2103

2) ผลจำลองความอ่อนไหว (Sensitivity)

เมื่อพิจารณาผลจำลองความอ่อนไหวในช่วงความเชื่อมั่น 50% หรือก็คือเป็นช่วงที่เป็นตัวแทนของโอกาสเกิดผลลัพธ์มากที่สุดด้วยฐานข้อมูลทางสถิติ พบว่าในพื้นที่กลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีความต้องการใช้หินมวลรวมก่อสร้างในช่วง 10 ปีจากนี้ประมาณ 1.0 – 1.3 ล้านเมตริกตัน และก็มีแนวโน้มความต้องการใช้หินที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีความต้องการประทุนบัตร์ที่สามารถรองรับความต้องการใช้หินที่เพียงพอเป็นจำนวนประมาณ 3-4 แห่ง หรือคิดเป็นศักยภาพของกำลังผลิตประมาณ 1.2 -1.6 ล้านเมตริกตันต่อปี ตลอดจนกระทั่งทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในช่วงปี ค.ศ. 2082-2102

3) ผลจำลองของการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization)

จากผลจำลอง 20 สถานการณ์ เป็นสถานการณ์จำลองที่มีความเป็นไปได้หลากหลายตามช่วงค่าทางสถิติ หากแสดงผลจำลองในรูปแบบของผลจำลองความอ่อนไหวก็สามารถพิจารณาถึงโอกาสของการเกิดผลลัพธ์ที่แม่นยำขึ้นได้ด้วยช่วงความเชื่อมั่นที่สะท้อนถึงช่วงความถี่ของผลลัพธ์ที่อาจเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน โดยพบว่าสถานการณ์ที่ 4 - 5 และ 13 - 14 และ 19 - 20 หรือก็คือสถานการณ์ที่มีแนวโน้มความต้องการใช้หินมวลรวมในระดับปานกลาง เป็นสถานการณ์ที่มีผลจำลองอยู่ในช่วงที่มีความถี่ของการผลลัพธ์แบบสุ่มที่มาก นั่นคือเป็นสถานการณ์ที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดที่จะเกิดขึ้น มีความต้องการเหมืองเป็นจำนวน 3 - 4 แห่ง ด้วยอัตรากำลังการผลิตต่อประทุนบัตร 400,000 เมตริกตันต่อปี และทรัพยากรในพื้นที่หมดลงในช่วงประมาณปี ค.ศ. 2083 - 2087 ขณะที่ผลจำลองจากการ optimize ก็ให้ผลลัพธ์ไปในทิศทางเดียวกันคือ มีความต้องการเหมืองเป็นจำนวน 3 แห่ง แต่มีอัตรากำลังการผลิตต่อประทุนบัตรอยู่ที่ประมาณ 472,809 เมตริกตันต่อปี ตลอดจนทรัพยากรหมดลง นั่นคือในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีความต้องการเหมืองอย่างน้อย 3 แห่ง ด้วยอัตรากำลังผลิตที่ปรับตัวสูงขึ้นตามแนวโน้มความต้องการใช้หินของประชากรอยู่ในช่วงประมาณ 400,000 - 473,000 เมตริกตันต่อปี

4) สถานการณ์ปัจจุบันในพื้นที่และผลจำลองระยะสั้น

การคาดการณ์ผลจำลองระยะยาวเป็นเรื่องที่ยากและอาจมีความคลาดเคลื่อนได้สูง แต่หากพิจารณาสำหรับผลจำลองระยะสั้นอาจมีความแม่นยำและความน่าเชื่อถือผลจำลองมากขึ้น เนื่องด้วยองค์ประกอบความสัมพันธ์ระบบและชุดข้อมูลที่ใช้สร้างผลจำลองเป็นชุดข้อมูลที่อยู่ช่วงเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกับช่วงเวลาของผลจำลองคาดการณ์ในระยะสั้น

สถานการณ์ปัจจุบันของภาคเหมืองหินอุตสาหกรรมก่อสร้างที่ดำเนินกิจกรรมเหมืองหินนี้มีประทุนบัตรเหลืออยู่ 2 แห่ง ได้แก่ "หจก. กฤษณ์ศิลาพร" มีอัตรากำลังการผลิตที่สูงสุดอยู่ที่ 344,056 เมตริกตัน และ "บจก. เขابันไดนางศิลา" มีอัตรากำลังการผลิตที่สูงและเคยสูงถึง 899,112 เมตริกตันต่อปี ซึ่งประทุนบัตรทั้งสองแห่งมีศักยภาพที่จะสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้ใกล้เคียงและเพียงพอกับระดับความต้องการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ แต่พบว่าประทุนบัตรทั้งสองแห่งนี้กำลังจะสิ้นสุดลงโดย "หจก. กฤษณ์ศิลาพร" กำลังจะสิ้นอายุลงในปี พ.ศ. 2566 ตามแผนผังโครงการและสำหรับ "บจก. เขابันไดนางศิลา" ที่มีอัตรากำลังการผลิตที่สูงเกินกว่าอัตรากำลังการผลิตตามแผนผังโครงการ (400,000 เมตริกตันต่อปี) ซึ่งคาดว่าปริมาณสำรองหินที่ได้รับอนุญาตในการทำ

เหมืองจะหมดลงก่อนสิ้นอายุประทานบัตรตามแผนผังโครงการ โดยจะหมดลงในช่วงปี พ.ศ. 2565 – 2566 ด้วยอัตรากำลังผลิตหินที่สูงขณะนี้ จากเดิมที่ประทานบัตรจะสิ้นอายุลงในปี พ.ศ. 2573

ผลจำลองคาดการณ์ความต้องการใช้หินมวลรวมก่อสร้างของประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในช่วงเวลา 10 ปี (ปี ค.ศ. 2020 – 2030 หรือ พ.ศ. 2563 – 2073) มีความต้องการใช้หินรวมโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 1.15 – 1.20 ล้านเมตริกตันต่อปี จากผลจำลองนำเสนอให้มีการเพิ่มจำนวนประทานบัตรแห่งที่ 3 ด้วยอัตรากำลังการผลิตต่อประทานบัตรที่ 400,000 เมตริกตันต่อปี เพื่อให้มีศักยภาพในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการใช้หินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา หรือจากประทานบัตรเดิม 2 แห่งนี้เพิ่มศักยภาพของอัตรากำลังผลิตต่อประทานบัตรเป็น 600,000 เมตริกตันต่อปี

5.2. ข้อเสนอแนะ

1) การดำเนินงานและข้อจำกัด

พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นขอบเขตพื้นที่ในการศึกษางานวิจัย การพัฒนาแบบจำลองมีข้อมูลหลายส่วนที่จำเป็นในการใช้ในแบบจำลองพลวัตระบบ เช่น ข้อมูลประชากร ข้อมูลความต้องการใช้หินก่อสร้าง และปริมาณทรัพยากรสำรองที่มีศักยภาพ ข้อมูลเหล่านี้ยังขาดการศึกษารวบรวมและเผยแพร่อย่างเป็นทางการภายใต้ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา จึงมีความจำเป็นในการรวบรวมและประมวลข้อมูลจากหลากหลายแหล่ง หรือใช้วิธีการประมาณค่าจากข้อมูลแวดล้อมเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเหล่านี้

จากการศึกษารวบรวมข้อมูลจากหลากหลายแห่งทั้งข้อมูลการศึกษาขอบเขตจังหวัด เชียงพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและแหล่งหินที่มีตำบลท้องที่อยู่ในขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาพบว่า ทรัพยากรหินเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างมีหลากหลายชนิด โดยส่วนใหญ่เป็นชนิดหินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง นอกจากนี้ยังมีหินควอตซ์ไซต์ (คาดว่าแหล่งปริมาณสำรองถูกการทำเหมืองจนหมดแล้วโดย หจก.ศิลาชัยหาดใหญ่) โดโลไมต์ และแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง และหากใช้ข้อมูลจากกลุ่มควบคุมสัมปทานและกำกับการผลิต สำนักเหมืองแร่และสัมปทานที่ประเมินปริมาณสำรองแหล่งหินอุตสาหกรรมเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างพบว่าปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างรวมทั้งสิ้นประมาณ 108 ล้านเมตริกตัน โดยปัจจุบันเหลือประทานบัตรที่มีอายุอยู่เพียง 2 แห่ง

ปัจจุบันข้อมูลประชากรถูกเผยแพร่และรวบรวมอย่างเป็นทางการทั้งในขอบเขตประเทศ จังหวัด หรือแม้กระทั่งตำบล แต่ภายใต้ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลายังขาดการรวบรวมหรือเผยแพร่อย่างเป็นทางการ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการพิจารณาและรวบรวมข้อมูลประชากรจากขอบเขตระดับอำเภอเฉพาะอำเภอที่มีพื้นที่อยู่ภายในขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลประชากรของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาขึ้นมา ทำนองเดียวกันยังขาดการศึกษาหรือเผยแพร่ข้อมูลการใช้ที่ดินอุตสาหกรรมก่อสร้างอย่างเป็นทางการภายใต้ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา หรือแม้กระทั่งในขอบเขตระดับของจังหวัด จึงมีความจำเป็นในการพิจารณาและประเมินจากข้อมูลแวดล้อมคือใช้วิธีการประเมินจากข้อมูลงานก่อสร้างประเภทอาคารและที่มีใช้อาคารที่มีการเผยแพร่อย่างเป็นทางการในขอบเขตระดับจังหวัด ตามหัวข้อที่ 3.4

2) การทำงานของตัวแบบจำลองพลวัตระบบ

แบบจำลองพลวัตระบบที่ถูกพัฒนานี้มีการทำงานในภาพรวมคือเป็นสร้างผลจำลองคาดการณ์ปริมาณการใช้ที่ดินมวลรวมของประชากรในพื้นที่ที่ได้จากการใช้แฟกเตอร์การใช้ที่ดินมวลรวมต่อหัวประชากรและจำนวนประชากรที่เปลี่ยนแปลงไป ปริมาณการใช้ที่ดินมวลรวมนี้สะท้อนเข้าสู่ระบบเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการตรวจสอบและพิจารณาสมดุลระหว่างระดับอัตราการกำลังการผลิตและปริมาณการใช้ที่ดินมวลรวมสำหรับการพิจารณาถึงจำนวนประทุนบัตรที่ต้องการและทำให้ในพื้นที่มีศักยภาพในการสร้างผลผลิตหินมวลรวมได้เพียงพอต่อความต้องการใช้ที่ดินมวลรวมของประชากรภายใต้เงื่อนไขของแบบจำลอง นั่นคือแบบจำลองจะพยายามแสดงพฤติกรรมในการสนองผลลัพธ์ของระดับปริมาณการใช้ที่ดินที่สะท้อนมาสู่ระบบด้วยระดับอัตราการกำลังการผลิตที่สอดคล้องและมีศักยภาพเพียงพอต่อความต้องการผ่านการเปลี่ยนแปลงจำนวนประทุนบัตร

3) ข้อจำกัดและเงื่อนไขของแบบจำลอง

แบบจำลองพลวัตระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อการวางแผนพัฒนาเหมืองหินในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา และสร้างสถานการณ์จำลองคาดการณ์แนวโน้มในอนาคตซึ่งเป็นสถานการณ์จำลองภายใต้เงื่อนไขบางประการดังนี้

- เป็นสถานการณ์จำลองที่คาดการณ์ความต้องการใช้ที่ดินมวลรวมก่อสร้างด้วยข้อมูลทางสถิติของพื้นที่งานก่อสร้างที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากร โดยที่ได้พิจารณาถึงการใช้ที่ดินมวลรวมก่อสร้างจากปัจจัยอื่น เช่น

โครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ของรัฐ (มันถูกระบุไว้ในโครงสร้างแบบจำลองที่เรียกว่า "Government project") หรือการเปลี่ยนแปลงเชิงนโยบายที่เกี่ยวข้องในอนาคต เป็นต้น

- o ผลจำลองข้อเสนอแนะถึงจำนวนประธานบัตรที่จำเป็นที่มีศักยภาพของกำลังผลิตรองรับความต้องการอย่างเพียงพอเป็นผลจำลองที่มีฐานคิดจากอัตรากำลังการผลิตขั้นต่ำที่คุ้มค่าเชิงพาณิชย์ โดยที่ได้พิจารณาถึงว่าตลอดช่วงเวลาของการสร้างสถานการณ์จำลองนั้น มีผู้ประกอบการใดและมีอัตรากำลังการผลิตที่ดำเนินการจริงอย่างไร

4) แนวทางการพัฒนาแบบจำลองต่อไปในอนาคต

แบบจำลองพลวัตระบบนั้นมีความยืดหยุ่นในการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์หรือการขยายโครงสร้างแบบจำลอง ดังนั้นในอนาคตก็สามารถที่จะพัฒนาแก้ไขในบางประเด็นที่ยังมีความบกพร่องของข้อมูลหรือการทำงานของแบบจำลองให้ดียิ่งขึ้น โดยตัวแบบจำลองพลวัตระบบเพื่อการวางแผนและพัฒนาเมืองหินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นแบบจำลองที่มองภาพรวมของการจัดการทรัพยากรในพื้นที่ ซึ่งผู้ที่มีส่วนหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อการตัดสินใจในเชิงนโยบายน่าจะเป็นผู้ที่ได้รับประโยชน์ที่สุด ดังนั้นการพัฒนาขยายโครงสร้างแบบจำลองในอนาคตก็อาจเป็นการเสริมประเด็นที่เกี่ยวข้องกับหน่วยงานเหล่านั้น เช่น ประเด็นของภาษีหรือค่าภาคหลวงที่เป็นรายได้เข้าสู่ภาครัฐ ประเด็นเรื่องสิ่งแวดล้อมหรือความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากร เป็นต้น

นอกจากนี้การพัฒนาโครงสร้างแบบจำลองหรือการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองในอนาคต เพื่อให้ตัวแบบจำลองพลวัตระบบเป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์และมีความสอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงมากยิ่งขึ้น การพัฒนาแบบจำลองควรรีดยุทธศาสตร์หรือแผนแม่บทต่างๆ ซึ่งเป็นแผนและแนวทางของการพัฒนาประเทศ เพื่อเป็นพื้นฐานหรือกรอบแนวคิดทั้งในเชิงนโยบายและเป็นข้อมูลสำหรับแนวทางในการพัฒนาแบบจำลอง ได้แก่ ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี และยุทธศาสตร์การบริหารจัดการแร่ 20 ปี เป็นต้น โดยเฉพาะประเด็นของการคาดการณ์การใช้หินมวลรวมก่อสร้างจากกิจกรรมของภาครัฐ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความไม่แน่นอนของความสัมพันธ์และยากต่อการคาดการณ์แนวโน้มอนาคต แต่ด้วยแผนยุทธศาสตร์เหล่านี้จะช่วยทำให้การพัฒนาแบบจำลองมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- กระทรวงคมนาคม. กรมทางหลวง. (2560). *มาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงทั่วประเทศ*. ค้นจาก <http://www.doh.go.th/content/page/page/5624>
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมทรัพยากรธรณี. (2557). *การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดสงขลา*. กรุงเทพฯ: กรม.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมทรัพยากรธรณี. (2550). *การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดพัทลุง*. กรุงเทพฯ: กรม.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมทรัพยากรธรณี. (2550). *การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดนครศรีธรรมราช*. กรุงเทพฯ: กรม.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมทรัพยากรธรณี. (2549). *โครงการสำรวจเพื่อการจัดการทรัพยากรธรณีลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (สำรวจธรณีเคมีและการพังทลายของหน้าดินลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา)*. กรุงเทพฯ: กรม.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมทรัพยากรธรณี. (2561). *แผนที่แสดงพื้นที่ประทานบัตรหินอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ: กรม.
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมทรัพยากรธรณี. (2561). *แผนที่แสดงพื้นที่แหล่งหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ: กรม.
- กระทรวงการคลัง. กรมธนารักษ์. (2564). *ระบบเผยแพร่ราคาประเมินสินทรัพย์สิน*. ค้นจาก <https://assessprice.treasury.go.th/>
- กระทรวงอุตสาหกรรม. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. (2561). *ประกาศกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและงานเหมืองแร่ เรื่อง หลักเกณฑ์และแนวทางการประเมินความคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจสำหรับการอนุญาตประทานบัตร (ฉบับที่ 2)*. กรม.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. กลุ่มวิศวกรรมและความปลอดภัย สำนักเหมืองแร่และสัมปทาน. (ม.ป.ป.). *แหล่งหินอุตสาหกรรม ข้อมูลแหล่งหินเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง*. ค้นจาก <http://www.dpim.go.th/qry-stones/quarry3.php>

กวี หวังนิเวศน์กุล. (2552). การประมาณราคาคอนกรีต. *การประมาณราคางานวิศวกรรมก่อสร้าง* (หน้า 74-83). กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2561). *ยุทธศาสตร์การบริหารจัดการแร่ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) และแผนแม่บทการบริหารจัดการแร่ พ.ศ. 2560-2564*. กรุงเทพฯ: กระทรวง.

คณะกรรมการนโยบายบริหารจัดการแร่แห่งชาติ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2563). *ยุทธศาสตร์การบริหารจัดการแร่ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580)*. กรุงเทพฯ: กระทรวง.

กระทรวงอุตสาหกรรม. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. กลุ่มควบคุมสัมปทานและกำกับการผลิต สำนักเหมืองแร่และสัมปทาน. (ม.ป.ป.). ข้อมูลจำนวนประทานบัตรเหมืองแร่ ดำเนินการทั่วประเทศ. ค้นจาก <http://www1.dpim.go.th/mne/mnrid.php>

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมทรัพยากรน้ำ. ศูนย์ป้องกันวิกฤตน้ำ. (ม.ป.ป.). *ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา*. ค้นจาก mekhala.dwr.go.th/knowledge-basin-songkla.php

กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (ม.ป.ป.). *สถิติจากการสำรวจสำมะโนประชากร*. ค้นจาก www.nso.go.th/

กรมมหาดไทย. กรมการปกครอง. สำนักบริหารการทะเบียน. (ม.ป.ป.). *ระบบสถิติทางการทะเบียน*. ค้นจาก <https://stat.bora.dopa.go.th/>

ศรติ ภูมิโพธิ์. (2556). *ทฤษฎีตัวแบบพลวัตระบบ*. ค้นจาก mantechsc.blogspot.com/2013/01/blog-post_30.html

โยธาไทย. (2563). *แบบรื้อคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน พร้อมผนังกันดิน คสล.* ค้นจาก <https://www.yotathai.com/>

เอเจนซี ฟอรั เรียลเอสเตท แอฟแฟร์ส. (2564). *การประเมินราคาอสังหาริมทรัพย์*. ค้นจาก <https://www.area.co.th/index.php>

AnyLogic Company. (2018). *Multimethod Simulation Modeling*. Retrieved from <https://www.anylogic.com/use-of-simulation/multimethod-modeling/>

- Arango-Aramburo, S., Jalamillo, P., Olaya, Y., Smith, R., Restrepo, O.J., Saldarriaga-Isaza, A., ... Castellanos-Nino, L.Y., (2017). Simulating mining policies in developing countries: The case of Colombia. *Socio-Economic Planning Sciences*, 60, 99-113. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.04.002>
- Aronson, D., & Angelakis, D. (1999). Step-by-step stocks and flows: Improving the rigor of your thinking. *The system thinker*, 10(4), 6-7.
- Bach, M.P., & Ceric, V. (2007). Developing system dynamics models with "step-by-step" approach. *Journal of Information and Organizational Sciences*, 31(1), 171-185.
- Binder, T., Vox, A., Belyazid, S., Haraldsson, H., & Svensson, M. (2004). Developing system dynamics model from causal loop diagrams.
- Bloodworth, A.J., Scott, P.W., & McEvoy, F.M. (2009). Digging the backyard: Mining and quarrying in the UK and their impact on future land use. *Land Use Policy*, 26(Suppl. 1), 317-325. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.08.022>
- Breierova, L., & Choudhari, M. (1996). An Introduction to Sensitivity Analysis. Road maps: A guild to learning system dynamics.
- Bris, M. (2007). Sensitivity analysis as a managerial decision making tool. *Interdisciplinary Management Research*, 3, 287-296.
- Centeno, M.A. (1996). An introduction simulation modeling. *Proceeding of the Winter simulation conference*, USA, 1, 15-22. <https://doi.org/10.1109/WSC.1996.873255>
- Chua, T., Sachakamol, P., & Phusavat, K. (2017). A commercial feasibility study on recycled concrete aggregate (RCA) in Bangkok dealing with random parameters. *Engineering journal*, 21(3), 133-155. <https://doi.org/10.4186/ej.2017.21.3.133>
- Dey, P.K., & Ramcharan, E.K. (2008). Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados. *Journal of Environmental Management*, 88(4), 1384-1395. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.07.011>

- Dubinski, J. (2013). Sustainable development of mining mineral resources. *Journal of Sustainable Mining*, 12(1), 1-6. <https://doi.org/10.7424/jsm130102>
- Duggan, J. (2016). *System Dynamics Modeling with R*. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-34043-2>
- Forrester, J.W. (1961). *Industrial Dynamics*. Cambridge. MIT Press.
- Forrester, J.W. (1995). *The beginning of system dynamics*. MIT.
- Harrison, D.J., & Bloodworth A.J. (1994). *Industrial Minerals laboratory manual: Construction materials*. Nottingham: British geological survey.
- Haraldsson, H.V. (2004). Introduction to system thinking and causal loop diagrams. Lund: Lund University Press.
- Hekimoglu, M., & Barias, Y. (2010). Sensitivity Analysis of System Dynamics Models by Behavior Pattern Measures. *Proceedings of the 28th International Conference of the System Dynamics Society*, Seoul, Korea.
- Isee Systems. (n.d.). *isee systems*. Retrieved from <https://www.iseesystems.com/>
- Jafari, M., Hesamamiri, R., Sadjadi, J., & Bourouni, A. (2012). Assessing the dynamic behavior of online Q&A knowledge markets: A system dynamics approach. *Program: electronic library and information systems*, 46(3), 341-360.
- Kirkwood, C.W. (1998). *System dynamics methods: A quick introduction*. Arizona: Arizona State university.
- Kim, D.H. (1992). Guidelines for drawing causal loop diagrams. *The system thinker*, 3, 5-6.
- Kofoworola, O.F., & Gheewala, S.H. (2009). Estimation of construction waste generation and management in Thailand. *Waste management*, 29(2), 731-738.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.07.004>

- Langer, W.H. (2002). *Managing and protecting aggregate resources*. Denver, Colorado: U.S. Geological Survey.
- Langer, W. (2016). Sustainability of Construction Aggregate. In J.M. Khatib (Ed.), *Sustainability of Construction Materials* (2nd ed., pp. 181-207). Virginia: Woodhead Publishing.
- Langer, W.H., Drew, L.J., & Sachs, J.S. (2004). *Aggregate and the Environment*, Maryland: American Geological Institute.
- Lannon, C.P. (2012). Causal loop construction: The basics. *The system thinker*. 23: 7-8.
- Marica, S., Ceteana, V., & Lazaroiu, G. (2008). Unitary management and environmental performance by monitoring and protection of mineral resources for construction materials from Romania. *Building and Environment*, 43(6), 1082-1090. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.02.013>
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., & Randers, J. (2004). *Limit to Growth: The 30-Year Global Update*. UK: Earthscan.
- Morecroft, J.D.W., & Sterman, J.D. (2000). *Modeling for learning organizations*, Portland, Oregon: Productivity Press.
- Pavlu, T. (2018). The utilization of recycled material for concrete and cement production – A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 442. doi.org/10.1088/1757-899X/442/1/012014
- Power Software. (n.d.). Powersim Retrieved from <https://www.powersim.com/>
- Prior, T., Giurco, D., Mudd, G., Mason, L., & Behrisch, J. (2012). Resource depletion, peak minerals and the implications for sustainable resource management. *Global Environmental Change*, 22(3), 577-587. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.08.009>

- Pruyt, E. (2013). *Small System dynamics models for big issues: Triple jump towards real-world complexity*, Delft, Neth: TU Delft Library.
- Saltelli, A., Tarantola, S., Campolongo, F., & Ratto, M. (2004). *Sensitivity Analysis in Practice: A Guide to Assessing Scientific Models*, England, Chichester: John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/0470870958>
- Saltelli, A., Ratto, M., Andes, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelly, D., & Tarantora, M. (2008). *Global Sensitivity Analysis the Primer*, England, Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Senaraz, A.E. (2017). Causal loop diagram and feedback: A case study in flexible manufacturing system. *Journal of management, economic and marketing research*, 1(5), 1-12.
- Shahriar, S. (n.d.). *Density of aggregate – Bulk and relative density*. Retrieved from <https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/aggregate/198-density-of-aggregate>
- Smith, G. 2017. Estimation of the demand for construction aggregate. *Natural resource modeling*. 30(4). <https://doi.org/10.1111/nrm.12144>
- Sontamino, P. & Drebenstedt, C. (2013). A Prototype Decision Making Tool of Coal Mine Planning Using System Dynamics Model, in C. Drebenstedt & R. Singha (Eds.), *Mine Planning and Equipment Selection* (pp.1475-1484). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02678-7_142
- Sterman, J.D. 1994. Learning in and about complex systems. *System Dynamics Review*, 10, 291-330. <https://doi.org/10.1002/sdr.4260100214>
- Sterman, J.D. 2000. *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*, America, Ohio: McGraw-Hill.

- Tanginthai, N., Heidrich, O., & Manning, D.A.C. (2019). Role of policy managing mined resources for construction in Europe and emerging economies. *Journal of Environmental Management*, 236, 613–621.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.141>
- Tausova, M., Culkova, K., Domaracka, L., & Drebenstedt, C. (2017). The importance of mining for socio-economic growth of the country. *Acta Montanistica Slovaca*, 22(4), 359-367.
- The concrete production and aggregate co., ltd. (2000). Aggregate. *Concrete technology* (pp. 25-44), Retrieve from <https://www.cpacacademy.com/index.php?tpid=0063>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. Population division. (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*, New York: DESA.
- Vensim. (n.d.). *User Guide - Vensim introduction & tutorials*. Retrieve from <https://www.vensim.com/documentation>
- Ventana Systems. (2015). Vensim Retrieved from <https://vensim.com/>
- Wiwattananukul, J., Sontamino, P., Masniyom, M., & Rachpech, V. (2021). System Dynamics Model for Lifetime Construction Aggregate Supply in Songkhla Lake Basin. *Engineering Journal Chiang Mai University*, 28(2), 64-76.
- Wolstenholm, E.F. (1990). *System enquiry: A System Dynamics Approach*, England, Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- World Business council of Sustainable Development. (2009). *Recycling concrete*, Switzerland, Geneva: WBCSD.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลประธานบัตร ประชากร พื้นที่ก่อสร้าง และกำลังการผลิตหินของพื้นที่ลุ่มน้ำ

ทะเลสาบสงขลา

1. ประทานบัตรเมืองหินอุตสาหกรรม

ตารางที่ ก1 รายชื่อผู้ถือประทานบัตรเมืองหินอุตสาหกรรมมีอายุในจังหวัดสงขลา (ฝ่ายควบคุมสัมปทานและกำกับการผลิต สำนักเหมืองแร่สัมปทาน, ม.ป.ป.)

ผู้ถือประทานบัตร	ประทานบัตร	อำเภอ	ตำบล	ชนิดแร่
นายศักดิ์ พันธุ์พงศ์	27640/15483	เมืองสงขลา	ทุ่งหวัง	หินแกรนิตเพื่อ อุตสาหกรรมก่อสร้าง
บจก.สะกอมพรอน	27644/15586	จะนะ	คลองเปยะ	หินแกรนิตเพื่อ อุตสาหกรรมก่อสร้าง
บจก.เหมืองวังไผ่	27639/15301	จะนะ	คลองเปยะ	หินแกรนิตเพื่อ อุตสาหกรรมก่อสร้าง
บจก.เขابันไดนางศิลา	27667/16228	หาดใหญ่	คอหงส์	หินแกรนิต, หินควอร์ตไซต์ และหินฮอว์นเฟลเพื่อ อุตสาหกรรมก่อสร้าง
บจก.ไศลรุ่งเรือง	27652/15858	จะนะ	นาหว้า	หินแกรนิตเพื่อ อุตสาหกรรมก่อสร้าง
บจก.โรงโม่หินสมนึกสงขลา	27668/16242	จะนะ	ท่าหมอไทร	หินแกรนิตเพื่อ อุตสาหกรรมก่อสร้าง
บจก.เหมืองแร่ลิวง	27666/16241	จะนะ	ท่าหมอไทร	หินแกรนิตเพื่อ อุตสาหกรรมก่อสร้าง

ตารางที่ ก2 รายชื่อผู้ถือประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมมีอายุในจังหวัดพัทลุง (ฝ่ายควบคุมสัมปทานและกำกับการผลิต สำนักเหมืองแร่สัมปทาน, ม.ป.ป.)

ผู้ถือประทานบัตร	ประทานบัตร	อำเภอ	ตำบล	ชนิดแร่
หจก. กฤษณ์ศิลาพร	23956/15410	ควนขนุน	พนมวังค์	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง

ตารางที่ ก3 รายชื่อผู้ถือประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมมีอายุในจังหวัดตรัง (ฝ่ายควบคุมสัมปทานและกำกับการผลิต สำนักเหมืองแร่สัมปทาน, ม.ป.ป.)

ผู้ถือประทานบัตร	ประทานบัตร	อำเภอ	ตำบล	ชนิดแร่
นายประสิทธิ์ ทวนดำ	33385/16226	ย่านตาขาว	ทุ่งค่าย	โถโลไมต์
บจก.ตรัง ยูซี	33382/16041	นาโยง	โคกสะบ้า	โถโลไมต์
บจก.ภูศรีตรัง	33387/16363	เมืองตรัง	บ้านโพธิ์	หินทรายแบ่งเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง
หจก.โรงไม้ตรังภูทอง	33383/16180	สิเกา	นาเมืองเพชร	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง

ตารางที่ ก4 รายชื่อผู้ถือประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมมีอายุในจังหวัดนครศรีธรรมราช (ฝ่ายควบคุมสัมปทานและกำกับการผลิต สำนักเหมืองแร่สัมปทาน, ม.ป.ป.)

ผู้ถือประทานบัตร	ประทานบัตร	อำเภอ	ตำบล	ชนิดแร่
บจก.ปูนซิเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	33127/16173	ทุ่งสง	ที่วัง	แร่อุตสาหกรรมชนิดดินซีเมนต์
บจก.ปูนซิเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	33153/16296	ทุ่งใหญ่	กุแหร	แร่อุตสาหกรรมชนิดดินซีเมนต์
บจก.เหมืองแร่สิน-ประดิษฐ์	33113/16123	สีชล	ฉลอง	ดีบุก
บจก.เหมืองแร่สิน-ประดิษฐ์	33112/16122	สีชล	ฉลอง	ดีบุก
นางสาวสิริธิดา สมิตะสิริ	26096/16005	นบพิตำ	กรุงชิง	แบไรต์
บจก.พี.แอนด์.เอส.แบไรท์ ไม่นิ่ง	26204/16053	นบพิตำ	กรุงชิง	แบไรต์
บจก.พี.แอนด์.เอส.แบไรท์ ไม่นิ่ง	33106/16055	นบพิตำ	กรุงชิง	แบไรต์
บจก.พี.แอนด์.เอส.แบไรท์ ไม่นิ่ง	33105/16054	นบพิตำ	กรุงชิง	แบไรต์
บจก.ทรัพย์หลวง	33107/16028	นบพิตำ	นาทรง	แบไรต์และเหล็ก
บจก.สินหลวง	33142/16229	นบพิตำ	นบพิตำ	เฟลด์สปาร์
หจก.ศิริเฟลด์สปาร์	33104/15926	นบพิตำ	กรุงชิง	เฟลด์สปาร์
หจก.สินแร่เจริญผล	26201/15514	นบพิตำ	กรุงชิง	เฟลด์สปาร์
บจก.เอเชียเหมืองแร่อุตสาหกรรม	26065/14657	นบพิตำ	นบพิตำ	เฟลด์สปาร์ และควอทซ์
บจก.เอเชียเหมืองแร่อุตสาหกรรม	33124/16349	นบพิตำ	นบพิตำ	เฟลด์สปาร์,ควอทซ์

ตารางที่ ก4 รายชื่อผู้ถือประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมมีอายุในจังหวัดนครศรีธรรมราช (ฝ่ายควบคุมสัมปทานและกำกับการผลิต สำนักเหมืองแร่สัมปทาน, ม.ป.ป.) (ต่อ)

ผู้ถือประทานบัตร	ประทานบัตร	อำเภอ	ตำบล	ชนิดแร่
บจก.ไทยผลิตภัณฑ์ยิปซัม (มหาชน) (บจก.เพียวไบรท์ รับช่วงฯ)	26072/15098	ฉวาง	ไม้เรียง	ยิปซัม
บริษัท ยิปซัมเฮาส์ จำกัด	33114/16104	ทุ่งใหญ่	ท่ายาง	ยิปซัม และ แอนไฮไดรต์
บจก.เพียวไบรท์ ยิปซัม	33145/16377	ฉวาง	ไม้เรียง	ยิปซัม,แอนไฮไดรต์
บจก.เพียวไบรท์	33123/16366	ฉวาง	ไม้เรียง	ยิปซัม,แอนไฮไดรต์
บจก.ปัญจะพัฒนา ศวกรรม และพาณิชย์การ	33081/15908	ถ้าพระนรา	ถ้าพระนรา	ยิปซัมและแอนไฮไดรต์
บจก.ปัญจะพัฒนาวิศวกรรม และพาณิชย์การ	26217/15907	ถ้าพระนรา	ถ้าพระนรา	ยิปซัมและแอนไฮไดรต์
บจก.ทุ่งใหญ่ มิเนอร์อัล	33084/15934	ทุ่งใหญ่	ทุ่งใหญ่	ยิปซัมและแอนไฮไดรต์
บจก.วานิชยิปซัม	26209/15881	ฉวาง	ไม้เรียง	ยิปซัมและแอนไฮไดรต์
บจก.ยูนิโฮม	33121/16128	ทุ่งใหญ่	ทุ่งใหญ่	ยิปซัมและแอนไฮไดรต์
บจก.แอล.เอส.ไมนิ่ง	33119/16127	ทุ่งใหญ่	ทุ่งใหญ่	ยิปซัมและแอนไฮไดรต์
หจก.เลิศวัฒนาการโยธา	26193/15449	ทุ่งสง	ถ้าใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์
บจก.ผาทองทุ่งสง	33111/16059	ทุ่งสง	ถ้าใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรม ก่อสร้าง
บจก.ผาทองทุ่งสง	33120/16219	ทุ่งสง	ปากแพรก	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรม ก่อสร้าง
บจก.ผาทองทุ่งสง	33122/16220	ทุ่งสง	ถ้าใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรม ก่อสร้าง

ตารางที่ ก4 รายชื่อผู้ถือประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมมีอายุในจังหวัดนครศรีธรรมราช (ฝ่ายควบคุมสัมปทานและกำกับการผลิต สำนักเหมืองแร่สัมปทาน, ม.ป.ป.) (ต่อ)

ผู้ถือประทานบัตร	ประทานบัตร	อำเภอ	ตำบล	ชนิดแร่
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14266/15895	ทุ่งสง	ที่วังและถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14259/15888	ทุ่งสง	ถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14270/15899	ทุ่งสง	ที่วังและถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	33087/15901	ทุ่งสง	ที่วังและถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14269/15898	ทุ่งสง	ที่วัง	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14261/15890	ทุ่งสง	ถ้ำใหญ่ ที่วังและชะมาย	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14262/15891	ทุ่งสง	ที่วัง ถ้ำใหญ่และชะมาย	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14265/15894	ทุ่งสง	ที่วังและถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14260/15889	ทุ่งสง	ถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14258/15887	ทุ่งสง	ถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14271/15900	ทุ่งสง	ที่วังและถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	33088/15902	ทุ่งสง	ที่วังและถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

ตารางที่ ก4 รายชื่อผู้ถือประทานบัตรเหมืองหินอุตสาหกรรมมีอายุในจังหวัดนครศรีธรรมราช (ฝ่ายควบคุมสัมปทานและกำกับการผลิต สำนักเหมืองแร่สัมปทาน, ม.ป.ป.) (ต่อ)

ผู้ถือประทานบัตร	ประทานบัตร	อำเภอ	ตำบล	ชนิดแร่
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14267/15896	ทุ่งสง	ที่วังและถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14264/15893	ทุ่งสง	ที่วังและถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	33089/15903	ทุ่งสง	ที่วังและถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14275/15904	ทุ่งสง	ที่วังและถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14263/15892	ทุ่งสง	ที่วังและถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14268/15897	ทุ่งสง	ที่วังและถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บจก.ปูนซีเมนต์ไทย (ทุ่งสง)	14276/15905	ทุ่งสง	ที่วังและถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
หจก.ชุติวรรณ	33136/16406	ร่อนพิบูลย์	หินตก	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง
บจก.ศิลาอารี	33134/16352	ร่อนพิบูลย์	หินตก	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง
หจก.เลิศวิวัฒนาการโยธา	33156/16396	ทุ่งสง	ถ้ำใหญ่	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง
ห้างหุ้นส่วนจำกัด วังศิลา	33135/16365	ร่อนพิบูลย์	หินตก	หินปูนเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง

2. ข้อมูลประชากรของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ตารางที่ ก5 จำนวนการเกิดของประชากรและอัตราการเกิดของประชากรของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ช่วงปี พ.ศ. 2550 ถึง 2562 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, ม.ป.ป.; สำนักบริหารการทะเบียน, ม.ป.ป.)

ปี	จำนวนการเกิด	อัตราการเกิดของประชากร (%)
2550	25,360	1.50
2551	25,041	1.48
2552	24,634	1.45
2553	23,985	1.40
2554	25,142	1.46
2555	26,354	1.52
2556	26,081	1.50
2557	25,745	1.47
2558	24,396	1.39
2559	22,349	1.27
2560	21,780	1.23
2561	20,975	1.18
2562	18,714	1.05

ตารางที่ ก6 จำนวนการเสียชีวิตของประชากรและอัตราการเสียชีวิตของประชากรของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ช่วงปี พ.ศ. 2550 ถึง 2562 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, ม.ป.ป.; สำนักบริหารการทะเบียน, ม.ป.ป.)

ปี	จำนวนการเสียชีวิต	อัตราการเสียชีวิตของประชากร (%)
2550	9,598	0.57
2551	9,607	0.57
2552	9,666	0.57
2553	10,162	0.59
2554	10,031	0.58
2555	10,174	0.59
2556	10,586	0.61
2557	11,143	0.64
2558	11,540	0.66
2559	11,948	0.68
2560	11,872	0.67
2561	11,830	0.67
2562	12,163	0.68

ตารางที่ ก7 จำนวนประชากรและอัตราการเติบโตของประชากรของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ช่วงปี พ.ศ. 2550 ถึง 2562 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, ม.ป.ป.; สำนักบริหารการทะเบียน, ม.ป.ป.)

ปี	จำนวนประชากร	อัตราการเติบโตของประชากร (%)
2550	1,688,826	-
2551	1,697,568	0.518
2552	1,704,473	0.407
2553	1,714,611	0.595
2554	1,720,923	0.368
2555	1,731,263	0.601
2556	1,741,724	0.604
2557	1,751,405	0.556
2558	1,760,606	0.525
2559	1,765,330	0.268
2560	1,770,968	0.319
2561	1,776,833	0.331
2562	1,778,231	0.079

ตารางที่ ก8 ค่าทางสถิติของอัตราการเติบโตจำนวนประชากรของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ช่วงปี พ.ศ. 2550 ถึง 2562

ค่าทางสถิติ	อัตราร้อยละ (%)
ค่าสูงสุด	0.604
ค่าเฉลี่ย	0.431
ค่าต่ำสุด	0.079
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.157

3. ข้อมูลพื้นที่ก่อสร้างอาคารและที่มีใช้อาคารของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ช่วงปี พ.ศ. 2550-2562

3.1 ข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างอาคารของจังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดพัทลุง และจังหวัดสงขลา ช่วงปี พ.ศ. 2550-2562

ตารางที่ ก9 ข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ ของจังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2562 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, ม.ป.ป.)

ชนิดของสิ่งก่อสร้าง	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562
เพื่ออยู่อาศัย	379,983	213,188	288,295	581,757	926,237	679,142	620,765	675,740	591,588	545,829	545,864	564,130	688,990
เพื่อการพาณิชย์	71,558	23,606	37,827	48,641	99,748	85,574	32,855	97,848	71,268	71,461	75,697	61,968	123,338
อาคารชุด คอนโดมิเนียม	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เพื่อการอุตสาหกรรมและโรงงาน	-	1,925	5,920	35,007	9,203	12,145	14,437	3,274	60,893	92,903	46,677	22,359	30,346
เพื่อการบำบัดน้ำเสีย ของเสีย	-	-	-	-	-	-	288	-	252	716	217	-	42
เพื่อการศึกษา	3,905	1,309	5,397	3,967	12,712	2,674	418	1,070	6454	3,769	5,853	8,220	-
เพื่อการสาธารณสุข/โรงพยาบาล	11,340	-	-	-	633	998	-	-	-	-	-	-	-
เพื่อการเกษตร	710	2,692	1,600	-	2,478	871	1,066	3,662	16355	7,911	5,486	3,270	11,515
โรงแรม	5,647	10,845	-	-	11,587	4,237	16,614	18,046	42950	27,209	35,930	31,087	69,277
เพื่อการบันเทิง	-	-	540	-	-	-	235	-	-	2,160	-	-	-
อาคารสำนักงาน	-	-	4,208	4,605	9,935	2,133	-	2,665	16864	5,762	3,960	3,298	6,130
เพื่อประโยชน์อื่นๆ	3,391	1,347	4,153	24,965	7,711	4,113	4,174	22,221	8041	17,226	25,458	13,702	22,801

ตารางที่ ก10 ข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ ของจังหวัดพัทลุง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2562 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, ม.ป.ป.)

ชนิดของสิ่งก่อสร้าง	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562
เพื่ออยู่อาศัย	59,913	45,892	53,576	65,239	58,844	75,310	83,507	67,634	51,762	33,196	52,952	68,498	94,373
เพื่อการพาณิชย์	2,505	4,570	2,398	3,405	6,706	5,895	9,955	9,917	9,879	2,978	8,043	5,213	7,587
อาคารชุด คอนโดมิเนียม	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เพื่อการอุตสาหกรรมและ โรงงาน	736	1,224	-	-	335	-	-	-	-	-	-	6,097	-
เพื่อการบำบัดน้ำเสีย ของเสีย	273	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เพื่อการศึกษา	-	0	133	-	-	1,608	784	784	-	202	129	113	731
เพื่อการสาธารณสุข/ โรงพยาบาล	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
เพื่อการเกษตร	-	134	-	-	-	-	-	-	-	-	1,418	1,403	2,025
โรงแรม	360	-	-	6,132	5,409	4,472	244	2,517	4,790	2,546	2167	380	2,045
เพื่อการบันเทิง	6,633	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
อาคารสำนักงาน	839	3,800	-	-	-	1,625	430	485	540	-	-	-	-
เพื่อประโยชน์อื่นๆ	-	390	2,952	-	120	7,505	2,582	3,303	4,024	9,127	474	440	2,789

ตารางที่ ก11 ข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ ของจังหวัดสงขลา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2562 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, ม.ป.ป.)

ชนิดของสิ่งก่อสร้าง	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562
เพื่ออยู่อาศัย	1,146,396	1,076,227	1,107,755	1,859,908	1,848,850	2,055,542	3,636,047	1,809,159	1,225,916	1,129,975	1,148,744	1,113,771	1,027,723
เพื่อการพาณิชย์	110,357	105,808	70,092	116,303	144,917	665,662	313,267	222,685	166,510	155,066	145,112	119,230	161,413
อาคารชุด คอนโดมิเนียม	-	-	-	-	-	-	35,757	37,296	12,544	17,770	-	-	-
เพื่อการอุตสาหกรรมและ โรงงาน	163,598	99,316	66,474	111,228	166,711	56,988	63,754	68,379	292,088	116,802	137,578	98,402	167,097
เพื่อการบำบัดน้ำเสีย ของเสีย	-	5,639	657	10,362	4,782	6,850	-	1,364	-	15,298	-	13,707	7,665
เพื่อการศึกษา	35,849	18,422	23,930	15,751	39,460	25,299	7,061	15,017	18,390	26,938	13,927	16,366	12,309
เพื่อการสาธารณสุข/ โรงพยาบาล	-	9,681	-	-	-	45	120	196	288	-	2,675	755	8,900
เพื่อการเกษตร	4,860	6,294	3,011	10,467	3,864	19,346	6,754	3,611	4,709	16,693	40,337	12,360	19,504
โรงแรม	1,186	2,215	8,460	51,030	41,730	54,644	54,915	37,613	41,580	103,638	71,241	25,910	41,494
เพื่อการบันเทิง	-	-	-	8,461	240	693	1,738	4,673	1,265	-	174	-	1,388
อาคารสำนักงาน	-	16,672	2,101	1,880	3,404	17,760	19,017	-	3,080	-	23,553	14,285	3,913
เพื่อประโยชน์อื่นๆ	22,068	28,064	8,841	36,106	29,161	30,658	41,732	29,421	15,852	16,877	21,923	15,683	37,209

3.2 ข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างที่มีใช้อาคารของจังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดพัทลุง และจังหวัดสงขลา ช่วงปี พ.ศ. 2550-2562

ตารางที่ ก12 ข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ ของจังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2562 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, ม.ป.ป.)

ประเภทงานก่อสร้าง	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562
รั้ว/กำแพง	936	458	747	15,435	1,060	744	145	94	3,096	4,986	4,986	3,823	2,229
ถนน/ทางรถไฟ/สะพาน	2,469	18,240	734	98	14,347	44	-	-	4,238	7,968	7,968	1,760	2,074
ท่อ/ทางระบายน้ำ	371	128	433	58	1967	2,354	964	1,254	6,155	2265	2265	3,849	8,658
สระว่ายน้ำ	-	120	-	578	-	1,023	-	-	164	296	296	337	120
ปั้มน้ำมัน	340	6375	-	91	1895	368	132	740	12,497	21,557	21,557	17,271	19,285
ท่าเรือ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ลานจอดรถ	7,433	2,535	5,345	11,494	1,233	695	140	2,346	2,324	22,876	22,876	13,975	15,585
ป้ายโฆษณา	163	6	189	1,035	164	24	106	399	534	103	103	517	1,182
สนามกีฬา	-	-	-	-	3034	-	-	1,935	-	-	-	612	-
อื่น ๆ	448	-	81	12,283	614	5589	315,081	3,852	15,505	10,129	10,129	7,314	1,941

ตารางที่ ก13 ข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ ของจังหวัดพัทลุง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2562 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, ม.ป.ป.)

ประเภทงานก่อสร้าง	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562
รื้อ/กำแพง	488	-	38	134	65	65	32	-	-	-	-	-	759
ถนน/ทางรถไฟ/ สะพาน	2,370	11,585	2020	24	81	81	-	-	-	-	-	-	1,680
ท่อ/ทางระบายน้ำ	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
สระว่ายน้ำ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ปั้มน้ำมัน	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ท่าเรือ	-	-	2,495	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,296
ลานจอดรถ	708	-	502	-	276	276	-	-	-	-	-	857	750
ป้ายโฆษณา	57	-	-	-	-	-	119	-	-	74	74	113	63
สนามกีฬา	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
อื่น ๆ	656	90	37	187	-	-	338	-	164	29	29	119	96

ตารางที่ ก14 ข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ ของจังหวัดสงขลา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2562 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, ม.ป.ป.)

ประเภทงานก่อสร้าง	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562
รั้ว/กำแพง	2,270	6,597	1,146	3,414	1,130	6,231	386	790	987	2,116	2,116	6,419	4,898
ถนน/ทางรถไฟ/สะพาน	889	13,681	1,300	-	530	670	2,072	2,518	283	3,344	3,344	8,727	2,791
ท่อ/ทางระบายน้ำ	3,554	3,452	2,993	1,621	4,184	5,928	2,986	3,267	3,551	9,096	9,096	5,148	3,035
สระว่ายน้ำ	2,816		74	350	641	711	0	-	540	2,380	2,380	638	1,412
ปั้มน้ำมัน	6,818	5828	9,152	6,547	12,284	6,321	1,241	25	21,380	3,737	3,737	18,119	5,068
ท่าเรือ	-	-	-	-	-	-	800	-	-	1,540	1,540	-	-
ลานจอดรถ	1,414	15,956	1,003	1,703	15,170	913	5,875	4,442	8,434	59,220	8,296	17,993	9,278
ป้ายโฆษณา	427	283	1,828	158	2,262	1,503	550	752	1,473	2,859	59,220	1,442	192
สนามกีฬา	-	-	-	-	-	1,584	4,434	992	7,975	8,296	2,859	17,896	960
อื่น ๆ	14,583	8,178	4,543	3,076	10,748	45,530	5,208	207,362	19,862	25,317	25,317	11,993	1,452

3.3.2 ถนน/ทางรถไฟ/สะพาน

ถนน ทางรถไฟ และสะพาน เป็นเส้นทางในการคมนาคมทางบกที่สำคัญ โดยเส้นทางทั้งสามประเภทมีลักษณะ การก่อสร้าง และวัสดุที่แตกต่างกัน และเนื่องจากข้อมูลไม่มีการระบุแน่ชัดว่า ปริมาณการก่อสร้างของแต่ละประเภทมีสัดส่วน ลักษณะการก่อสร้างอย่างไร จึงกำหนดให้เป็น ปริมาณการก่อสร้างทั้งหมดนี้เป็นการสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งตามมาตรฐานชั้นทางสำหรับ ทางหลวงทั่วประเทศ มีระดับชั้นทางอยู่ 6 ระดับ ได้แก่ ชั้นทางพิเศษ และชั้นทางระดับที่ 1 ถึง 5 ดัง ตารางที่ ก15

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกชั้นทางระดับ 3 เป็นชั้นทางอ้างอิงในการแปลงหน่วยของข้อมูลการ ก่อสร้างจากระยะทางเป็นพื้นที่ โดยทางหลวงชั้นที่ 3 มีความกว้างของผิวจราจรและไหล่ทางประมาณ 10 เมตร ดังนั้น แฟกเตอร์ที่ใช้ในการแปลงข้อมูลการก่อสร้างจากหน่วยระยะทางเป็นหน่วยพื้นที่คือ 10 เมตร

3.3.3 ท่อ/ทางระบายน้ำ

ท่อและทางระบายน้ำเป็นโดยทั่วไปมีหลายลักษณะ เช่นลักษณะเป็นท่อ หรือคูเปิดเหมือน คลอง ซึ่งข้อมูลการก่อสร้างไม่ได้มีการระบุแน่ชัดว่าทางระบายน้ำมีขนาดและลักษณะของทางระบายน้ำ เป็นอย่างไร โดยทั่วไปการออกแบบทางระบายน้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ต้องการระบายน้ำในแต่ละ พื้นที่และลักษณะการใช้งาน สำหรับทางระบายโดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 0.3 เมตร ไปจนถึง 2.0 เมตร

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกหน้ากว้างการก่อสร้างทางระบายน้ำอยู่ที่ประมาณ 1 เมตร เนื่องจากถือว่าเป็นขนาดเฉลี่ยหน้ากว้างการก่อสร้างทางระบายน้ำจากขนาดทางระบายน้ำ ดังนั้นแฟกเตอร์ที่ใช้ใน การแปลงข้อมูลการก่อสร้างจากหน่วยระยะทางเป็นหน่วยพื้นที่คือ 1 เมตร

จากข้อมูลข้างต้นสามารถแปลงข้อมูลการก่อสร้างรั้ว ถนน และทางระบายน้ำจากหน่วย ระยะทาง (ตารางที่ ก12-ก14) ให้อยู่ในหน่วยของพื้นที่ได้ดังตารางที่ ก16-ก18

ตารางที่ ก15 มาตรฐานชั้นทางสำหรับทางหลวงทั่วประเทศ (กรมทางหลวง, 2560)

ชั้นทาง	พิเศษ	1	2	3	4	5	เขตเมือง	ทางชนาน
ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน	มากกว่า 8,000	4,000 - 8,000	2,000 - 4,000	1,000 - 2,000	300 - 1,000	< 300		
อัตราความเร็วที่ใช้ออกแบบ กม./ชม.								
- ทางราบ		90 - 110			70 - 90	60 - 80	60	70 - 90
- ทางเนิน		80 - 110			55 - 70	50 - 60	60	70 - 80
- ทางเขา		70 - 90			40 - 55	30 - 50	60	60 - 70
- ความลาดชันสูงสุดทางราบ %	4		4		4	4	ตามสภาพพื้นที่	4
- ความลาดชันสูงสุดทางเนิน %	6		6		8	8	ตามสภาพพื้นที่	6
- ความลาดชันสูงสุดทางเขา %	6		8		12	12	ตามสภาพพื้นที่	8
ประเภทผิวทางจราจรที่เสนอแนะและไหล่ทาง		ชั้นสูง	กลาง-สูง			ลูกรัง	ชั้นสูง	กลาง-สูง
ความกว้างของผิวจราจร (เมตร)	อย่างน้อยข้างละ 7.00	7	7	7	7	8	ช่องจราจร 3.00 - 3.50	ช่องจราจร 3.00 - 3.50
ความกว้างของไหล่ทาง (เมตร)	ซ้ายทาง 2.50 - 3.00 ขวาทาง 1.00 -1.50	2.5	2	1.5	1	-	2.50 หรือ เป็นทางเท้า	อย่างน้อย 2.00 ม. หรือเป็นทางเท้า
ความกว้างของผิวจราจรบนสะพาน (เมตร)	11	12	11	12	13	14	สะพานกว้างตามรูปแบบ Ultimate Design หรืออย่างน้อย 11.00 ม.	
ความกว้างของเขตทาง (เมตร)	60-80		40-60		30-40		ตามความเหมาะสม	
ยกโค้งราบสูงสุด				10%				6%

หมายเหตุ

1. ความกว้างไหล่ทางที่ปรากฏเป็นไหล่ทาง โดยทั่วไปสำหรับบางช่วง หากมีความจำเป็น อาจขยาย ความกว้างได้ตามความจำเป็นของทางในช่วงนั้น ๆ
2. การแบ่งผิวจราจรและไหล่ทางแบ่งด้วยเส้นขอบทาง
3. สะพานที่มีทางเท้า ความกว้างทางเท้าอย่างน้อย ช่างละ 1.50 ม.
4. ความกว้างสะพานในทางชั้น 4,5 ในสายทางที่คาดว่าจะไม่เพิ่มมาตรฐานชั้นทางใน ระยะเวลาอันสั้น ความกว้างสะพานอาจลดลงได้แต่ต้องไม่น้อยกว่า 9.00 ม.
5. ลาดคันทางโดยทั่วไปให้ใช้ความลาดเอียง 4:1 ถึง 6:1 ยกเว้นบางช่วงที่มีความจำเป็น ความลาดเอียงอาจใช้ 2:1 ถึง 3:1 ตามแต่กรณี
6. มาตรฐานทางชั้น 4,5 ไม่แนะนำสำหรับทงหลวงแผ่นดิน

ตารางที่ ก16 ข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ ของจังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2562 (หลังจากแปลงหน่วย)

ประเภทงานก่อสร้าง	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562
รั้ว/กำแพง	11,232	5,496	8,964	185,220	12,720	8,928	1740	1,128	37,152	59,832	59,832	45,876	26,748
ถนน/ทางรถไฟ/สะพาน	24,690	182,400	7,340	980	143,470	440	-	-	42,380	79,680	79,680	17,600	20,740
ท่อ/ทางระบายน้ำ	371	128	433	58	1,967	2,354	964	1,254	6,155	2,265	2,265	3,849	8,658
สระว่ายน้ำ	-	120	-	578	-	1,023	-	-	164	296	296	337	120
ปั๊มน้ำมัน	340	6,375	-	91	1,895	368	132	740	12,497	21,557	21,557	17,271	19,285
ท่าเรือ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ลานจอดรถ	7,433	2,535	5,345	11,494	1233	695	140	2,346	2,324	22,876	22,876	13,975	15,585
ป้ายโฆษณา	163	6	189	1,035	164	24	106	399	534	103	103	517	1,182
สนามกีฬา	-	-	-	-	3,034	-	-	1,935	-	-	-	612	-
อื่น ๆ	448	-	81	12,283	614	5,589	315,081	3,852	15,505	10,129	10,129	7,314	1,941

ตารางที่ ก17 ข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ ของจังหวัดพัทลุง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2562 (หลังจากแปลงหน่วย)

ประเภทงานก่อสร้าง	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562
รั้ว/กำแพง	585.6	-	45.6	160.8	78	78	38.4	-	-	-	-	-	910.8
ถนน/ทางรถไฟ/สะพาน	23,700	115,850	20,200	240	810	810	-	-	-	-	-	-	16,800
ท่อ/ทางระบายน้ำ	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
สระว่ายน้ำ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
บิมน้ำมัน	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ท่าเรือ	-	-	2,495	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,296
ลานจอดรถ	708	-	502	-	276	276	-	-	-	-	-	857	750
ป้ายโฆษณา	57	-	-	-	-	-	119	-	-	74	74	113	63
สนามกีฬา	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
อื่น ๆ	656	90	37	187	-	-	338	-	164	29	29	119	96

ตารางที่ ก18 ข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ ของจังหวัดสงขลา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2562 (หลังจากแปลงหน่วย)

ประเภทงานก่อสร้าง	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562
รื้อ/กำแพง	2,724	7916	1375	4,097	1,356	7,477	463	948	1,184	2,539	2,539	7,703	5,878
ถนน/ทางรถไฟ/สะพาน	8,890	136,810	13,000	-	5,300	6,700	20,720	25180	2,830	33,440	33,440	87,270	27,910
ท่อ/ทางระบายน้ำ	3,554	3,452	2,993	1,621	4,184	5,928	2,986	3267	3,551	9,096	9,096	5,148	3,035
สระว่ายน้ำ	2,816	-	74	350	641	711	-	-	540	2,380	2,380	638	1,412
ปั๊มน้ำมัน	6,818	5,828	9,152	6,547	12,284	6,321	1,241	25	21,380	3,737	3,737	18,119	5,068
ท่าเรือ	-	-	-	-	-	-	800	-	-	1,540	1,540	-	-
ลานจอดรถ	1,414	15,956	1,003	1,703	15,170	913	5,875	4442	8,434	59,220	8,296	17,993	9,278
ป้ายโฆษณา	427	283	1,828	158	2,262	1,503	550	752	1,473	2,859	59,220	1,442	192
สนามกีฬา	-	-	-	-	-	1,584	4,434	992	7,975	8,296	2,859	17,896	960
อื่นๆ	14,583	8,178	4,543	3,076	10,748	45,530	5,208	207362	19,862	25,317	25,317	11,993	1,452

จากข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างทั้งอาคาร (ตารางที่ ก9-ก11) และที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ (ตารางที่ ก16-ก18) เป็นข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างภายใต้ขอบเขตพื้นที่ระดับจังหวัด เนื่องจากด้วยปัจจุบันไม่มีข้อมูลนี้ได้รับการศึกษาและเผยแพร่อย่างเป็นทางการปรากฏชัดภายใต้ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เมื่อพิจารณาว่าพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีพื้นที่ครอบคลุมบางส่วนของแต่ละจังหวัดดังตารางที่ 6 (ทั้งนี้พิจารณาเฉพาะพื้นที่ของจังหวัดสงขลา พัทลุง และนครศรีธรรมราช เนื่องจากจังหวัดตรังและสตูลมีสัดส่วนพื้นที่ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาที่น้อย) จึงใช้วิธีการเทียบสัดส่วนพื้นที่เพื่อให้ข้อมูลการก่อสร้างของแต่ละจังหวัดนี้แปลงเป็นข้อมูลการก่อสร้างของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ดังตารางที่ ก19 และ ก20

ตารางที่ ก19 ข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างอาคารประเภทต่างๆ ของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2562

ชนิดของสิ่งก่อสร้าง	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562
เพื่ออยู่อาศัย	717,570	661,221	687,864	1,133,063	1,126,766	1,255,948	2,163,908	1,108,080	758,886	685,653	715,209	710,428	688,273
เพื่อการพาณิชย์	66,583	65,110	42,925	70,426	90,798	386,691	188,702	138,171	105,633	92,525	91,759	74,057	101,463
อาคารชุด คอนโดมิเนียม	-	-	-	-	-	-	20,388	21,265	7,152	10,132	-	-	-
เพื่อการอุตสาหกรรมและโรงงาน	93,983	57,830	38,007	64,041	95,538	32,709	36,607	39,046	167,623	68,246	79,272	62,322	95,814
เพื่อการบำบัดน้ำเสีย ของเสีย	261	3,215	375	5,908	2,727	3,906	5	778	4	8,735	4	7,815	4,371
เพื่อการศึกษา	20,510	10,527	13,867	9,051	22,725	16,007	4,782	9,330	10,600	15,619	8,168	9,585	7,716
เพื่อการสาธารณสุข/โรงพยาบาล	201	5,520	-	-	11	43	68	112	164	-	1,525	430	5,075
เพื่อการเกษตร	2,784	3,764	1,745	5,968	2,247	11,046	3,870	2,124	2,975	9,658	24,450	8,444	13,258
โรงแรม	1,120	1,455	4,824	34,948	29,161	35,500	31,839	24,168	29,041	62,005	43,326	15,688	26,840
เพื่อการบันเทิง	6,330	-	10	4,824	137	395	995	2,664	721	38	99	-	791
อาคารสำนักงาน	801	13,132	1,273	1,154	2,117	11,715	11,253	510	2,571	102	13,500	8,204	2,340
เพื่อประโยชน์อื่นๆ	12,643	16,398	7,932	21,030	16,878	24,716	26,333	20,322	13,021	18,639	13,404	9,605	24,282
รวม	922,785	838,173	798,820	1,350,414	1,389,106	1,778,677	2,488,751	1,366,570	1,098,393	971,353	990,715	906,579	970,222

ตารางที่ ก20 ข้อมูลพื้นที่การก่อสร้างที่มีใช้อาคารประเภทต่างๆ ของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2562

ประเภทงานก่อสร้าง	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562
รั้ว/กำแพง	2,132	4,524	844	2,818	870	4,354	304	543	741	1,554	1,554	4,473	4,268
ถนน/ทางรถไฟ/ สะพาน	28,124	191,801	26,820	246	6,340	4,601	11,814	14,357	2,365	20,480	20,480	50,072	32,314
ท่อ/ทางระบายน้ำ	2,033	2,161	1,714	925	2,421	3,422	1,720	1,885	2,134	5,227	5,227	3,004	1,884
สระว่ายน้ำ	1,606	2	42	210	365	424	-	-	311	1,362	1,362	370	807
ปั๊มน้ำมัน	3,894	3,436	7,599	3,735	7,038	3,611	710	27	12,412	2,513	2,513	10,638	4,469
ท่าเรือ	-	-	-	-	-	-	456	-	-	878	878	-	-
ลานจอดรถ	1,614	9,143	1,146	1,175	8,935	796	3,352	2,574	4,850	34,172	5,136	11,325	6,282
ป้ายโฆษณา	301	161	1,046	108	1,293	857	429	436	849	1,703	33,839	939	191
สนามกีฬา	-	-	-	-	54	903	2,528	600	4,547	4,730	1,630	10,215	547
อื่น ๆ	8,949	4,749	2,627	2,150	6,139	26,059	8,882	118,302	11,757	14,643	14,643	7,081	954
รวม	26,177	42,690	17,559	16,293	27,769	41,587	20,693	125,811	37,718	71,606	71,606	52,453	21,923

3.4 การหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของราคางานก่อสร้างของอาคารและที่มีใช้อาคาร

ตารางที่ ก21 ราคาประเมินงานก่อสร้างประเภทต่างๆ ของจังหวัดสงขลา พัทลุง และนครศรีธรรมราช (กรมธนารักษ์, 2564; เอเจนซี ฟอร์ เรียลเอสเตท แอฟแฟร์ส, 2564)

ประเภทสิ่งปลูกสร้าง (บาทต่อตารางเมตร)	สงขลา	พัทลุง	นครศรีธรรมราช
ประเภทบ้านเดี่ยว	6,850	7,250	6,750
ประเภทบ้านแถว	6,800	7,550	6,750
ประเภทห้องแถว	6,500	7,150	6,600
ประเภทตึกแถว	7,500	8,000	7,450
คลังสินค้า ไม่เกิน 300 ตารางเมตร	5,650	5,750	5,500
คลังสินค้า เกินกว่า 300 ตารางเมตร	3,500	3,600	3,400
สถานศึกษา	6,900	7,600	7,050
โรงแรม ความสูงไม่เกิน 5 ชั้น	9,200	9,800	9,350
โรงแรม ความสูงเกินกว่า 5 ชั้น	9,800	10,500	9,700
โรงแรมหรู	7,850	8,250	7,450
สถานพยาบาล	9,100	9,800	9,100
สำนักงาน สูงไม่เกิน 5 ชั้น	7,400	7,600	6,800
สำนักงาน สูงเกินกว่า 5 ชั้น	8,350	9,000	8,500
ภัตตาคาร	6,500	7,050	6,200
ห้างสรรพสินค้า	9,150	9,700	9,200
อาคารพาณิชย์กรรม ประเภทสินค้าปลีก ค้าส่ง	8,000	8,300	7,500
สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง	5,100	5,600	5,000
โรงงาน	5,750	6,350	5,700
ตลาด ไม่เกิน 1000 ตารางเมตร	3,650	3,700	3,450
ตลาด เกินกว่า 1000 ตารางเมตร	3,850	3,950	3,600

ตารางที่ ก21 ราคาประเมินงานก่อสร้างประเภทต่างๆ ของจังหวัดสงขลา พัทลุง และนครศรีธรรมราช (กรมธนารักษ์, 2564; เอเจนซี ฟอร์ เรียลเอสเตท แอฟแฟร์ส, 2564) (ต่อ)

ประเภทสิ่งปลูกสร้าง (บาทต่อตารางเมตร)	สงขลา	พัทลุง	นครศรีธรรมราช
อาคารพาณิชย์ ประเภทโฮมออฟฟิศ	8,500	9,150	8,450
โรงงานซ่อมรถยนต์	5,600	5,900	5,500
อาคารจอดรถ	6,100	6,150	5,700
อาคารอยู่อาศัยรวม สูงไม่เกิน 5 ชั้น	7,500	8,150	7,500
อาคารอยู่อาศัยรวม สูงเกิน 5 ชั้น	8,450	9,450	8,650
อาคารพาณิชย์ ประเภทโชว์รูมรถยนต์	5,300	5,750	5,150
ห้องน้ำรวม	6,000	6,500	5,750
สระว่ายน้ำ	8,350	8,500	7,500
ลานกีฬาอเนกประสงค์	800	800	750
ลานคอนกรีต	500	550	450
ท่าเทียบเรือ	12,500	14,000	12,000
ถนนคอนกรีต	800		
ทางระบายน้ำ	3000		
รั้วคอนกรีต	2000		

จากข้อมูลงานก่อสร้างทั้งอาคารและที่มิใช่อาคารประกอบด้วยงานก่อสร้างหลากหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทนั้นมีราคาการประเมินมูลค่าการก่อสร้างต่อพื้นที่ที่แตกต่างกัน ฉะนั้นเพื่อให้ค่าการประมาณมูลค่าการก่อสร้างต่อพื้นที่ที่หลากหลายประเภทนี้นำไปใช้ง่ายและสะดวกเป็นค่าอินพุตสำหรับแบบจำลองพลวัตระบบ จำเป็นต้องมีการเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักให้เป็นค่าเดียว

ตารางที่ ก22 ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่าประมาณราคาก่อสร้างอาคารของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ประเภทงานก่อสร้าง	งานก่อสร้างเฉลี่ย (ตารางเมตร)	ราคาประมาณงานก่อสร้างเฉลี่ย (บาทต่อตารางเมตร)
เพื่ออยู่อาศัย	954,836	7,096
เพื่อการพาณิชย์	116,526	7,344
อาคารชุด/คอนโดมิเนียม	4,534	8,283
เพื่อการอุตสาหกรรมและโรงงาน	71,618	5,933
เพื่อการบำบัดน้ำเสีย/ของเสีย	2,931	5,000
เพื่อการศึกษา	12,191	7,183
เพื่อการสาธารณสุข/โรงพยาบาล	1,012	9,333
เพื่อการเกษตร	7,103	2,500
โรงแรม	26,147	9,725
เพื่อการบันเทิง	1,308	9,350
อาคารสำนักงาน	5,282	7,942
เพื่อประโยชน์อื่นๆ	17,323	5,076
ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักโดยประมาณ		7,000 บาทต่อตารางเมตร

ตารางที่ ก23 ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่าประมาณราคาก่อสร้างที่มีใช้อาคารของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ประเภทงานก่อสร้าง	งานก่อสร้างเฉลี่ย (ตารางเมตร)	ราคาประมาณงานก่อสร้างเฉลี่ย (บาทต่อตารางเมตร)
รั้ว/กำแพง	2,229	2,000
ถนน/ทางรถไฟ/สะพาน	31,524	800
ท่อ/ทางระบายน้ำ	2,597	3,000
สระว่ายน้ำ	528	8,117
ปั้มน้ำมัน	4,815	5,233
ท่าเรือ	170	12,833
ลานจอดรถ	6,962	2,583
ป้ายโฆษณา	3,242	7,733
สนามกีฬา	1,981	783
อื่น ๆ	17,457	1,000
ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักโดยประมาณ		1,800 บาทต่อตารางเมตร

3.5 การหาปริมาณหินก่อสร้างจากมูลค่าคอนกรีตของงานก่อสร้าง

ตารางที่ ก24 สัดส่วนประเมินมูลค่าราคาวัสดุของงานก่อสร้างอาคาร (เอเจนซี พอร์ เรียวเอสเตท แอปแฟร์ส, 2560-2564)

ราคาประเมินวัสดุก่อสร้าง	ธ.ค. 60	มิ.ย. 61	ก.ย. 61	ธ.ค. 61	มี.ค. 62	มิ.ย. 62	ธ.ค. 62	มี.ค. 63	ก.ย. 63	ก.ย. 63	ค่าเฉลี่ย
ไม้และผลิตภัณฑ์ไม้	6.40%	6.32%	6.28%	6.45%	7.05%	7.09%	7.24%	7.27%	7.27%	7.04%	6.84%
ซีเมนต์	12.61%	12.49%	12.44%	12.60%	12.54%	12.62%	12.84%	12.82%	12.86%	11.92%	12.57%
ผลิตภัณฑ์คอนกรีต	16.05%	15.87%	15.77%	16.02%	16.25%	16.34%	16.53%	16.45%	16.24%	15.68%	16.12%
เหล็กและผลิตภัณฑ์เหล็ก	22.78%	23.35%	23.75%	22.61%	22.06%	21.71%	20.25%	20.08%	19.95%	23.59%	22.01%
กระเบื้อง	6.58%	6.61%	6.62%	6.78%	6.74%	6.78%	6.92%	7.06%	7.06%	6.72%	6.79%
วัสดุฉนวนผิว	3.56%	3.51%	3.50%	3.55%	3.54%	3.55%	3.63%	3.65%	3.65%	3.47%	3.56%
สุขภัณฑ์	2.09%	2.06%	2.04%	2.07%	2.06%	2.05%	2.10%	2.11%	2.11%	2.00%	2.07%
อุปกรณ์ไฟฟ้าและประปา	12.59%	12.46%	12.35%	12.48%	12.42%	12.48%	12.74%	12.84%	12.84%	12.48%	12.57%
วัสดุก่อสร้างอื่น ๆ	17.35%	17.33%	17.25%	17.48%	17.34%	17.37%	17.73%	17.73%	18.20%	17.10%	17.49%

ตารางที่ ก25 สัดส่วนประเมินมูลค่าราคาวัสดุของงานก่อสร้างที่มีใช้อาคาร

ประเภทงานก่อสร้าง	งานก่อสร้างเฉลี่ย (ตารางเมตร)	ราคาประมาณผลิตภัณฑ์คอนกรีต (%)
รั้ว/กำแพง	1,858	10-20%
ถนน/ทางรถไฟ/สะพาน	3,152	60-80%
ท่อ/ทางระบายน้ำ	2,597	10-20%
สระว่ายน้ำ	528	10-20%
ปั๊มน้ำมัน	4,815	10-20%
ท่าเรือ	170	10-20%
ลานจอดรถ	6,962	60-80%
ป้ายโฆษณา	3,242	10-20%
สนามกีฬา	1,981	60-80%
อื่น ๆ	17,457	20%
ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักโดยประมาณ		54%

หมายเหตุ: ราคาประมาณมูลค่าผลิตภัณฑ์คอนกรีตของงานก่อสร้างที่มีใช้อาคารแต่ละประเภทนั้นไม่มีข้อมูลหรือค่าแนะนำราคาประมาณที่ชัดเจน มันเป็นค่าที่มาจากการเปรียบเทียบสัดส่วนมูลค่างานคอนกรีตของงานก่อสร้างจากเอกสารราคากลางงานก่อสร้างประเภทต่างๆ (Bill of quantity, BOQ) ที่มีการเผยแพร่จากหลากหลายแหล่งที่มี

ตารางที่ ก26 อัตราส่วนการผสมคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตรโดยคิดส่วนเพื่อเสียหายไว้แล้ว (กรี, 2559)

อัตราส่วนการผสม	ซีเมนต์ (กก.)	ทราย (ลบ.ม.)	หิน (ลบ.ม.)	น้ำ (ลิตร)
1:3:5 (คอนกรีตหยาบ)	252	0.62	0.97	180
1:2:4 (คอนกรีตโครงสร้าง)	336	0.54	1.03	180
กำลังอัดประลัย 180 กก./ตร.ซม.	304	0.43	0.85	180
กำลังอัดประลัย 240 กก./ตร.ซม.	336	0.6	1.09	180
กำลังอัดประลัย 300 กก./ตร.ซม.	367	0.66	0.92	180
กำลังอัดประลัย 350 กก./ตร.ซม.	420	0.5	0.98	180

ตัวอย่างการคำนวณเมื่อกำหนดให้งานก่อสร้างเป็นบ้านเดี่ยวชั้นเดียวพื้นที่ 100 ตร.ม. โดยคอนกรีตผสมเสร็จมีราคา 2,000 บาท/ลบ.ม. ใช้สัดส่วนผสมเป็นคอนกรีตโครงสร้าง 1:2:4 และความถ่วงจำเพาะของหินก่อสร้าง (หลวม) เท่ากับ 1,500 กก./ลบ.ม. จะคำนวณได้ตามขั้นตอนดังนี้

1. จากตารางที่ ก21 บ้านเดี่ยวชั้นเดียวมีราคาประเมินประมาณ 6,950 บาท/ตร.ม. หากสร้างในพื้นที่ 50 ตร.ม. จะมีราคาประเมินเท่ากับ $100 \times 6,950 = 695,000$ บาท
2. จากตารางที่ ก24 มูลค่าของผลิตภัณฑ์คอนกรีตมีสัดส่วนประเมินร้อยละ 16.12 ของการก่อสร้างทั้งหมด ดังนั้นบ้านเดี่ยวชั้นเดียวจึงมีมูลค่าของผลิตภัณฑ์คอนกรีตเท่ากับ $695,000 \times 16.12\% = 112,034$ บาท
3. ปริมาณผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างเท่ากับ $112,034 / 2,000 = 56.02$ ลบ.ม.
4. ดังนั้นปริมาณหินที่ใช้สำหรับการก่อสร้างเท่ากับ $56.02 \times 1.03 \times 1.50 = 86.55$ เมตริกตัน
5. โดยสรุปการสร้างบ้านเดี่ยวชั้นเดียวพื้นที่ 100 ตร.ม. ต้องใช้หินก่อสร้างเท่ากับ 86.55 เมตริกตัน

4. อัตราค่าจ้างการผลิตหินอุตสาหกรรมก่อสร้างของประทานบัตรภายในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ตารางที่ ก27 อัตราค่าจ้างการผลิตรายเดือนของ “ห้างหุ้นส่วนจำกัด กฤษณ์ศิลาพร” ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560-2563 (สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เขต 1 สงขลา, 2563)

เดือน	2560	2561	2562	2563
มกราคม	13,699.2	30,197.0	16,574.0	26,324.0
กุมภาพันธ์	23,539.2	30,910.0	20,102.4	24,538.0
มีนาคม	32,385.6	33,365.0	23,220.0	23,019.0
เมษายน	24,499.2	33,588.0	19,764.0	15,898.0
พฤษภาคม	27,384.0	32,558.4	22,305.6	20,175.0
มิถุนายน	26,799.2	31,040.0	41,025.6	22,018.0
กรกฎาคม	28,065.6	27,188.0	26,330.4	30,348.0
สิงหาคม	23,011.2	26,230.0	21,442.0	35,028.0
กันยายน	24,494.4	30,442.0	4,320.0	29,945.0
ตุลาคม	25,444.8	27,778.0	21,269.0	28,548.0
พฤศจิกายน	22,951.2	23,069.0	19,332.0	21,737.0
ธันวาคม	24,213.0	17,691.0	1,440.0	21,737.0
รวม	296,486.6	344,056.4	237,125.0	299,315.0

ตารางที่ ก28 อัตราค่าจ้างการผลิตรายเดือนของ “บริษัท เขابันไดนางศิลา จำกัด” ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560-2562 (สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เขต 1 สงขลา, 2563)

เดือน	2560	2561	2562	2563
มกราคม	หยุดชั่วคราว	61,797.6	75,000.0	49,053.6
กุมภาพันธ์	หยุดชั่วคราว	61,142.4	62,500.0	50,169.6
มีนาคม	หยุดชั่วคราว	79,892.4	25,000.0	55,620.0
เมษายน	หยุดชั่วคราว	70,732.8	50,000.0	61,207.2
พฤษภาคม	หยุดชั่วคราว	80,671.6	45,000.0	119,132.8
มิถุนายน	หยุดชั่วคราว	84,893.6	45,000.0	67,068.0
กรกฎาคม	หยุดชั่วคราว	50,000.0	103,562.4	67,204.8
สิงหาคม	67,881.6	87,172.8	75,000.0	83,822.4
กันยายน	59,947.2	94,809.6	157,390.4	84,880.8
ตุลาคม	63,158.4	78,000.0	67,435.2	77,552.4
พฤศจิกายน	43,056.0	75,000.0	64,915.2	80,582.4
ธันวาคม	53,445.6	75,000.0	56,023.2	70,869.6
รวม	287,488.8	899,112.8	826,826.4	867,163.6

ตารางที่ ก29 อัตราค่าจ้างการผลิตต่อปีของ “ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไทยพาณิชย์ค้าไม้” ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2559 (รายงานการศึกษาสภาพพื้นที่และความจำเป็นในการกำหนดพื้นที่บริเวณ “ที่หมู่ 6 ตำบลท่าหมอไพร อำเภोजะนะ จังหวัดสงขลา” เป็นแหล่งหินอุตสาหกรรม, 2560)

ปี พ.ศ.	อัตราค่าจ้างการผลิตต่อปี
2550	282,281
2551	271,716
2552	292,128
2553	27,150
2554	241,524
2555	214,992
2556	147,240
2557	135,156
2558	195,594
2559	158,390

ตารางที่ ก30 อัตราค่าจ้างการผลิตต่อเดือนของ “ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไทยพาณิชย์ค้าไม้” ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560-2563 (สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เขต 1 สงขลา, 2563)

เดือน	2560	2561	2562	2563
มกราคม	1,688.0	13,704.0	21,000.0	20,000.0
กุมภาพันธ์	14,532.0	15,672.0	16,000.0	20,000.0
มีนาคม	20,388.0	15,168.0	20,000.0	25,028.0
เมษายน	12,144.0	16,666.7	20,000.0	98,084.0
พฤษภาคม	17,964.0	13,888.9	22,000.0	สิ้นอายุ
มิถุนายน	14,880.0	13,888.9	21,000.0	
กรกฎาคม	13,668.0	16,666.7	27,572.0	
สิงหาคม	8,196.0	หยุดชั่วคราว	30,000.0	
กันยายน	13,572.0	หยุดชั่วคราว	26,000.0	
ตุลาคม	16,992.0	16,372.9	20,000.0	
พฤศจิกายน	15,960.0	23,772.0	10,000.0	
ธันวาคม	4,452.0	21,048.0	10,000.0	
รวม	154,436.0	166,848.0	243,572.0	163,112.0

ตารางที่ ก31 อัตราค่าจ้างการผลิตต่อเดือนของ “บริษัท เขาแดงคอนสตรัคชั่น จำกัด” ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560-2562 (สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เขต 1 สงขลา, 2563)

เดือน	2560	2561	2562	2563
มกราคม	หยุดชั่วคราว	15,000.0	44,200.0	-
กุมภาพันธ์	10,000.0	5,000.0	25,000.0	-
มีนาคม	16,500.0	10,000.0	หยุดชั่วคราว	-
เมษายน	20,000.0	20,000.0	หยุดชั่วคราว	-
พฤษภาคม	10,000.0	40,000.0	30,000	-
มิถุนายน	15,000.0	หยุดชั่วคราว	30,000	-
กรกฎาคม	10,000.0	หยุดชั่วคราว	-	-
สิงหาคม	20,000.0	หยุดชั่วคราว	-	-
กันยายน	35,000.0	หยุดชั่วคราว	-	-
ตุลาคม	25,000.0	15,000.0	-	-
พฤศจิกายน	25,000.0	20,000.0	-	-
ธันวาคม	12,000.0	15,000.0	-	-
รวม	198,500.0	140,000.0	129,200.0	-

ตารางที่ ก32 อัตราค่าจ้างการผลิตต่อปีของ “บริษัท ศิลาชัยหาตใหญ่ จำกัด” ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554-2559 (รายงานการศึกษาสภาพพื้นที่และความจำเป็นในการกำหนดพื้นที่บริเวณ “ที่หมู่ 6 ตำบลท่าหมอไพร อำเภोजะนะ จังหวัดสงขลา” เป็นแหล่งหินอุตสาหกรรม, 2560)

ปี พ.ศ.	อัตราค่าจ้างการผลิตต่อปี
2554	29,220
2555	289,560
2556	263,353
2557	93,241
2558	91,164
2559	16,320

ภาคผนวก ข**รายละเอียดสมการความสัมพันธ์และหน่วยของแบบจำลอง**

1. รายละเอียดสมการความสัมพันธ์ หน่วย และชนิดของตัวแปรของแบบจำลอง

ตารางที่ ข1 สมการความสัมพันธ์ หน่วย และชนิดของตัวแปรของแบบจำลองประชากรขั้นต้น

ตัวแปร	หน่วย	ชนิด	สมการและค่าตัวแปร
Population	Persons	Level	INTEG (Births – Deaths + Registered in - Registered out, Initial population)
Births	Persons/year	Rate	Births x Birth rate
Deaths	Persons/year	Rate	Deaths x Death rate
Registered in	Persons/year	Rate	Registered in x Registered in rate
Registered out	Persons/year	Rate	Registered out x Registered out rate
Birth rate	1/year	Constant	อัตราการเกิดของประชากร
Death rate	1/year	Constant	อัตราการเสียชีวิตของประชากร
Registered in rate	1/year	Constant	อัตราการย้ายถิ่นฐานเข้าภายในพื้นที่ของประชากร
Registered out rate	1/year	Constant	อัตราการย้ายถิ่นฐานออกภายนอกพื้นที่ของประชากร
Initial population	Persons	Constant	จำนวนประชากร ณ เวลาของการสร้างผลจำลอง

ตารางที่ ข2 สมการความสัมพันธ์ หน่วย และชนิดของตัวแปรของแบบจำลองประชากรในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ตัวแปร	หน่วย	ชนิด	สมการและค่าตัวแปร
Population	Persons	Level	INTEG (Population, Initial population)
Population growth	Persons/year	Rate	Population x Population growth rate
Population growth rate	1/year	Constant	อัตราการเติบโตของประชากร (Min: 0.079, Mean: 0.431 and Max: 0.604)
Initial population	Persons	Constant	จำนวนประชากร ณ เวลาของการสร้างผลจำลอง (ปี พ.ศ. 2562 มีประชากร 1,778,231 คน)

ตารางที่ ข3 สมการความสัมพันธ์ หน่วย และชนิดของตัวแปรของแบบจำลองปริมาณสำรองและอัตราการถลุงการผลิต

ตัวแปร	หน่วย	ชนิด	สมการและค่าตัวแปร
Resources	Metric tons	Level	INTEG (-Developing reserves 1 - Developing reserves 2 - Developing reserves 3 - Developing reserves 4 - Developing reserves 5 - Developing reserves 6 - Developing reserves 7 - Developing reserves 8 - Developing reserves 9 - Developing reserves 10, Initial resources)
New resources	Metric tons/year	Rate	Exploration + Regeneration
Developing reserves 1	Metric tons/year	Rate	IF THEN ELSE (Reserves 1 - Mining 1 <= 0 :AND: Mining permit needed > 0 :AND: Resources > 0, IF THEN ELSE (Resources < New reserve desired, Resources, New reserve desired), 0)
Developing reserves 2	Metric tons/year	Rate	IF THEN ELSE (Reserves 2 - Mining 2 <= 0 :AND: Mining permit needed > 1 :AND: Resources > 0, IF THEN ELSE (DRs 1 > Resources, 0, IF THEN ELSE (Resources -DRs 1 < New reserve desired, Resources -DRs 1, New reserve desired)), 0)
Developing reserves 3	Metric tons/year	Rate	IF THEN ELSE (Reserves 3 - Mining 3 <= 0 :AND: Mining permit needed > 2 :AND: Resources > 0, IF THEN ELSE (DRs 2 > Resources, 0, IF THEN ELSE (Resources -DRs 2 < New reserve desired, Resources -DRs 2, New reserve desired)), 0)
Developing reserves 4	Metric tons/year	Rate	IF THEN ELSE (Reserves 4 - Mining 4 <= 0 :AND: Mining permit needed > 3 :AND: Resources > 0, IF THEN ELSE (DRs 3 > Resources, 0, IF THEN ELSE (Resources -DRs 3 < New reserve desired, Resources -DRs 3, New reserve desired)), 0)
:	:	:	:
Developing reserves 10	Metric tons/year	Rate	IF THEN ELSE (Reserves 10 - Mining 10 <= 0 :AND: Mining permit needed > 9 :AND: Resources > 0, IF THEN ELSE (DRs 9 > Resources, 0, IF THEN ELSE (Resources -DRs 9 < New reserve desired, Resources -DRs 9, New reserve desired)), 0)

ตารางที่ ข3 สมการความสัมพันธ์ หน่วย และชนิดของตัวแปรของแบบจำลองปริมาณสำรองและอัตราการผลิต (ต่อ)

ตัวแปร	หน่วย	ชนิด	สมการและค่าตัวแปร
Reserves 1	Metric tons	Level	INTEG (Developing reserves 1 – Mining 1, Initial kbn)
Reserves 2	Metric tons	Level	INTEG (Developing reserves 2 – Mining 2, Initial ks)
Reserves 3	Metric tons	Level	INTEG (Developing reserves 3 – Mining 3, 0)
Reserves 4	Metric tons	Level	INTEG (Developing reserves 4 – Mining 4, 0)
Reserves 5	Metric tons	Level	INTEG (Developing reserves 5 – Mining 5, 0)
:	:	:	:
Reserves 10	Metric tons	Level	INTEG (Developing reserves 10 – Mining 10, 0)
Mining 1	Metric tons/year	Rate	IF THEN ELSE (Reserves 1 < Production rate desired, Reserves 1, Production rate desired)
Mining 2	Metric tons/year	Rate	IF THEN ELSE (Reserves 2 < Production rate desired, Reserves 2, Production rate desired)
Mining 3	Metric tons/year	Rate	IF THEN ELSE (Reserves 3 < Production rate desired, Reserves 3, Production rate desired)
:	:	:	:
Mining 10	Metric tons/year	Rate	IF THEN ELSE (Reserves 10 < Production rate desired, Reserves 10, Production rate desired)
DRs 1	Metric tons/year	Auxiliary	Developing reserves 1
Drs 2	Metric tons/year	Auxiliary	Developing reserves 1 + Developing reserves 2
Drs 3	Metric tons/year	Auxiliary	Developing reserves 1 + Developing reserves 2 + Developing reserves 3
:	:	:	:
DRs 9	Metric tons/year	Auxiliary	Developing reserves 1 + Developing reserves 2 + Developing reserves 3 + Developing reserves 4 + Developing reserves 5 + Developing reserves 6 + Developing reserves 7 + Developing reserves 8 + Developing reserves 9

ตารางที่ ข3 สมการความสัมพันธ์ หน่วย และชนิดของตัวแปรของแบบจำลองปริมาณสำรองและอัตรากำลังการผลิต (ต่อ)

ตัวแปร	หน่วย	ชนิด	สมการและค่าตัวแปร
Initial resources	Metric tons	Constant	ปริมาณทรัพยากร ณ เริ่มต้นสร้างผลจำลอง (กำหนดให้เหลือประมาณ 108 ล้านเมตริกตัน)
Exploration	Metric tons/year	Constant	ค้นพบทรัพยากรใหม่
Regeneration	Metric tons/year	Constant	ทรัพยากรฟื้นฟูตามธรรมชาติ
Initial kbn	Metric tons	Constant	ปริมาณสำรองของประทานบัตร “บริษัท เขابันไดนางศิลา จำกัด” ณ ช่วงเวลาสร้างผลจำลอง (เหลือประมาณ 855,808 เมตริกตัน)
Initial ks	Metric tons	Constant	ปริมาณสำรองของประทานบัตร “ห้างหุ้นส่วนจำกัด กฤษณ์ศิลาพร” ณ ช่วงเวลาสร้างผลจำลอง (เหลือประมาณ 578,000 เมตริกตัน)
New reserves desired	Metric tons	Auxiliary	IF THEN ELSE (Mining permit lifespan > INTEGER (Mining permit lifespan), (INTEGER (Mining permit lifespan) + 1) x INTEGER (Production rate desired), Mining permit lifespan x INTEGER (Production rate desired))
Production rate desired	Metric tons/year	Constant	ค่าออกแบบอัตรากำลังการผลิตของเหมือง (กำหนดให้มีอัตรากำลังการผลิตเท่ากับ 400,000 เมตริกตันต่อปี)
Mining permit lifespan	Year	Constant	อายุประทานบัตร (กำหนดให้ประทานบัตรมีอายุเท่ากับ 20 ปี)

ตารางที่ ข4 สมการความสัมพันธ์ หน่วย และชนิดของตัวแปรของแบบจำลองเสริมสำหรับการนับและพิจารณาการเพิ่มหรือลดจำนวนการอนุญาตเหมือง

ตัวแปร	หน่วย	ชนิด	สมการและค่าตัวแปร
Count	Time	Level	INTEG (IF THEN ELSE (increase = 1 :OR: Increase = -1 , Increase - Decrease, -Count), 0)
Increase	Time/year	Rate	IF THEN ELSE (Aggregate consumption > Aggregate Production :AND: Resources >= Mining production rate x Consideration time, 1, IF THEN ELSE (Aggregate consumption > Aggregate Production :AND: Resources < Mining production rate x Consideration time, 0, IF THEN ELSE (Aggregate Production - Aggregate consumption >= Production rate desired, -1, 0)))
Decrease	Time/year	Rate	IF THEN ELSE (Count = Consideration time, Consideration time, IF THEN ELSE (Count > Consideration time, Count, IF THEN ELSE (Count = -Consideration time, -Consideration time, IF THEN ELSE (Count < -Consideration time, -Count, 0)))
Mining permit needed	Unit	Level	INTEG (IF THEN ELSE (Count > 0 :AND: Count >= Consideration time, IF THEN ELSE (Mining permit needed x Production rate desired > Aggregate consumption, 0, 1), IF THEN ELSE (Count < 0 :AND: Count <= -Consideration time, IF THEN ELSE (Active mining permit > Mining permit needed, 0, -1), 0)), Initial mining permit)
Consideration time	Year	Auxiliary	IF THEN ELSE (Delay time > INTEGER (Delay time), INTEGER (Delay time) + 1, Delay time)
Delay time	Year	Constant	ช่วงระยะเวลาหนึ่งในการพิจารณาเปลี่ยนแปลงการอนุญาตประทานบัตร
Initial mining permit	Unit	Constant	ประทานบัตรมีอายุเดิม ๓ ช่วงเวลาสร้างผลจำลอง (ปัจจุบันมีประทานบัตรมีอายุ 2 แห่ง)

ตารางที่ ข4 สมการความสัมพันธ์ หน่วย และชนิดของตัวแปรของแบบจำลองเสริมสำหรับการนับและพิจารณาการเพิ่มหรือลดจำนวนการอนุญาตเหมือง (ต่อ)

ตัวแปร	หน่วย	ชนิด	สมการและค่าตัวแปร
Active mining permits	Unit	Auxiliary	(IF THEN ELSE (Mining 1 > 0, 1, 0)) + (IF THEN ELSE (Mining 2 > 0, 1, 0)) + (IF THEN ELSE (Mining 3 > 0, 1, 0)) + (IF THEN ELSE (Mining 4 > 0, 1, 0)) + (IF THEN ELSE (Mining 5 > 0, 1, 0)) + (IF THEN ELSE (Mining 6 > 0, 1, 0)) + (IF THEN ELSE (Mining 7 > 0, 1, 0)) + (IF THEN ELSE (Mining 8 > 0, 1, 0)) + (IF THEN ELSE (Mining 9 > 0, 1, 0)) + (IF THEN ELSE (Mining 10 > 0, 1, 0))

ตารางที่ ข5 สมการความสัมพันธ์ หน่วย และชนิดของตัวแปรของแบบจำลองหินมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล

ตัวแปร	หน่วย	ชนิด	สมการและค่าตัวแปร
RCA	Metric tons/year		C&DW generated per person x Population x Waste concrete from C&DW x Recycling rate x Recovery rate
C&DW generated per person	Metric tons/person	Constant	อัตราการสร้างของเสียก่อสร้างและรื้อถอนต่อหัวประชากร มีอัตราประมาณ 0.02 เมตริกตันต่อประชากร (Kofoworola และ Gheewala, 2009)
Waste concrete from C&DW	%	Constant	สัดส่วนของเสียคอนกรีตจากของเสียก่อสร้างและรื้อถอนโดยน้ำหนักมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 46
Recycling rate	%	Constant	อัตราการรีไซเคิลจากของเสียคอนกรีตเป็นหินมวลรวม มีสัดส่วนประมาณ 70%
Recovery rate	%/year	Constant	อัตราการนำของเสียก่อสร้างและรื้อถอนมารีไซเคิล มีสัดส่วนประมาณ 7%

ตารางที่ ข6 สมการความสัมพันธ์ หน่วย และชนิดของตัวแปรของแบบจำลองความต้องการหินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ตัวแปร	หน่วย	ชนิด	สมการและค่าตัวแปร
Aggregate consumption	Metric tons/year	Rate	Population x CA consumption per person
CA consumption per person	Metric tons /person	Auxiliary	Cumulative construction aggregate consumption / Cumulative population
Cumulative population	Person	Level	INTEG (Population rate, initial cumulative population)
Population rate	Person /year	Rate	Population
Government project	Metric tons/year	Constant	การใช้หินจากกิจกรรมของภาครัฐ
Cumulative construction aggregate consumption	Metric tons	Level	INTEG (Construction aggregate, Initial cumulative CA consumption)
Initial cumulative population	Person	Constant	จำนวนประชากรสะสมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาช่วงปี พ.ศ. 2550-2562 (22,602,761 คน)
Initial cumulative CA consumption	Metric tons	Constant	ปริมาณการใช้หินมวลรวมก่อสร้างสะสมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาช่วงปี พ.ศ. 2550-2562 (14,532,170 เมตริกตัน)
Construction aggregate	Metric tons/year	Rate	Value of concrete in construction x Rock density x Rock ratio in concrete / Unit cost of concrete
Rock ratio in concrete	Dmnl	Constant	สัดส่วนหินมวลรวมในคอนกรีตโครงสร้าง (กำหนดให้มีค่าเป็น 1.03 ดังตารางที่ ก26)
Specific density	Metric tons/m ³	Constant	ความถ่วงจำเพาะของหินมวลรวม (กำหนดใช้ค่าประมาณ 1.50 เมตริกตันต่อลูกบาศก์เมตร)
Unit cost of concrete	Baht/m ³	Constant	ราคาคอนกรีตต่อลูกบาศก์เมตร (กำหนดใช้ราคาประมาณ 2,000 บาทต่อลูกบาศก์เมตร)
Value of concrete in construction	Baht	Auxiliary	Construction area x Unit cost of construction x Ratio of concrete in construction
Construction area (building)	m ²	Constant	ปริมาณงานก่อสร้างประเภทอาคารในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยค่า Min = 798,820 , Mean = 1,220,812 , Max = 2,488,751

ตารางที่ ข6 สมการความสัมพันธ์ หน่วย และชนิดของตัวแปรของแบบจำลองความต้องการหินในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (ต่อ)

ตัวแปร	หน่วย	ชนิด	สมการและค่าตัวแปร
Construction area (non-building)	m ²	Constant	ปริมาณงานก่อสร้างประเภทที่มีใช้อาคาร โดยมีค่า Min = 11,368, Mean = 71,505, Max = 215,977
Unit cost of construction (building)	Baht/m ²	Constant	ราคาประเมินค่าก่อสร้างสิ่งก่อสร้างประเภทอาคาร (กำหนดใช้ราคาประมาณ 7,000 บาทต่อตารางเมตร ดังตารางที่ ก22)
Unit cost of construction (non-building)	Baht/m ²	Constant	ราคาประเมินค่าก่อสร้างสิ่งก่อสร้างประเภทที่มีใช้อาคาร (กำหนดใช้ราคาประมาณ 1,800 บาทต่อตารางเมตร ดังตารางที่ ก23)
Ratio of concrete in construction (building)	%	Constant	สัดส่วนมูลค่าผลิตภัณฑ์คอนกรีตของสิ่งก่อสร้างประเภทอาคาร (กำหนดใช้สัดส่วนประมาณ 16.12 % ดังตารางที่ ก24)
Ratio of concrete in construction (non-building)	%	Constant	สัดส่วนมูลค่าผลิตภัณฑ์คอนกรีตของสิ่งก่อสร้างประเภทที่มีใช้อาคาร (กำหนดใช้สัดส่วนประมาณ 54 % ดังตารางที่ ก25)

ตารางที่ ข7 สมการความสัมพันธ์ หน่วย และชนิดของตัวแปรของแบบจำลองสมดุลของหินมวลรวม

ตัวแปร	หน่วย	ชนิด	สมการและค่าตัวแปร
Stock of aggregate	Metric tons	Level	INTEG (Mining - Aggregate consumption + Import - Export, Initial stock)
Aggregate production	Metric tons/year	Rate	Mining + RCA
Aggregate consumption	Metric tons/year	Rate	CA consumption per person x Population
Export	Metric tons/year	Rate	IF THEN ELSE (Stock of aggregate + Aggregate production - Aggregate consumption < Stock level, 0, Stock of aggregate + Aggregate production - Aggregate consumption - Stock level)
Import	Metric tons/year	Rate	IF THEN ELSE (Stock + Aggregate production - Aggregate consumption < 0, ABS (Stock of Aggregate + Aggregate production - Aggregate consumption), 0)
Stock level	Metric tons	Constant	แฟกเตอร์ควบคุมระดับค่าของสต็อกหินมวลรวมในพื้นที่ (กำหนดให้มีค่าเป็น 0)

ภาคผนวก ค

ประวัติผู้เขียนและผลงานที่ได้จากการวิจัย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายจิรายุส วิวัฒนานุกุล

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6010120083

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเหมืองแร่)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2560

ทุนการศึกษา

1. ทุนศึกษยก้นกฐิ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Wiwattananukul, J., Sontamino, P., Masniyom, M., & Rachpech, V. (2019). The Influence of the Population on the Use of Construction Aggregate in Songkhla Lake Basin. *The 13th International Conference on Mining, Materials and Petroleum Engineering (CMMP2019)*, Thailand, 109-114.

Wiwattananukul, J., Sontamino, P., Masniyom, M., & Rachpech, V. (2021). System Dynamics Model for Lifetime Construction Aggregate Supply in Songkhla Lake Basin. *Engineering Journal Chiang Mai University*, 28(2), 64-76.



The Influence of the Population on the Use of Construction Aggregate in Songkhla Lake Basin

Jirayus Wiwattananukul¹, Phongpat Sontamino^{1,2,*}, Manoon Masniyom^{1,2},
Vishnu Rachpech^{1,2} and Pantawee Pantaweesak¹

¹Department of Mining and Materials Engineering, Prince of Songkla University, Thailand

²Center of Excellence in Materials Engineering (CEME), Prince of Songkla University, Thailand

*Corresponding author's e-mail address: phongpat.s@psu.ac.th

Abstract

Songkhla Lake Basin (SLB) is an important basin of the southern region of Thailand. The population of the SLB is increasing every year. Generally, population growth affects the demand for housing and utilities, which leads to an increase in the amount of construction and the use of construction aggregates. Almost current constructions are using construction aggregate as the main material, so the development of the system dynamics model for studying the influence of population on aggregate consumption will allow us to estimate the demand of aggregate in SLB by scenario simulations. The population growth and construction aggregate consumption in SLB in the last ten years (2007-2017) revealed that the average rate of population growth was about 0.48 percent per year and the average consumption of aggregate was about 1.23 million tonnes per year. The initial system dynamics model in this study for estimating the relationship between population and aggregate demand in SLB in the next five years (2018-2022) are separated into 3 scenarios based on the last ten years data: (1) the lowest population growth rate situation, the population in 2022 will be about 1.79 million people and the construction aggregate demand will be about 0.78 million tonnes (2) the average population growth rate situation, the population will increase to about 1.81 million people and the aggregate demand will be about 1.26 million tonnes and (3) the highest population growth rate situation, the population will increase to about 1.82 million people and the construction aggregate demand will increase to 2.47 million tonnes.

Keywords: Songkhla Lake Basin, System Dynamics Model, Population, Construction Aggregate Demand

Introduction

The increasing of population affects the urban expansion, especially demand for housing, transportation and utilities. Construction aggregate is one of the most important materials in construction, so the demand of aggregate is increasing as well [1]. In 2014, there was a prediction of construction aggregate demand in 2017 to 2022 by region of the world as figure 1. The most used construction aggregate is limestone. However, granite, sandstone, basalt and andesite are also used [2]. The prediction of construction aggregate demand will allow us to plan the use of construction aggregate suitable for the population. Songkhla Lake Basin (SLB) is the only large lagoon in Thailand, it covers three provinces: Songkhla, Nakhon Si Thammarat and Phatthalung. The total area is 8,484.35 square kilometers, which the land area (included islands) is 7,652.81 square kilometers [3]. Many researches are operating in this area, so the SLB area is suitable to research the relationship between the construction aggregate demand and the population for future predictions. Proper use of aggregate causes future sustainability.

Materials and Methods

System dynamics model is used to link quantitative with qualitative variables by mathematical equations. Stock and flow model are used to adjust variables and study the relationships between each parameter [4]. Scenario simulations of the system model are flexible and suitable to study the relationship between the aggregate demand and the population in SLB area. The Vensim PLE 7.1 software is used in this research to create the system dynamics model for aggregate consuming prediction in the future. The flowchart procedure is shown in figure 2.

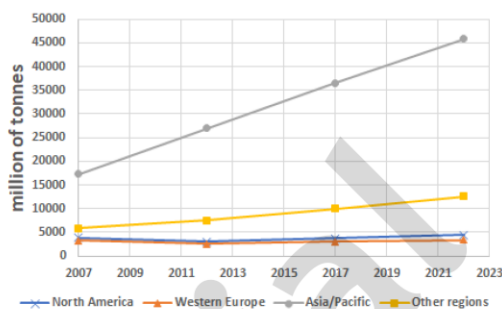


Figure 1 The construction aggregate demand of the world from 2007 to 2022 by region [2]

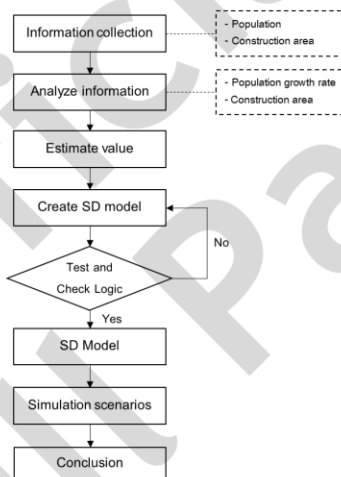


Figure 2 The flowchart of research procedure

Results and Discussion

The analysis of the population data in SLB by district from the official statistics registration systems (population and housing report) from 2007 to 2017 [5] revealed that the population had a continuous growth rate. The lowest, average and highest rate are 0.27, 0.48 and 0.60 percent per year respectively, and standard deviation is 0.125 as shown in figure 3. The analysis of the aggregate consumption data (building and non-building construction) from national statistics office in SLB [6] using the appraisal of construction area per square meter [7] and the property valuation factor of concrete product [8] to calculate concrete and aggregate consumption in tonnes [9] as shown in figure 4. The result revealed that the aggregate consumption from 2007 to 2017 in SLB had no clear trend. The lowest, average and highest aggregate consumption are 0.76, 1.23 and 2.36 million of tonnes respectively, and standard deviation is 0.47.

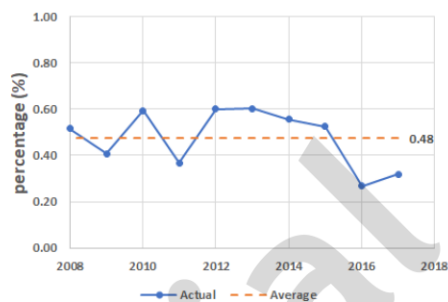


Figure 3 Population growth rate in Songkhla Lake Basin, the actual data and average trend

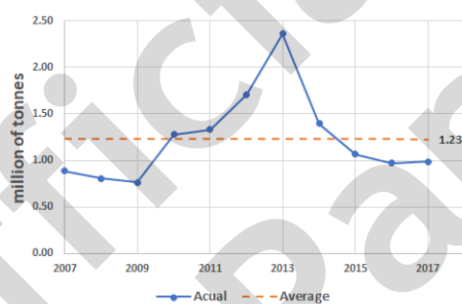


Figure 4 Aggregate consumption in Songkhla Lake Basin, the actual data and average trend

The aggregate consumption per capita in SLB is used to predict the aggregate demand in next five years, like the study of aggregate consuming prediction in California [1]. In Thailand, there did not have any research in the same purpose of this research before. The data from Department of Primary Industries and Mines [10] revealed that the aggregate consumption per capita from 2007 to 2017 in Thailand and SLB are about 1.63 tonnes and 0.71 tonnes respectively (figure 5). These values are evaluated by the authors, there are not from any institution.

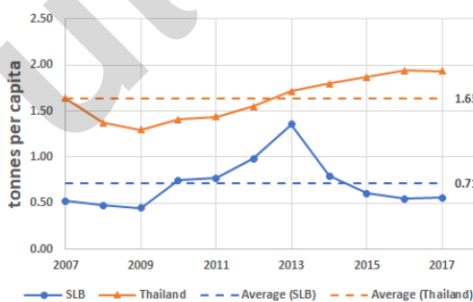


Figure 5 The aggregate consumption per capita in Thailand and Songkhla Lake Basin



Table 1 reveal the population growth rate and construction aggregate consumption per capita from 2007 to 2012 in terms of maximum, average and minimum values. These values are analyzed to predict the population and aggregate consumption in SLB from 2013 to 2017 and compare with the actual values from 2013 to 2017 to verify the prediction reliability. Figure 6 revealed that the actual population from 2013 to 2015 are close to the predicted maximum trend, then the values are lower than the predicted average trend. So, the predicted population in next five years is reliable, the actual values are in the predicted range. In the same way, figure 7 revealed that the most actual aggregate consumption values are in the predicted range, which are less than the predicted average trend but higher than the predicted minimum trend, except the actual value of 2013 that is higher than the predicted range.

Table 1 Population growth rate and construction aggregate consumption per capita from 2007 to 2012 in SLB area

Data of 2007 to 2012	Population Growth Rate (%)	Aggregate Consumption per Capita (Tonnes)
Minimum	0.37	0.45
Mean	0.50	0.66
Maximum	0.60	0.98
Standard Deviation	0.11	0.21

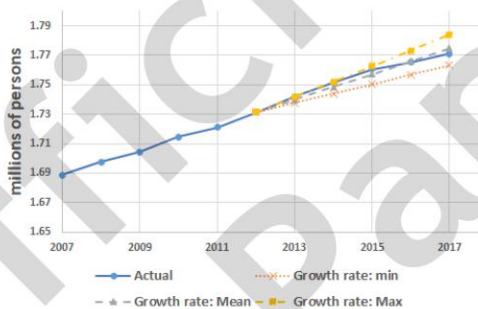


Figure 6 Comparison between the actual population growth and the predicted range from 2013 to 2017

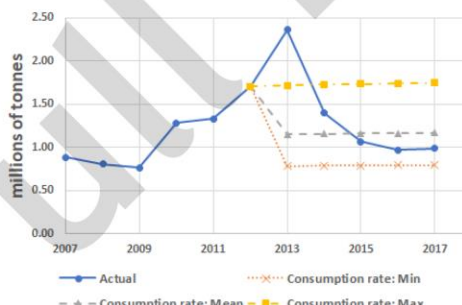


Figure 7 Comparison between the actual aggregate consumption and the predicted range from 2013 to 2017

The system dynamics model is divided into two parts: (1) stock of population which will change according to the population growth rate and (2) construction aggregate consumption in tonnes which will change according to the aggregate consumption per capita (figure 8). Each parameter type has details as shown in table 2.

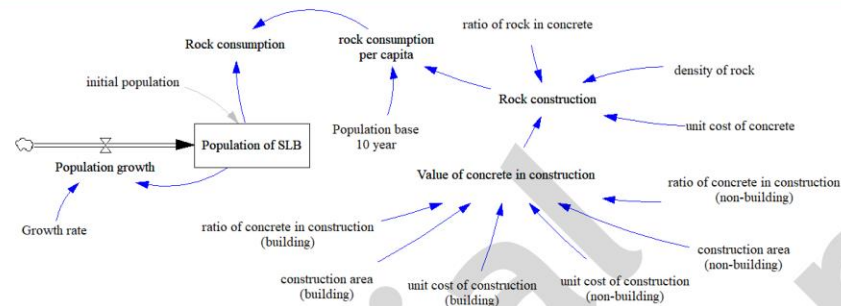


Figure 8 The system dynamics model to predict the construction aggregate consumption in the next five years

Table 2 Parameter details and equation of presented system dynamics model

Parameter	Unit	Type	Equation and Initial Values
Population of SLB	Persons	Level	INTEG (Population growth, initial)
Population growth	Persons/year	Rate	Population of SLB x Growth rate
Rock construction	Tonnes	Auxiliary	Value of concrete x Density of rock x Ratio of rock in concrete / Unit cost of concrete
Rock consumption	Tonnes	Auxiliary	Population x Rock consumption per capita
Value of concrete in construction	Baht	Auxiliary	Construction area x Unit cost of construction x Ratio of concrete in construction
Ratio of concrete in construction	%	Constant	15.77 for building and 0.60 for non-building
Ratio of rock in concrete	%	Constant	1.03
Density of rock	Tonnes/m ³	Constant	1.45
Unit cost of construction	Baht/m ²	Constant	8000 for building and 2000 for non-building
Construction area (building)	Million m ²	Constant	Min: 0.79, Mean: 1.27 and Max: 2.49
Construction area (non-building)	Million m ²	Constant	Min: 0.01, Mean: 0.04 and Max: 0.12
Growth rate	1/year	Constant	Min: 0.27, Mean: 0.48 and Max: 0.60
Rock consumption per capita	Tonnes/persons	Auxiliary	Rock construction / Population base 10 year
Population base 10 year	Persons	Constant	1.73

The prediction of population and aggregate consumption in SLB from 2018 to 2022 based on the historical data from 2007 to 2017 are shown in figure 9. The population of SLB in 2022 will have a value between 1.79 and 1.82 million people (figure 9a) and the aggregate consumption will have a value between 0.80 and 2.45 million tonnes (figure 9b). These data can be applied to the actual capacity data to find the optimum point between production and consumption. However, the capacity data must be obtained from mines, sometimes it is the private data of companies. Relevant departments can use this system dynamics model to determine quarrying policies for sustainability such as controlling the amount of production and exploring new resources.

Conclusions

The prediction from the system dynamics models revealed that the population and the construction aggregate consumption in Songkhla Lake Basin in 2022 in (1) the lowest scenario will be 1.79 million people and 0.78 million tonnes (2) the average scenario will be 1.81 million people and 1.26 million tonnes and (3) the highest scenario will be 1.82 million people and 2.47 million tonnes, respectively. The system dynamics model is an easy way to predict the aggregate consumption but may not be accurate in some cases. The historical data of the population has increased



continuously but the consumption was uncertain trend, so this relationship is more complicated. In the future, the authors will apply other parameters like economic conditions and government policy to the model to study suitability of production and consumption in Songkhla Lake Basin, which related to economic development.

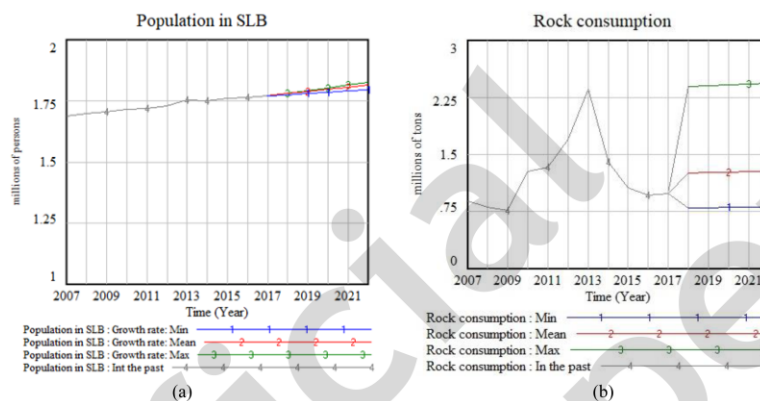


Figure 9 The prediction of (a) population and (b) construction aggregate demand in SLB from 2018 to 2022

Acknowledgements

This research is funded by the scholarship from Thai Government's ID ENG600233S, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University. The authors would like to express appreciation for the support of Department of Mining and Materials Engineering and Center of Excellence in Materials Engineering (CEME), Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Thailand.

References

- [1] Smith, G. (2017). Estimation of the demand for construction aggregate. *Natural resource modeling*, 30(4).
- [2] ROCK PRODUCTS, World Aggregate Market, Retrieved from <http://www.rockproducts.com/features/13045-world-aggregates-market.html> (12 January 2019).
- [3] Water Crisis Prevention Center, Songkhla Lake Basin, Retrieved from <http://mekhala.dwr.go.th/knowledge-basin-songkla.php> (8 January 2018).
- [4] Pruyt, E. (2013). *Small System dynamics models for big issues: Triple jump towards real-world complexity*. TU Delft Library.
- [5] Official Statistics Registration Systems, Population and house statistics report, Retrieved from <http://stat.bora.dopa.go.th/stat/statnew/statTDD/> (20 October 2018).
- [6] National Statistical Office, Statistics from major survey/ census projects of NSO, Retrieved from <http://www.nso.go.th/sites/2014en/statistics-from-majo-survey> (25 November 2018).
- [7] The Treasury Department, Property valuation, Retrieved from http://property.treasury.go.th/pvmwebsite/search_data/s_constr_price.asp (8 December 2018).
- [8] Agency for Real Estate Affairs (AREA), Valuation report, Retrieved from <https://www.area.co.th/index.php> (12 January 2019).
- [9] Wangniwetkul, K. (2009). *Price Estimation of Construction Engineering*. SE-EDUCATION Public Company Limited. (in Thai).
- [10] Department of Primary Industries and Mines, Statistical data production, use, import and export of minerals, Retrieved from <http://www7.dpim.go.th/stat/index.php> (January 2018).



System Dynamics Model for Lifetime Construction Aggregate Supply in Songkhla Lake Basin

Jirayus Wiwattnanukul*, Phongpat Sontamino**,

Manoon Masniyom and Vishnu Rachpech

Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering,
Prince of Songkla University, Thailand

* E-mail: jirayus.wwtink@gmail.com

**Corresponding Author E-mail: phongpat.s@psu.ac.th

ABSTRACT

Construction aggregate is an important material for almost all types of constructions. It is a material that is obtained from various rock sources through the mining process to various construction industries. This paper is a study of construction aggregate reserves and production capacity to forecast the quarry reserves depletion with statistic information of production capacity and the depleted of resources on the various scenario of production capacity in the Songkhla Lake Basin (SLB). By using a system dynamics model (SDM), it helps to understand and assist in the discussion and decide to manage rock supply with a situation that arises. The simulation results show the end of resource each scenario depending on production capacity; (a) the maximum production capacity scenario, which produce 1.0-2.0 MMT/y and deplete in 2104 or about 84 years later, (b) the mean production capacity scenario, which produce 0.5-1.5 MMT/y and deplete in 2123 or about 103 years later, (c) the minimum production capacity scenario, which produce 0.2-0.7 MMT/y and deplete in 2205 or about 185 years later, and finally (d) the random normal production capacity scenario, which produce 0.7-1.5 MMT/y and deplete in 2113 or about 93 years later.

Keywords: Songkhla Lake Basin; System Dynamics; Construction Aggregate

1. INTRODUCTION

Construction aggregate refers to crushed stone or natural sand and gravel (primary aggregates), including by-product from the industry (such as slag) and recycled waste materials (such as concrete) may be used as adjunct (secondary aggregates) for quarried materials [1]. The construction aggregate is an important raw material

for the economy by being the primary raw material for all types of construction [2-3]. Most of these aggregates are obtained from quarries. The current goal of mining is to bring resources to meet human needs. This crushed rock is the most valuable non-fuel resource in the world [4-6]. Which, of course, can be said that it is non-renewable resources because it takes a long time to regenerate [7].

In 2014, there was a forecasting of the demand for aggregates in the world market. It was found that in 2017 to 2022, the demand is likely to increase [8]. The mining sector expansion in developing countries, which make an increasing demand for minerals as the world economy has grown in recent [9]. Thailand has grown in demand of aggregate for the construction industry over the recent decade [10]. The construction market is expected to grow due to the government infrastructure projects and the household construction [11]. Although the world today can recycle aggregate materials from buildings to be used in construction widely, Thailand still lacks of the policy to reuse or recycle it [12-15].

The Songkhla Lake Basin (SLB) is the only basin in Thailand that has a large lagoon lake system covering three provinces, Songkhla, Phatthalung and Nakhon Si Thammarat. It has approximately 8,729 square kilometres of total area, which is about 7,687 square kilometres of land [16]. SLB is an important economic area and has a variety of resources. There has been a "National Economic and Social Development Plan" for a long time since 1961 to the present, supporting the sustainable development of the SLB [17-18].

Therefore, to forecast the depletion of rock reserves and to assist in the discussion and decide to manage with a situation that arises. It would be need a tool that help to plan and manage resources properly as an important issue. The SDM of rock supply allocation of resources to meet rock lifetime will help to manage the rock resource sustainability [19].

2. METHODOLOGY

System dynamics (SD) is a powerful method for describing, processing, and analyzing large complex issues or systems in terms of processes, data, organizational boundaries, and strategies [20]. It was developed in the late 1950s and was introduced by Jay Wright Forrester in the 1960s at the Sloan School of Management in the Massachusetts Institute of Technology [21-22]. System dynamics modelling is a process technique for linking various variables. Both quantitative and qualitative variables with mathematical equations with "stock and flow" which can easily adjust values and develop, expand system relationships. Creating a simulation for an understanding of the system studied can be quick, convenient, and flexible when conditions change [23-24]. Simulation is a repetitive process of generating results in which a model designed. One or more scenarios are defined from zero time to infinity [25]. Within expected logical and efficient syncing, with the organization of all reserve remaining being essential to production, such modeling requires interaction aspects between all elements of the system. This is considered dynamic and complex due to these interactions and the number of elements involved (social, technical, nature and economic) that such a system [26].

Therefore, this is one suitable tool that can be used to study the production capacity and the depletion of construction aggregate resources in the Songkhla Lake Basin. The development process of system dynamics model was shown in Figure 1, which was used Vensim PLE 7.1 software by

Ventana Systems, Inc., to support the creation of scenario simulation results [27].

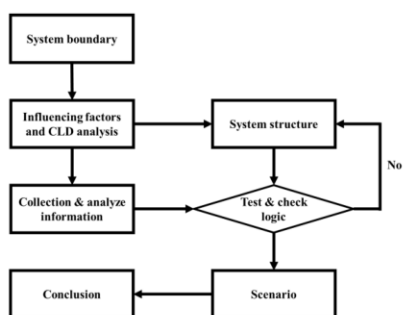


Figure 1 Research procedure flowchart

3. SD MODEL DEVELOPMENT

3.1 SLB information

Thailand has 318 quarries for construction nationwide, with estimation of reserves about 8,010 million metric tons (MMT). In the Songkhla Lake Basin (SLB), there are about of 108 million metric tons of rock reserves [28]. Nowadays, in the SLB area, there are two active quarries, which are Kris Silaporn Part., Ltd (KS) and Khao Bandai Nang Sila Co., Ltd (KBN), and tree quarries have expired in recent years, such as Thai Panich Khamai Part., Ltd (TPK), Kaodang Construction Part., Ltd (KC) and Silachai Hatyai Part., Ltd (SCH). The location of each quarry shown in Figure 2 [29], which has the production capacity and reserves was shown in Table 1 [30-32].

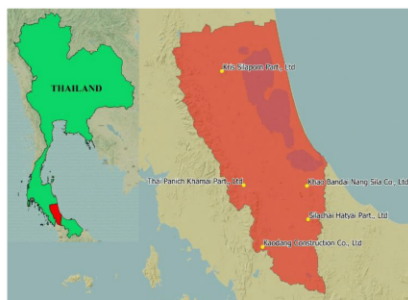


Figure 2 Location of quarries in Songkhla Lake Basin

Generally, the information of mining project plan is a guide line of working, but sometime it is inconsistent with real action. On one hand, the mining reserves run-out, but remain the mining concession period, on the other hand the remaining of mining reserves, but mining concession expired. In this paper, the SDM that generates a production capacity result by current information to forecast the depletion of reserves and resources with the following assumptions:

- a) The current production capacity level reflects the limit production capacity of equipment, so each quarry remain their own capacity.
- b) When the mining concession expires, if the resources is remaining, a new mining permit can be extended.
- c) When the allowing reserve is depleted, if resource is remaining, resource will become new allowing reserve.
- d) The resources in SLB are considered to be one that all quarries develop together.

Table 1 Resources reserves and production capacity of rock in SLB

Resources of SLB : 108 MMT								
ID	Project planning		Actual production capacity (MT/year)				Initial reserves (MT)	Remaining reserves in 2021 (MT)
	Production capacity (MT/year)	Mining concession period (year)	Max	Mean	Min	SD		
TPK	420,000	20	292,128	192,439	27,150	71,576	5,320,000	0
KBN	400,000	13	899,113	720,148	287,489	289,952	3,736,000	855,808
KS	400,000	10	344,056	294,246	237,125	43,873	2,890,000	578,000
KC	310,000	10	198,500	155,900	129,200	37,286	3,017,000	0
SCH	150,000	10	289,560	130,476	16,320	117,627	1,738,000	0

MT = Metric tons

3.2 Causal Loop Diagram (CLD)

A basic causal loop diagram for resources reserve mining permit and production was shown in Figure 3. It was represented by two balancing feedback loops including, mining and developing reserves. This CLD considers that, the mining industry, permission is required for mining to generate production, which will reduce the rock reserves to the end. Then, request a mining permit to develop new reserves to have the capacity to produce rocks to meet demand. Of course, this product, to satisfy other human industries, cannot be missing. Therefore, a request for a mining renewal permit is required. These processes directly affect resources reduction, so this is an important variable to consider.

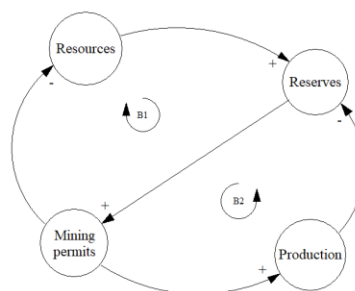


Figure 3 Conceptual CLD of the resources reserves and mining permits cycle

3.3 System Dynamics Model (SDM)

Figure 4 shows a generic model that simulates the decreasing and remaining of resources and reserves in the SLB area depending on the production rate from mining activities. The structure of model is based on the extraction process model of an ore in its environment [33]. It consists of the “stock” of reserves that change follows the “flow” of the “mining” that value depending on the production rate of each quarry with different values. When the reserves are depleted or the mining concession period expires, it will affect the “mining permit for new reserves”

J.Wiwattnanukul P.Sontamino M.Masniyom and V.Rachpech

activated. That is a new mining concession permitted, with reserves according to “new reserve” and the period for permission according to “time delay”. Then it will continue to affect this new reserve to the “flow” of developing reserves to reduce the “stock” of the resource and recharge the “stock” of the reserves. The initial reserves in the model are the remaining reserves in 2021 and

the recharging of the new reserves depend on the production rate and mining concession period from the mining project plan. It describes the changes in aggregate reserves and resources that depend on the aggregate production capacity in the Songkhla Lake Basin. Table 2 shows the main variables, unit and equations of variables in generic model.

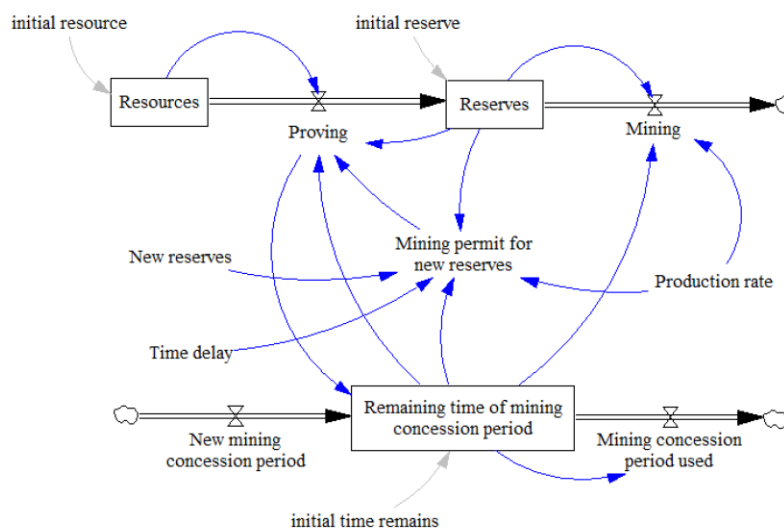


Figure 4 SDM for forecasting resources reserves and production capacity of quarries in the Songkhla Lake Basin

Table 2 Variables and equation of presented SD model

PARAMETER	UNIT	TYPE	EQUATION AND DESCRIPTION
Resource	MT	Level	INTEG (IF THEN ELSE (Resource - Proving < 0, Resource - Proving < 0 :AND: Resource = 0, -Proving), initial resource)
Proving	MT/year	Rate	IF THEN ELSE (mining permit for new reserves > 0 :AND: Reserves <= 0 :OR: Remaining time of mining concession period = 0, IF THEN ELSE (Resources < mining permit for new reserves, Resources, mining permit for new reserves),0)

Table 2 (Cont.) Variables and equation of presented SD model

PARAMETER	UNIT	TYPE	EQUATION AND DESCRIPTION
Reserves	MT	Level	INTEG (Proving - Production, initial Reserve)
Mining	MT/Year	Rate	IF THEN ELSE (Remaining time of mining concession period = 0, 0, IF THEN ELSE (Reserves < Production rate, Reserves, Production rate))
Production rate	MT	Constant	RANDOM NORMAL (min, max, mean, stdev, seed)
Mining permit for new reserves	MT	Auxiliary	DELAY FIXED (IF THEN ELSE (Reserves - Production rate <= 0, new reserves, IF THEN ELSE (Remaining time of mining concession period = 0 :AND: Reserves - Production rate > 0, new reserves-Reserves, 0)), time delay, 0)
New reserves	MT	Constant	Concession reserves
Remaining time of mining concession period	Year	Level	INTEG (IF THEN ELSE (Proving > 0, New mining concession period - Remaining time of mining concession period, - Mining concession period used), initial time remains)
Initial resource	MT	Constant	Resource remains of SLB
Initial reserve	MT	Constant	Reserve remains of each quarry
Initial time remain	Year	Constant	Mining concession period left of each quarry
New mining concession period	Year	Rate	Mining concession period of each quarry
Mining concession period used	Year	Rate	IF THEN ELSE (Remaining time of mining concession period = 0, 0, 1)
Time delay	Year	Constant	Constant

4. RESULTS

4.1 Validation of the model

The validation of the model focusing on a quarry (TKP). The case of TPK, a quarry that was previously operated in this area but has expired. The data of TKP production rate are collected, then it was separated into 2 parts. The first part uses to statistical analysis, and the second part for checking and comparison between actual data (Base Data) and simulation data. It was used to test the simulations by comparing the simulation results

with actual capacity in the years 2017-2020 (with the statistical values during 2007-2016: max = 292,128 MT/y, min = 27,150 MT/y, mean = 196,617 MT/y and standard deviation = 82,227 MT/y) [31], then performed using "random normal distribution" or technically called "Truncated Normal Distribution", it is a method of generating a random distribution from the statistical value [34]. Thus, the simulation value generated by the random distribution under the statistical values. Finally, the resulting simulations shows the same trend as actual production capacity (Fig. 5).

J.Wiwattnanukul P.Sontamino M.Masniyom and V.Rachpech

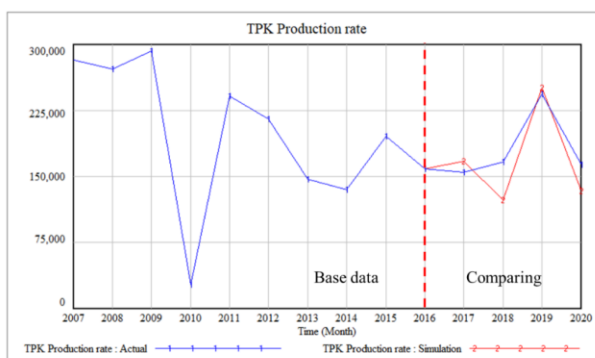


Figure 5 Comparing the production rate of TPK between forecasting and in the actual operation

4.2 Simulation result in the short term

At present (2021), the SLB has two active quarries, KS and KBN. Focusing on the short term period until the mining concession period expired. The simulation consists of 4 scenarios: (a) max production capacity scenario (b) mean production capacity scenario (c) min production capacity scenario and (d) random normal scenario. The KS mining simulation results show that, scenarios (a), (b), and (d) were similar, which the reserves depleted and the mining concession period expired in 2023. While scenario (c) is ended in 2024. Likewise, in the case of KBN, running out of reserves, which not much different with KS

simulation result, scenario (a) in 2022, (b) in 2023, (c) and (d) in 2024, see details in Figure 6 and 7.

In a big picture of SLB quarries, it was a combination of KS and KBN quarries simulated, which was shown in Figure 8. It caused by mining reserves run-out and expired mining concession expired in 2023 for scenarios (a) and (b), and in 2024 for scenarios (c) and (d).

Therefore, in the short term scenario, lifetime of rock aggregate supply inside of SLB will be finish in 2024, the longest case. After that, it will need 100% aggregate from outside of SLB, in case of no new quarry permit.

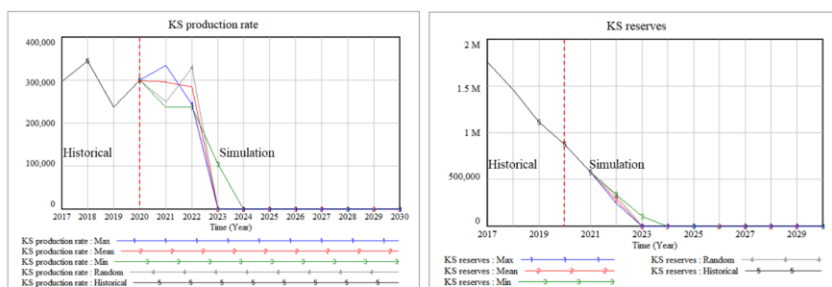


Figure 6 KS Simulation Results

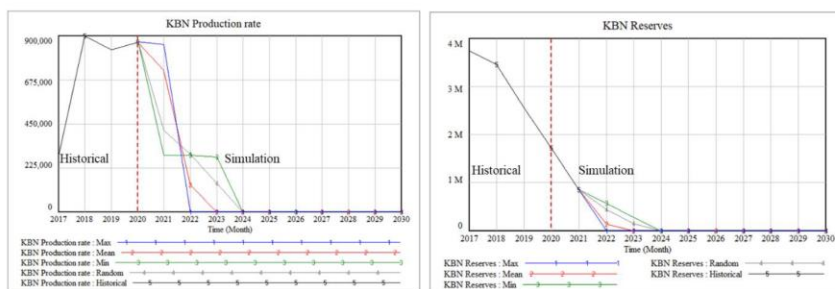


Figure 7 KBN Simulation Results

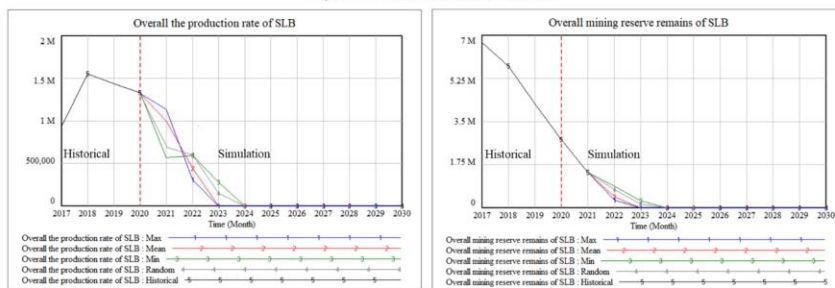


Figure 8 Short Term SLB Simulation Results

4.3 Simulation results in long term

Because of the short term simulation still have a huge of rock resources available. It is a high potential to produce aggregate inside SLB continuously. So, the long term simulation is focusing on the lifetime until an empty rock resources in SLB. There are five quarries in the database including, KS, KBN, TPK, KC and SCH, which were used in simulation. The assumption of this simulation was developed with the conditions of reserves to recharge immediately when existing reserves run-out or expire. Simulations results (Fig. 9) show that KBN quarries is a highest production capacity, which has a cycle period of 6 -8 years, while the mining concession is 13 year. It is a situation where resource development permission to recharge reserves within a short period

of time and this behavior results in a faster resource decline. KS and SCH quarries have a production capacity consistent with reserves and concession period. The reserves run-out in the same period of concession expired. KC quarries was unable to extract all the reserves due to the mining concession expired, while the mining reserve remains about 1.3- 1.4 million metric tons. That is, the KC quarries can continue operating for about 10 years with this production capacity level. There are two possibility cases of TPK quarries operations, able and unable to operate until the reserves run-out under the period of the mining concession by the simulation generated by random normal function with a production capacity value between minimum and maximum capacity.

J.Wiwattnanukul P.Sontamino M.Masniyom and V.Rachpech

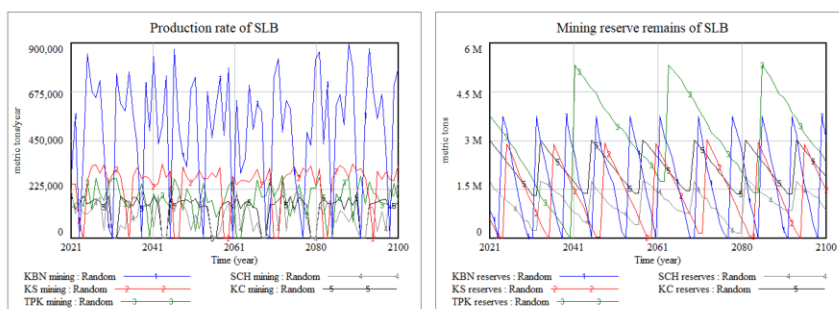


Figure 9 System behavior cycle from conditions of SDM in each quarry in case of random simulation

Simulation results in a big picture of overall the production rate and mining reserves of SLB show behavior of swing graph. Swing down in some periods when the reserves of some quarries are depleted, leading to a decline in the production capacity levels and swing up in the next periods by assumption of recharging reserves leading to an increase in production capacity. Swing depending on the production capacity level for the random scenario. In other scenarios, have a steady production capacity that swings depending on the timing of reserves run-out or recharge. That effect to reserves behaving similarly, reserves change with production capacity and recharging with the initial reserves parameter. This behaves the same for all scenarios with a swing in the range of about 5-12 million metric tons because recharged reserves are the same, differ in resources depletion periods. These show the behavior of an endless cycle of depletion and recharging of the reserves until the resource depletes (Fig. 10).

Therefore, This SDM made a complex system easy to understand, that the behavior effects a continuous decrease in resources depending on the timing of the reserves development and production capacity interrelated. The simulations of each scenario forecasting resource depletion times differently due to production capacity levels. The simulations of each scenario have a production capacity range and depletion year of resources (Fig. 11) are as follows: (a) maximum production capacity scenario: with 1.0-2.0 MMT/y and depleted in 2104 or about 84 years later (b) mean production capacity scenario: with 0.5-1.5 MMT/y and depleted in 2123 or about 103 years later (c) minimum production capacity scenario: with 0.2-0.7 MMT/y and depleted in 2205 or about 185 years later and (d) random normal production capacity scenario: with 0.7-1.5 MMT/y and deplete in 2113 or about 93 years later.

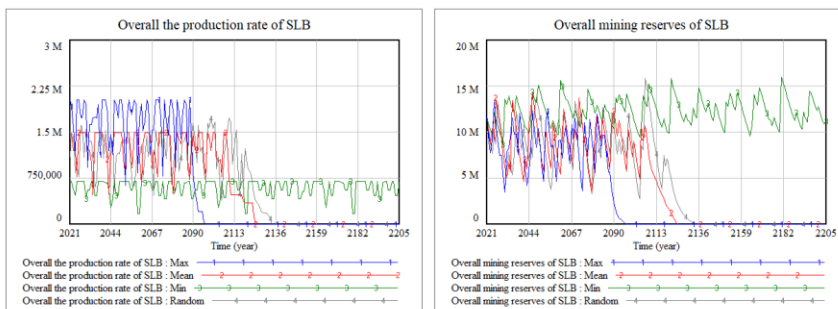


Figure 10 Overall system behavior of production rate and mining reserves of SLB

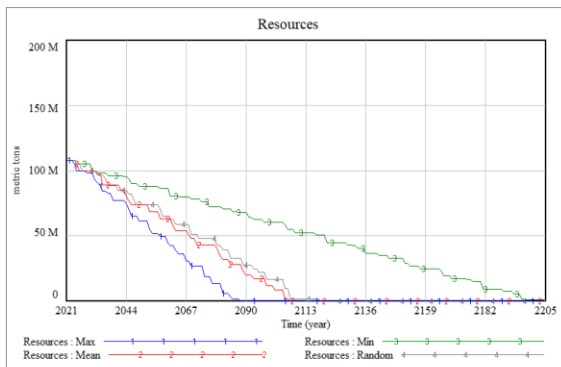


Figure 11 Forecasting depletion resources of SLB

5. CONCLUSIONS

The existing information analyzed and simulated with SDM, which forecasting the end of the current quarry, with each scenario dependent on production capacity important, especially in the case of KBN quarries. There will be no mining operations in the SLB area to serve the demand in the area if not properly managed soon. The underlying assumption used as a basic policy formulation and decisions, the model present within the context of the area. That's to maintain the stabilization of production capacity. The assumption presented in this way leaves less room for misinterpretation and easier understanding

of system structure. The behavior over time graphs used to present the endless process of the developing resource to mining. These assumptions (definitions) can be modified and resulting changes in behavior patterns. The simulation results of each scenario are as shown in Table 3.

Finally, several factors involved in deciding to allow the development of mineral deposits for mining such as Socio- economic, environment, resources availability, etc. The important factor is a resources demand for human activities [35] that trend increase. These can be study and develops from this SDM to manage other conditions.

J.Wiwattnanukul P.Sontamino M.Masniyom and V.Rachpech

Table 3 Ending the year of current quarry and depletion year of resource for each scenario.

Scenario	Short term result (A.D.)			Long term result (A.D.)	Production capacity (MMT/y)
	KBN	KS	Sum	Resources depletion	
Max	2022	2023	2023	2104	1.0-2.0
Mean	2023	2023	2023	2123	0.5-1.5
Min	2024	2024	2024	2205	0.2-0.7
Random	2024	2023	2024	2113	0.7-1.5

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This research is funded by the scholarship from Thai Government ID ENG600233S. The authors

would like to express appreciation for all support of Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Thailand.

REFERENCES

- [1] Harrison, D. J. and Bloodworth A. J. (1994). *Industrial Minerals Laboratory Manual: Construction Materials*, British geological survey, Nottingham.
- [2] Smith, G. Estimation of the demand for construction aggregate. *Natural resource modeling*, 2017; 30.
- [3] Langer, W. (2016). *Sustainability of aggregates in construction*, 2nd edition, Woodhead Publishing, Virginia.
- [4] Tausova, M., Culkova, K., Domaracka, and Drebenstedt, C. The importance of mining for socio-economic growth of the country. *Acta Montanistica Slovaca*, 2017; 22: 359-567.
- [5] Dubinski, J. Sustainable development of mining mineral resources. *Journal of Sustainable Mining*, 2013; 12: 1-6.
- [6] Langer, W.H. (2002). *Managing and protecting aggregate resources*, U.S. Geological Survey, Colorado.
- [7] Langer, W.H., Drew, L.J., and Sachs, J.S. (2004). *Aggregate and the Environment*, American Geological Institute, Maryland.
- [8] Kuhar, M. S. (2014). World Aggregate Market, Rock Products, Ohio, America, Available online: www.rockproducts.com/features/13045-world-aggregates-market.html
- [9] Auty, R.M. (1998). *Resource abundance and economic development: improving the performance of resource-rich countries*. UNU World Institute for Development Economics Research.
- [10] Department of Mineral Resources (DMR) (2004), Rock for the construction industry report 20004.
- [11] Bangkok Post, Thailand (2019). Construction Outlook Steady, Available online: www.bangkokpost.com

- [12] Chua, T., Sachakamol, P. and Phusavat, K. A Commercial Feasibility Study on Recycled Concrete Aggregate (RCA) in Bangkok Dealing with Random Parameters. *Engineering Journal*, 2017; 21: 133–155.
- [13] Tanginthai, N., Heidrich, O. and Manning, D.A.C. Role of policy in managing mined resources for construction in Europe and emerging economies. *Journal of Environmental Management*, 2019; 236 :613–621.
- [14] Kianmehr, M., Shourijeh, P.T., Binesh, S.M., Mohammadinia, A. and Arulrajah, A. Utilization of recycled concrete aggregate for light-stabilization of clay soils. *Construction and Building Materials*, 2019; 227.
- [15] Cardoso, R., Silva, R.V., Brito, J.D. and Dhir, R. Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review. *Waste Management*, 2016; 49: 131–145.
- [16] Cooney, P.E., Darnswasdi, R. and Ratanachai, C. Local people's perceptions of Lake Basin water governance performance in Thailand. *Ocean & Coastal Management*, 2016; 120: 11–28.
- [17] Doungsuwan, N., Ratanachai, C., Somgongchaiyakul, P. and Sangganjanavanich, P. Impacts Of The National Economic And Social Development Plan On Songkhla Lake Basin Development Thailand. *International Business & Economics Research Journal*, 2013; 12.
- [18] Tippayawong, S. and Somboonsuke, B. Dynamics of songkhla lake basin research in the south of Thailand. *Journal of Agricultural Technology*, 2013; 9: 1081–1096.
- [19] Tugrul, A., Yilmaz, M., Sonmez, I. and Hasdemir, S. Sustainable management of aggregate resources in Istanbul. *Engineering Geology Special Publications*, 2016; 27: 55–61.
- [20] Pruyt, E. (2013). *Small System dynamics models for big issues: Triple jump towards real-world complexity*, TU Delft Library, Zuid.
- [21] Forrester, J.W. (1961). *Industrial Dynamics*, MIT, Cambridge, Massachusetts.
- [22] Forrester, J.W. The beginning of system dynamics. *The McKinsey Quarterly*, 1995; 4: 4–16.
- [23] Bach, M.P. and Ceric, V. Developing system dynamics models with "step-by-step" approach. *Journal of Information and Organizational Sciences*, 2007; 31.
- [24] Sterman, J.D. Learning in and about complex systems. *System Dynamics Review*, 1994; 10: 291–330.
- [25] Centeno, M.A. (1996). An introduction simulation modeling, paper presented in *the Winter simulation conference 1996*, Florida, America.
- [26] Sterman, J.D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw-Hill. Ohio. America.
- [27] Ventana System Inc (2016). Ventana software, Available online: ventanasystems.com
- [28] Department of Primary Industries and Mines (DPIM), Construction rock deposit, available online: <http://www.dpim.go.th/qry-stones/quarry3.php>

J.Wiwattnanukul P.Sontamino M.Masniyom and V.Rachpech

- [29] Department of Primary Industries and Mines (DPIM), Geographic Information System, Available online: <http://gisweb.dpim.go.th/main>
- [30] Department of Primary Industries and Mines (DPIM), Region 1 Songkla (2019). *Annual report 2019*.
- [31] Department of Primary Industries and Mines (DPIM), Region 1 Songkla (2017). Report the study of the area condition and the necessity of determining the area as an industrial rock resource 2017.
- [32] Department of Primary Industries and Mines (DPIM), Database system for a patent permit, Thailand. Available online: www.dpim.go.th
- [33] Lagnika, S.B.M., Hausler, R. and Glaus, M. Modeling or dynamic simulation: a tool for environmental management in mining?. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 2017; 14: 19-37.
- [34] Vensim (2015). User Guide - Vensim Introduction & Tutorials, Available online: vensim.com
- [35] Langer, W.H. and Glanzman, V.M. (1993). *Natural aggregate: building America's future*, U.S. Geological Survey, Diane publishing co., Pennsylvania.