การสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์และเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง

A Cost Model Development and Cost Comparison of Liquid Die Casting Process and Semi-Solid Die Casting Process for Machinery Parts Factory

วรุณพร เชียรวิชัย

Waroonporn Chienwichai

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Industrial and Systems Engineering
Prince of Songkla University
2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์และเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง

ผู้เขียน นางสาววรุณพร เชียรวิชัย

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร มีมงคล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัญชนา สินธวาลัย)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร มีมงคล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัญชนา สินธวาลัย)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา วรรณสินธุ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.คมกฤต เล็กสกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

.....

(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร มีมงคล)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นางสาววรุณพร เชียรวิชัย)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาววรุณพร เชียรวิชัย)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์และเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง
ผู้เขียน	นางสาววรุณพร เชียรวิชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Die Casting Process) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่พัฒนาขึ้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์และลดต้นทุนการผลิตจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว (Liquid Die Casting Process) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาต้นทุนต่อหน่วย และสร้างแบบจำลองต้นทุนเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบเดิม (โลหะเหลว) กับกรรมวิธีแบบใหม่ (โลหะกึ่งของแข็ง) โดยใช้ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างสี่ชนิดเป็นกรณีศึกษา ตามหลักการของแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ (Process-Based Costing Model) ซึ่งประกอบด้วย 3 แบบจำลองย่อย ได้แก่ (1) แบบจำลองกระบวนการ เป็นการพิจารณาถึงกระบวนการผลิต เพื่อหารอบเวลาการผลิตและชนิดของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต (2) แบบจำลองดำเนินงาน เป็นการพิจารณาถึงเงื่อนไขการดำเนินงาน เพื่อหาเวลามาตรฐานการทำงานและปริมาณของทรัพยากรแต่ละชนิด และ (3) แบบจำลองต้นทุน เป็นการพิจารณาถึงปัจจัยทางด้านราคา เพื่อหามูลค่าเงินลงทุนและต้นทุนต่อหน่วย แบ่งการวิเคราะห์ต้นทุนออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว เป็นการตัดสินใจของโรงงานที่มีการเปิดดำเนินกิจการอยู่แล้ว ระหว่างดำเนินการผลิตแบบเดิมหรือเปลี่ยนเป็นกระบวนการหล่อโลหะแบบกึ่งของแข็ง การตัดสินใจใช้เกณฑ์การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Breakeven Point) กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ เป็นการตัดสินใจจัดตั้งโรงงานใหม่เพื่อเปรียบเทียบผลการดำเนินงานระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและแบบกึ่งของแข็ง การตัดสินใจใช้การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน 3 ประการ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ผลการวิจัย พบว่า กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว ควรเลือกกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เนื่องจากปริมาณการผลิตสูงกว่าจุดคุ้มทุน การผลิตด้วยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งให้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า และกรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ ควรเลือกกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งเช่นกัน เนื่องจากผลตอบแทนการลงทุนให้ผลตอบแทนเหมาะแก่การลงทุนมากกว่ากระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว และเมื่อโรงงานเปลี่ยนจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวเป็นกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ต้นทุนต่อหน่วยเฉลี่ยลดลง 13.49% สำหรับแบบจำลองที่สร้างขึ้น จากการทดลองใช้แบบจำลอง พบว่า ต้นทุนต่อหน่วยที่ได้จากแบบจำลองและจากโรงงานกรณีศึกษาไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

Thesis Title	A Cost Model Development and Cost Comparison of Liquid Die Casting Process and Semi-Solid Die Casting Process for Machinery Parts Factory
Author	Miss Waroonporn Chienwichai
Major Program	Industrial and Systems Engineering
Academic Year	2012

ABSTRACT

Semi-solid die casting process is the new technology which was developed for quality improvement and cost reduction comparing to the liquid die casting process. This research aims to study the cost per unit and to develop a cost model for comparing the costs between the traditional process (liquid die casting process) and the new technology process (semi-solid die casting process). Four sample products were selected to study. Process-Based Costing Model is applied to analyze cost of product. The model consists of 3 sub models: (1) process model is used for considering the process and investigating for cycle time and processing requirement (2) operation model is used for considering the operating condition and investigating for standard time and the total amount of resource requirement, and (3) financial model is used for considering the prices factor and investigating for the investment cost and cost per unit. The cost analysis can be classified as 2 case. The first case is existing factory, it is to compare between running the traditional process or changing to semi-solid die casting process. The decision is based on the breakeven point. The second case is for establishing the new factory. The decision between liquid and semi-solid die casting process is based on net present value, internal rate of return and payback period. Therefore, the finding from this research requests in 2 cases, the first case, should be decide semi-solid die casting process because of production volume higher than breakeven point. Semi-solid die casting process is lower production costs. The second case is should be decide semi-solid die casting process too, because of return of investment more appropriate than liquid die casting process. If changed from liquid die casting process to semi-solid die casting process could be decreased the average of cost per unit up to 13.49%. For the cost model, cost per unit from model and case study factory not significantly different at the 0.01 level.

สารบัญ

		หน้า
สารบัญ		(8)
รายการตาราง		(10)
รายการภาพประกอบ		(14)
บทที่		
1	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
	1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
	1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	7
	1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย	7
	1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	7
2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	8
	2.1 กระบวนการหล่อฉีดโลหะ	8
	2.2 การศึกษาเวลาการผลิต	11
	2.3 แนวคิดเกี่ยวกับต้นทุน	16
	2.4 หลักการแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ	21
	2.5 การวิเคราะห์การลงทุน	23
3	วิธีการดำเนินการวิจัย	29
	3.1 โครงสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ	31
	3.2 สร้างแบบจำลองกระบวนการ	33
	3.3 สร้างแบบจำลองดำเนินงาน	36
	3.4 สร้างแบบจำลองต้นทุน	42
	3.5 ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง	45
4	ผลการดำเนินการวิจัย	47
	4.1 ผลลัพธ์แบบจำลองกระบวนการ	47
	4.2 ผลลัพธ์แบบจำลองดำเนินงาน	53
	4.3 ผลลัพธ์แบบจำลองต้นทุน	65
	4.4 ลักษณะแบบจำลองที่สร้างขึ้น	98
	4.5 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง	108
	4.6 การอภิปรายผล	117
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	127
	5.1 สรุปผลการวิจัย	127
	5.2 ข้อเสนอแนะ	131

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	132
ภาคผนวก	137
ประวัติผู้เขียน	143

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว	8
2.2	ประโยชน์และสิ่งที่ต้องคำนึงของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง	11
2.3	การลดลงของรอบเวลาการผลิตของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว	12
2.4	คะแนนองค์ประกอบในการวิเคราะห์อัตราความเร็วตามวิธีของ Westinghouse	14
2.5	ความหมายของต้นทุน	17
3.1	ข้อมูลผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง	35
3.2	เวลาเผื่อในกรณีต่างๆ และเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงาน	36
3.3	ลักษณะจำเพาะของเครื่องจักร	37
3.4	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาตามอายุการใช้งาน	37
3.5	สมมติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงิน	42
3.6	ดัชนีการเพิ่มขึ้นลดลงของราคาสินทรัพย์เฉลี่ยต่อปี	43
3.7	ราคาวัตถุดิบต่อหน่วย	44
3.8	อัตราค่าไฟฟ้าแบบ Time of Use (TOU)	44
4.1	รอบเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากการจับเวลาของโรงงานกรณีศึกษา	48
4.2	เวลาการแข็งตัวของน้ำโลหะที่ได้จากการคำนวณของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง	49
4.3	การหารอบเวลาการผลิตของขั้นตอนที่ 1	49
4.4	การหารอบเวลาการผลิตของขั้นตอนที่ 2	49
4.5	การหารอบเวลาการผลิตของขั้นตอนที่ 3	50
4.6	การหารอบเวลาการผลิตของขั้นตอนที่ 4	50
4.7	การหารอบเวลาการผลิตของขั้นตอนที่ 5	50
4.8	ระยะเวลาปล่อยฟองแก๊สของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง	51
4.9	การคำนวณรอบเวลาการผลิต	52
4.10	รอบเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากการคำนวณ	52
4.11	ทรัพยากรที่ต้องการในกระบวนการหล่อฉีดโลหะ	53
4.12	ระดับการทำงานพนักงานที่ประเมินได้ของโรงงานกรณีศึกษา	54
4.13	รอบเวลาปกติและเวลามาตรฐาน	54
4.14	ขนาดสินทรัพย์ถาวรและจำนวนแรงงานที่ต้องการในกระบวนการหล่อฉีดโลหะ	55
4.15	ระยะเวลาดำเนินงานต่อวัน	55
4.16	ปริมาณการผลิต	56
4.17	สัดส่วนการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในแต่ละปี	57
4.18	ปริมาณความต้องการแท่งอะลูมิเนียม เกรด ADC12	58

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.19	ปริมาณความต้องการฟลักซ์	58
4.20	ปริมาณความต้องการน้ำยาพ่นแม่พิมพ์และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์	59
4.21	ปริมาณความต้องการน้ำมันไฮดรอลิก	60
4.22	ปริมาณความต้องการน้ำประปา	60
4.23	ปริมาณความต้องการวัตถุดิบแต่ละชนิดต่อปี	61
4.24	ปริมาณความต้องการแก๊สไนโตรเจน	62
4.25	อัตราการสูญเสียความร้อน	62
4.26	ปริมาณความต้องการแก๊สเชื้อเพลิง (LPG)	63
4.27	ปริมาณความต้องการไฟฟ้าของเครื่องจักรแต่ละชนิด	64
4.28	ปริมาณความต้องการพลังงานแต่ละชนิดต่อปี	65
4.29	ราคาก่อสร้าง ราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์ในปัจจุบัน	65
4.30	การคำนวณมูลค่าสินทรัพย์ในอดีต (เฉพาะค่าก่อสร้างอาคารสำนักงาน)	66
4.31	มูลค่าสินทรัพย์ถาวรจากการลงทุน 10 ปีที่แล้ว	67
4.32	มูลค่าซากเพื่อการประเมินมูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบันสำหรับกรณีที่ 1 (มีโรงงานแล้ว)	67
4.33	ค่าเสื่อมราคาต่อปีเพื่อการประเมินมูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบันในกรณีที่ 1 (มีโรงงานแล้ว)	68
4.34	มูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบันสำหรับกรณีที่ 1 (มีโรงงานแล้ว)	68
4.35	เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรสำหรับกรณีที่ 1 (มีโรงงานแล้ว)	69
4.36	มูลค่าซากสำหรับกรณีที่ 1 (มีโรงงานแล้ว)	69
4.37	ค่าเสื่อมราคาต่อปีสำหรับกรณีที่ 1 (มีโรงงานแล้ว)	70
4.38	ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน	70
4.39	เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรสำหรับกรณีที่ 2 (จัดตั้งโรงงานใหม่)	71
4.40	เงินทุนหมุนเวียน	71
4.41	เงินลงทุนโครงการสำหรับกรณีที่ 2 (จัดตั้งโรงงานใหม่)	72
4.42	การชำระคืนเงินต้นและดอกเบี้ยเฉพาะปีแรก	73
4.43	การชำระคืนเงินต้นและดอกเบี้ยตลอดอายุโครงการของกระบวนการแบบของเหลว	73
4.44	การชำระเงินต้นและดอกเบี้ยตลอดอายุโครงการของกระบวนการแบบกึ่งของแข็ง	74
4.45	มูลค่าซากสำหรับกรณีที่ 2 (จัดตั้งโรงงานใหม่)	74
4.46	ค่าเสื่อมราคาต่อปีสำหรับกรณีที่ 2 (จัดตั้งโรงงานใหม่)	75
4.47	ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง	75
4.48	ต้นทุนแรงงานทางตรง	76
4.49	ต้นทุนทางตรงต่อหน่วยจากการดำเนินงาน	76
4.50	ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม	77

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.51	ต้นทุนพลังงาน	78
4.52	ต้นทุนแรงงานทางอ้อม	78
4.53	ค่าใช้จ่ายโรงงาน	79
4.54	ค่าเสื่อมราคาจากการดำเนินงาน	79
4.55	ต้นทุนทางอ้อมต่อหน่วยจากการดำเนินงาน	80
4.56	ต้นทุนต่อหน่วยจากการดำเนินงาน	80
4.57	ราคาขายผลิตภัณฑ์	81
4.58	ประมาณการงบกำไรขาดทุนของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว)	82
4.59	ประมาณการงบกำไรขาดทุนของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว)	83
4.60	ประมาณการงบกำไรขาดทุนของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่)	84
4.61	ประมาณการงบกำไรขาดทุนของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่)	85
4.62	ประมาณการงบกระแสเงินสดของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว)	86
4.63	ประมาณการงบกระแสเงินสดของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว)	87
4.64	ประมาณการงบกระแสเงินสดของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่)	88
4.65	ประมาณการงบกระแสเงินสดของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่)	89
4.66	ต้นทุนคงที่	90
4.67	ต้นทุนรวมของแต่ละผลิตภัณฑ์ที่ระดับปริมาณการผลิตต่างๆ	91
4.68	จุดคุ้มทุนของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแต่ละชนิด	93
4.69	ความอ่อนไหวของโครงการที่มีผลต่อจุดคุ้มทุน (เปลี่ยนแปลงตัวแปรเดียว)	95
4.70	ความอ่อนไหวของโครงการที่มีผลต่อจุดคุ้มทุน (เปลี่ยนแปลงหลายตัวแปร)	95
4.71	ความอ่อนไหวของโครงการที่มีผลต่อ NPV และ IRR (เปลี่ยนแปลงตัวแปรเดียว)	96
4.72	ความอ่อนไหวของโครงการที่มีผลต่อ NPV (เปลี่ยนแปลงหลายตัวแปร)	96
4.73	ความอ่อนไหวของโครงการที่มีผลต่อ IRR (เปลี่ยนแปลงหลายตัวแปร)	97
4.74	คำอธิบายปุ่มสัญลักษณ์	107

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.75	ข้อมูลผลิตภัณฑ์	108
4.76	ข้อมูลต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์จากโรงงานกรณีศึกษา	109
4.77	ผลลัพธ์ต้นทุนของผลิตภัณฑ์จากแบบจำลอง	109
4.78	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยระหว่างต้นทุนจากโรงงานกรณีศึกษาและต้นทุนจากแบบจำลอง กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว	110
4.79	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วย 3 เงื่อนไข ได้แก่ ต้นทุนต่อหน่วยจากโรงงานกรณีศึกษา ต้นทุนต่อหน่วยจากแบบจำลอง (ข้อมูลตามการผลิต) และต้นทุนต่อหน่วยจากแบบจำลอง (ข้อมูลตามการคำนวณ)	113
4.80	หาค่า $\sum d_i$ ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการฉีดหนึ่งครั้งได้ผลิตภัณฑ์หนึ่งชิ้น	114
4.81	หาค่า $\sum d_i$ ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการฉีดหนึ่งครั้งได้ผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งชิ้น	116
4.82	ต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากผลลัพธ์แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ	117
4.83	เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและแบบกึ่งของแข็ง	120
4.84	การลดลง (เพิ่มขึ้น) ของต้นทุนแต่ละชนิด	121

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1.1	ยอดขายรถยนต์ของประเทศไทย จาก ปี พ.ศ. 2544-2554	1
1.2	กรรมวิธีการผลิตโลหะกึ่งของแข็งด้วยกระบวนการ GISS	2
1.3	กระบวนการหล่อฉีดโลหะ	3
1.4	โครงสร้างของแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ	4
2.1	กรรมวิธีการผลิตโลหะกึ่งของแข็ง	9
2.2	กรรมวิธีผลิตโลหะกึ่งของแข็ง	10
2.3	เปรียบเทียบเวลาเมื่อพนักงานทำงานที่อัตราความเร็วแตกต่างกัน	13
2.4	องค์ประกอบของต้นทุนการผลิต	18
2.5	โครงสร้างแบบจำลองตามกระบวนการของกระบวนการหล่อฉีดโลหะ	22
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	29
3.2	โครงสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ	31
3.3	ขั้นตอนทำงานของกระบวนการหล่อฉีดโลหะ	34
3.4	ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง	35
3.5	แผนผังกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Heat sink 510	38
3.6	แผนผังกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Flange final driven	39
3.7	แผนผังกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Heat sink (main) 034	40
3.8	แผนผังกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Hub front	41
3.9	ภาพรวมการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วย	46
4.1	กราฟจุดคุ้มทุนของผลิตภัณฑ์ Heat sink 510	92
4.2	กราฟจุดคุ้มทุนของผลิตภัณฑ์ Flange final driven	92
4.3	กราฟจุดคุ้มทุนของผลิตภัณฑ์ Heat sink (main) 034	92
4.4	กราฟจุดคุ้มทุนของผลิตภัณฑ์ Hub front	93
4.5	ภาพรวมของแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการที่สร้างขึ้น	98
4.6	หัวเรื่องเพื่ออ่านรายละเอียดกระบวนการผลิต	98
4.7	ขั้นตอนและกรรมวิธีการผลิตของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว	99
4.8	ขั้นตอนและกรรมวิธีการผลิตของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง	100
4.9	หน้าต่างรับข้อมูลระดับการทำงานของพนักงาน	101
4.10	หน้าต่างรับข้อมูลเวลาสูญเสียจากการดำเนินงาน	102
4.11	หน้าต่างรับข้อมูลจำนวนพนักงานฝ่ายบริหาร	102
4.12	หน้าต่างรับข้อมูล	**ผิดพลาด! ไม่ได้กำหนดที่คั่นหน้า**
4.13	ผลลัพธ์แบบจำลองเบื้องต้น	104
4.14	ผลลัพธ์แบบจำลอง	105

รายการภาพประกอบ

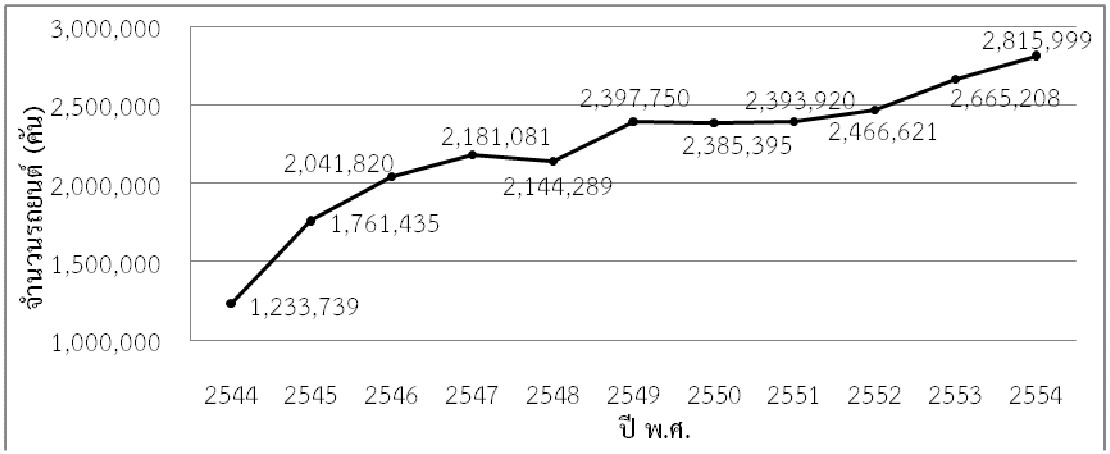
ภาพประกอบ		หน้า
4.15	เรียกเครื่องมือเพื่อติดตั้งแมโคร	106
4.16	ติดตั้งแมโคร	106
4.17	เปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยระหว่างต้นทุนจากโรงงานกรณีศึกษา	112
4.18	การเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วย 3 เงื่อนไข	113
4.19	แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยระหว่างสองกระบวนการ	118
4.20	แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยโดยแยกต้นทุนแต่ละชนิด	119
4.21	แผนภูมิวงกลมแสดงสัดส่วนการลดลงของต้นทุนแต่ละชนิด	121
4.22	กราฟแสดงต้นทุนต่อหน่วยที่ลดลงเมื่อรอบเวลาการผลิตเปลี่ยนแปลง	124
4.23	กราฟแสดงต้นทุนต่อหน่วยที่ลดลงเมื่ออัตราการเกิดของเสียเปลี่ยนแปลง	125
4.24	กราฟแสดงต้นทุนต่อหน่วยที่ลดลงเมื่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์เปลี่ยนแปลง	125
5.1	แผนผังแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองต้นทุน	129

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

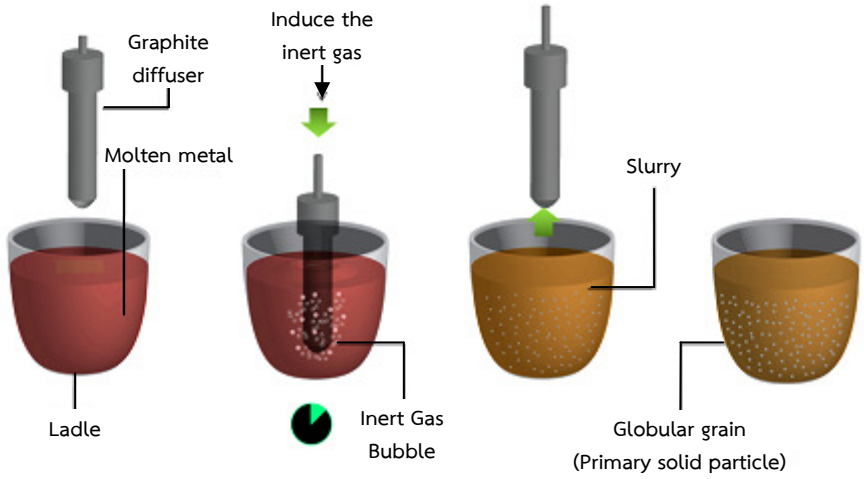
ปัจจุบันความต้องการของชิ้นส่วนอุตสาหกรรมที่ผลิตจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว (Liquid Die Casting process, LDC) มีสูงมากจากการใช้ชิ้นส่วนหล่อฉีดอะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมยานยนต์ เนื่องจากมีน้ำหนักเบาจึงสามารถลดน้ำหนักของรถและประหยัดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้ [1] ประกอบกับรัฐบาลได้กำหนดนโยบายสนับสนุนส่งเสริมอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน เพื่อให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนของเอเชีย จึงส่งผลให้อุตสาหกรรมยานยนต์ขยายตัวเพิ่มขึ้น [2] ดังภาพประกอบ 1.1



ภาพประกอบ 1.1 ยอดขายรถยนต์ของประเทศไทย จาก ปี พ.ศ. 2544-2554 [3]

จากภาพประกอบ 1.1 แสดงให้เห็นว่า อุตสาหกรรมยานยนต์ของประเทศไทยมีแนวโน้มจะขยายตัวอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ภาวะการแข่งขันในอุตสาหกรรมหล่อฉีดโลหะมีเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการแข่งขันระหว่างคู่แข่งภายในประเทศหรือแม้กระทั่งคู่แข่งจากต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปิดการค้าเสรีทำให้ผู้ประกอบการต้องแข่งขันกันลดต้นทุนการผลิตลง ในขณะเดียวกันก็ต้องเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้นด้วย [4] สมาชิกสมาคมอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยมากกว่า 40% มองเห็นความสำคัญของกระบวนการหรือกรรมวิธีการผลิตใหม่ๆ เพื่อใช้เพิ่มขีดความสามารถด้านการผลิต กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Die Casting process, SSDC) จึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่ดึงดูดความสนใจของผู้ผลิตชิ้นส่วนในปัจจุบันเป็นอย่างมากเพราะสามารถตอบสนองความต้องการดังกล่าวข้างต้นได้ [5]

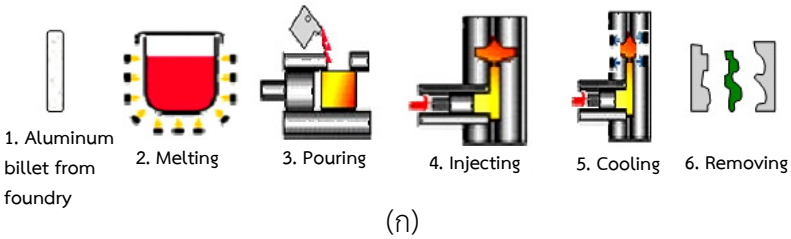
กระบวนการผลิตโลหะกึ่งของแข็งได้ค้นพบเป็นครั้งแรกในช่วงต้นปี ค.ศ. 1970 โดย Spencer และ Flemings ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งรัฐแมสซาชูเซตส์ (Massachusetts Institute of Technology, MIT) จนถึงปัจจุบันเป็นเวลามากกว่า 40 ปีแล้วที่ได้มีการศึกษา วิจัย และพัฒนากรรมวิธีการผลิตโลหะกึ่งของแข็งด้วยเทคนิคต่างๆ ตลอดเวลาที่ผ่านมา ซึ่งกระบวนการผลิตโลหะกึ่งของแข็งทำให้โลหะมีโครงสร้างเกรนที่ไม่เป็นแบบกิ่งไม้ (dendrite) เหมือนโลหะหล่อทั่วไป แต่จะทำให้โลหะมีโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลม (globular structure) โลหะกึ่งของแข็งมีลักษณะเด่นหลายประการ เช่น มีอุณหภูมิต่ำกว่าโลหะเหลว เริ่มมีการแข็งตัวบางส่วนขณะเทเข้าแม่พิมพ์จึงมีความหนืดที่สูงกว่าโลหะเหลว เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดข้อดีหลายประการต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น เพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ลดปัญหาโพรงหดตัวและรูพรุนช่วยให้คุณสมบัติเชิงกลสูงขึ้น ทั้งยังช่วยลดเวลาในการผลิต [6] เมื่อไม่นานมานี้ มีกระบวนการผลิตโลหะกึ่งของแข็งวิธีใหม่ที่คิดค้นโดยนักวิจัยชาวไทยจากภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และผู้ร่วมวิจัยจากประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อประยุกต์ใช้งานสำหรับการหล่อแบบต่างๆ กระบวนการนี้มีชื่อเรียกว่า กระบวนการผลิตโลหะกึ่งของแข็งโดยการพ่นฟองแก๊สขณะแข็งตัว (Gas Induced Semi-Solid Process, GISS) กลไกของกระบวนการนี้ใช้หลักการดูดระบายความร้อนเฉพาะจุดออกจากน้ำโลหะอย่างรวดเร็วเกิดขึ้นที่ผิวของแท่งกราไฟต์ในขณะที่แท่งกราไฟต์ถูกจุ่มอยู่ในน้ำโลหะ และในเวลาเดียวกันก็จะมีการปล่อยฟองแก๊สเฉื่อยละเอียดให้ไหลผ่านแท่งกราไฟต์ในปริมาณที่น้อยมากเพื่อเป็นตัวกลางในการกวน [7] ดังภาพประกอบ 1.2



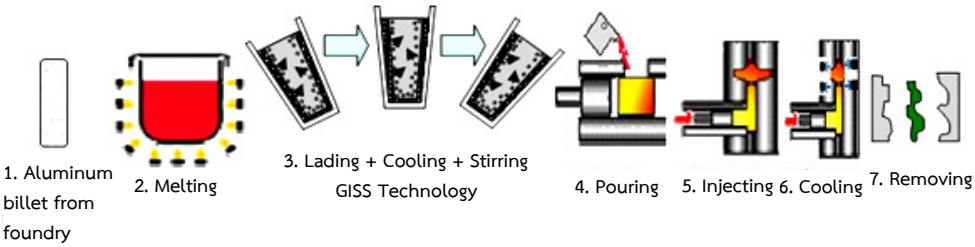
ภาพประกอบ 1.2 กรรมวิธีการผลิตโลหะกึ่งของแข็งด้วยกระบวนการ GISS [8]

แต่เนื่องจากกระบวนการ GISS นี้อยู่ในช่วงของการวิจัยและพัฒนา ยังไม่มีการนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งการพัฒนากระบวนการ GISS ให้สามารถประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรมได้ [1] จำเป็นต้องทราบถึงมูลค่าของต้นทุนการผลิตเพื่อให้การดำเนินธุรกิจเป็นไปอย่างราบรื่น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบเดิม (โลหะเหลว) กับกรรมวิธีแบบใหม่ (โลหะกึ่งของแข็ง) เพื่อทราบถึงตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อต้นทุนการ

ผลิตที่เกิดขึ้น เช่น ขนาดของผลิตภัณฑ์ เวลาที่ใช้ในการแข็งตัวของน้ำโลหะ และปริมาณการผลิตต่อปี เป็นต้น โดยกรรมวิธีการหล่อฉีดโลหะของทั้งสองกระบวนการ แสดงดังภาพประกอบ 1.3



(ก)

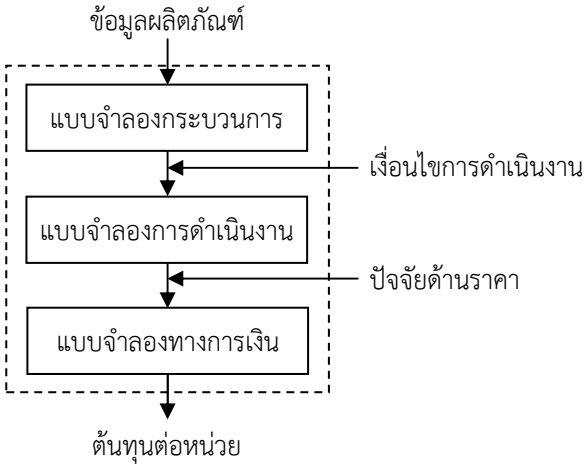


(ข)

ภาพประกอบ 1.3 กระบวนการหล่อฉีดโลหะ (ก) แบบโลหะเหลว และ (ข) แบบโลหะกึ่งของแข็ง [1]

เนื่องจากต้นทุนการผลิตเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการบริหารการผลิตซึ่งต้องดูแลด้านประสิทธิภาพ การวิเคราะห์ต้นทุนเพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างของต้นทุนการผลิต เป็นกระบวนการรวบรวม แจกแจง วิเคราะห์ และรายงานเกี่ยวกับการสะสมและจัดสรรค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นให้เป็นต้นทุนส่วนต่างๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการบริหารงาน ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ต้นทุนก็เพื่อควบคุมต้นทุนการผลิตโดยใช้เป็นข้อมูลทางการเงินในการประเมินผลและควบคุมการบริหารงาน ซึ่งจะช่วยให้สามารถกำหนดนโยบายทางการผลิตและทางการเงินได้

กระบวนการหล่อฉีดโลหะเป็นกระบวนการที่มีการผลิตหลายขั้นตอนและค่อนข้างมีความซับซ้อน แนวคิดหนึ่งที่มีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตชนิดนี้ เรียกว่า แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ (Process-Based Costing Model, PBCM) เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินและเปรียบเทียบต้นทุนกระบวนการผลิต เพื่อการตัดสินใจเลือกกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน [9] ถูกคิดค้นเมื่อประมาณ 20 ปีที่แล้ว โดยนักวิจัยสถาบันเทคโนโลยีแห่งรัฐแมสซาชูเซตส์ โครงสร้างของแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ แบบจำลองกระบวนการ แบบจำลองการดำเนินงาน และแบบจำลองต้นทุน [10] ดังภาพประกอบ 1.4 เป็นการวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตในแต่ละกระบวนการย่อยตามกรอบของแบบจำลองโดยอาศัยเงื่อนไขการดำเนินงาน และปัจจัยทางด้านราคาของวัตถุดิบที่นำมาประกอบการผลิต [11]



ภาพประกอบ 1.4 โครงสร้างของแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้แนวคิด PBCM มาสร้างแบบจำลองต้นทุนในการวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการผลิตที่มีการตัดสินใจระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เพื่อเป็นการนำเสนอทางเลือกให้กับอุตสาหกรรมหล่อฉีดโลหะ นั่นคือ กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง โดยใช้กรรมวิธี GISS ในการผลิตโลหะกึ่งของแข็ง

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการการหล่อฉีดโลหะ พบว่า กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งด้วยกระบวนการ GISS นั้น มีการศึกษาอยู่ในช่วงการวิจัยและพัฒนา ซึ่งมีการพัฒนากระบวนการ GISS อย่างต่อเนื่อง และศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตรวมถึงผลิตภัณฑ์ J. Wannasin and S. Thanabumrungkul [7] ได้พัฒนาเทคโนโลยีการหล่อฉีดโลหะให้สามารถใช้งานได้กับอะลูมิเนียมผสมเกรดต่างๆ อาทิ A356, Al-4.4%Cu และ ADC12 เป็นต้น และ S. Thanabumrungkul et al. [5] ได้นำโลหะอะลูมิเนียม A356 มาศึกษาอิทธิพลอัตราการไหลของแก๊ส การระบายความร้อนของแท่งกราไฟต์ และอุณหภูมิในการจุ่มแท่งกราไฟต์ โดยผลการทดลองชี้ให้เห็นว่ากลไกการเกิดเกรนก้อนกลมในกระบวนการ GISS เป็นการผลิตอนุภาคที่ละเอียดและมีปริมาณมากจากการปล่อยฟองแก๊สผ่านแท่ง กราไฟต์พรุน ต่อมา R. Burapa et al. [6] ได้นำโลหะอะลูมิเนียมชนิดเดียวกันมาศึกษาถึงผลของอุณหภูมิน้ำโลหะก่อนจุ่มแท่งกราไฟต์และระยะเวลาที่ใช้ในการจุ่มแท่งกราไฟต์เพื่อพ่นฟองแก๊ส ซึ่งผลจากการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการจุ่มแท่งกราไฟต์ที่ส่งผลต่อการเกิดสัดส่วนของแข็งและโครงสร้างทางจุลภาคที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปในลักษณะต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็งแบบอัตโนมัติ จากนั้น J. Wannasin et al. [12] ได้พัฒนา

กระบวนการ GISS ให้สามารถใช้งานได้กับกระบวนการหล่อฉีด กระบวนการหล่ออัดและกระบวนการอื่นๆ ธเนศ รัตโนชัยกุล [8] จึงได้ทำการศึกษาการอัดรีดขึ้นรูปอะลูมิเนียมในสถานะกึ่งของแข็งโดยทำการควบคุมตัวแปรต่างๆ เช่น ความเร็วในการอัดรีดขึ้นรูป เป็นต้น พบว่า สามารถลดการใช้แรงอัดและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอัดรีดมีความสม่ำเสมอตลอดความยาวจึงส่งผลให้มีคุณสมบัติเชิงกลค่อนข้างสูง นอกจากนั้น R. Burapa et al. [13] ได้พัฒนากระบวนการ GISS โดยนำไปใช้กับโลหะผสมต่างๆ เช่น ซิลิกอน, แมกนีเซียม และเหล็ก เพื่อรองรับการประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรมต่อไปอีกด้วย

เมื่อมีเทคโนโลยีใหม่เกิดขึ้น นอกจากจะให้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูงกว่าแล้ว ต้นทุนก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการตัดสินใจในการเลือกเทคโนโลยี พบว่า การวิเคราะห์ต้นทุนกระบวนการผลิตส่วนใหญ่เป็นระบบการวิเคราะห์ต้นทุนตามฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing, ABC) ซึ่ง M. C. Andrade et al. [14] ได้นำระบบ ABC ในการคำนวณหาต้นทุนโดยใช้ผลผลิต 2 ชนิดจากห้องปฏิบัติการเครื่องกลเป็นกรณีศึกษา พบว่า ระบบ ABC มีการวิเคราะห์ต้นทุนจากปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดต้นทุน จึงสามารถหาต้นทุนที่แท้จริงและลดต้นทุนลงได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ต้นทุนแบบดั้งเดิมซึ่งใช้วิธีการประเมินต้นทุนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต จากนั้น W. D. J. Cotton et al. [15] ได้สำรวจการนำระบบ ABC มาประยุกต์ใช้ในประเทศนิวซีแลนด์และประเทศอังกฤษ พบว่าบริษัทในอุตสาหกรรมต่างๆ ของประเทศอังกฤษได้นำระบบ ABC มาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายมากกว่าประเทศนิวซีแลนด์ เนื่องจากนิวซีแลนด์เป็นประเทศที่มีขนาดเล็กการแข่งขันทางอุตสาหกรรมมีไม่มากนัก แต่ในทางกลับกันระบบ ABC ในประเทศนิวซีแลนด์มีความละเอียดและซับซ้อนมากกว่า จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ามีการใช้ระบบ ABC ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างแพร่หลาย ทั้งนี้ S. Suthummanon et al. [16] ได้ประยุกต์ใช้ระบบ ABC ในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพารา เพื่อให้ทราบถึงต้นทุนที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์ เมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนที่ได้จากระบบ ABC และต้นทุนแบบดั้งเดิมของโรงงาน พบว่า การวิเคราะห์ต้นทุนแบบเดิมมีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นจากต้นทุนที่แท้จริงประมาณ 10% เมื่อนำระบบ ABC มาวิเคราะห์ต้นทุนทำให้ต้นทุนมีความแม่นยำมากขึ้นและพบว่าต้นทุนลดต่ำลง ดังนั้นทางโรงงานจึงมองเห็นผลกำไรมากขึ้น นอกจากการใช้การวิเคราะห์ต้นทุนตามฐานกิจกรรมแล้ว ยังมีการสร้างเป็นแบบจำลองต้นทุนมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนด้วย อาทิเช่น Y. M. Chen and J. J. Liu [17] ได้พัฒนาแบบจำลองต้นทุนที่มีรายละเอียดเกี่ยวกับต้นทุนแต่ละชนิด เพื่อแสดงให้เห็นภาพความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต้นทุนและกิจกรรมที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ฉีดขึ้นรูปรวมไปถึงความสัมพันธ์กับรูปร่างของชิ้นงาน และ R. J. Urbance [18] ได้กล่าวถึงแบบจำลองต้นทุนชิ้นส่วนที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อฉีดโดยเลือกใช้วัสดุระหว่างอะลูมิเนียมและแมกนีเซียม พบว่า แมกนีเซียมมีต้นทุนต่อชิ้นสูงกว่าแต่ชิ้นส่วนรถยนต์ที่ทำจากแมกนีเซียมมีน้ำหนักต่ำกว่า รวมถึง E. M. Shehab and H. S. Abdalla [19] ได้พัฒนาระบบแบบจำลองต้นทุนกระบวนการตกแต่งด้วยเครื่องจักร (machining) โดยหลักการในการค่าหาต้นทุน ฟังก์ชันหลักของระบบนอกเหนือจากการประมาณต้นทุนผลิตภัณฑ์คือการวางแผนกระบวนการเริ่มต้น รวมถึงการเลือกกระบวนการตกแต่งด้วยเครื่องจักร และเลือกพารามิเตอร์ เพื่อให้รับกับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น

แต่การวิเคราะห์ต้นทุนตามฐานกิจกรรมเหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนมากนัก จึงไม่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมหล่อฉีดโลหะ C. Bloch and R. Ranganathan [20] ได้นำเสนอแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้เป็นกลยุทธ์ในการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์และประเมินค่าในรูปแบบที่แตกต่างกันของอุปกรณ์ แนวคิดการออกแบบเป็นการวิเคราะห์ต้นทุนทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เริ่มต้นสร้างผลิตภัณฑ์จนกระทั่งประกอบชิ้นส่วนเสร็จสมบูรณ์ และทดสอบมาตรฐานโดยการประเมินทางเลือก และ E. R. H. Fuchs et al. [11] ทำการศึกษาการเกิดต้นทุนในการผลิตของ Monolithic Integration ขนาด 1,550 nm DFB laser และการปรับการดูดซึมทางไฟฟ้าบน InP platform โดยใช้ PBCM เนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนและอุปกรณ์ที่ผลิตได้มีความล้มเหลวสูงไม่เป็นไปตามความต้องการทางเศรษฐกิจ จึงนิยามกระบวนการรวมเพื่อทดสอบเป็นเงื่อนไขลักษณะการดำเนินงานแต่ละขั้นตอน ในการศึกษาของงานวิจัยนี้เน้นไปที่ค่าใช้จ่ายรวม ด้วยความน่าสนใจของ PBCM นักวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีแห่งรัฐแมสซาชูเซตส์ได้คิดค้นโครงสร้างของ PBCM อย่างเป็นขั้นตอนและนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมต่างๆ โดย M. Johnson and R. Kirchain [9] ได้นำ PBCM มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบแผงคานรถยนต์ ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้องมีการประเมินค่าระหว่างประสิทธิภาพ คุณลักษณะ และค่าใช้จ่าย ซึ่งวัสดุทางเลือกมีบทบาทสำคัญในการตัดสินใจเกี่ยวกับกระบวนการ วัสดุมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์หลายด้าน จึงได้ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุและกระบวนการ และมีการออกแบบขั้นตอนผ่านการประยุกต์ใช้ PBCM ก่อนทำการผลิตจริง ในแบบจำลองจะแสดงผลการเลือกวัสดุและต้นทุนในการประกอบผลิตภัณฑ์ ในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุสำหรับการหล่อผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดที่แตกต่างกันคือ เหล็กและแมกนีเซียม และในปีเดียวกัน M. Johnson and R. Kirchain [21] ยังได้ทำการพัฒนาและประเมินค่าทั่วไปของผลิตภัณฑ์จากวัสดุทั้งสองชนิดโดยการประยุกต์ใช้ PBCM เพื่อตอบสนองความต้องการในลักษณะต้นทุนการแข่งขันโดยวัดผลกับเป้าหมายของการประเมินในการลดต้นทุน เครื่องมือการวิเคราะห์คือการวิเคราะห์ถดถอยแบบเชิงเส้นเพื่อแสดงให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายทั้งหมด ประหยัดค่าใช้จ่ายต่อชิ้นเท่าใด และการลงทุนการผลิตสามารถควบคุมต้นทุนได้ตามประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ จากการวิเคราะห์ทางการเงินและผลกระทบในเชิงเศรษฐศาสตร์จากการเปลี่ยนวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์ พบว่า การประกอบชิ้นส่วนจากการออกแบบวัสดุโดยใช้แมกนีเซียมให้ต้นทุนต่ำกว่าการประกอบชิ้นส่วนจากการออกแบบวัสดุโดยใช้เหล็กและมีผลกระทบต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์น้อยกว่าอีกด้วย นอกจากนั้น M. C. Nadeau et al. [22] ยังได้ใช้ PBCM ในการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการประกอบและการยึดเข้าด้วยกันของชิ้นงานในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยแสดงเป็นโครงสร้างต้นทุนที่มีผลกระทบในเชิงเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิต พบว่า ตัวแปรหลักที่มีผลกระทบต่อต้นทุนได้แก่ รอบเวลาการผลิต เวลาสูญเสียต่างๆ และอัตราการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิต

กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง โดยใช้กรรมวิธี GISS ในการผลิตโลหะกึ่งของแข็งเป็นเทคโนโลยีใหม่ยังไม่มีการวิเคราะห์ต้นทุน ถึงแม้ว่ามีผู้วิเคราะห์ต้นทุนหรือสร้างแบบจำลองต้นทุนสำหรับกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวไปบ้างแล้ว แต่ยังไม่มีการวิเคราะห์ต้นทุนหรือสร้างแบบจำลองต้นทุนในการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง นอกจากนั้นยังไม่มีการใช้ PBCM มาประยุกต์ใช้เปรียบเทียบระหว่างกระบวนการดังกล่าว

จากข้อมูลขั้นต้นเหล่านี้ หลักการของ PBCM เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ต้นทุนแบบที่มีการตัดสินใจในกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างมีความซับซ้อน และเป็นการวิเคราะห์ต้นทุนอย่างเป็นขั้นตอนทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์ต้นทุนน้อย งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้ PBCM ในการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ซึ่งผู้วิจัยคาดหวังว่า แบบจำลองต้นทุนที่พัฒนาขึ้นมาสามารถคำนวณต้นทุนได้รวดเร็วขึ้นและช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถนำข้อมูลต้นทุนที่ได้ไปใช้ในการตัดสินใจเลือกกระบวนการผลิตเพื่อเป็นการกำหนดกลยุทธ์อันจะนำไปสู่การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.3.1 ศึกษาต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมโดยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง

1.3.2 สร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ เมื่อมีการปรับขนาดชิ้นส่วนและจำนวนที่ผลิต เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

สร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบต้นทุนกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์สี่ชนิดที่แตกต่างกัน ระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแบบไม่อัตโนมัติ โดยใช้แนวคิดแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการมาสร้างเป็นแบบจำลองต้นทุนผ่านโปรแกรม Microsoft Office Excel 2007

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.5.1 ช่วยในการตัดสินใจเลือกกระบวนการที่เหมาะสมระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง

1.5.2 เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยใช้หลักการของ PBCM

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

2.1 กระบวนการหล่อฉีดโลหะ

2.1.1 กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว

กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว เป็นการหล่อโลหะโดยที่โลหะหลอมเหลวถูกนำเข้าสู่ช่องว่างภายในแบบหล่อด้วยแรงอัด และแรงอัดนี้ยังคงกระทำต่อโลหะภายในแบบหล่อในระหว่างการแข็งตัวของชิ้นงาน แบบหล่อมีอายุการใช้งานนาน ผลิตงานหล่อที่เป็นชนิดเดียวกันและมีจำนวนมาก การขึ้นรูปลักษณะนี้เหมาะกับงานขนาดเล็กที่ต้องการในปริมาณมาก รูปร่างไม่ซับซ้อน มีความสม่ำเสมอกันตลอด และหากเป็นงานที่ซับซ้อนมากค่าใช้จ่ายในการทำแบบหล่อจะสูงเกินไป ถ้าผลิตจำนวนน้อยจะทำให้ต้นทุนสูง เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตงานหล่อด้วยแบบทรายแล้วงานหล่อที่ได้จากแบบหล่อถาวรมีลักษณะขนาดและคุณภาพสม่ำเสมอ เที่ยงตรง ผิวเรียบและมีคุณสมบัติทางกลดีกว่า [23] สำหรับข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว ดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว [24]

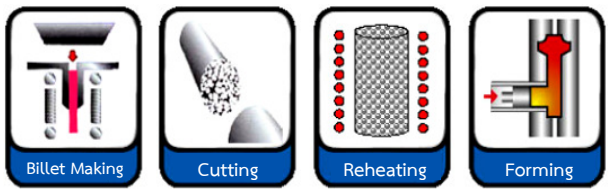
ข้อดี	ข้อจำกัด
1. ขนาดเที่ยงตรงทำให้ทราบปริมาณโลหะใช้งานที่แน่นอน 2. อัตราการผลิตสูง มีจำนวนการผลิตสูงสุดในช่วง 1,000-20,000 ชิ้นต่อหนึ่งหน่วยอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ 3. ชิ้นงานที่ได้มีผิวเรียบสวยงาม ซึ่งเป็นการลดขั้นตอนในการเคลือบผิวหรือทำผิวสำเร็จ	1. เกิดการหดตัวของชิ้นงานจากการลดลงของอุณหภูมิสำหรับชิ้นงานที่มีสัมประสิทธิ์การหดตัวสูง ต้องรีบนำออกจากแบบให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ เนื่องจากแบบไม่สามารถทนต่อการหดตัวของชิ้นงานหล่อได้ 2. เกิดโพรงอากาศและโพรงหดตัวในชิ้นงาน ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากน้ำโลหะเข้าในแม่พิมพ์ที่ปั่นป่วน เนื่องจากชิ้นงานหล่อมีความหนาไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้ชิ้นงานมีสมบัติเชิงกลไม่ดี

2.2.2 กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง

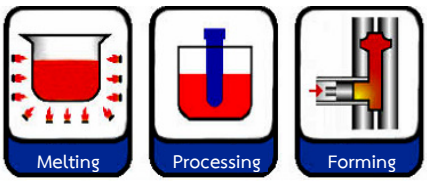
กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะในสภาวะกึ่งของแข็งของเหลว เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างใกล้เคียงกับแบบที่ต้องการ โลหะกึ่งของแข็งนี้มีพฤติกรรมการไหลตัว (fluidity behavior) ที่ดี จากการควบคุมโครงสร้างส่วนที่แข็งตัวมีลักษณะค่อนข้างกลมไม่เป็นแบบกิ่งไม้ [25] ซึ่งทำให้โลหะกึ่งของแข็งมีพฤติกรรมการไหลตัวคล้ายของเหลว เมื่ออัดโลหะกึ่งของแข็งเข้าแม่พิมพ์ ในลักษณะเช่นเดียวกับกระบวนการขึ้นรูปแบบหล่อฉีดแบบ

ของเหลว ชิ้นงานที่ได้มีผิวสำเร็จของชิ้นงานที่ดี มีคุณสมบัติทางกลที่ดีกว่าชิ้นงานที่มีโครงสร้างแบบกิ่งไม้ เนื่องจากสามารถลดปริมาณการหดตัวที่เกิดขึ้นในโครงสร้างแบบกิ่งไม้ กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งเป็นเทคนิคที่จะช่วยลดปัญหาการเกิดโพรงอากาศและโพรงหดตัว เพื่อทำให้ชิ้นงานหล่อมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการหล่อฉีดแบบธรรมดา [26]

วิธีการผลิตโลหะกึ่งของแข็งที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีสองวิธี ได้แก่ กรรมวิธี Thixocasting และ กรรมวิธี Rheocasting ดังภาพประกอบ 2.1 ในช่วงแรกของการประยุกต์ใช้โลหะกึ่งของแข็งในอุตสาหกรรมหล่อฉีดโลหะจะทำโดยกรรมวิธี Thixocasting ซึ่งหลักการคือ การใช้แท่งโลหะที่มีโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลม ทำให้ร้อนถึงอุณหภูมิสภาวะกึ่งของแข็งแล้วฉีดเข้าแม่พิมพ์ ถึงแม้ว่าชิ้นงานที่ได้จะมีคุณสมบัติที่ดีแต่ก็ยังมีข้อเสียอยู่ คือ ราคาต้นทุนของแท่งโลหะสูง และเศษโลหะที่เหลือจากระบบทางวิ่งและทางเข้า ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เป็นผลทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง ด้วยข้อจำกัดของกรรมวิธี Thixocasting การวิจัยและพัฒนาจึงเปลี่ยนไปเป็นการมุ่งใช้กรรมวิธี Rheocasting แทน ซึ่งกรรมวิธี Rheocasting เป็นกระบวนการที่ผลิตน้ำโลหะให้เป็นโลหะกึ่งของแข็ง โดยใช้แท่งโลหะที่ใช้ทั่วไปและสามารถนำเศษโลหะที่เหลือจากระบบทางวิ่งและทางเข้าหรือของเสียต่างๆ มาหลอมและผลิตเป็นโลหะกึ่งของแข็งเพื่อใช้ใหม่ได้ ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง [27]



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 2.1 กรรมวิธีการผลิตโลหะกึ่งของแข็ง
(ก) กรรมวิธี Thixocasting และ (ข) กรรมวิธี Rheocasting [28]

กระบวนการที่ใช้ผลิตโลหะแบบกึ่งของแข็งด้วยกรรมวิธี Rheocasting ในปัจจุบันมีอยู่หลายกระบวนการ เช่น

ก. The New Rheocasting process (NRC^{TM}) เป็นกรรมวิธี Rheocasting วิธีแรกที่ประดิษฐ์ขึ้นโดยบริษัท UBE Machinery (UBE Machinery, Inc.) ของประเทศญี่ปุ่น ใช้วิธีการเทน้ำโลหะอุณหภูมิต่ำลงในเบ้า (vessel) และควบคุมการเติบโตของของแข็งโดยการคุมการถ่ายเทความ

ร้อน จากนั้นเทอะลูมิเนียมกึ่งของแข็งในช่องกระบอกฉีดและอัดเข้าแม่พิมพ์ กระบวนการ NRC สามารถผลิตอะลูมิเนียมกึ่งของแข็งได้หลายชิ้นในเวลาอันสั้น โดยการมีเบ้าหลายชิ้นหมุนเวียนกันผลิตอะลูมิเนียมกึ่งของแข็ง

ข. The Sub Liquidus Casting process (SLC^{TM}) เป็นเทคโนโลยีของบริษัท THT Presses ประเทศสหรัฐอเมริกา หลักการของกระบวนการ SLC เป็นการเทน้ำโลหะที่มีอุณหภูมิต่ำใกล้จุดหลอมเหลวและเติม grain refiner เพื่อทำให้เกรนละเอียดขึ้น

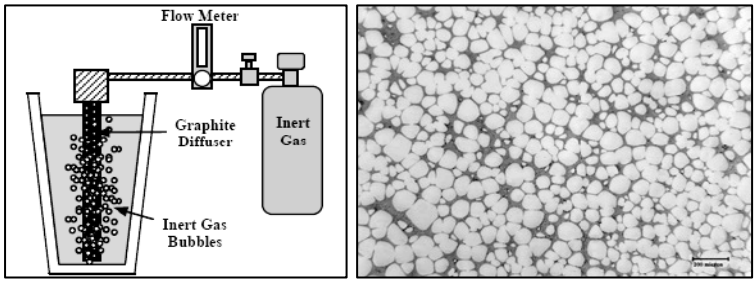
ค. The Slurry-on-Demand process (SoD) ของบริษัท Mercury Casting ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้แรงแม่เหล็กไฟฟ้าจากมอเตอร์ในการกวนน้ำโลหะขณะที่กำลังแข็งตัวในเบ้ากราไฟต์

ง. The Hitachi process ของบริษัท Hitachi ประเทศญี่ปุ่น ผลิตโลหะกึ่งของแข็งโดยการใช้แรงแม่เหล็กไฟฟ้าในการกวนน้ำโลหะที่กำลังแข็งตัวในกระบอกฉีด

จ. The Semi-Solid Rheocasting (SSR^{TM}) เป็นผลจากการวิจัยของนักวิจัยที่ MIT โดยการใช้แท่งกราไฟต์ทำหน้าที่ระบายความร้อนหมุนลงในน้ำโลหะในเวลาอันสั้นเพื่อสร้างเกรนแบบก้อนกลมอย่างมีประสิทธิภาพ

ฉ. The Honda process ของบริษัท Honda ประเทศญี่ปุ่น ผลิตโลหะกึ่งของแข็งโดยใช้แท่งของแข็งหมุนในน้ำโลหะเพื่อให้เกิดการกวน [28]

นอกจากนี้ยังมีอีกหลายวิธีที่อยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำไปสู่เชิงพาณิชย์ในอุตสาหกรรม กระบวนการ GISS ก็เป็นกระบวนการใหม่กระบวนการหนึ่งในการผลิตโลหะกึ่งของแข็งแบบ Rheocasting ใช้ในการสร้างสเลอร์รี่กึ่งของแข็ง (semi-solid slurry) โดยกระบวนการนี้ใช้การพ่นฟองแก๊ส เช่น แก๊สอาร์กอน แก๊สไนโตรเจน ผ่านแท่งกราไฟต์พรุนในปริมาณที่น้อยมากให้ไหลลงไปในน้ำโลหะเพื่อผลิตโลหะกึ่งของแข็ง โดยใช้หลักการการเคลื่อนย้ายน้ำโลหะและการดูดความร้อนเฉพาะจุด ซึ่งวิธีการนี้ฟองแก๊สจะเป็นตัวกลางในการกวนและแท่งกราไฟต์พรุนจะเป็นตัวดูดระบายความร้อน กรรมวิธีผลิตโลหะกึ่งของแข็งด้วยกระบวนการ GISS และโครงสร้างเกรนแบบก้อนกลมที่สามารถผลิตได้ แสดงดังภาพประกอบ 2.2



(ก) (ข)

ภาพประกอบ 2.2 กรรมวิธีผลิตโลหะกึ่งของแข็ง
(ก) กระบวนการ GISS และ (ข) โครงสร้างเกรนแบบก้อนกลมที่ได้จากกระบวนการ GISS [29]

ประโยชน์และสิ่งที่ต้องคำนึงของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง แสดงดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 ประโยชน์และสิ่งที่ต้องคำนึงของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง [30]

ประโยชน์	สิ่งที่ต้องคำนึง
1. สามารถแยกชิ้นงานที่จะหล่ออัดขึ้นรูปกับชิ้นงานที่ทำการให้ความร้อนออกจากกันได้ คือสามารถแยกชิ้นงานแต่ละกระบวนการได้ 2. ความเร็วในการฉีดต่ำกว่าการหล่อฉีดแบบของเหลว เพราะขณะอัดฉีดโลหะจะมีลักษณะคล้ายยางเหนียว มีความยืดหยุ่น ดังนั้นการสึกกร่อนของอุปกรณ์จึงน้อยกว่า 3. แก๊สที่เกิดภายในจะถูกระบายออกจากชิ้นงานมาอยู่บริเวณส่วนหน้าของแท่งโลหะ ทำให้ไม่มีโพรงอากาศภายในชิ้นงาน อัตราการเกิดของเสียจึงลดลง 50% เมื่อเปรียบเทียบกับการหล่อฉีดแบบของเหลว 4. ขณะแข็งตัวการหดตัวจะน้อยมาก โดยเฉพาะเมื่อสภาพของแข็ง 60% การหดตัวจะลดลงมากเกือบเท่าชิ้นงานจริง	1. การออกแบบแม่พิมพ์ สิ่งสำคัญในการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับโลหะกึ่งของแข็งก็คือระบบทางวิ่งและทางเข้า รูปแบบระบบทางวิ่ง เช่น ขนาดความยาว ความกว้าง มีผลต่อการไหลของโลหะเข้าในแม่พิมพ์ ถ้าระบบทางวิ่งมีระยะทางที่สั้นและกว้างจะช่วยให้การไหลและการเติมโลหะดีกว่า เนื่องจากการมีแรงต้านการไหลต่ำกว่าการมีระบบทางวิ่งที่มีระยะทางยาวและแคบ ทางเข้าจะต้องหนาเกือบเท่าความหนาของชิ้นงาน และความเร็วที่ทางเข้าต้องไม่เกิดการไหลแบบปั่นป่วน เพื่อช่วยลดการเกิดโพรงอากาศและโพรงหดตัว 2. อุณหภูมิของแม่พิมพ์ในการหล่อฉีดโลหะกึ่งของแข็งสูงประมาณ 300-400 ºC เพื่อไม่ให้โลหะแข็งตัวก่อนการไหลเข้าเต็มแบบ การใช้ vents และ overflows ทำหน้าที่ในการไล่อากาศ บริเวณที่กักเก็บของเสีย เช่น ฟิล์มออกไซด์ และสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ที่ผสมอยู่ในโลหะ ทั้งยังช่วยลดจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน

2.2 การศึกษาเวลาการผลิต

การศึกษาเวลาการผลิต เป็นการหาเวลาที่เป็นมาตรฐานในการทำงานใช้ในการวัดผลงานเป็นเวลาที่ทำงานได้ ผลที่ได้จากการศึกษาเวลา คือ เวลามาตรฐาน (standard time) [31] การหาเวลามาตรฐานมีดังนี้

2.2.1 รอบเวลาการผลิต (cycle time)

รอบเวลาการผลิต หมายถึง เวลาที่พนักงานใช้ในการดำเนินการผลิตตามที่รับผิดชอบ ซึ่งเริ่มนับตั้งแต่จุดเริ่มต้นของงานนั้นไปจนถึงเวลาที่กลับมาตั้งต้นเพื่อจะเริ่มทำการผลิตในรอบต่อไป [32] การหารอบเวลาการผลิต แบ่งออกเป็น 4 วิธีการ ดังนี้

2.2.1.1 การหารอบเวลาการผลิตโดยตรง เป็นการจับเวลาพนักงานโดยนาฬิกา ทั้งนี้ต้องมีการคำนวณจำนวนครั้งในการจับเวลา แล้วจึงนำมาหาเวลาทำงานปกติ (normal time) และเวลามาตรฐานต่อไป

2.2.1.2 การสุ่มงาน เป็นการศึกษาเวลาเพื่อให้ได้เวลามาตรฐานจากการสุ่มจับเวลาการทำงานจริงของพนักงานในสายการผลิต

2.2.1.3 การหารอบเวลาการผลิตจากมาตรฐานและสูตร เป็นการศึกษาเวลาที่ใช้ข้อมูลเวลาที่จัดทำเป็นมาตรฐานของโรงงานนั้น รวมทั้งการคำนวณหาเวลาจากสูตรสำเร็จ

2.2.1.4 การหารอบเวลาการผลิตโดยระบบหาเวลาก่อนล่วงหน้า เป็นการหารอบเวลาเพื่อให้ได้เวลามาตรฐานจากการหาเวลาล่วงหน้าก่อนที่งานจะเกิดจริง [31]

การหารอบเวลาการผลิตของงานวิจัยนี้ เป็นการหารอบเวลาการผลิตก่อนที่งานจะเกิดจริงจากการคำนวณโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เนื่องจากในกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งโลหะกึ่งของแข็งมีการแข็งตัวแล้วบางส่วนทำให้เวลาในการแข็งตัวลดลง และส่งผลให้รอบเวลาการผลิตลดลงด้วย ซึ่งผลการวิจัยของบริษัท Mercury Casting ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้เครื่อง Slurry-on-Demand พบว่า รอบเวลาการผลิตลดลงกว่า 25% [33] ดังตาราง 2.3

ตาราง 2.3 การลดลงของรอบเวลาการผลิตของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว [1]

เวลาที่ลดลง	% เวลาที่ลดลงเมื่อเทียบกับกระบวนการแบบของเหลว
เวลาเท	80.0%
เวลาแข็งตัว	42.8%
เวลาพ่นน้ำสเปรย์หล่อลื่นและระบายความร้อน	34.3%

จากตาราง 2.3 การลดลงของรอบเวลาการผลิต ประกอบด้วย การลดเวลาในการเท เวลาในการแข็งตัวของน้ำโลหะ เวลาในการสเปรย์น้ำยาหล่อลื่นและระบายความร้อน โดยตัวแปรหลักของการลดเวลาคือเวลาในการแข็งตัว (solidification time) สามารถแสดงให้เห็นอย่างชัดเจน [34] การคำนวณเวลาในการแข็งตัว ดังสมการ 2.1 (สมมติให้ชิ้นงานมีการถ่ายเทความร้อนแบบ interface controlled และค่าของตัวแปรต่างๆ เป็นค่าของอะลูมิเนียม เกรด ADC 12 ซึ่งใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในงานวิจัยนี้)

$$T_f = \frac{\rho(H_f + C_p\Delta T)r}{H(T_m - T_0)} \quad (2.1)$$

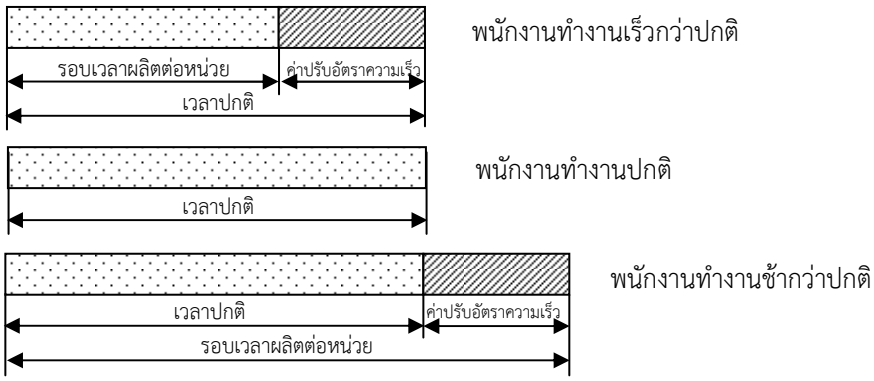
โดยที่ T_f แทน เวลาในการแข็งตัวของน้ำโลหะ (วินาที)
ρ แทน ความหนาแน่นของอะลูมิเนียม (2.823 g/cm^3)
H_f แทน ความร้อนแฝงในการแข็งตัว (389 J/g)
C_p แทน ความร้อนจำเพาะ (0.963 J/g°C)
ΔT แทน ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำโลหะเหนือจุดหลอมเหลวและอุณหภูมิหลอมเหลว (150 °C)
H แทน ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (92 W/m^2°C)
T_m แทน อุณหภูมิหลอมเหลว (700 °C)
T_0 แทน อุณหภูมิแม่พิมพ์ (250 °C)
r แทน ความยาวครึ่งหนึ่งของความหนาของชิ้นงาน (ซม.)

จากการคำนวณเวลาในการแข็งตัวของน้ำโลหะ สามารถใช้เวลาดังกล่าวเป็นตัวแปรหลักในการคำนวณรอบเวลาการผลิตของกระบวนการย่อยอื่นๆ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในบทที่ 4

2.2.2 เวลาปกติ (normal time)

เวลาปกติ หมายถึง เวลาการทำงานโดยเฉลี่ยที่อัตราความเร็วในการทำงานแบบปกติ และไม่มีปัจจัยใดเข้ามารบกวนให้ต้องหยุดพักหรือติดขัด

ในการทำงานพนักงานแต่ละคนมีความสามารถในการทำงานแตกต่างกันเวลาที่ได้จากการคำนวณรอบเวลาการผลิตอาจจะไม่ใช่เวลาที่แท้จริง โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาเมื่อพนักงานทำงานที่อัตราความเร็วแตกต่างกัน ดังภาพประกอบ 2.3



ภาพประกอบ 2.3 เปรียบเทียบเวลาเมื่อพนักงานทำงานที่อัตราความเร็วแตกต่างกัน [35]

ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์อัตราความเร็วในการทำงาน (rating factor) ระบบของอัตราการทำงาน เพื่อใช้ในการประเมินอัตราความเร็วในการทำงาน วิธีการประเมินอัตราความเร็วในการทำงาน ได้แก่ Skill & Effort Rating, Westinghouse system of Rating, Synthetic rating, Objective Rating, Physiological Evaluation of Performance Level, Performance Rating

ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์อัตราความเร็วในการทำงานตามวิธีของ Westinghouse system of rating โดยอาศัยองค์ประกอบ 4 อย่างช่วยพิจารณา คือ ความชำนาญ (skill) ความพยายาม (effort) สภาพการทำงาน (conditions) ความสม่ำเสมอ (consistency) เหตุผลที่เลือกใช้วิธีการ Westinghouse system of rating เพราะองค์ประกอบทั้ง 4 อย่างที่ใช้ประเมินการทำงาน สามารถประเมินได้ขณะบันทึกเวลาในการหารอบเวลาการผลิต [36] และคะแนนขององค์ประกอบต่างๆ แสดงดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 คะแนนองค์ประกอบในการวิเคราะห์อัตราความเร็วตามวิธีของ Westinghouse [36]

ความชำนาญ (skill)			ความพยายาม, ความตั้งใจ (effort)		
+0.15	A1	Superskill	+0.13	A1	Superskill
+0.13	A2		+0.12	A2	
+0.11	B1	Excellent	+0.10	B1	Excellent
+0.08	B2		+0.08	B2	
+0.06	C1	Good	+0.05	C1	Good
+0.03	C2		+0.02	C2	
0.00	D	Average	0.00	D	Average
-0.05	E1	Fair	-0.04	E1	Fair
-0.10	E2		-0.08	E2	
-0.16	F1	Poor	-0.12	F1	Poor
-0.22	F2		-0.17	F2	
เงื่อนไขในการทำงาน (conditions)			ความสม่ำเสมอ (consistency)		
+0.06	A	Superskill	+0.04	A	Superskill
+0.04	B	Excellent	+0.03	B	Excellent
+0.02	C	Good	+0.01	C	Good
0.00	D	Average	0.00	D	Average
-0.03	E	Fair	-0.02	E	Fair
-0.07	F	Poor	-0.04	F	Poor

การคำนวณเวลาปกติ สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.2

$$NT = CT \times RF \qquad (2.2)$$

โดยที่ NT แทน เวลาปกติ (วินาที)
CT แทน รอบเวลาการผลิต (วินาที/shot)
RF แทน คะแนนองค์ประกอบอัตราความเร็วตามวิธีของ Westinghouse

2.2.3 เวลามาตรฐาน

เวลามาตรฐาน เป็นการศึกษาเวลาในการทำงานเพื่อวัดปริมาณงานออกมาเป็นหน่วยของเวลา โดยการทำงานต่างๆ ต้องมีการหยุดพักหรือความล่าช้าเกิดขึ้น ดังนั้น การหาเวลามาตรฐานในการทำงานจึงต้องมีการเวลาเผื่อ (allowance) สำหรับกรณีต่างๆ ดังนี้

2.2.3.1 เวลาเผื่อสำหรับธุระส่วนตัว (personal allowance) คือ เวลาเผื่อให้พนักงานได้ทำภารกิจส่วนตัว เช่น ไปห้องน้ำ ล้างมือ พักดื่มน้ำ เป็นต้น ซึ่งแตกต่างกันสำหรับบุคคล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและชนิดของงานด้วย ปกติจะคิดเวลาเผื่อสำหรับธุระส่วนตัวให้ 2-5% ต่อการทำงาน 8 ชั่วโมง

2.2.3.2 เวลาเผื่อสำหรับความเมื่อยล้า (fatigue allowance) คือ เวลาเผื่อสำหรับความเหนื่อยล้าเนื่องจากการทำงาน เวลาเผื่อประเภทนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน ความแข็งแรงของพนักงาน ระยะเวลาในการทำงาน และสภาพแวดล้อมในการทำงาน เป็นต้น ปัจจุบันยังไม่มีค่ามาตรฐานของเวลาเผื่อประเภทนี้

2.2.3.3 เวลาเผื่อสำหรับความล่าช้า (delay allowance) แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

ก. แบบหลีกเลี่ยงได้ (avoidable delay) มักเกิดจากพฤติกรรมในการทำงาน เช่น การทำความสะอาด การเปลี่ยนเครื่องมือ เป็นต้น

ข. แบบหลีกเลี่ยงไม่ได้ (unavoidable delay) ซึ่งอาจเกิดได้ทุกขณะ เช่น เครื่องจักรเสีย วัสดุเสื่อมคุณภาพ เป็นต้น [37]

การคำนวณเวลามาตรฐานสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.3

$$ST = NT + (NT \times \%A) \quad (2.3)$$

โดยที่ ST แทน เวลามาตรฐาน (วินาที)
NT แทน เวลาปกติ (วินาที)
%A แทน เปอร์เซ็นต์เวลาเผื่อ

2.3 แนวคิดเกี่ยวกับต้นทุน

2.3.1 ความเป็นมาและความหมายของต้นทุน

การวิเคราะห์ทางการเงินจะช่วยให้กรอบงานโครงการทุกด้านได้รับการประเมินอย่างเป็นระบบ ผลการวิเคราะห์มีความสำคัญต่อผู้กำหนดนโยบายทางการเงินเพราะเป็นการชี้บ่งถึงความสมเหตุสมผลสำหรับการตัดสินใจที่จะรับหรือปฏิเสธโครงการ การประเมินต้นทุนและวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จึงสามารถช่วยให้เลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุดได้ [38] ต้นทุนเป็นมูลค่าของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตหรือการให้บริการ และเป็นส่วนหนึ่งที่เรียกว่ามูลค่าของปัจจัยนำเข้า (input value) ระบบต้นทุนเป็นเงินสดหรือค่าใช้จ่ายในรูปแบบอื่นที่จ่ายไปเพื่อจะได้มาซึ่งบริการหรือผลผลิตในทางธุรกิจ ต้นทุนคือค่าใช้จ่ายส่วนที่จ่ายไปเพื่อให้ได้ผลตอบแทนหรือรายได้ ต้นทุนจึงเป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจทางธุรกิจต่างๆ [39] แนวคิดในการวิเคราะห์ต้นทุนของโครงการปรากฏให้เห็นครั้งแรกปี ค.ศ.1884 ในบทความเรื่อง On the Measurement of the Utility of Public Works เขียนโดย J. Dupuit วิศวกรชาวฝรั่งเศส แต่การริเริ่มที่จะนำแนวคิดข้างต้นมาใช้อย่างจริงจังนั้นเริ่มขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ.1930 โดยเริ่มใช้กับโครงการพัฒนาแหล่งน้ำหลายโครงการ แต่วิธีการยังไม่มีแนวทางหรือหลักการที่แน่นอน ซึ่งแต่ละโครงการจึงมีวิธีการที่แตกต่างกันออกไป ในปี ค.ศ. 1950 Federal Inter-Agency River Basin Committee จึงได้ออกสมุดปกเขียวในการกำหนดแนวทางการวิเคราะห์ต้นทุนของโครงการเพื่อให้หน่วยงานต่างๆ ยึดถือปฏิบัติ หลังจากนั้นก็ได้รับความสนใจจากฝ่ายปฏิบัติและนักวิชาการมากขึ้นเรื่อยๆ มีการโต้แย้งทางวิชาการเกี่ยวกับวิธีการคิดหรือหลักปรัชญาเบื้องต้นหลังการคิดมูลค่าต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการในลักษณะต่างๆ ซึ่งปรากฏอยู่ในวารสารทางวิชาการมากมาย ในขณะที่การวิเคราะห์ต้นทุนนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศอังกฤษก็ได้เริ่มนำหลักการดังกล่าวไปใช้กับโครงการด้านการขนส่งตั้งแต่ปี ค.ศ.1960 เป็นต้นมา นักเศรษฐศาสตร์ในองค์กรการเงินระหว่างประเทศได้ให้ความสนใจเป็นพิเศษกับปัญหาความยากจนในประเทศด้อยพัฒนาและกำลังพัฒนา จึงพยายามผลักดันให้รัฐบาลของประเทศนั้นๆ ดำเนินนโยบายเศรษฐกิจอย่างมีแบบแผน รวมทั้งการให้จัดทำโครงการต่างๆ ทำให้การวิเคราะห์ต้นทุนโครงการในประเทศด้อยพัฒนาและกำลังพัฒนาเริ่มต้นขึ้น หลังจากนั้นก็มีการนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินโครงการในลักษณะต่างๆ อย่างแพร่หลาย [40]

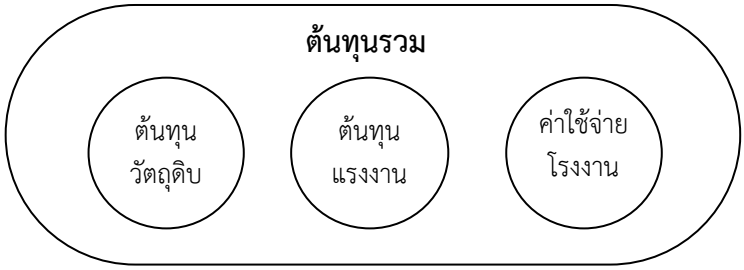
ต้นทุนมีความหมายแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะโครงการที่ทำการวิเคราะห์ ข้อมูลต้นทุนชุดเดียวกันไม่สามารถใช้กับวัตถุประสงค์ที่ต่างกันได้ จึงได้มีผู้ศึกษาและให้ความหมายไว้หลายอย่างแสดงดังตาราง 2.5

ตาราง 2.5 ความหมายของต้นทุน

ที่มา	ความหมาย
วรวรรณ บุณยะวันตัง [41]	จำนวนเงินที่จ่ายไปเพื่อใช้ในการผลิตทุกขั้นตอนตั้งแต่แปรสภาพวัตถุดิบจนเปลี่ยนสภาพเป็นสินค้าสำเร็จรูป
กังวาน ชยุติมันต์กุล [42]	ค่าใช้จ่ายที่จ่ายไปสำหรับปัจจัยทางการผลิตเพื่อให้เกิดผลผลิต และมีลักษณะที่ใช้จ่ายเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ถือเป็นสินทรัพย์ได้ เช่น วัสดุคงคลัง งานระหว่างทำ และสินค้าสำเร็จรูป
วัชระ วันมาละ [43]	มูลค่าทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการผลิตสินค้าซึ่งเป็นผลรวมขององค์ประกอบทั้งสามด้าน ได้แก่ วัตถุดิบ แรงงาน และค่าใช้จ่ายโรงงาน
อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์ [44]	มูลค่าของทรัพยากรที่กิจการสูญเสียไปเพื่อให้ได้สินค้าหรือบริการ โดยมูลค่านั้นจะต้องสามารถวัดได้เป็นหน่วยเงินตรา ซึ่งเป็นลักษณะของการลดลงในสินทรัพย์หรือเพิ่มขึ้นในหนี้สิน ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในปัจจุบันหรือในอนาคตก็ได้
D. Besanko, et al. [45]	มูลค่าของเงินที่สูญเสียไปในการผลิต และไม่สามารถจะนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้อีก
สมาคมนักบัญชีและผู้สอบบัญชีรับอนุญาตแห่งประเทศไทย [46]	รายจ่ายที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้มาซึ่งสินค้าหรือบริการ ซึ่งอาจจ่ายเป็นเงินสด สินทรัพย์อื่น หุ้นทุน การให้บริการ หรือการก่อหนี้ ทั้งนี้รวมถึงผลขาดทุนที่วัดค่าเป็นตัวเงินได้ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการได้มาซึ่งสินค้าหรือบริการ
หนังสือพิมพ์ BUSINESS THAI [47]	มูลค่าของทรัพยากร ซึ่งอาจจะได้แก่ เงินสด หรือแรงงานที่ต้องเสียไปเพื่อให้ได้สินค้านั้นมาขายไว้ในอนาคต
ธวัชชัย อร่ามดิลกรัตน์ [48]	รายจ่ายที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้ผลผลิตในรูปของสินค้าหรือบริการ ซึ่งในอนาคตผลผลิตดังกล่าวสามารถทำให้เกิดผลตอบแทนหรือรายได้กลับมา
นิติพล เกื้อกูล [49]	มูลค่าแลกเปลี่ยนที่ต้องชำระด้วยจำนวนเงินหรือด้วยความเสียสละที่บริษัทลงทุนไปเพื่อให้ได้มาซึ่งผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในอนาคต ซึ่งความเสียสละในที่นี้หมายถึง เงินสดหรือทรัพย์สินอื่นๆ ที่ต้องเสียไปทั้งในปัจจุบันหรือในอนาคต

2.3.2 องค์ประกอบของต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตหรือการบริการใดๆ มีองค์ประกอบต้นทุน 3 ส่วนหลัก คือ ต้นทุนวัตถุดิบ (material cost) ต้นทุนแรงงาน (labor cost) และค่าใช้จ่ายโรงงาน (overhead cost) ดังภาพประกอบ 2.4



ภาพประกอบ 2.4 องค์ประกอบของต้นทุนการผลิต

ต้นทุนทั้ง 3 ประเภทจะมีสัดส่วนมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของอุตสาหกรรมว่ามีการผลิตสินค้าหรือให้บริการในด้านใด เช่น อุตสาหกรรมการแปรรูปอาจมีต้นทุนวัตถุดิบมากที่สุด หรืองานหัตถกรรมอาจมีต้นทุนแรงงานมากที่สุด นอกจากนั้นต้นทุนแต่ละประเภทยังมีความสำคัญและสามารถจำแนกรายละเอียดของต้นทุนตามการใช้งานเพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมต้นทุนที่เกิดขึ้น โดยสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้ [50]

2.3.2.1 ต้นทุนวัตถุดิบ

วัตถุดิบจัดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างมากในกระบวนการผลิต โดยใช้เพื่อแปรรูปหรือเปลี่ยนรูปจากผลิตภัณฑ์เริ่มต้นให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ดังนั้นต้นทุนวัตถุดิบจึงเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นต้องพิจารณา โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่มีสัดส่วนของต้นทุนวัตถุดิบสูง ทั้งนี้เนื่องจากความสูญเสียที่เกิดจากปัญหาทางด้านวัตถุดิบจะมีผลกระทบมากขึ้นถ้าขาดการดูแลอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะประกอบด้วยวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตสินค้าหรือบริการโดยตรงสามารถคำนวณต้นทุนวัตถุดิบที่รวมอยู่ในการผลิตสินค้าหนึ่งหน่วยซึ่งถือเป็นต้นทุนทางวิศวกรรม (engineering cost) เรียกว่า ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง (direct material cost) และวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตสินค้าแต่จำนวนน้อยเป็นการยากที่จะทราบถึงปริมาณการใช้วัตถุดิบเหล่านี้ เรียกว่า ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม (indirect material cost) สามารถแบ่งประเภทวัตถุดิบออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

ก. วัตถุดิบการผลิต คือ วัสดุส่วนที่มีความสำคัญที่สุดในการผลิตมีการใช้งานต่อเนื่องในกระบวนการผลิต เช่น แท่งอะลูมิเนียม

ข. วัตถุดิบสนับสนุนหรือประกอบการผลิต คือ วัสดุที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิต เช่น สารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ค. วัตถุดิบส่งเสริมการผลิต คือ วัสดุที่ใช้ในการผลิต เช่น ฟลักซ์ ใส่เพื่อแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำโลหะ ซึ่งมีความจำเป็นในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเป็นวัสดุที่ทำให้การผลิตดำเนินต่อไป จึงถือว่าเป็นวัสดุส่งเสริมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ง. วัตถุดิบสิ้นเปลืองหรือวัตถุดิบใช้สอย คือ วัสดุประเภทที่ใช้แล้วเสียไปโดยไม่ก่อให้เกิดผลผลิต เช่น ถุงมือ ผ้าเช็ดมือ กระดาษชำระ หน้ากากอนามัย เป็นต้น

ดังนั้น กระบวนการควบคุมการใช้วัตถุดิบจึงประกอบไปด้วยการลดความสูญเสียของวัตถุดิบจากการผลิต การระวังรักษาวัตถุดิบประกอบการผลิต การประหยัดการใช้วัตถุดิบส่งเสริมการผลิต และการลดปริมาณวัตถุดิบสิ้นเปลือง ซึ่งข้อมูลที่ใช้ประกอบการตัดสินใจทั้งหมดนั้นจะเป็นข้อมูลที่ได้มาจากการวิเคราะห์ต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต อย่างไรก็ตามในงานให้บริการต้นทุนวัตถุดิบอาจมีเพียงวัตถุดิบส่งเสริมการผลิตและวัตถุดิบใช้สอยเท่านั้น

2.3.2.2 ต้นทุนแรงงาน

ต้นทุนแรงงาน จัดเป็นองค์ประกอบในการผลิตที่สำคัญไม่น้อยไปกว่าต้นทุนวัตถุดิบที่มีผลต่อต้นทุนผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่มีสัดส่วนของแรงงานในการผลิตที่สูงกว่าองค์ประกอบอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมที่ไม่สามารถใช้เครื่องจักรเป็นหลักในการดำเนินการผลิตได้ อุตสาหกรรมเหล่านี้จะต้องให้ความสนใจด้านการควบคุมต้นทุนแรงงาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับแรงงานจะมีผลต่อต้นทุนการผลิตรวม ปัญหาที่เกิดจากแรงงานจะต้องได้รับการดูแลและจัดการให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด โดยทั่วไปต้นทุนแรงงาน ประกอบด้วยต้นทุนแรงงานทางตรง (direct labor cost) เป็นค่าแรงงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้านั้นโดยตรง เช่น ค่าแรงงานพนักงานที่อยู่ในแผนกผลิต และต้นทุนแรงงานทางอ้อม (indirect labor cost) เป็นค่าแรงที่ไม่ได้ใช้หรือไม่ได้เกี่ยวข้องกับการผลิตโดยตรง เช่น เงินเดือนของพนักงานบัญชี ธุรการ เป็นต้น การควบคุมแรงงานให้มีประสิทธิภาพได้มีการจำแนกประเภทของแรงงานตามลักษณะของการผลิตและชนิดของงาน ดังนี้

ก. จำแนกตามหน้าที่ในองค์กร เช่น งานผลิต งานบำรุงรักษา งานบริหาร เพื่อแสดงให้เห็นว่าต้นทุนใดเป็นต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและเพื่อให้ทราบว่าต้นทุนแรงงานนั้นๆ เป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ซึ่งถือเป็นสินทรัพย์หมุนเวียนและต้นทุนแรงงานที่ไม่เกี่ยวกับโรงงานจะถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่ตัดไป

ข. จำแนกตามลักษณะการทำงานของแผนก เช่น แผนกเตรียมการผลิต แผนกผลิต แผนกตรวจสอบวัสดุ เป็นต้น การจำแนกต้นทุนแรงงานตามลักษณะการทำงานของแผนกจะช่วยให้ฝ่ายบริหารสามารถประเมินต้นทุนการดำเนินงานของแต่ละแผนกได้อย่างแม่นยำกว่าการจำแนกตามหน้าที่ในองค์กร

ค. จำแนกตามชนิดของงาน เช่น หัวหน้างาน พนักงาน การจำแนกตามชนิดของงานช่วยให้สามารถกำหนดอัตราค่าแรงงานให้เป็นไปตามความสำคัญและความจำเป็นของงานได้ นอกจากนี้ยังสามารถจัดทำมาตรฐานแรงงานตามประเภทของงานได้

ง. จำแนกตามความสัมพันธ์กับการผลิต เช่น แรงงานทางตรงและแรงงานทางอ้อม การจำแนกต้นทุนด้วยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับแบบจำลองการคิดต้นทุนของแต่ละหน่วยงาน เช่น ค่าแรงงาน

ตรวจสอบและขนย้ายวัสดุอาจจะถูกจัดว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับการผลิตและเป็นต้นทุนแรงงานทางตรง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะถือว่าเป็นแรงงานทางอ้อม

จะเห็นได้ว่า การจำแนกชนิดของต้นทุนแรงงานจะเป็นการจำแนกเพื่อสะท้อนต้นทุนแรงงานที่เกิดจากแรงงานแต่ละประเภท ข้อมูลในส่วนนี้จึงเป็นข้อมูลที่ผู้บริหารสามารถใช้ประกอบการตัดสินใจ ปรับลด โยกย้าย หรือตัดสินใจในการใช้เครื่องจักรแทนแรงงาน เป็นต้น

2.3.2.3 ค่าใช้จ่ายโรงงาน

ค่าใช้จ่ายโรงงานในการผลิต เป็นต้นทุนที่ใช้ในการแปลงสภาพวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปและไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณการผลิต ค่าใช้จ่ายโรงงานมีลักษณะคล้ายต้นทุนทางอ้อมที่ต้องมีการจัดสรรค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ การควบคุมค่าใช้จ่ายโรงงานจะใช้วิธีการควบคุมโดยการจำแนกประเภทของค่าใช้จ่ายโรงงานในการผลิต ดังนี้

ก. จำแนกตามวัตถุประสงค์ของต้นทุน แบ่งได้ 3 ประเภท คือ ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม ต้นทุนแรงงานทางอ้อม และค่าใช้จ่ายทั่วไปของโรงงาน ในส่วนนี้จะจำแนกในกรณีไม่สามารถระบุต้นทุนเข้ากับต้นทุนใดๆ ได้

ข. จำแนกเป็นค่าใช้จ่ายโรงงานการผลิตทางตรงและทางอ้อม ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม เช่น วัตถุดิบส่งเสริมการผลิต สารเคมีใช้ทำความสะอาด และวัสดุใช้สอยที่จำเป็นต่อการผลิต เป็นต้น ต้นทุนแรงงานทางอ้อม เช่น ค่าแรงงานแผนกบำรุงรักษา แผนกบุคคล ประชาสัมพันธ์ หรือค่าตอบแทนแรงงานเพื่อช่วยในการผลิตโดยไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตโดยตรง

ค. จำแนกตามค่าใช้จ่ายของโรงงานหรือของแผนกผลิต เช่น ต้นทุนบำรุงรักษา ต้นทุนด้านพลังงาน ค่าภาษีอากร ค่าสาธารณูปโภค ค่าประกันภัย หรือค่าใช้จ่ายใดๆ ที่เกิดขึ้นเพื่อประโยชน์ของส่วนรวมไม่เจาะจงที่ผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ โดยตรง

ง. จำแนกตามการคงที่และแปรผัน เช่น ค่าน้ำและค่าไฟฟ้าที่มีการแปรผันหากปริมาณการผลิตเปลี่ยนไป ซึ่งต่างกับค่าเช่าเครื่องจักรรายเดือนที่ไม่ว่าปริมาณการผลิตจะเปลี่ยนไปในทิศทางใดแต่ค่าเช่ารายเดือนนั้นก็จะไม่มีการปรับตามไปด้วย ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับต้นทุนแรงงานและต้นทุนวัตถุดิบที่มีทั้งส่วนคงที่และผันแปร

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายโรงงานเป็นส่วนที่ให้ความถูกต้องน้อยที่สุด โดยรวมถึงค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอในช่วงเวลาหนึ่งๆ มากกว่านั้นค่าใช้จ่ายโรงงานต่างๆ ไม่มีกฎเกณฑ์ในการคำนวณ ในทางปฏิบัติจึงใช้การประมาณการจนกว่าจะทราบค่าใช้จ่ายโรงงานที่เกิดขึ้นจริงเมื่อสิ้นงวดแล้วจึงทำการปรับตัวเลข

2.4 หลักการแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ

การวิเคราะห์ต้นทุนที่แตกต่างกันจะมีรูปแบบและลักษณะการประเมินต่างกัน การวิเคราะห์โครงการต่างๆ จึงมีลักษณะการวิเคราะห์แตกต่างกันออกไปซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ที่เหมาะสมกับโครงการและลักษณะปัญหาที่จะวิเคราะห์ ในการวิเคราะห์ต้นทุนถ้าใช้วิธีการวิเคราะห์ต้นทุนที่ไม่เหมาะสมจะทำให้การวิเคราะห์โครงการถูกบิดเบือนได้ [39] แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำมาสนับสนุนการตัดสินใจ เพื่อประเมินค่าทางเลือกในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน จากงานวิจัยจำนวนมากมีการดำเนินการตามเป้าหมายโดยการพยายามหาต้นทุนของผลิตภัณฑ์นั้นเพื่อวัตถุประสงค์หลายอย่าง แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการสร้างจากกระบวนการทำงานย้อนกลับจากต้นทุนเพื่อนำไปสู่เป้าหมายของแบบจำลอง นั่นคือ ตัวแปรทางกายภาพของข้อมูลป้อนเข้าในแบบจำลองที่สามารถควบคุมการออกแบบได้ [51] โดยแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการจะเกี่ยวข้องกับ (1) ผลกระทบจากตัวแปรทางกายภาพของต้นทุนที่แน่นอนซึ่งเกิดจากกระบวนการ เช่น รอบเวลาการผลิต ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ เป็นต้น (2) กระบวนการที่ส่งผลต่อจำนวนความต้องการของทรัพยากร เช่น จำนวนกิโลกรัมของวัสดุ จำนวนชั่วโมงทำงานของคน และจำนวนเครื่องมือเครื่องจักร และ (3) การเปลี่ยนแปลงความต้องการไปเป็นต้นทุน โดยดูจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางกายภาพและลักษณะกระบวนการ ซึ่งตัดสินใจผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ [52] การสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการจะรวมถึงการเตรียมวัตถุดิบ การทดสอบและกำจัดของเสีย โครงสร้างแบบจำลองตามกระบวนการ และสามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนสำคัญ ได้แก่

ก. แบบจำลองกระบวนการ ชิ้นส่วนต้องมีความสัมพันธ์กับกระบวนการ เช่น เวลาที่ใช้ในการออกแบบ รอบเวลาในการประกอบ เป็นต้น

ข. แบบจำลองการดำเนินงาน ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการดำเนินงาน เช่น จำนวนวันและชั่วโมงในการทำงาน จำนวนทรัพยากรที่ต้องการ เป็นต้น

ค. แบบจำลองต้นทุน ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขทางการเงิน และต้นทุนทรัพยากรที่ต้องการใช้ทั้งหมดในโครงการ เช่น ต้นทุนทรัพยากร อัตราดอกเบี้ย เป็นต้น

แบบจำลองตามกระบวนการจะแสดงให้เห็นถึงปริมาณการใช้วัสดุในแต่ละขั้นตอนและคำนวณต้นทุนของวัสดุที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนแล้วนำค่าใช้จ่ายทั้งหมดมาเป็นผลรวมของกระบวนการ [11] ข้อมูลป้อนเข้าของแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการแบ่งได้ออกเป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่ ส่วนของวัสดุและชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง กระบวนการที่เกี่ยวข้อง การดำเนินงาน และการเงิน [9] การประเมินต้นทุนของแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการของกระบวนการหล่อฉีดโลหะ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

ก. ต้นทุนทางตรง หมายถึง ต้นทุนของสิ่งของที่นำมาใช้ในการผลิตสินค้าหรือบริการโดยเฉพาะ ต้นทุนทางตรงประกอบด้วยต้นทุนต่างๆ ดังนี้

1) ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์นำมาใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญโดยตรง

2) ต้นทุนแรงงานทางตรง เป็นค่าแรงงานที่จ่ายให้แก่คนงานหรือลูกจ้างที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการผลิตโดยตรง เช่น คนงานที่ทำงานควบคุมเครื่องจักร เป็นต้น

ข. ต้นทุนทางอ้อม (indirect costs) หมายถึง ต้นทุนส่วนอื่นๆ ที่มีความจำเป็นต่อการประกอบธุรกิจ การวิเคราะห์ต้นทุนทางอ้อมประกอบด้วยต้นทุนต่างๆ ดังนี้

1) ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม หมายถึง วัตถุดิบที่เกี่ยวข้องทางอ้อมกับการผลิต

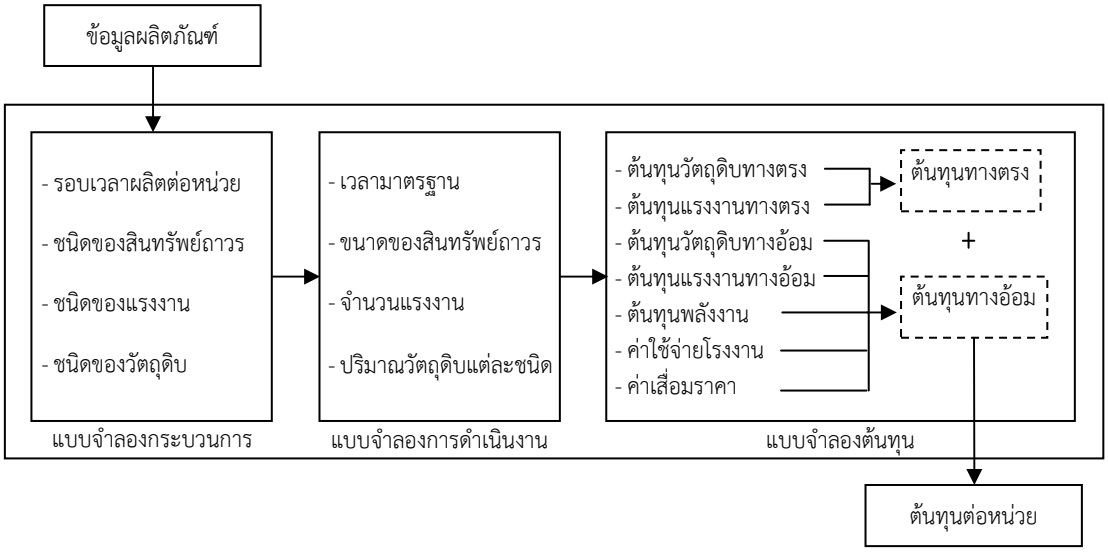
2) ต้นทุนแรงงานทางอ้อม หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากหน่วยงานสนับสนุน เช่น เงินเดือนผู้ควบคุมโรงงาน เงินเดือนเจ้าหน้าที่ เงินเดือนพนักงานตรวจสอบคุณภาพ เงินเดือนช่างซ่อมบำรุง ตลอดจนต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับคนงาน เช่น ค่าภาษีที่ออกให้ลูกจ้าง สวัสดิการต่างๆ เป็นต้น

3) ต้นทุนพลังงาน หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานเพื่อให้สิ่งใดสิ่งหนึ่งสามารถทำงานได้ เช่น แก๊สไนโตรเจน แก๊สเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น

4) ค่าใช้จ่ายโรงงาน เป็นผลรวมของค่าใช้จ่าย ค่าวัสดุทางอ้อม และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานในกิจกรรมสนับสนุนที่ไม่สามารถจัดสรรได้ ประกอบด้วย ค่าเอกสาร ค่าโทรศัพท์ อุปกรณ์สิ้นเปลืองต่างๆ ในสำนักงาน

5) ค่าเสื่อมราคา เป็นค่าใช้จ่ายที่ตัดจากมูลค่าของสินทรัพย์ที่กิจการใช้ประโยชน์ เพราะสินทรัพย์ประเภทอาคาร อุปกรณ์ เครื่องจักร ยานพาหนะ เป็นสินทรัพย์ที่มีไว้ใช้งานเป็นระยะเวลานานและมูลค่าสูง จึงการประมาณประโยชน์จากสินทรัพย์เหล่านี้เฉลี่ยเป็นค่าใช้จ่ายแต่ละงวด

เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ต้นทุน จึงแสดงภาพรวมของแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการของกระบวนการหล่อฉีดโลหะ ดังภาพประกอบ 2.5



ภาพประกอบ 2.5 โครงสร้างแบบจำลองตามกระบวนการของกระบวนการหล่อฉีดโลหะ

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตต่อปี สามารถคำนวณได้ ดังสมการ 2.4-2.6 และคำนวณต้นทุนต่อหน่วยได้จากผลหารของต้นทุนการผลิตต่อปีและปริมาณการผลิตต่อปีของผลิตภัณฑ์ [11] ดังสมการ 2.7

$$C_T = C_D + C_{IN} \quad (2.4)$$

$$C_D = (C_{DM} + C_{DL}) \times PV \quad (2.5)$$

$$C_{IN} = (C_{INM} + C_{INL} + C_E + C_{OH} + C_{DPT}) \times PV \quad (2.6)$$

$$U = \frac{C_T}{PV} \quad (2.7)$$

โดยที่ C_T แทน ผลรวมของต้นทุนทั้งหมด (บาท/ปี)
C_D แทน ผลรวมของต้นทุนทางตรง (บาท/ปี)
C_{IN} แทน ผลรวมของต้นทุนทางอ้อม (บาท/ปี)
C_{DM} แทน ต้นทุนวัตถุดิบทางตรงต่อหน่วย (บาท/หน่วย)
C_{DL} แทน ต้นทุนแรงงานทางตรงต่อหน่วย (บาท/หน่วย)
C_{INM} แทน ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมต่อหน่วย (บาท/หน่วย)
C_{INL} แทน ต้นทุนแรงงานทางอ้อมต่อหน่วย (บาท/หน่วย)
C_E แทน ต้นทุนพลังงานต่อหน่วย (บาท/หน่วย)
C_{OH} แทน ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่ไม่สามารถจัดสรรได้ของโรงงาน (บาท)
C_{DPT} แทน ค่าเสื่อมราคาของสินทรัพย์ถาวร (บาท)
PV แทน ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อ lot size (หน่วย/lot size)
U แทน ต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ (บาท/หน่วย)

เพื่อให้ง่ายในการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนระหว่างกระบวนการผลิต งานวิจัยนี้จึงสร้างเป็นแบบจำลองการวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการย่อยก่อนทำการผลิตจริง และเพื่อให้ทรัพยากรที่ถูกจัดสรรในองค์กรมีความสอดคล้องกับโครงสร้างของระบบเงินทุน การวิเคราะห์ต้นทุนของสินค้าหรือบริการ จึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต่อการดำเนินงาน เนื่องจากข้อมูลต้นทุนจะนำมาใช้ในการกำหนดกลยุทธ์ การตั้งราคาขาย การวางแผนกำไร การควบคุม และการตัดสินใจของผู้บริหารเพื่อความเป็นเลิศของธุรกิจ ดังนั้น การวิเคราะห์ต้นทุนให้ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในสภาพการแข่งขันทางธุรกิจในปัจจุบัน

2.5 การวิเคราะห์การลงทุน

การลงทุนกับธุรกิจ ผู้ประกอบการย่อมคาดหวังให้ธุรกิจประสบความสำเร็จได้รับเงินทุนคืนและมีผลกำไร แต่ละธุรกิจก็มีปัจจัยเสริมและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน อาจทำให้ผู้ประกอบการมีความสนใจในหลายทางเลือกซึ่งแต่ละทางเลือกก็มีความเสี่ยง ผู้ประกอบการจึงต้องพิจารณาตัดสินใจในการเลือกธุรกิจ ดังนั้นจึงได้พยายามหาสิ่งที่จะช่วยในการตัดสินใจเพื่อให้ได้รับผลตอบแทนสูงสุดโดยสิ่งที่จะช่วยในการตัดสินใจ คือการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ทางการเงิน เพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดกับสถานการณ์ ทรัพยากร และศักยภาพของธุรกิจในการสร้างกำไรสูงสุดให้แก่ธุรกิจ ดังต่อไปนี้

2.5.1 เงินลงทุน (investment cost)

เงินลงทุน เป็นเงินตราที่องค์การธุรกิจจัดหามาเพื่อนำมาใช้ในการดำเนินกิจการ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ผลตอบแทนจากการลงทุนอย่างคุ้มค่า มีความสำคัญต่อธุรกิจเพราะเป็นปัจจัยในการดำเนินธุรกิจ ตั้งแต่เริ่มตั้งกิจการ และระหว่างดำเนินกิจการ เงินทุนทำให้การผลิต การซื้อขายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและทำให้ธุรกิจขยายตัวได้อย่างรวดเร็ว [53] เงินลงทุน ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

2.5.1.1 ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน (pre-operating) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มก่อสร้างไปจนถึงก่อนเริ่มการผลิตสินค้าและบริการ

2.5.1.2 เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร (fixed asset investment) หมายถึง เงินลงทุนสินทรัพย์ที่กิจการมีไว้เพื่อที่จะใช้ผลิตสินค้าหรือบริการเพื่อที่จะก่อให้เกิดรายได้กับกิจการ ได้แก่ ค่าที่ดิน ค่าสิ่งก่อสร้างและเครื่องจักร ค่าครุภัณฑ์และอุปกรณ์ และค่ายานพาหนะ

2.5.1.3 เงินทุนหมุนเวียน (working capital) หมายถึง เงินทุนที่มีอยู่เพื่อใช้ในกิจกรรมการดำเนินงานปกติประจำวันของธุรกิจ อันได้แก่ การซื้อสินค้ามาขาย การจ่ายค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน การจ่ายชำระเจ้าหนี้ การขายสินค้า เป็นต้น ความต้องการเงินทุนหมุนเวียนมีมากหรือน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของธุรกิจ

2.5.2 ค่าเสื่อมราคา (depreciation)

ค่าเสื่อมราคา เป็นจำนวนเงินที่มูลค่าของสินทรัพย์ถาวรเสื่อมค่าลงอันเนื่องมาจากการใช้งานสินทรัพย์ถาวรนั้น ได้แก่ อาคาร โรงงาน เครื่องจักร ยานพาหนะ เป็นต้น ยกเว้น ที่ดินที่ไม่คิดค่าเสื่อมราคา เนื่องจากที่ดินเป็นสินทรัพย์ที่ไม่มีการเสื่อมสภาพและราคาที่ดินมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นตลอดเวลา ซึ่งวิธีคิดค่าเสื่อมราคามี 3 วิธี ดังนี้ [54]

2.5.2.1 วิธีเส้นตรง (straight line method) เป็นวิธีคิดค่าเสื่อมราคาโดยเฉลี่ยมูลค่าเสื่อมราคาของสินทรัพย์ ให้เป็นค่าเสื่อมราคาในแต่ละปีเท่าๆ กัน ตลอดอายุการใช้งานของสินทรัพย์ถาวรนั้นๆ สูตรในการคำนวณค่าเสื่อมราคาวิธีเส้นตรง ดังสมการ 2.8

$$DPT = \frac{(P - L)}{n} \tag{2.8}$$

โดยที่ DPT แทน ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)
P แทน เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร (บาท)
L แทน มูลค่าซากที่ปีสิ้นสุดอายุการใช้งาน (บาท)
n แทน อายุการใช้งาน (ปี)

2.5.2.2 วิธีอัตราเร่ง (accelerated method) ค่าเสื่อมราคาที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีนี้จะสูงกว่าปีหลังๆ วิธีนี้สามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ ยอดลดลงทวีคูณ และผลรวมจำนวนปี

ก. วิธียอดลดลงทวีคูณ (double declining balance method) ผลลัพธ์ค่าเสื่อมราคาจากวิธีนี้จะเป็น 2 เท่าของการคำนวณแบบเส้นตรง สูตรในการคำนวณค่าเสื่อมราคาวิธียอดลดลงทวีคูณ ดังสมการ 2.9

$$DPT = (\frac{100}{n} \times 2) \times P \tag{2.9}$$

โดยที่ DPT แทน ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)
n แทน อายุการใช้งาน (ปี)
P แทน เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร (บาท)

ข. วิธีผลรวมจำนวนปี (sum of the years digits method) สูตรในการคำนวณค่าเสื่อมราคาวิธีผลรวมจำนวนปี ดังสมการ 2.10

$$DPT = (P - L) \times \frac{2(n - X + 1)}{n(n + 1)} \tag{2.10}$$

โดยที่ DPT แทน ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)
P แทน เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร (บาท)
L แทน มูลค่าซากที่ปีสิ้นสุดอายุการใช้งาน (บาท)

n แทน อายุการใช้งาน (ปี)
X แทน ระยะเวลาใช้งาน (ปี)

การคำนวณค่าเสื่อมแบบอัตราเร่ง เหมาะสำหรับสินทรัพย์ที่ล้าสมัยเร็ว เนื่องจากเทคโนโลยี กิจการที่ได้กำไรมากในช่วงแรก และสินทรัพย์ถาวรของกิจการส่วนใหญ่ มีมูลค่าลดลงมากในช่วงแรกในการดำเนินกิจการ

2.5.2.3 วิธีที่คิดจากหน่วยผลผลิต (units of production) เป็นการคำนวณจำนวนผลผลิตที่ได้จากการใช้สินทรัพย์ถาวรนั้นๆ ดังสมการ 2.11

$$DPT = (P - L) \times \frac{PV}{UP} \tag{2.11}$$

โดยที่ DPT แทน ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)
P แทน เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร (บาท)
L แทน มูลค่าซากที่ปีสิ้นสุดอายุการใช้งาน (บาท)
PV แทน ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อ lot size (หน่วย/lot size)
UP แทน จำนวนผลผลิตทั้งหมด (หน่วย)

2.5.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ เป็นผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ หลักเกณฑ์การตัดสินใจ คือ หากมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวกจะยอมรับโครงการแต่ถ้ามีค่าเป็นลบจะปฏิเสธรับโครงการ [55] ทั้งนี้การหาค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ จะต้องปรับค่าของเงินที่จะได้ในอนาคตให้เป็นค่าในปัจจุบัน ดังสมการ 2.12

$$NPV = CF_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1 + r)^t} \tag{2.12}$$

โดยที่ NPV แทน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)
CF_0 แทน เงินลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการซึ่งมีค่าเป็นลบ (บาท)
CF_t แทน กระแสเงินสดสุทธิปีที่ t โดย t = 1, 2, 3, .., n (บาท)
t แทน ปีของโครงการ ตั้งแต่ ปีที่ 1 ถึงปีที่ n
n แทน อายุโครงการ (ปี)
r แทน อัตราคิดลด (%)

2.5.4 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return, IRR)

อัตราผลตอบแทนที่วิเคราะห์นี้ เป็นอัตราผลตอบแทนตลอดอายุโครงการการลงทุนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงินสดไหลเข้าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของเงินสดออก ซึ่งจะอยู่ที่ค่าของมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์ หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจจะพิจารณาค่าอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับผลตอบแทนขั้นต่ำที่ธุรกิจยอมรับได้ (The Minimum Attractive Rate of Return : MARR) ซึ่งประกอบด้วย อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ อัตราเงินเฟ้อ และอัตราความเสี่ยง ถ้าอัตราที่คำนวณได้มีค่าต่ำกว่าผลตอบแทนขั้นต่ำที่ธุรกิจยอมรับได้ควรปฏิเสธการลงทุน การหาค่าอัตราผลตอบแทนภายใน ดังสมการ 2.13

$$0 = CF_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} \qquad (2.13)$$

โดยที่ CF_0 แทน เงินลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการซึ่งมีค่าเป็นลบ (บาท)
CF_t แทน กระแสเงินสดสุทธิปีที่ t โดย t = 1, 2, 3, .., n (บาท)
t แทน ปีของโครงการ ตั้งแต่ ปีที่ 1 ถึงปีที่ n
n แทน อายุโครงการ (ปี)
IRR แทน อัตราผลตอบแทนภายใน (%)

2.5.5 ระยะเวลาคืนทุน (payback period)

ระยะเวลาคืนทุน เป็นการพิจารณาถึงระยะเวลาของโครงการที่จะได้รับผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานของโครงการเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการ หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ การเลือกการลงทุนโครงการที่มีระยะเวลาการคืนทุนที่ได้เร็วที่สุด แต่ทั้งนี้ต้องเร็วกว่าระยะเวลาการคืนทุนที่หน่วยธุรกิจจะสามารถรอคอยได้และยอมรับได้ ระยะเวลาที่กำหนดเป็นเกณฑ์เปรียบเทียบไว้นี้จะกำหนดจากระยะเวลาที่คาดหวังของหน่วยธุรกิจ โดยอาศัยค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการคืนทุนของธุรกิจประเภทนั้นเป็นเกณฑ์กำหนด [56] การคำนวณแบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

2.5.5.1 กรณีที่ 1 รายได้ที่คาดว่าจะได้รับต่อปีเท่ากันทุกปี ดังสมการ 2.14

$$PB = \frac{P}{A} \qquad (2.14)$$

โดยที่ PB แทน ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
P แทน เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร (บาท)

A แทน รายได้สุทธิที่คาดว่าจะได้รับต่อปี (บาท/ปี)

2.5.5.2 กรณีที่ 2 รายได้ที่คาดว่าจะได้รับไม่เท่ากันในแต่ละปี การคำนวณใช้การสะสมรายได้ที่ได้รับเข้ามาจนกว่าจะเท่ากับเงินลงทุน ดังสมการ 2.15

$$P = \sum_{t=1}^{PB} A_t \qquad (2.15)$$

โดยที่ PB แทน ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

P แทน เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร (บาท)

A_t แทน รายได้สุทธิที่คาดว่าจะได้รับในปีที่ t (บาท/ปี)

t แทน ปีของโครงการ ตั้งแต่ ปีที่ 1 ถึงปีที่ n

สำหรับงานวิจัยนี้ใช้การคำนวณแบบรายได้ที่คาดว่าจะได้รับไม่เท่ากันในแต่ละปี โดยการสะสมรายได้ที่ได้รับเข้ามาจนกว่าจะเท่ากับเงินลงทุน

2.5.6 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (sensitivity analysis)

ในการประเมินค่าโครงการ โดยเฉพาะสถาบันการเงินที่จะให้การสนับสนุนเงินกู้แก่โครงการหรือไม่นั้น มักจะมีการพิจารณาสถานการณ์แห่งความเสี่ยงและความไม่แน่นอนที่อาจมีผลกระทบต่อการดำเนินงานตามโครงการ ส่งผลให้เกิดความแปรปรวนในข้อกำหนดหรือเงื่อนไขซึ่งในที่สุดจะทำให้ต้นทุนหรือผลประโยชน์ของโครงการไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง การวิเคราะห์จึงได้มีการนำเอาความเสี่ยงและความไม่แน่นอนมาวิเคราะห์ด้วย โดยใช้การวิเคราะห์ความอ่อนไหวด้วยการเปลี่ยนข้อสมมติต่างๆ ไปในทิศทางที่คาดว่าอาจจะเกิดขึ้น แล้วทำการวิเคราะห์ผลตามข้อสมมติใหม่เพื่อตรวจดูว่าผลลัพธ์ที่ได้ยังคงเป็นที่ยอมรับได้อยู่อีกหรือไม่ การเลือกว่าจะเปลี่ยนข้อสมมติในเรื่องใดนั้น จะพิจารณาในข้อสมมติที่มีผลต่อการทำให้สถานการณ์ของโครงการต่ออยู่ในภาวะวิกฤตที่อาจจะเกิดการล้มเหลวหรือโครงการขาดทุนได้ ซึ่งสามารถแบ่งมุมมองกว้างๆ ออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

2.5.6.1 การเพิ่มขึ้นของต้นทุน เช่น ราคาที่ดินโครงการเพิ่มขึ้น ค่าเครื่องจักรแพงขึ้น อัตราค่าแรงงานในการผลิตเพิ่มขึ้น ปริมาณการผลิตสินค้าลดลง การขาดแคลนวัตถุดิบ ฯลฯ

2.5.6.2 การลดลงของรายได้ เช่น ราคาสินค้าขายลดลง มีหนี้สูญจากการเรียกเก็บเงินค่าสินค้าเงินเชื่ออันเกิดจากนโยบายลูกหนี้การค้าผิดพลาด การหดตัวของตลาดผู้ซื้อ ฯลฯ

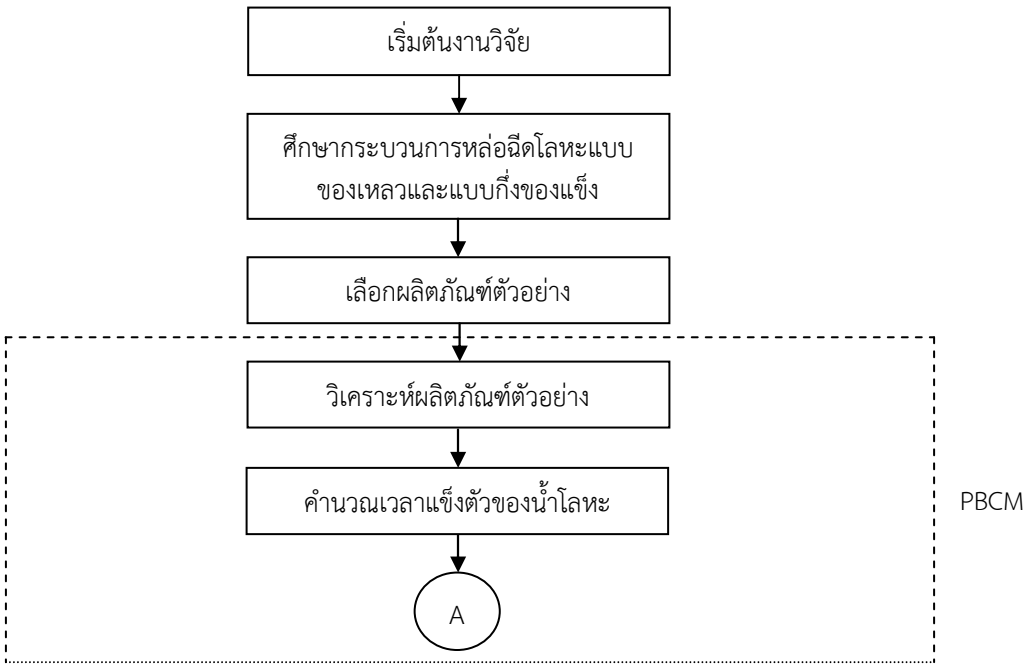
การคำนวณเพื่อวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการสามารถใช้กับเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงการได้ โดยการเปลี่ยนข้อสมมติที่เป็นตัวแปรในสูตรที่ใช้ในการคำนวณนั้นๆ ซึ่งอาจจะเปลี่ยนเพียงตัวแปรเพียงตัวเดียวหรือมากกว่า 1 ตัวแปรก็ได้ [56]

บทที่ 3

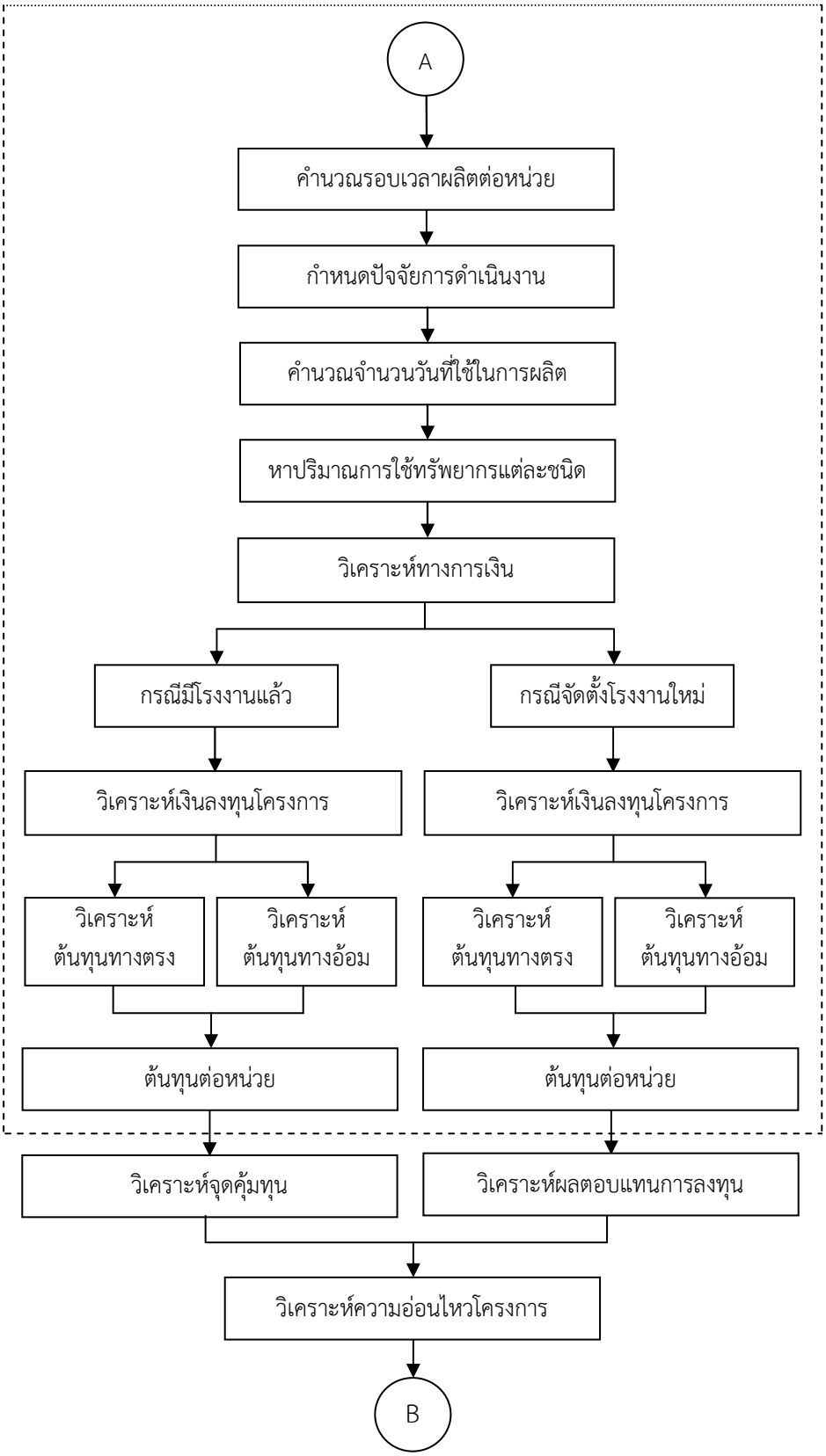
วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัยโดยใช้หลักการแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ ประกอบด้วย 5 หัวข้อ ดังนี้ หัวข้อแรก โครงสร้างแบบจำลองต้นทุน เป็นการอธิบายถึงโครงสร้างของแบบจำลองต้นทุนตามหลักการแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ หัวข้อที่ 2 สร้างแบบจำลองกระบวนการ เป็นขั้นตอนการผลิตของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและแบบกึ่งของแข็ง หัวข้อที่ 3 สร้างแบบจำลองการดำเนินงาน เป็นขั้นตอนการหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการดำเนินงาน เช่น ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ จำนวนวัน เวลาที่ใช้ในการดำเนินงาน เป็นต้น หัวข้อที่ 4 สร้างแบบจำลองต้นทุน เป็นการนำปัจจัยทางการเงินมาวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างตามปริมาณความต้องการทรัพยากรจากหัวข้อที่สอง รวมถึงวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน การประมาณการงบกำไรขาดทุนและงบกระแสเงินสดตลอดอายุโครงการด้วย และหัวข้อสุดท้ายคือวิธีการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อทดสอบหาความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเมื่อประยุกต์ใช้งานจริง และอภิปรายผลลัพธ์จากการดำเนินงาน

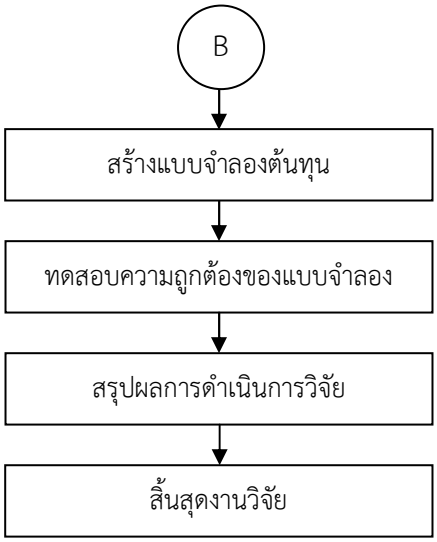
ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นภาพรวมของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยจึงแสดงเป็นแผนผังการไหลของการดำเนินงานวิจัย ดังภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



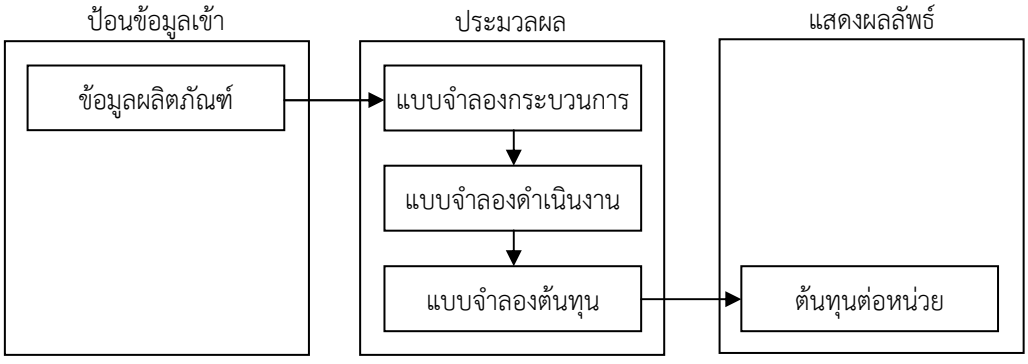
ภาพประกอบ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย (ต่อ)



ภาพประกอบ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย (ต่อ)

3.1 โครงสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ

การสร้างแบบจำลองต้นทุนเป็นการทำงานผ่านโปรแกรม Microsoft Office Excel 2007 ใช้คำสั่งภาษา Visual Basic for Application (VBA) ในการจัดการฟอร์ม และควบคุมการทำงานด้วยแมโคร (macro) สร้างโดยใช้หลักการแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ ในการหาผลลัพธ์แบบจำลองต้นทุน ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การป้อนข้อมูลเข้า การประมวลผล การแสดงผลลัพธ์ ดังภาพประกอบ 3.2



ภาพประกอบ 3.2 โครงสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ

สามารถอธิบายรายละเอียดแต่ละส่วนของแบบจำลองได้ดังนี้

3.1.1 การป้อนข้อมูลเข้า (input)

ข้อมูลที่จำเป็นต้องป้อนเข้าสู่การประมวลผลสำหรับแบบจำลอง ได้แก่ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ และเครื่องจักร

3.1.2 การประมวลผล (processing)

ในส่วนของการประมวลผลประยุกต์ตามหลักการแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ ประกอบด้วยแบบจำลองย่อย 3 แบบจำลอง ดังนี้

3.1.2.1 แบบจำลองกระบวนการ เป็นการอธิบายขั้นตอนกระบวนการผลิตของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งเพื่อให้ทราบถึงรอบเวลาการผลิตและประเภทของทรัพยากรที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต

3.1.2.2 แบบจำลองการดำเนินงาน เป็นการระบุปริมาณทรัพยากรแต่ละชนิดที่ได้จากแบบจำลองกระบวนการ รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตตามปริมาณความต้องการของลูกค้า

3.1.2.3 แบบจำลองต้นทุน เป็นการนำปริมาณความต้องการทรัพยากรที่ได้จากแบบจำลองการดำเนินงานมาแปลงตามมูลค่าเงินตามราคาวัตถุดิบที่นำมาประกอบการผลิตแต่ละชนิดเพื่อให้ได้เป็นต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

3.1.3 การแสดงผลลัพธ์ (output)

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองต้นทุน คือ ต้นทุนต่อหน่วยตามปริมาณการสั่งสินค้า ต้นทุนต่อหน่วยเมื่อเปลี่ยนปริมาณการผลิตและจำนวนเครื่องจักร รวมทั้งประมาณการผลการดำเนินงานและประมาณการงบกระแสเงินสดตลอดอายุโครงการ

3.2 สร้างแบบจำลองกระบวนการ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการหล่อฉีดโลหะระหว่างสองกระบวนการ คือ กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ในแบบจำลองจึงเป็นการอธิบายขั้นตอนการดำเนินงานของกระบวนการหล่อฉีดโลหะทั้งสองกระบวนการ

กระบวนการหล่อฉีดโลหะ เป็นการขึ้นรูปโลหะโดยนำโลหะมาหลอมเหลวแล้วเทหรือฉีดเข้าสู่แบบหล่อ (mould) หรือแม่พิมพ์ (die) เมื่อโลหะแข็งตัวก็จะได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างตามต้องการ ประกอบด้วย การเทน้ำโลหะลงในแบบที่ทำไว้เป็นรูปร่างต่างๆ แล้วปล่อยให้น้ำโลหะแข็งตัว จากนั้นจึงเอาชิ้นงานมาตกแต่ง หรือนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อน จึงจะได้ชิ้นงานสำเร็จที่จะนำไปใช้งานต่อไป ชิ้นงานจะมีขนาดตั้งแต่น้ำหนักน้อยไปจนถึงขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักมาก คุณสมบัติของชิ้นงานหล่อจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของโลหะที่จะนำมาหล่อ ชนิดแบบหล่อ ขนาด รูปร่างของชิ้นงานหล่อ และอัตราการเย็นตัว กระบวนการของการหล่อฉีดโลหะจะมีขั้นตอนการทำงานมากกว่าการเพิ่มความร้อนจนโลหะหลอมละลายแล้วนำน้ำโลหะไปเทลงแบบ โดยทั่วไปจะมีการเติมโลหะชนิดอื่นลงไปผสมและมีวิธีการขจัดสารมลทินแปลกปลอมเข้ามาเกี่ยวข้องอีกด้วย โดยมีขั้นตอนทำงานของกระบวนการหล่อฉีดโลหะและภาพประกอบ 3.3 ดังนี้

ก. นำแท่งโลหะ (ingot) ไปหลอมในเตาหลอม

ข. ทดสอบน้ำโลหะที่ได้ตามมาตรฐานคุณสมบัติทางเคมี หากมีข้อบกพร่องต้องนำกลับไปหลอมใหม่

ค. ขนย้ายน้ำโลหะที่ได้มาตรฐานไปยังเตาพักของแต่ละเครื่อง

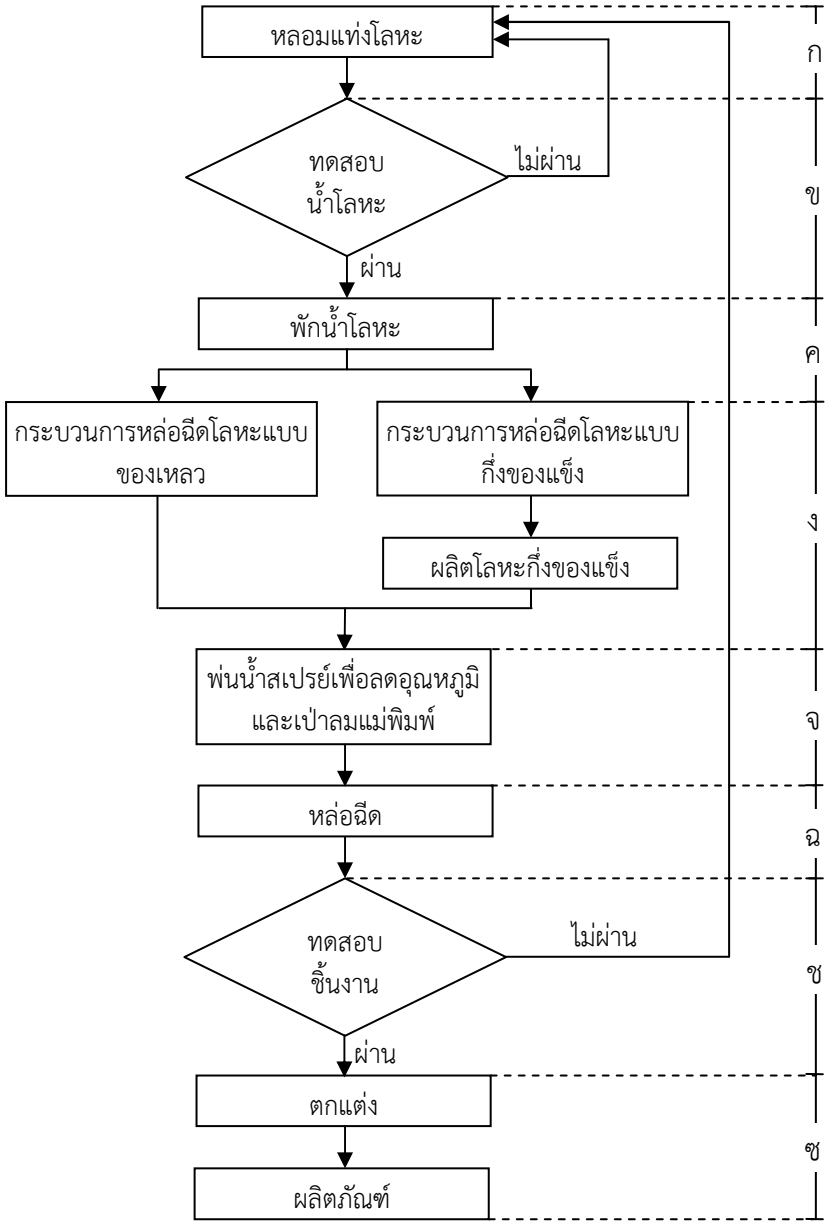
ง. นำน้ำโลหะเข้าเครื่องพ่นฟองแก๊สขณะแข็งตัวเพื่อผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (เฉพาะกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง)

จ. พ่นน้ำสเปรย์เพื่อลดอุณหภูมิแม่พิมพ์และเป่าแม่พิมพ์ให้แห้งด้วยลม

ฉ. กดสวิทช์ให้เครื่องจักรทำงาน แม่พิมพ์จะเคลื่อนปิด แขนกลตักน้ำโลหะหรือโลหะกึ่งของแข็งใส่เครื่องฉีดทิ้งไว้ให้เครื่องจักรทำงานอัตโนมัติ เมื่อแม่พิมพ์เคลื่อนที่เปิดก็จะได้เป็นชิ้นงาน

ช. สุ่มชิ้นงานที่ได้เพื่อตรวจดูของเสีย หากทดสอบแล้วชิ้นงานไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานที่ลูกค้าต้องการก็นำไปหลอมใหม่ที่เตาหลอม

ซ. นำชิ้นงานมาตกแต่งโดยการขัด เคลือบ เจียระไน และได้เป็นผลิตภัณฑ์

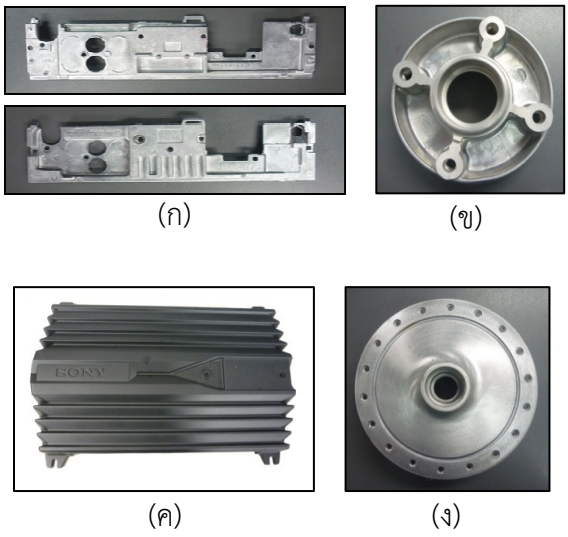


ภาพประกอบ 3.3 ขั้นตอนทำงานของกระบวนการหล่อฉีดโลหะ

จากขั้นตอนทำงานของกระบวนการหล่อฉีดโลหะ สามารถจับเวลาเพื่อหารอบเวลาการผลิต ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

ก. หยิบปืนสเปรย์แล้วพ่นน้ำสเปรย์เพื่อลดอุณหภูมิแม่พิมพ์
ข. เป่าลมเพื่อให้แม่พิมพ์แห้ง ในขณะเดียวกันแขนกลตักน้ำโลหะหรือโลหะกึ่งของแข็ง
ค. กดสวิทช์แม่พิมพ์เคลื่อนปิด แขนกลเทน้ำโลหะหรือโลหะกึ่งของแข็งเข้าสู่แม่พิมพ์
ง. เครื่องจักรทำงานอัตโนมัติ แม่พิมพ์เคลื่อนเปิด
จ. หยิบชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์มาวางในรถเข็น

เนื่องจากในช่วงที่เข้าไปเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์จากโรงงานกรณีศึกษา ทางโรงงานได้ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด จึงนำผลิตภัณฑ์เหล่านี้มาเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ได้แก่ Heat sink 510, Flange final driven, Heat sink (main) 034 และ Hub front ดังภาพประกอบ 3.4



ภาพประกอบ 3.4 ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง
(ก) Heat sink 510 (ข) Flange final driven (ค) Heat sink (main) 034 และ (ง) Hub front

ทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง เช่น ขนาดผลิตภัณฑ์ น้ำหนักสุทธิ เกรดอะลูมิเนียมที่ใช้ และขนาดเครื่องจักร เป็นต้น แสดงดังตาราง 3.1 โดยข้อมูลที่ได้เป็นลักษณะจำเพาะของแต่ละผลิตภัณฑ์ จากนั้นทำการศึกษาเวลาในกระบวนการผลิต เริ่มต้นหาเวลาการแข็งตัวของน้ำโลหะ สมมติให้มีการถ่ายเทความร้อนแบบ interface controlled และใช้เวลาการแข็งตัวของน้ำโลหะเป็นตัวแปรหลักในการคำนวณหารอบเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ของขั้นตอนย่อยต่างๆ

ตาราง 3.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

รายละเอียด		ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง			
		Heat sink 510	Flange final driven	Heat sink (main) 034	Hub front
1. ขนาดผลิตภัณฑ์ (มม.)	กว้าง	50	140	250	160
	ยาว	160	140	300	160
	สูง	35	70	70	60
2. น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (กรัม)		120	538	843	944
3. อัตราการเกิดของเสีย (%)		10	10	10	15
4. ขนาดเครื่องจักร (ตัน)		500	250	630	500
5. จำนวน cavity/shot (cavity/shot)		6	1	1	1
6. ปริมาณการผลิต (หน่วย/lot size)		500,000	20,000	80,000	25,000

ที่มา : บริษัท เดโซโมลด์ แอนด์ ไดคาสติง จำกัด

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้ คือ รอบเวลาการผลิต ชนิดของสินทรัพย์ถาวร ชนิดของแรงงาน ชนิดของวัตถุดิบ และชนิดของพลังงาน

3.3 สร้างแบบจำลองดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษาซึ่งเป็นโรงงานหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว เพื่อศึกษาปัจจัยในการดำเนินงาน ดังนั้น จึงกำหนดให้จำนวนวันและเวลาดำเนินงานเท่ากับโรงงานกรณีศึกษา เพื่อให้การทดสอบความถูกต้องแบบจำลองในขั้นตอนสุดท้ายมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด นั่นคือ ทำงานวันละ 3 กะ กะละ 8 ชั่วโมง (480 นาที) คิดเป็นทำงาน 1,440 นาที/วัน และจำนวนวันทำงาน 300 วัน/ปี แต่ในการดำเนินงานโดยใช้แรงงานคนนั้นจะต้องมีเวลาเผื่อในกรณีต่างๆ และเวลาสูญเสียเกิดขึ้น (อ้างอิงตามโรงงานกรณีศึกษา) โดยเวลาเผื่อในกรณีต่างๆ ใช้คำนวณหาเวลามาตรฐาน ส่วนเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้นใช้คำนวณระยะเวลาที่ใช้ทำงานจริงต่อวัน ดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 เวลาเผื่อในกรณีต่างๆ และเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงาน

รายละเอียด	ระยะเวลา
1. เวลาเผื่อ	15%
เวลาเผื่อสำหรับธุระส่วนตัว	5%
เวลาเผื่อสำหรับความเมื่อยล้า	5%
เวลาเผื่อสำหรับความล่าช้า	5%
2. เวลาสูญเสีย (นาที/กะ)	220
เวลาประชุมภายในแผนก	20
เวลาทำความสะอาด	30
เวลาพัก	60
เวลาปรับแต่งเครื่องจักร	60
เวลาปรับแต่งแม่พิมพ์	30
เวลาบำรุงรักษาเครื่องจักร	20

การดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบถึงลักษณะจำเพาะของแต่ละเครื่องจักร เพื่อให้กิจกรรมที่ดำเนินการนั้นสามารถให้ผลลัพธ์ตามเป้าหมาย โดยเครื่องหล่อฉีดโลหะแต่ละขนาดมีลักษณะจำเพาะไม่เหมือนกัน จากการเก็บข้อมูลในโรงงานกรณีศึกษา สามารถแบ่งลักษณะจำเพาะตามขนาดของเครื่องจักรออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ เครื่องจักร ขนาด 1-500 ตัน และเครื่องจักร ขนาด 500-1,000 ตัน แสดงดังตาราง 3.3

ตาราง 3.3 ลักษณะจำเพาะของเครื่องจักร

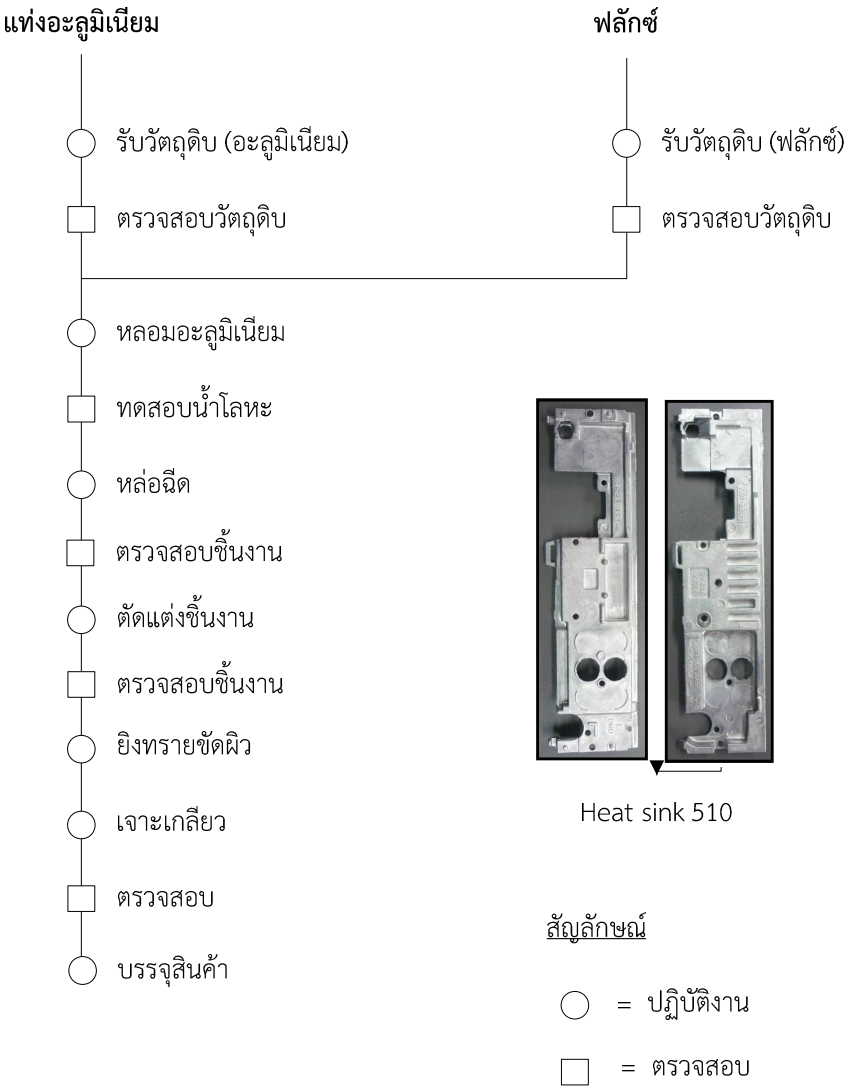
รายละเอียด	ลักษณะจำเพาะของเครื่องจักร		หน่วย
	เครื่องจักรขนาด 1-500 ตัน	เครื่องจักรขนาด 500-1,000 ตัน	
1. ปริมาณการใช้แก๊สไนโตรเจน เครื่องหล่อฉีดโลหะ เครื่อง GISS	2.83 4	3.4 4	บาร์/วัน ลิตร/นาที
2. ขนาดของท่อน้ำหล่อเย็น	0.5	1	นิ้ว
3. ปริมาณการใช้น้ำมันไฮดรอลิก	0.67	1	ลิตร/วัน
4. จำนวนแรงงาน	1	2	คน/เครื่องจักร
5. ขนาดเตาอุ่นน้ำโลหะ	300	800	กก.

ในการใช้งานเครื่องจักรต้องรักษาสภาพของเครื่องมือเครื่องจักรต่างๆ ให้มีสภาพที่พร้อมจะใช้งานอยู่ตลอดเวลา สำหรับงานวิจัยนี้ประเมินค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่ใช้ในการหล่อฉีดโลหะตามการใช้งานจริง และแบ่งอายุการใช้งานของเครื่องจักรออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ (1) ระยะเริ่มต้น (early life) ช่วงนี้ระยะอัตราความเสียหายสูง เนื่องจากความบกพร่องของกระบวนการผลิต (2) ระยะใช้งานปกติ (useful life) เป็นระยะที่ใช้งานเครื่องจักรคงที่ (3) ระยะสึกหรอ (wear out life) เป็นช่วงที่เครื่องจักรเสื่อมสภาพไปตามกาลเวลา เครื่องจักรจะมีการสึกหรอและชำรุดบ่อยขึ้นจนพังไปในที่สุดและไม่สามารถใช้งานได้อีก โดยค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาตามอายุการใช้งาน แสดงดังตาราง 3.4

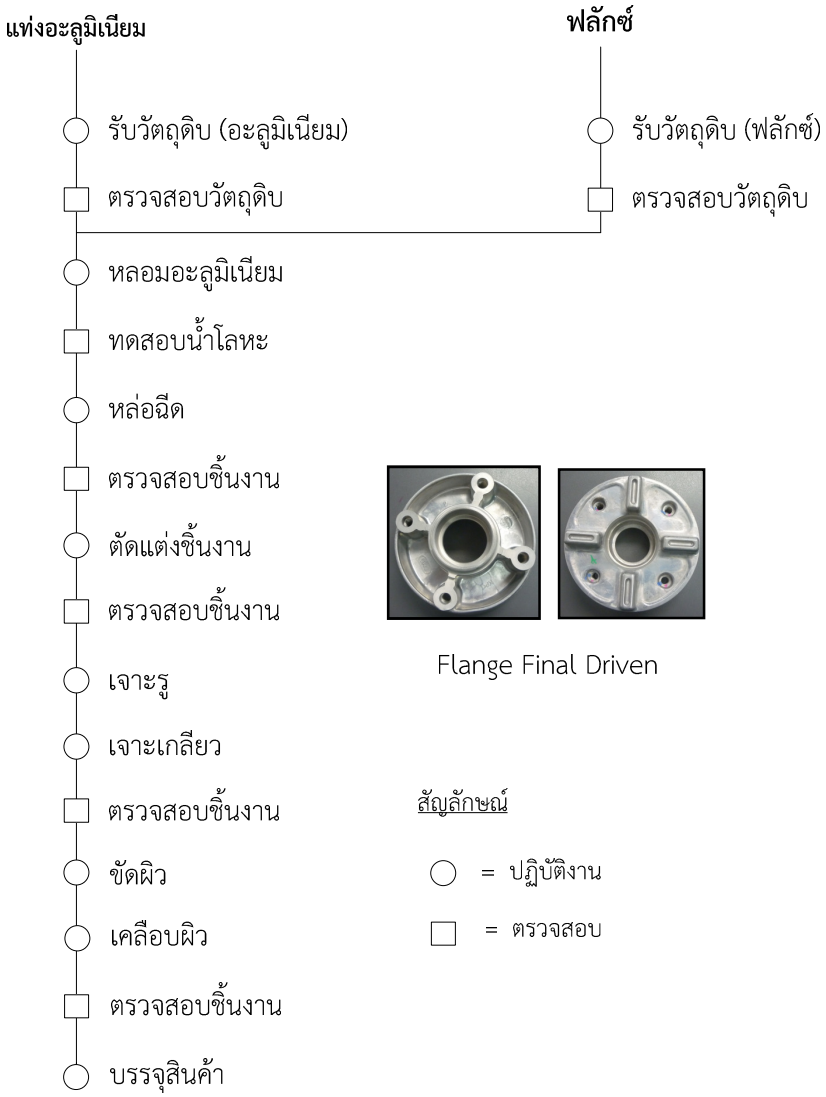
ตาราง 3.4 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาตามอายุการใช้งาน [57]

อายุการใช้งานเครื่องจักร (ปี)	เปอร์เซ็นต์การบำรุงรักษา (ของราคาเครื่องจักร)
0-5	5%
6-10	2%
11-15	2%
16-20	5%

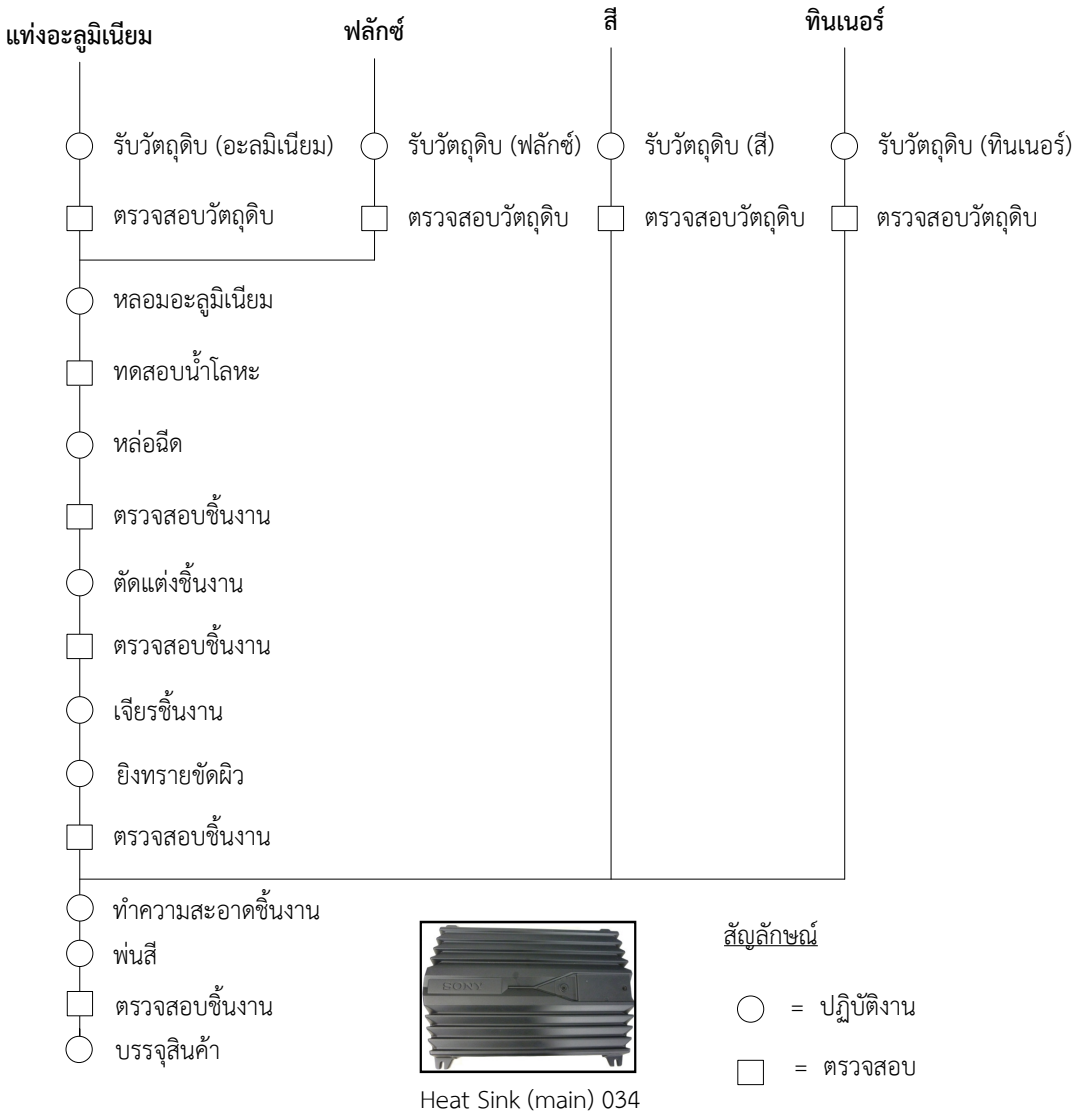
สำหรับขั้นตอนในการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดเพื่อแสดงความต้องการใช้ทรัพยากรของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง Heat sink 510, Flange final driven, Heat sink (main) 034 และ Hub front ดังภาพประกอบ 3.5-3.8 ตามลำดับ



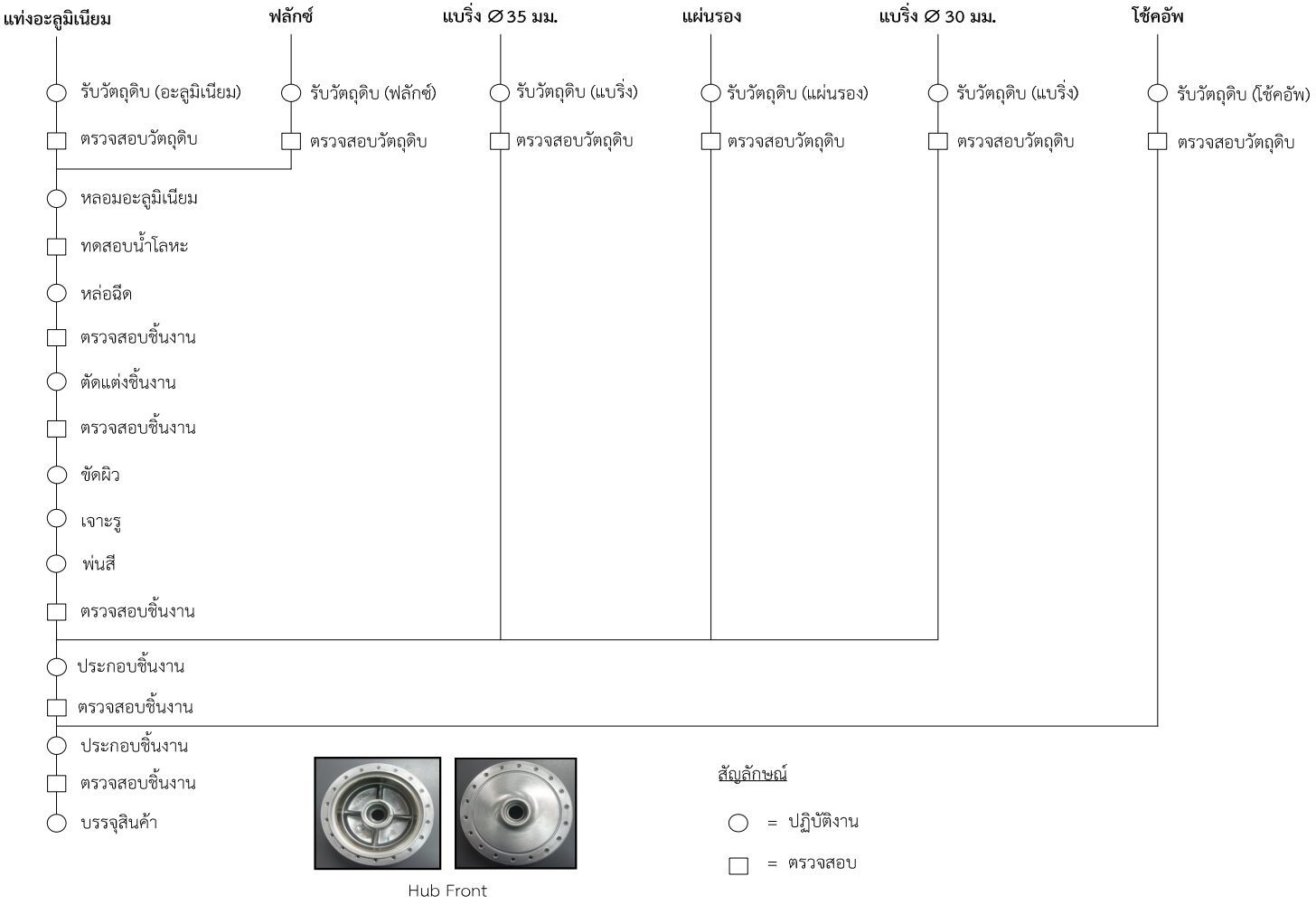
ภาพประกอบ 3.5 แผนผังกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Heat sink 510



ภาพประกอบ 3.6 แผนผังกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Flange final driven



ภาพประกอบ 3.7 แผนผังกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Heat sink (main) 034



ภาพประกอบ 3.8 แผนผังกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Hub front

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้ คือ เวลามาตรฐาน ขนาดสินทรัพย์ถาวร จำนวนแรงงาน ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานแต่ละชนิดตามปริมาณการผลิตต่อ lot size

3.4 สร้างแบบจำลองต้นทุน

ก่อนทำการวิเคราะห์ต้นทุน แนวทางเริ่มต้นของการวางแผนทางการเงินของธุรกิจเพื่อให้การลงทุนมีศักยภาพ การดำเนินธุรกิจมีประสิทธิภาพและราบรื่น จึงกำหนดสมมติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงิน ดังตาราง 3.5

ตาราง 3.5 สมมติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงิน

รายละเอียด	ข้อสมมติที่ใช้วิเคราะห์		ที่มา
	กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว	กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่	
1. ระยะเวลาก่อสร้างและติดตั้งเครื่องจักร		1 ปีแรก ของการลงทุน	บริษัท นีโอ ซีวิล 2004 จำกัด
2. มูลค่าที่ดิน	ตามมูลค่าปัจจุบัน	ตามมูลค่าปัจจุบัน	
3. อายุโครงการ	10 ปี	10 ปี	
4. ระยะเวลาที่มีการเปิดดำเนินกิจการมาแล้ว	10 ปี		
4. ระยะเวลาเปิดดำเนินกิจการของโรงงาน	10 ปี	10 ปี	โรงงานกรณีศึกษา
5. อายุการใช้งาน สิ่งก่อสร้างและเครื่องจักร ครุภัณฑ์และอุปกรณ์ ยานพาหนะ	20 ปี 10 ปี 5 ปี	10 ปี 10 ปี 5 ปี	หนังสือราชการกระทรวงการคลัง ที่ กค 0528.2/ว 33545 ลงวันที่ 16 พ.ย. 2544
6. มูลค่าซาก (ของราคาต้นทุน) สิ่งก่อสร้าง เครื่องจักร ครุภัณฑ์และอุปกรณ์ ยานพาหนะ	30% 20% เท่ากับศูนย์ 60%	50% 40% เท่ากับศูนย์ 60%	บริษัท นีโอ ซีวิล 2004 จำกัด บริษัท เอส.พี.ไดคาสติง จำกัด http://www.truck.in.th
7. กู้เงินจากธนาคารในอัตราดอกเบี้ย 8%	50% ของเงินลงทุนทั้งหมด		ธนาคารกรุงไทย
8. ราคาขายผลิตภัณฑ์ ปรับเพิ่มขึ้น	20% ของต้นทุนต่อหน่วยจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว		โรงงานกรณีศึกษา
9. เงินเดือนพนักงานฝ่ายบริหารและอัตราค่าแรงงาน ปรับเพิ่มขึ้น	5% ต่อปี		
10.ต้นทุนดำเนินการ ปรับเพิ่มขึ้น	2.5% ต่อปี		สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า
11.ค่าใช้จ่ายโรงงาน ปรับเพิ่มขึ้น	2.5% ต่อปี		โรงงานกรณีศึกษา
12.ราคาขายผลิตภัณฑ์ ปรับเพิ่มขึ้น	2.5% ต่อปี		
13.อัตราภาษีเงินได้นิติบุคคล	30% ต่อปีของผลกำไรดำเนินงาน		กรมสรรพากร

ในการศึกษางานงานวิจัยนี้ แบ่งแนวทางในการศึกษาออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว และกรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ จากทั้งสองกรณีข้างต้น สามารถแบ่งการวิเคราะห์ต้นทุนออกเป็น 2 ส่วน คือ เงินลงทุน และต้นทุนต่อหน่วย สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

3.4.1 เงินลงทุน

3.4.1.1 กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว เงินลงทุนได้จากการประเมินมูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบันของราคาก่อสร้าง ราคาเครื่องจักร และอุปกรณ์ในปัจจุบัน แล้วพิจารณาดัชนีการเพิ่มขึ้นลดลงของราคาสินทรัพย์เฉลี่ยต่อปี ดังตาราง 3.6 เพื่อให้ทราบถึงราคาก่อสร้างในอดีต แล้วหักลบด้วยมูลค่าของค่าเสื่อมราคาสะสมด้วยวิธีเส้นตรงตามอายุการใช้งาน โดยมูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบันที่ได้ เป็นจำนวนเงินการประมาณมูลค่าสิ่งก่อสร้าง เครื่องจักร และอุปกรณ์เดิม ซึ่งมีความทัดเทียมด้านเทคโนโลยี วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ และประสิทธิภาพ จำนวนเงินดังกล่าวได้รวมถึงค่าดำเนินการและค่าธรรมเนียมต่างๆ แต่ไม่รวมถึงเงินตอบแทนพิเศษและราคาชดเชยต่างๆ

ตาราง 3.6 ดัชนีการเพิ่มขึ้นลดลงของราคาสินทรัพย์เฉลี่ยต่อปี

รายละเอียด	ดัชนีการเพิ่มขึ้นลดลงของราคาเฉลี่ยต่อปี
1. ราคาก่อสร้างอาคาร	+5%
2. ราคาเครื่องจักร	+2%
3. ระบบสาธารณูปโภค	+5%
4. อุปกรณ์สำนักงานและยานพาหนะ	+5%

ที่มา : รายงานดัชนีราคา ประจำเดือนกันยายน 2554 สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์

3.4.1.2 กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ เป็นการก่อตั้งโรงงานใหม่ การประเมินเงินลงทุนโครงการ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร และเงินทุนหมุนเวียน ประเมินโดยฝ่ายประเมินราคา บริษัท นีโอ ซีวิล 2004 จำกัด

เมื่อทำการประเมินเงินลงทุนทั้งสองกรณีแล้ว จึงทำการประเมินค่าเสื่อมราคาสะสมโดยวิธีเส้นตรง สำหรับสิ่งก่อสร้าง เครื่องจักร และอุปกรณ์ใดๆที่หมดอายุการใช้งานประเมินมูลค่าซาก โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงตามสมมติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงินดังกล่าวข้างต้น

3.4.2 ต้นทุนต่อหน่วย

เมื่อทราบปริมาณความต้องการใช้ทรัพยากรจากแบบจำลองดำเนินงานแล้ว จึงกำหนดสมมติฐานของราคาวัตถุดิบต่อหน่วยสำหรับวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วย ดังตาราง 3.7

ตาราง 3.7 ราคาวัตถุดิบต่อหน่วย

รายละเอียด	จำนวนเงิน	หน่วย	ที่มา
1. ราคาอะลูมิเนียม เกรด ADC12 (A384)	80	บาท/กก.	บริษัท พี เค เอ็ม เมทัลเวิร์ค จำกัด
2. ราคาฟลักซ์	39	บาท/กก.	บริษัท เอส.พี.ไดคาสติง จำกัด
3. ราคาแก๊สไนโตรเจน	15.71 0.4	บาท/บาร์ บาท/ลิตร	บริษัท แก๊ส เซ็นเตอร์ จำกัด
4. ราคาแก๊สเชื้อเพลิง (LPG)	23	บาท/กก.	
5. ราคาน้ำประปา	16	บาท/ลบ.ม.	การประปาส่วนภูมิภาค
6. ราคาน้ำยาพ่นแม่พิมพ์	51	บาท/ลิตร	บริษัท เอส.พี.ไดคาสติง จำกัด
7. ราคาน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (น้ำ RO)	0.058	บาท/ลิตร	
8. ราคาน้ำมันไฮดรอลิก	44	บาท/ลิตร	
9. อัตราค่าแรงงาน	215	บาท/คน/กะ	กระทรวงแรงงาน
10. ค่าใช้จ่ายโรงงาน	10%	ของต้นทุนดำเนินการ	

และการคำนวณค่าไฟฟ้า ใช้การคำนวณอัตราค่าไฟฟ้าแบบ Time of Use (TOU) เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่กำหนดให้ราคาแตกต่างกันตามช่วงเวลา ดังตาราง 3.8

ตาราง 3.8 อัตราค่าไฟฟ้าแบบ Time of Use (TOU)

ระดับแรงดัน	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On-peak	On-peak	Off-peak	
แรงดัน 69 กิโลโวลต์ ขึ้นไป	74.14	2.6136	1.1726	228.17
แรงดัน 12-33 กิโลโวลต์	132.93	2.695	1.1914	228.17
แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210	2.8408	1.2246	228.17

หมายเหตุ : On-peak : เวลา 09.01-22.00 น. วันจันทร์-ศุกร์
Off-peak : เวลา 22.01-09.00 น. วันจันทร์-ศุกร์
เวลา 00.01-24.00 น. วันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดราชการตามปกติ

ที่มา : การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วย ประกอบด้วยต้นทุน 2 ประเภท ได้แก่

3.4.2.1 ต้นทุนทางตรง ประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง และต้นทุนแรงงานทางตรง

3.4.2.2 ต้นทุนทางอ้อม ประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม ต้นทุนแรงงานทางอ้อม ต้นทุนพลังงาน ค่าใช้จ่ายโรงงาน และค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรอุปกรณ์

ทำการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว และใช้ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชนิดเดียวกันวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง แต่ในกระบวนการนี้จะเพิ่มเครื่อง GISS เข้าไปเพื่อให้น้ำโลหะมีลักษณะเป็นกึ่งของแข็งของเหลวก่อนเข้าเครื่องหล่อฉีด ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกัน โดยภาพรวมในการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วย แสดงดังภาพประกอบ 3.9 จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองกระบวนการมาเปรียบเทียบกัน โดยกรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว ทำการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเพื่อหาปริมาณการผลิตที่เหมาะสมสำหรับตัดสินใจเลือกกระบวนการผลิต และกรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ ทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงิน 3 ประการ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน ระยะเวลาคืนทุน จากนั้นวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการเพื่อทดสอบความมั่นคงของข้อสรุปที่ได้ และตัดสินใจเลือกกระบวนการผลิตที่เหมาะสมแก่การลงทุน

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้ คือ ต้นทุนต่อหน่วยตามปริมาณการผลิตต่อ lot size และต้นทุนต่อหน่วยเมื่อเปลี่ยนปริมาณการผลิตและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต

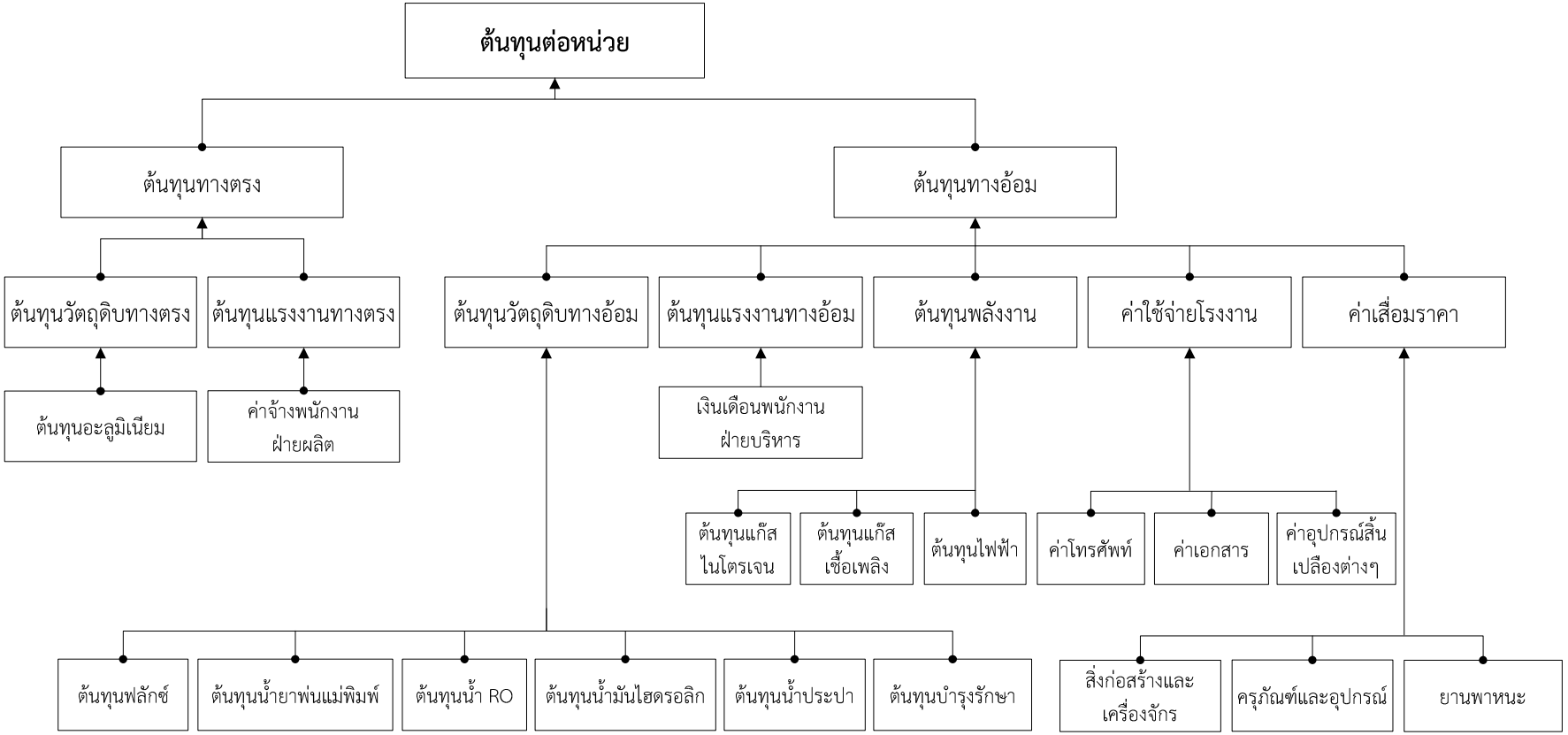
3.5 ทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เป็นกระบวนการประเมินค่าของระบบหรือส่วนประกอบ เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองที่จะสร้างขึ้นมานั้นเป็นไปตามความต้องการ โดยทำการทดสอบแบบจำลองเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น 2 ครั้ง ได้แก่

3.5.1 เปรียบเทียบระหว่างต้นทุนผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากโรงงานกรณีศึกษา และต้นทุนผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชนิดเดียวกันที่ได้จากแบบจำลอง

3.5.2 เปรียบเทียบ 3 เงื่อนไข ได้แก่ ต้นทุนผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่มีอัตราการฉีดต่อครั้งได้ผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งหน่วยจากโรงงานกรณีศึกษา ต้นทุนผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชนิดเดียวกันจากแบบจำลอง โดยป้อนค่าอัตราการฉีดตามการผลิตจริงเข้าในแบบจำลอง (มากกว่า 1 cavity/shot) และต้นทุนผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชนิดเดียวกันจากแบบจำลอง โดยป้อนค่าอัตราการฉีดต่อครั้งได้ผลิตภัณฑ์หนึ่งหน่วยเข้าในแบบจำลอง (1 cavity/shot) เนื่องจากแบบจำลองรับข้อมูลผลิตภัณฑ์เพื่อมาคำนวณต้นทุนครั้งละชิ้น การฉีดหนึ่งครั้งแล้วได้ผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งชิ้น อาจทำให้ต้นทุนมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องทดสอบการป้อนผลิตภัณฑ์ครั้งละชิ้นตามคำนวณของแบบจำลองอีกครั้ง เพื่อให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

จากนั้น นำเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองมาตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบทางสถิติ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับแบบจำลองอีกครั้งหนึ่ง



ภาพประกอบ 3.9 ภาพรวมการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วย

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลจากการดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย 6 หัวข้อดังนี้ หัวข้อแรกคือ ผลลัพธ์แบบจำลองกระบวนการ แสดงรอบเวลาการผลิต ชนิดของสินทรัพย์ถาวร ชนิดของแรงงาน และชนิดของวัตถุดิบ หัวข้อที่ 2 ผลลัพธ์แบบจำลองการดำเนินงาน แสดงเวลามาตรฐาน ขนาดของสินทรัพย์ถาวร จำนวนแรงงาน และปริมาณการใช้วัตถุดิบและพลังงานแต่ละชนิดต่อปี หัวข้อที่ 3 ผลลัพธ์แบบจำลองต้นทุน แสดงต้นทุนต่อหน่วยตามปริมาณการผลิตต่อปี และต้นทุนต่อหน่วยเมื่อเปลี่ยนปริมาณการผลิตและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต รวมทั้งวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและผลตอบแทนการลงทุน หัวข้อที่ 4 ลักษณะแบบจำลองที่สร้างขึ้น แสดงการใช้งานแบบจำลองตามหลักการของแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ หัวข้อที่ 5 คือผลการทดสอบความถูกต้องแบบจำลอง เพื่อทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเมื่อประยุกต์ใช้งานจริง และหัวข้อสุดท้าย เป็นการอภิปรายผลการดำเนินการวิจัย

4.1 ผลลัพธ์แบบจำลองกระบวนการ

แบบจำลองกระบวนการ เป็นการศึกษากระบวนการผลิตทำให้ทราบถึงรอบเวลาการผลิต และชนิดของทรัพยากรที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ ชนิดของสินทรัพย์ ชนิดของแรงงาน ชนิดของวัตถุดิบและพลังงาน มีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 รอบเวลาการผลิต

โดยทั่วไปรอบเวลาการผลิตของโรงงานใช้วิธีจับเวลาโดยตรงจากการทำงานจริงของพนักงาน พนักงานทำงานเสมือนจริง ผู้บันทึกเวลาจะบันทึกแต่ละขั้นตอนย่อยที่ต่อเนื่องกันและจับเวลาไปตามวัฏจักรการทำงาน รายละเอียดเวลาที่ได้จากการจับเวลาแต่ละรอบของโรงงานกรณีศึกษาและการทดสอบความน่าเชื่อถือทางสถิติของตัวแทนเวลา แสดงไว้ในภาคผนวก สำหรับรอบเวลาผลิตเฉลี่ยจากโรงงานกรณีศึกษาของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้งสี่ชนิด แสดงดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 รอบเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากการจับเวลาของโรงงานกรณีศึกษา

หน่วย : วินาที

ขั้นตอนการทำงาน	ผลิตภัณฑ์			
	Heat sink 510	Flange final driven	Heat sink (main) 034	Hub front
1. หยิบปืน/พ่นน้ำสเปรย์	10.83	21.47	21.06	18.09
2. เป่าลม/แขนกลตักน้ำ Al	10.77	21.38	21.02	17.95
3. กดสวิทช์/แม่พิมพ์เคลื่อนปิด/ตักน้ำ Al	10.97	21.66	21.86	18.74
4. M/C ทำงานอัตโนมัติ/แม่พิมพ์เคลื่อนเปิด	9.78	19.01	19.04	16.21
5. หยิบชิ้นงานจากแม่พิมพ์	2.56	3.28	2.36	4.13
รอบเวลาการผลิต (วินาที/shot)	**44.91**	**86.80**	**85.34**	**75.12**

เนื่องจากการวิเคราะห์ต้นทุนผลิตภัณฑ์อื่นๆ นอกเหนือจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจะไม่ทราบถึงรอบเวลาการผลิต ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาวิธีการในการคำนวณรอบเวลาการผลิต เพื่อสร้างเป็นมาตรฐานในการคำนวณให้สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้อย่างกว้างขวาง สำหรับการคำนวณรอบเวลาการผลิต จากที่กล่าวข้างต้น ใช้เวลาการแข็งตัวของน้ำโลหะเป็นตัวแปรหลักสำหรับคำนวณขั้นตอนย่อยอื่นๆ เนื่องจากการแข็งตัวของน้ำโลหะขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงาน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับเวลาในแต่ละขั้นตอนย่อยที่ทำการจับเวลาของรอบเวลาการผลิต ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หยิบปืนสเปรย์แล้วพ่นน้ำสเปรย์เพื่อลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ มีความสัมพันธ์กับเวลาแข็งตัวของน้ำโลหะ คือ หากชิ้นงานมีความหนามากแม่พิมพ์จะมีรอยลึกมาก การพ่นน้ำสเปรย์ยากขึ้นจึงใช้ระยะเวลานานขึ้น

ขั้นตอนที่ 2 เป่าลมแม่พิมพ์ และในขณะเดียวกับแขนกลตักน้ำโลหะหรือโลหะกึ่งของแข็ง มีความสัมพันธ์กับเวลาแข็งตัวของน้ำโลหะในลักษณะเดียวกับขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 3 กดสวิทช์แม่พิมพ์เคลื่อนปิด แขนกลเทน้ำโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์ มีความสัมพันธ์กับเวลาแข็งตัวของน้ำโลหะ คือ หากชิ้นงานมีความหนามากชิ้นงานจะมีน้ำหนักมาก ระยะเวลาที่แขนกลใช้ในการเทน้ำโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์จะมีระยะเวลานานขึ้น

ขั้นตอนที่ 4 เครื่องจักรทำงานอัตโนมัติและแม่พิมพ์เคลื่อนเปิด เป็นขั้นตอนการแข็งตัวของน้ำโลหะ และเพิ่มระยะเวลาเผื่อสำหรับการเคลื่อนเปิดของแม่พิมพ์หลังจากน้ำโลหะแข็งตัว

ขั้นตอนที่ 5 หยิบชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์มาวางในรถเข็น ขั้นตอนนี้ไม่มีความสัมพันธ์กับเวลาแข็งตัวของน้ำโลหะ เนื่องจากเมื่อชิ้นงานแข็งตัวแม่พิมพ์เปิดออก ชิ้นงานจะตกลงมาในภาชนะรองรับใต้แม่พิมพ์ พนักงานฝ่ายผลิตหยิบชิ้นงานจากภาชนะรองรับมาวางในรถเข็นสำหรับเคลื่อนย้ายไปยังกระบวนการตกแต่งชิ้นงานต่อไป

การคำนวณเวลาแข็งตัวน้ำโลหะ อ้างอิงสมการ 2.1 ทำการแทนค่าตัวแปรของอะลูมิเนียม เกรด ADC12 จะได้เวลาการแข็งตัวของน้ำโลหะของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง แสดงดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 เวลาการแข็งตัวของน้ำโลหะที่ได้จากการคำนวณของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง	เวลาการแข็งตัวของน้ำโลหะ (วินาที/shot)
1. Heat sink 510	6.37
2. Flange final driven	12.73
3. Heat sink (main) 034	12.73
4. Hub front	10.91

สามารถแสดงวิธีการหารอบเวลาการผลิตในแต่ละขั้นตอนย่อยตามความสัมพันธ์ของเวลาแข็งตัวน้ำโลหะ ทำการเปรียบเทียบระหว่างรอบเวลาการผลิตจริงในโรงงานกรณีศึกษาและเวลาแข็งตัวของน้ำโลหะที่ได้จากการคำนวณมาปรับเพิ่มขึ้นที่ระดับต่างๆ เพื่อหาระดับที่ปรับเพิ่มขึ้นแล้วมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยใช้ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง 4 ชนิด ได้แก่ Heat sink 510, Flange final driven, Heat sink (main) 034 และ Hub front ตามขั้นตอนย่อย 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หยิบปืนสเปรย์แล้วพ่นน้ำสเปรย์เพื่อลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ แสดงการหารอบเวลาการผลิตของขั้นตอนย่อยนี้ ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 การหารอบเวลาการผลิตของขั้นตอนที่ 1

หน่วย : วินาที/shot

ผลิตภัณฑ์	รอบเวลาผลิตขั้นตอนที่ 1 ของโรงงาน	เวลาแข็งตัวของน้ำโลหะ	เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจากเวลาแข็งตัวน้ำโลหะ							
			10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
1. Heat sink 510	10.83	6.37	7.01	7.64	8.28	8.92	9.56	10.19	**10.82**	11.47
2. Flange final driven	21.47	12.73	14.00	15.28	16.55	17.82	19.10	20.37	**21.64**	22.91
3. Heat sink (main) 034	21.06	12.73	14.00	15.28	16.55	17.82	19.10	20.37	**21.64**	22.91
4. Hub front	18.09	10.91	12.00	13.09	14.18	15.27	16.37	17.46	**18.55**	19.64

ขั้นตอนที่ 2 เป่าลมแม่พิมพ์ และในขณะเดียวกับแขนกลตักน้ำโลหะ แสดงการหารอบเวลาการผลิตของขั้นตอนย่อยนี้ ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 การหารอบเวลาการผลิตของขั้นตอนที่ 2

หน่วย : วินาที/shot

ผลิตภัณฑ์	รอบเวลาผลิตขั้นตอนที่ 2 ของโรงงาน	เวลาแข็งตัวของน้ำโลหะ	เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจากเวลาแข็งตัวน้ำโลหะ							
			10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
1. Heat sink 510	10.77	6.37	7.01	7.64	8.28	8.92	9.56	10.19	**10.82**	11.47
2. Flange final driven	21.38	12.73	14.00	15.28	16.55	17.82	19.10	20.37	**21.64**	22.91
3. Heat sink (main) 034	21.02	12.73	14.00	15.28	16.55	17.82	19.10	20.37	**21.64**	22.91
4. Hub front	17.95	10.91	12.00	13.09	14.18	15.27	16.37	17.46	**18.55**	19.64

ขั้นตอนที่ 3 กดสวิทช์แม่พิมพ์เคลื่อนปิด แขนกลเทน้ำโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์ แสดงการหารอบเวลาการผลิตของขั้นตอนย่อยนี้ ดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 การหารอบเวลาการผลิตของขั้นตอนที่ 3

หน่วย : วินาที/shot

ผลิตภัณฑ์	รอบเวลาผลิตขั้นตอนที่ 3 ของโรงงาน	เวลาแข็งตัวของน้ำโลหะ	เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจากเวลาแข็งตัวน้ำโลหะ							
			10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
1. Heat sink 510	10.97	6.37	7.01	7.64	8.28	8.92	9.56	10.19	**10.82**	11.47
2. Flange final driven	21.66	12.73	14.00	15.28	16.55	17.82	19.10	20.37	**21.64**	22.91
3. Heat sink (main) 034	21.86	12.73	14.00	15.28	16.55	17.82	19.10	20.37	**21.64**	22.91
4. Hub front	18.74	10.91	12.00	13.09	14.18	15.27	16.37	17.46	**18.55**	19.64

ขั้นตอนที่ 4 เครื่องจักรทำงานอัตโนมัติและแม่พิมพ์เคลื่อนเปิด แสดงการหารอบเวลาการผลิตของขั้นตอนย่อยนี้ ดังตาราง 4.6

ตาราง 4.6 การหารอบเวลาการผลิตของขั้นตอนที่ 4

หน่วย : วินาที/shot

ผลิตภัณฑ์	รอบเวลาผลิตขั้นตอนที่ 4 ของโรงงาน	เวลาแข็งตัวของน้ำโลหะ	เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจากเวลาแข็งตัวน้ำโลหะ							
			10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
1. Heat sink 510	9.78	6.37	7.01	7.64	8.28	8.92	**9.56**	10.19	10.82	11.47
2. Flange final driven	19.01	12.73	14.00	15.28	16.55	17.82	**19.10**	20.37	21.64	22.91
3. Heat sink (main) 034	19.04	12.73	14.00	15.28	16.55	17.82	**19.10**	20.37	21.64	22.91
4. Hub front	16.21	10.91	12.00	13.09	14.18	15.27	**16.37**	17.46	18.55	19.64

ขั้นตอนที่ 5 หยิบชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์มาวางในรถเข็น แสดงการหารอบเวลาผลิตของขั้นตอนย่อยนี้ ดังตาราง 4.7

ตาราง 4.7 การหารอบเวลาการผลิตของขั้นตอนที่ 5

หน่วย : วินาที/shot

ผลิตภัณฑ์	รอบเวลาผลิตขั้นตอนที่ 5 ของโรงงาน	เวลาแข็งตัวของน้ำโลหะ	เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นจากเวลาแข็งตัวน้ำโลหะ							
			10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
1. Heat sink 510	2.56	6.37	7.01	7.64	8.28	8.92	9.56	10.19	10.82	11.47
2. Flange final driven	3.28	12.73	14.00	15.28	16.55	17.82	19.10	20.37	21.64	22.91
3. Heat sink (main) 034	2.36	12.73	14.00	15.28	16.55	17.82	19.10	20.37	21.64	22.91
4. Hub front	4.13	10.91	12.00	13.09	14.18	15.27	16.37	17.46	18.55	19.64

จากการแสดงวิธีหารอบเวลาการผลิตของแต่ละขั้นตอนย่อยของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวข้างต้น สามารถอธิบายได้ดังนี้

ก. ขั้นตอนที่ 1 2 และ 3 เมื่อนำเวลาการแข็งตัวของน้ำโลหะมาปรับเพิ่มขึ้นที่ระดับต่างๆ กัน พบว่า การปรับเพิ่มขึ้น 70% มีค่าใกล้เคียงกับเวลาในขั้นตอนย่อยของโรงงานกรณีศึกษามากที่สุดทั้งสี่ผลิตภัณฑ์ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ขั้นตอนย่อยทั้งสามสามารถคำนวณได้จากการปรับเวลาแข็งตัวน้ำโลหะเพิ่มขึ้น 70%

ข. ขั้นตอนที่ 4 เมื่อนำเวลาการแข็งตัวของน้ำโลหะมาปรับเพิ่มขึ้นที่ระดับต่างๆ กัน พบว่า การปรับเพิ่มขึ้น 50% มีค่าใกล้เคียงกับเวลาในขั้นตอนย่อยของโรงงานกรณีศึกษามากที่สุดทั้งสี่ผลิตภัณฑ์ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ขั้นตอนย่อยนี้สามารถคำนวณได้จากการปรับเวลาแข็งตัวน้ำโลหะเพิ่มขึ้น 50%

ค. ขั้นตอนที่ 5 เมื่อนำเวลาการแข็งตัวของน้ำโลหะมาปรับเพิ่มขึ้นที่ระดับต่างๆ กัน พบว่า การหยิบชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ไม่ขึ้นอยู่กับเวลาแข็งตัวของน้ำโลหะ ดังนั้น จึงใช้วิธีการเฉลี่ยเวลาของขั้นตอนย่อยนี้จากผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชนิด ได้ระยะเวลาสำหรับขั้นตอนย่อยนี้เท่ากับ 3.00 วินาที

และเนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวจึงไม่มีขั้นตอนการทำงานของเครื่อง GISS ในกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง วิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตโลหะกึ่งของแข็งของ บริษัท กิสโค จำกัด ได้ทำการประเมินและกำหนดระยะเวลาปล่อยฟองแก๊สของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้งสี่ชนิดจากน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ดังตาราง 4.8

ตาราง 4.8 ระยะเวลาปล่อยฟองแก๊สของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง	ระยะเวลาปล่อยฟองแก๊ส (วินาที/shot)
1. Heat sink 510	10
2. Flange final driven	10
3. Heat sink (main) 034	10
4. Hub front	15

ถึงแม้ว่ากระบวนการหล่อฉีดโลหะกึ่งของแข็งจะเพิ่มขั้นตอนในส่วนการปล่อยฟองแก๊สเพื่อผลิตโลหะกึ่งของแข็งด้วยกระบวนการ GISS แต่ขั้นตอนนี้จะไม่ส่งผลต่อการเพิ่มเวลาโดยรวม เนื่องจากสามารถดำเนินการในช่วงระยะเวลาว่างที่พนักงานพ่นน้ำสเปรย์และเป่าลมแม่พิมพ์ในการผลิตโลหะกึ่งของแข็ง และจากผลการวิจัยของบริษัท Mercury Casting ประเทศสหรัฐอเมริกา ดังตาราง 2.3 ข้างต้น สามารถสรุปวิธีการคำนวณรอบเวลาการผลิตเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ดังตาราง 4.9

ตาราง 4.9 การคำนวณรอบเวลาการผลิต

กระบวนการย่อย	รอบเวลาการผลิต (วินาที/shot)	
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1.หยิบปืนสเปรย์/พ่นน้ำสเปรย์	เพิ่มขึ้น 70% ของเวลาแข็งตัว	ลดลง 34.3% ของเวลาแบบของเหลว
2.เป่าลม/แขนกลตักน้ำโลหะ	เพิ่มขึ้น 70% ของเวลาแข็งตัว	ลดลง 34.3% ของเวลาแบบของเหลว
3.กดสวิทช์/แม่พิมพ์ปิด/เทน้ำโลหะหรือโลหะกึ่งของแข็ง	เพิ่มขึ้น 70% ของเวลาแข็งตัว	ลดลง 80.0% ของเวลาแบบของเหลว
4.เครื่องจักรทำงานอัตโนมัติ/แม่พิมพ์เปิด	เพิ่มขึ้น 50% ของเวลาแข็งตัว	ลดลง 42.8% ของเวลาแบบของเหลว
5.หยิบชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์มาวางบนโต๊ะ	3.00	3.00

ดังนั้น สามารถคำนวณรอบเวลาการผลิต เปรียบเทียบรอบเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้งสี่ชนิดระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งได้ ดังตาราง 4.10

ตาราง 4.10 รอบเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากการคำนวณ

การทำงาน	รอบเวลาการผลิต (วินาที/shot)							
	Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front	
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1. หยิบปืนสเปรย์/พ่นน้ำสเปรย์	10.82	7.11	21.64	14.22	21.64	14.22	18.55	12.19
2. เป่าลม/แขนกลตักน้ำโลหะ	10.82	7.11	21.64	14.22	21.64	14.22	18.55	12.19
3. กดสวิทช์/แม่พิมพ์ปิด/เทน้ำโลหะหรือโลหะกึ่งของแข็ง	10.82	8.66	21.64	17.31	21.64	17.31	18.55	14.84
4. เครื่องจักรทำงานอัตโนมัติ/แม่พิมพ์เปิด	9.55	5.46	19.10	10.92	19.10	10.92	16.37	9.36
5. หยิบชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
รอบเวลาการผลิต (วินาที/shot)	**45.01**	**31.34**	**87.02**	**59.67**	**87.02**	**59.67**	**75.02**	**51.58**

4.1.2 ชนิดของทรัพยากร

การศึกษากระบวนการผลิต ยังทำให้ทราบถึงความต้องการทรัพยากรแต่ละชนิด ได้แก่ ชนิดของสินทรัพย์ถาวร ชนิดของแรงงาน ชนิดของวัตถุดิบ และชนิดของพลังงาน แสดงดังตาราง 4.11

ตาราง 4.11 ทรัพยากรที่ต้องการในกระบวนการหล่อฉีดโลหะ

ประเภททรัพยากร	ทรัพยากร
1. สินทรัพย์ถาวร	ที่ดิน อาคารสำนักงาน อาคารโรงงาน ครุภัณฑ์สำนักงาน ยานพาหนะ เครื่องจักร - เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน* - เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก. - เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก. - เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (GISS)
2. แรงงาน	แรงงานทางตรง แรงงานทางอ้อม
3. วัตถุดิบ	แท่งอะลูมิเนียม เกรด ADC12 ฟลักซ์ น้ำยาพ่นแม่พิมพ์และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ น้ำมันไฮดรอลิก น้ำประปา วัสดุบำรุงรักษา
4. พลังงาน	ไฟฟ้า แก๊สไนโตรเจน แก๊สเชื้อเพลิง (LPG)

*เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาแต่ละชนิดมีขนาดเครื่องจักรไม่เท่ากันและเป็นระยะเริ่มต้นโครงการ จึงกำหนดให้ใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ที่สุดหนึ่งเครื่องจักร เพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ครอบคลุมทั้งสี่ผลิตภัณฑ์

4.2 ผลลัพธ์แบบจำลองดำเนินงาน

แบบจำลองการดำเนินงาน เป็นการศึกษาเงื่อนไขการดำเนินงาน เช่น จำนวนวัน เวลาที่ใช้ในการดำเนินงาน เป็นต้น ทำให้ทราบถึงเวลามาตรฐาน และปริมาณของทรัพยากรแต่ละชนิด ได้แก่ ขนาดของสินทรัพย์ถาวร จำนวนแรงงาน ปริมาณของวัตถุดิบและพลังงานแต่ละชนิด มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 เวลามาตรฐาน

เวลามาตรฐาน คำนวณได้จากความสามารถของพนักงานและเงื่อนไขการดำเนินงาน และตามทฤษฎีที่กล่าวมาในข้างต้น พนักงานแต่ละคนมีความสามารถในการทำงานแตกต่างกัน จึง

ต้องทำการประเมินตามสภาพการทำงานจริง ดังนั้น ในงานวิจัยนี้กำหนดให้อัตราความเร็วในการทำงานของพนักงานเท่ากับโรงงานกรณีศึกษาซึ่งทำการประเมินโดยวิศวกรอุตสาหการ เพื่อให้การทดสอบความถูกต้องแบบจำลองในขั้นตอนสุดท้ายให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ระดับการทำงานพนักงานที่ประเมินได้ ดังตาราง 4.12 (คะแนนในการวิเคราะห์อัตราความเร็ว อ้างอิงตามตาราง 2.4)

ตาราง 4.12 ระดับการทำงานพนักงานที่ประเมินได้ของโรงงานกรณีศึกษา

องค์ประกอบ	ระดับการทำงาน		
1. ความชำนาญ (Skill)	+0.11	B1	Excellent
2. ความพยายาม, ความตั้งใจ (Effort)	+0.05	C1	Good
3. เงื่อนไขในการทำงาน (Conditions)	-0.03	E	Fair
4. ความสม่ำเสมอ (Consistency)	+0.01	C	Good
คะแนนระดับการทำงานของพนักงาน	0.11+0.05-0.03+0.01 = **0.14**		

จากการประเมินคะแนนระดับอัตราความเร็วในการทำงานของพนักงาน สามารถนำไปใช้ในการคำนวณเวลาปกติ และเวลามาตรฐานการทำงานของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ดังตาราง 4.13

ตาราง 4.13 รอบเวลาปกติและเวลามาตรฐาน

การทำงาน	รอบเวลาการทำงาน							
	Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front	
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1. รอบเวลาการผลิต (วินาที/shot) (ข้อมูลตามตาราง 4.10)	45.01	31.34	87.02	59.67	87.02	59.67	75.02	51.58
2. ระดับการทำงานของพนักงาน (ข้อมูลตามตาราง 4.12)	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
3. เวลาปกติ (วินาที/shot) (3) = (1) x [1 + (2)]	51.32	47.13	99.21	68.03	99.21	68.03	85.53	58.80
4. % เวลาเผื่อ (ข้อมูลตามตาราง 3.2)	15	15	15	15	15	15	15	15
5. เวลามาตรฐาน (วินาที/shot) (5) = (3) x [1 + (4)/100]	**59.01**	**41.08**	**114.09**	**78.24**	**114.09**	**78.24**	**98.35**	**67.62**

4.2.2 ปริมาณทรัพยากร

4.2.2.1 ขนาดสินทรัพย์ถาวรและจำนวนแรงงาน

จากการเก็บข้อมูลโรงงานกรณีศึกษา เครื่องจักรหนึ่งชุด ประกอบด้วย เครื่องหล่อฉีดโลหะ เตาหลอมโลหะ เตาอุ่นน้ำโลหะ และเครื่อง GISS (เครื่อง GISS เฉพาะกระบวนการหล่อฉีดโลหะกึ่งของแข็ง) โดยเครื่องจักรหนึ่งชุดใช้พื้นที่ 20 ตร.ม. และพื้นที่ใช้สอยอื่นๆ เช่น พื้นที่สินค้าคงคลัง พื้นที่วางผลิตภัณฑ์เพื่อส่งมอบ เป็นต้น เท่ากับ 100 ตร.ม. ดังนั้น อาคารโรงงานใช้พื้นที่ 120 ตร.

ม. สำหรับอาคารสำนักงานของกิจการขนาดเล็กตามเอกสารการอบรมใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรมด้านความปลอดภัย กำหนดให้มีพื้นที่ขั้นต่ำในการดำเนินกิจกรรมสำนักงาน 50 ตร.ม. และพื้นที่เผื่อสำหรับขยายกิจการในอนาคตโดยมีเครื่องจักรมากที่สุด จำนวน 5 ชุด ประเมินโดยบริษัท นีโอ ซีวิล 2004 จำกัด เท่ากับ 400 ตร.ม. และการกำหนดจำนวนแรงงาน แรงงานทางตรงกำหนดตามลักษณะจำเพาะของเครื่องจักร (อ้างอิงตามตาราง 3.3) ส่วนแรงงานทางอ้อมเป็นบุคคลสำหรับติดต่อประสานงานเพื่ออำนวยความสะดวกในการผลิตจึงกำหนดเท่าที่จำเป็น นั่นคือ 2 คน ประกอบด้วยผู้จัดการโรงงาน 1 คน และพนักงานบริหารจัดการทั่วไป 1 คน ทั้งนี้ กำหนดให้ตลอดอายุโครงการมีเครื่องจักรหนึ่งชุด แสดงรายละเอียดของขนาดสินทรัพย์ถาวรและจำนวนแรงงาน ดังตาราง 4.14

ตาราง 4.14 ขนาดสินทรัพย์ถาวรและจำนวนแรงงานที่ต้องการในกระบวนการหล่อฉีดโลหะ

ประเภททรัพยากร	ทรัพยากร	จำนวนทรัพยากร
1. สินทรัพย์ถาวร	ที่ดิน	400 ตร.ม.
	อาคารสำนักงาน	50 ตร.ม.
	อาคารโรงงาน	120 ตร.ม.
	ครุภัณฑ์สำนักงาน	1 ชุด
	ยานพาหนะ	1 คัน
	เครื่องจักร	
	- เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน	1 เครื่อง
	- เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	1 เตา
	- เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก.	1 เตา
	- เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (GISS)	1 เครื่อง
2. แรงงาน	แรงงานทางตรง	2 คน
	แรงงานทางอ้อม	2 คน

4.2.2.2 ปริมาณวัตถุดิบและพลังงาน

ปริมาณการใช้วัตถุดิบและพลังงานแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการดำเนินงาน ซึ่งกำหนดให้ ทำงานวันละ 3 กะ กะละ 8 ชั่วโมง เมื่อหักลบกับเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้นต่อกะ (อ้างอิงข้อมูลตามตาราง 3.2) สามารถหาระยะเวลาดำเนินงานต่อวัน แสดงรายละเอียดดังตาราง 4.15

ตาราง 4.15 ระยะเวลาดำเนินงานต่อวัน

รายละเอียด	ระยะเวลาดำเนินงาน
1. เวลาทำงานต่อวัน	
1.1 จำนวนกะต่อวัน (กะ/วัน)	3
1.2 จำนวนชั่วโมงต่อกะ (ชม./กะ)	8
2. เวลาสูญเสียต่อกะ (นาที/กะ) (ข้อมูลตามตาราง 3.2 ข้อ 2)	220
3. ระยะเวลาดำเนินงานต่อวัน (นาที/วัน) (3) = {[(1.2) × 60] – (2)} × (1.1)	780

ในกระบวนการผลิตจริงจะทำการผลิตตามยอดสั่งซื้อสินค้าต่อ lot size จึงสามารถวิเคราะห์ปริมาณความต้องการทรัพยากรของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง จากข้อมูลผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (อ้างอิงตามตาราง 3.1) และด้วยข้อดีของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งอัตราการเกิดของเสียลดลง 50% (อ้างอิงตามตาราง 2.2) ดังนั้น จำนวนวันในการผลิตผลิตภัณฑ์ แสดงดังตาราง 4.16

ตาราง 4.16 ปริมาณการผลิต

การทำงาน	ปริมาณการผลิตต่อปี								หน่วย
	Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front		
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
1. ปริมาณการผลิต (ข้อมูลตามตาราง 3.1 ข้อ 6)	500,000	500,000	20,000	20,000	80,000	80,000	25,000	25,000	หน่วย/ lot size
2. อัตราการเกิดของเสีย (ข้อมูลตามตาราง 3.1 ข้อ 3)	10%	5%	10%	5%	10%	5%	15%	7.5%	
3. จำนวนที่ต้องทำการผลิต (3) = (1)+{(1)x[(2)÷100]}	550,000	525,000	22,000	21,000	88,000	84,000	28,750	26,875	หน่วย/ lot size
4. จำนวน cavity/shot (ข้อมูลตามตาราง 3.1 ข้อ 5)	6	6	1	1	1	1	1	1	cavity/ shot
5. จำนวนครั้งที่ต้องฉีด (5) = (3) ÷ (4)	91,667	87,500	22,000	21,000	88,000	84,000	28,750	26,875	shot/ lot size
6. เวลามาตรฐาน (ข้อมูลตามตาราง 4.13 ข้อ 5)	59.01	41.08	114.09	78.24	114.09	78.24	98.35	62.67	วินาที/ shot
7. ระยะเวลาที่ใช้ผลิตทั้งหมด (7) = [(5) x (6)] ÷ 60	90,154	59,908	41,833	27,384	167,332	109,536	47,128	30,289	นาที/ lot size
8. ระยะเวลาดำเนินงานต่อวัน (ข้อมูลตามตาราง 4.15 ข้อ 3)	780	780	780	780	780	780	780	780	นาที/วัน
9. จำนวนวันในการผลิต (9) = (7) ÷ (8)	116	78	54	36	215	144	60	42	วัน/ lot size
จำนวนวันในการผลิต	**แบบของเหลว**		116 + 54 + 215 + 60 = **445**						**วัน/ปี**
	แบบกึ่งของแข็ง		78 + 36 + 144 + 42 = **300**						**วัน/ปี**

จากปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ทั้งสี่ชนิดแต่ละ lot size รวมจำนวนวันที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว 445 วัน (ประมาณ 1 ปีครึ่ง) และกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง 300 วัน (1 ปี) จำนวนวันทำงานต่อปีคือ 300 วัน จึงบริหารจัดการจำนวนวันและปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและแบบกึ่งของแข็งต่อปีเป็นระยะเวลา 3 ปี เนื่องจากครบรอบการผลิตแต่ละ lot size พอดี โดยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวในระยะเวลา 3 ปี สามารถผลิตได้ผลิตภัณฑ์ละ 2 lot size จึงทำการถัวเฉลี่ยปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในแต่ละปีเท่าๆ กันเพื่อให้สามารถส่งสินค้าทุกชนิดแก่ลูกค้า ส่วนกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ในแต่ละปีสามารถผลิตได้ตามยอดสั่งซื้อพอดี นั่นคือผลิตผลิตภัณฑ์ละ 1 lot size ต่อปี ซึ่งแสดงสัดส่วนการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในแต่ละปี ดังตาราง 4.17

ตาราง 4.17 สัดส่วนการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในแต่ละปี

ปีที่	ผลิตภัณฑ์	สัดส่วนการผลิต					
		แบบของเหลว			แบบกึ่งของแข็ง		
		สัดส่วน (%)	จำนวนวัน (วัน/ปี)	ปริมาณ (หน่วย/ปี)	สัดส่วน (%)	จำนวนวัน (วัน/ปี)	ปริมาณ (หน่วย/ปี)
ปีที่ 1	Heat sink 510	26.00	78	336,207	26.00	78	500,000
	Flange final driven	12.00	36	13,333	12.00	36	20,000
	Heat sink (main) 034	48.00	144	53,582	48.00	144	80,000
	Hub front	14.00	42	17,500	14.00	42	25,000
	รวม	**100.00**	**300**	**420,622**	**100.00**	**300**	**625,000**
ปีที่ 2	Heat sink 510	26.00	78	336,207	26.00	78	500,000
	Flange final driven	12.00	36	13,333	12.00	36	20,000
	Heat sink (main) 034	48.00	144	53,582	48.00	144	80,000
	Hub front	14.00	42	17,500	14.00	42	25,000
	รวม	**100.00**	**300**	**420,622**	**100.00**	**300**	**625,000**
ปีที่ 3	Heat sink 510	25.33	76	327,586	26.00	78	500,000
	Flange final driven	12.00	36	13,334	12.00	36	20,000
	Heat sink (main) 034	47.34	142	52,836	48.00	144	80,000
	Hub front	12.00	36	15,000	14.00	42	25,000
	รวม	**96.67**	**290**	**408,756**	**100.00**	**300**	**625,000**

ทำการวิเคราะห์ปริมาณความต้องการวัตถุดิบแต่ละชนิดตามปริมาณการผลิต โดยจะแสดงรายละเอียดเฉพาะปีที่ 1 ดังนี้

ก. อะลูมิเนียม เกรด ADC12 โดยผลิตภัณฑ์หล่อฉีดจะมีทางไหลของน้ำโลหะเข้าแม่พิมพ์ จึงจะต้องคิดวัตถุดิบเผื่อในส่วนนี้ด้วยซึ่งคิดเป็น 60% (อ้างอิงตามตาราง 2.2) ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์สุทธิ และได้นำ 60% ส่วนที่เป็น scrap กลับมาหลอมใหม่รวมกับอะลูมิเนียมในการหลอมครั้งต่อไป ดังนั้น ปริมาณความต้องการอะลูมิเนียม เกรด ADC12 ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด แสดงดังตาราง 4.18

ตาราง 4.18 ปริมาณความต้องการแท่งอะลูมิเนียม เกรด ADC12

รายละเอียด	ปริมาณ Al ADC12 ต่อ lot size								หน่วย
	Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front		
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
1. น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (ข้อมูลตามตาราง 3.1 ข้อ 2)	120	120	538	538	843	843	944	944	กรัม/หน่วย
2. น้ำหนักหลังฉีด (2) = (1) x 1.60	192	192	861	861	1,349	1,349	1,510	1,510	กรัม/หน่วย
3. ปริมาณการผลิตต่อปี (ข้อมูลตามตาราง 4.17)	336,207	500,000	13,333	20,000	53,582	80,000	17,500	25,000	หน่วย/lot size
4. อัตราการเกิดของเสีย (ข้อมูลตามตาราง 3.1 ข้อ 3)	10%	5%	10%	5%	10%	5%	15%	7.5%	
5. ต้องผลิตผลิตภัณฑ์ (5) = (3)+{(3)×[(4)÷100]}	369,828	525,000	14,666	21,000	58,940	84,000	20,125	26,875	หน่วย/lot size
6. ปริมาณ Al ทั้งหมด (6) = [(2) x (5)] ÷ 1,000	71,007	100,800	12,625	18,077	79,499	113,299	30,397	40,952	กก./lot size
7. สัดส่วนการหลอม Al (Scrap : ADC12)	30 : 70	30 : 70	30 : 70	30 : 70	30 : 70	30 : 70	30 : 70	30 : 70	เปอร์เซ็นต์
8. ใส่ Scrap (8) = (6) x %Scrap	21,302	30,240	3,787	5,423	23,850	33,990	9,119	12,178	กก./lot size
9. ปริมาณ Al ADC12 (9) = (6) – (8)	49,705	70,560	8,837	12,654	55,649	79,309	21,278	28,414	กก./lot size
ปริมาณ ADC12 ต่อปี	**แบบของเหลว**	49,705 + 8,837 + 55,649 + 21,278 = **135,469**							**กก./ปี**
	แบบกึ่งของแข็ง	70,560 + 12,654 + 79,309 + 28,414 = **190,937**							**กก./ปี**

ข. ฟลักซ์ เป็นวัตถุดิบซึ่งทำให้ส่วนผสมที่ถูกเติมลงไปมีจุดหลอมเหลวต่ำและแยกสิ่งสกปรกที่ปนอยู่กับเศษอะลูมิเนียมออก สัดส่วนของน้ำอะลูมิเนียม : ฟลักซ์ เท่ากับ 100 : 0.2 ดังนั้น ปริมาณความต้องการฟลักซ์ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด แสดงดังตาราง 4.19

ตาราง 4.19 ปริมาณความต้องการฟลักซ์

รายละเอียด	ปริมาณฟลักซ์ต่อ lot size								หน่วย
	Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front		
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
1. สัดส่วนการหลอม Al (ADC12 : Flux)	100 : 0.2	100 : 0.2	100 : 0.2	100 : 0.2	100 : 0.2	100 : 0.2	100 : 0.2	100 : 0.2	กก.
2. ปริมาณ Al ทั้งหมด (ข้อมูลตามตาราง 4.18 ข้อ 6)	71,007	100,800	12,625	18,077	79,499	113,299	30,397	40,952	กก./lot size
3. ปริมาณฟลักซ์ (3) = [(2) × 0.2] ÷ 100	142	202	25	36	159	227	61	81	กก./lot size
ปริมาณฟลักซ์ต่อปี	**แบบของเหลว**	142 + 25 + 159 + 61 = **387**							**กก./ปี**
	แบบกึ่งของแข็ง	202 + 36 + 227 + 81 = **546**							**กก./ปี**

ค. น้ำยาพ่นแม่พิมพ์ ใช้สำหรับพ่นลดอุณหภูมิแม่พิมพ์หลังจากการหล่อฉีดโลหะเพื่อหล่อฉีดโลหะครั้งต่อไป และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (Reverse Osmosis, RO) เป็นการกำจัดสารละลายในน้ำโดยให้น้ำไหลผ่านเยื่อกรองที่มีความละเอียดสูง สิ่งเจือปนต่างๆ ที่มีอยู่จะถูกขจัดออกได้ทั้งหมดช่วยยืดอายุการใช้งานแม่พิมพ์ ปริมาณความต้องการวัตถุดิบทั้งสอง แสดงดังตาราง 4.20

ตาราง 4.20 ปริมาณความต้องการน้ำยาพ่นแม่พิมพ์และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์

รายละเอียด	ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ต่อ lot size								หน่วย
	Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front		
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
1. ระยะเวลาพ่นน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสมแล้ว (ข้อมูลตามตาราง 4.10 ข้อ 1)	10.82	7.11	21.64	14.22	21.64	14.22	18.55	12.19	วินาที/หน่วย
2. อัตราการไหลของน้ำสเปรย์ (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	40	40	40	40	40	40	40	40	มล./วินาที
3. ต้องผลิตผลิตภัณฑ์ (ข้อมูลตามตาราง 4.18 ข้อ 5)	369,828	525,000	14,666	21,000	58,940	84,000	20,125	26,875	หน่วย/lot size
4. จำนวน cavity/shot (ข้อมูลตามตาราง 3.1 ข้อ 5)	6	6	1	1	1	1	1	1	cavity/shot
5. จำนวนครั้งที่ต้องฉีด (5) = (3) ÷ (4)	61,638	87,500	14,666	21,000	58,940	84,000	20,125	26,875	shot/lot size
6. น้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสมแล้ว (6) = [(1)x(2)x(5)] ÷ 1,000	26,681	24,884	12,697	11,944	51,026	47,778	14,934	13,102	ลิตร/lot size
7. สัดส่วนการผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (น้ำยา : น้ำ RO)	1:100	1:100	1:100	1:100	1:100	1:100	1:100	1:100	ลิตร
8. น้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (8) = (6) ÷ (100 + 1)	264	246	126	118	505	473	148	130	ลิตร/lot size
9. น้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (9) = (6) – (8)	26,413	24,639	12,569	11,827	50,513	47,306	14,785	12,975	ลิตร/lot size
ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ต่อปี	**แบบของเหลว**	264 + 126 + 505 + 148 = **1,043**							ลิตร/ปี
	แบบกึ่งของแข็ง	246 + 118 + 473 + 130 = **968**							ลิตร/ปี
ปริมาณน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ต่อปี	**แบบของเหลว**	26,413 + 12,569 + 50,513 + 14,785 = **104,280**							ลิตร/ปี
	แบบกึ่งของแข็ง	24,639 + 11,827 + 47,306 + 12,975 = **96,746**							ลิตร/ปี

ง. น้ำมันไฮดรอลิก เป็นตัวกลางในการถ่ายทอดแรงไปยังส่วนต่างๆ และช่วยระบายความร้อนของระบบ โดยปริมาณการใช้น้ำมันไฮดรอลิกคิดตามจำนวนวันดำเนินงานและจากที่กำหนดให้จำนวนวันดำเนินงานเท่ากันทั้งสองกระบวนการ (อ้างอิงตามตาราง 4.17) ดังนั้น ปริมาณการใช้น้ำมันไฮดรอลิกในแต่ละผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง จึงเท่ากันทั้งสองกระบวนการ ดังตาราง 4.21

ตาราง 4.21 ปริมาณความต้องการน้ำมันไฮดรอลิก

รายละเอียด	ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิกต่อ lot size				หน่วย
	Heat sink 510	Flange final driven	Heat sink (main) 034	Hub front	
1. ปริมาณการใช้น้ำมันไฮดรอลิก (ข้อมูลตามตาราง 3.3 ข้อ 3)	1	1	1	1	ลิตร/วัน
2. จำนวนวันในการผลิต (ข้อมูลตามตาราง 4.17)	78	36	144	42	วัน/lot size
3. ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก (3) = (1) x (2)	78	36	144	42	ลิตร/lot size
ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก	78 + 36 + 144 + 42 = **300**				**ลิตร/ปี**

จ. น้ำประปา เป็นน้ำหล่อเลี้ยงเครื่องจักรเพื่อลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ เพื่อลดการติดกันของชิ้นงานกับแม่พิมพ์และลดการเกิดโพรงหดตัว โดยปริมาณความต้องการน้ำประปาคิดตามจำนวนวันดำเนินงาน แสดงดังตาราง 4.22

ตาราง 4.22 ปริมาณความต้องการน้ำประปา

รายละเอียด		ปริมาณน้ำประปาต่อ lot size		หน่วย
		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
1. น้ำเลี้ยงเปิดตลอดเวลาที่เครื่องจักรทำงาน 24 ชม.		86,400	86,400	วินาที/วัน
2. ท่อจ่ายน้ำหลัก ขนาด 3 นิ้ว (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)		0.0762	0.0762	เมตร
3. ท่อน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องจักร ขนาด 1 นิ้ว (ข้อมูลตามตาราง 3.3 ข้อ 2)		0.0254	0.0254	เมตร
4. อัตราการไหลน้ำในท่อจ่ายน้ำหลัก 30 ลิตร/นาที (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)		0.0005	0.0005	ลบ.ม./วินาที
5. พื้นที่หน้าตัดของท่อจ่ายน้ำหลัก (5) = (π/4) x $(2)^2$		0.0046	0.0046	ตร.ม.
6. ความเร็วของน้ำในท่อ (6) = (4) ÷ (5)		0.1096	0.1096	เมตร/วินาที
7. พื้นที่หน้าตัดของท่อจ่ายน้ำเข้าเครื่องจักร (7) = (π/4) x $(3)^2$		0.000507	0.000507	ตร.ม.
8. อัตราการไหลน้ำในท่อจ่ายน้ำเข้าเครื่องจักร (8) = (6) x (7)		0.000056	0.000056	ลบ.ม./วินาที
9. จำนวนวันในการผลิต (ข้อมูลตามตาราง 4.17)	Heat sink 510	78	78	วัน/lot size
	Flange final driven	36	36	วัน/lot size
	Heat sink (main) 034	144	144	วัน/lot size
	Hub front	42	42	วัน/lot size
10.ปริมาณการใช้น้ำประปา (10) = (1) x (8) x (9)	Heat sink 510	373	373	ลบ.ม./lot size
	Flange final driven	172	172	ลบ.ม./lot size
	Heat sink (main) 034	690	690	ลบ.ม./lot size
	Hub front	203	203	ลบ.ม./lot size
ปริมาณการใช้น้ำประปา		**1,438**	**1,438**	**ลบ.ม./ปี**

ฉ. การบำรุงรักษาเครื่องจักร ทุกผลิตภัณฑ์กำหนดตามอายุการใช้งาน (อ้างอิงตาราง 3.4) คือ กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว เครื่องจักรมีอายุการใช้งาน 10 ปี ต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักรเท่ากับ 2% ของราคาเครื่องจักรทั้งหมด และกรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ เป็นเครื่องจักรใหม่ยังไม่มีการใช้งานเครื่องจักร ต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักรเท่ากับ 5% ของราคาเครื่องจักรทั้งหมด

จากตาราง 4.18 4.19 4.20 4.21 4.22 และเปอร์เซ็นต์การบำรุงรักษาเครื่องจักร สามารถสรุปปริมาณความต้องการวัตถุดิบแต่ละชนิดต่อปี แสดงดังตาราง 4.23

ตาราง 4.23 ปริมาณความต้องการวัตถุดิบแต่ละชนิดต่อปี

รายละเอียด	ปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดต่อปี		หน่วย
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
1. ปริมาณอะลูมิเนียม เกรด ADC12 (ข้อมูลตามตาราง 4.18)	135,469	190,937	กก./ปี
2. ปริมาณฟลักซ์ (ข้อมูลตามตาราง 4.19)	387	546	กก./ปี
3. ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (ข้อมูลตามตาราง 4.20)	1,043	967	ลิตร/ปี
ปริมาณน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (ข้อมูลตามตาราง 4.20)	104,295	96,742	ลิตร/ปี
4. ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก (ข้อมูลตามตาราง 4.21)	300	300	ลิตร/ปี
5. ปริมาณการใช้น้ำประปา (ข้อมูลตามตาราง 4.22)	1,438	1,438	ลบ.ม./ปี
6. การบำรุงรักษาเครื่องจักร กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว	2%	2%	
(ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา) กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่	5%	5%	

ทำการวิเคราะห์ปริมาณความต้องการพลังงานแต่ละชนิด ตามปริมาณการผลิต โดยจะแสดงรายละเอียดเฉพาะปีที่ 1 ดังนี้

ก. แก๊สไนโตรเจน การใช้แก๊สไนโตรเจน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของแรงอัดของเครื่องหล่อฉีดโลหะ ใช้ทั้งกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและแบบกึ่งของแข็ง และส่วนการปล่อยฟองแก๊สของเครื่อง GISS ใช้เฉพาะกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง โดยปริมาณความต้องการแก๊สไนโตรเจนของทั้งสองส่วน แสดงดังตาราง 4.24

ตาราง 4.24 ปริมาณความต้องการแก๊สไนโตรเจน

รายละเอียด	ปริมาณแก๊สไนโตรเจนต่อ lot size								หน่วย
	เครื่องหล่อฉีดโลหะ				เครื่อง GISS				
	Heat sink 510	Flange final driven	Heat sink (main) 034	Hub front	Heat sink 510	Flange final driven	Heat sink (main) 034	Hub front	
1. ปริมาณการใช้แก๊สไนโตรเจน	3.40	3.40	3.40	3.40					บาร์/วัน
(ข้อมูลตามตาราง 3.3 ข้อ 1)					4	4	4	4	ลิตร/นาที
2. จำนวนวันในการผลิต (ข้อมูลตามตาราง 4.17)	78	36	144	42					วัน/ lot size
3. ระยะเวลาปล่อยฟองแก๊ส (ข้อมูลตามตาราง 4.8)					10	10	10	15	วินาที/ shot
4. จำนวนครั้งที่ต้องฉีด (ข้อมูลตามตาราง 4.20 ข้อ5)					87,500	21,000	84,000	26,875	shot/ lot size
5. ปริมาณแก๊สไนโตรเจน	265	122	490	143	58,333	14,000	56,000	26,875	บาร์/
	(5) = (1) × (2)				(5) = [(1) ÷ 60]× (3) × (4)				lot size
ปริมาณแก๊สไนโตรเจน	**แบบของเหลว เครื่องหล่อฉีดโลหะ** 265 + 122 + 490 + 143 = **1,020**								**บาร์/ปี**
	แบบกึ่งของแข็ง เครื่องหล่อฉีดโลหะ 265 + 122 + 490 + 143 = **1,020**								**บาร์/ปี**
	เครื่อง GISS 58,333 + 14,000 + 56,000 + 26,875 = **155,208**								**ลิตร/ปี**

ข. แก๊สเชื้อเพลิง (LPG) ใช้ในการให้ความร้อนเพื่อหลอมเหลวอะลูมิเนียม การใช้แก๊สเชื้อเพลิง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของปริมาณแก๊สที่ใช้ในการหลอมอลูมิเนียมและส่วนของปริมาณแก๊สที่ใช้ในการรักษาอุณหภูมิภายในเตาหลอมระหว่างวัน โดยในการหลอมอะลูมิเนียมที่อุณหภูมิหลอมต่างๆ มีอัตราการสูญเสียความร้อน ดังตาราง 4.25

ตาราง 4.25 อัตราการสูญเสียความร้อน

อุณหภูมิของเหลวภายในเตาหลอม (°C)	600	700	800	900	1,000	1,100	1,200
อัตราการสูญเสียความร้อน (kJ/m^3)	350.5	384.0	413.7	447.2	466.7	490.3	512.7

ที่มา : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

สำหรับปริมาณความต้องการแก๊สเชื้อเพลิง (LPG) ของทั้งสองกระบวนการคิดตามจำนวนวันดำเนินงาน แต่ในกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งมีอุณหภูมิหลอมต่ำกว่า เนื่องจากในขั้นตอนถัดไปเป็นการทำให้น้ำโลหะมีลักษณะกึ่งของแข็งของเหลว ดังนั้น ปริมาณการใช้แก๊สจึงน้อยกว่ากระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว แสดงรายละเอียดดังตาราง 4.26

ตาราง 4.26 ปริมาณความต้องการแก๊สเชื้อเพลิง (LPG)

รายละเอียด	ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงต่อปี		หน่วย
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
1. ปริมาณแก๊สที่ใช้หลอมอะลูมิเนียม			
1.1 ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอะลูมิเนียม (ข้อมูลจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุศาสตร์)	0.288	0.288	kcal/kg.°C
1.2 ค่าความร้อนแฝงจำเพาะของอะลูมิเนียม (ข้อมูลจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุศาสตร์)	94.4	94.4	kcal/kg.°C
1.3 อุณหภูมิหลอมอะลูมิเนียม เกรด ADC12 (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	700	650	องศาเซลเซียส
1.4 อุณหภูมิปกติในโรงงาน (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	25	25	องศาเซลเซียส
1.5 หลอมอะลูมิเนียม (ตามขนาดเตาอุ่นน้ำโลหะ)	450	450	กก.
1.6 ปริมาณความร้อนในการหลอม (1.6) = [(1.5) x (1.2)] + {(1.5) x (1.1) x [(1.3) - (1.4)]}	129,960	123,480	กิโลแคลอรี่/วัน
1.7 ปริมาณความร้อนในการหลอม (เต็มประสิทธิภาพ) โดยที่ 1 kcal = 4.184 kJ (1.7) = [(1.6) x 4.184] ÷ 1000	544	517	เมกกะจูล/วัน
1.8 ประสิทธิภาพการทำงานของเตาหลอม (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	70%	70%	
1.9 ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมจริง (1.9) = (1.7)÷(1.8)	777	738	เมกกะจูล/วัน
1.10 แก๊ส LPG ให้ปริมาณความร้อน (ข้อมูลจากสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)	50.22	50.22	เมกกะจูล/กก.
1.11 ปริมาณแก๊ส LPG หลอมอะลูมิเนียม (1.11) = (1.9) ÷ (1.10)	15.47	14.70	กก./วัน
2. ปริมาณแก๊สที่ใช้รักษาอุณหภูมิ			
2.1 เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดเตาหลอม (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	0.60	0.60	เมตร
2.2 พื้นที่หน้าตัดของช่องเปิดเตาหลอม (2.2) = (π/4) x (2.1)^2	0.28	0.28	ตารางเมตร
2.3 ความเร็วของอากาศเย็นที่ไหลเข้าช่องเปิดเตาหลอม (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	0.20	0.20	เมตร/วินาที
2.4 อัตราการไหลของอากาศเย็นที่ไหลเข้าช่องเปิดเตาหลอม (2.4) = (2.2) x (2.3) × 3,600	203.58	203.58	ลบ.ม./ชม.
2.5 อัตราการสูญเสียความร้อน (ข้อมูลตามตาราง 4.25)	384.00	367.25	กิโลจูล/ลบ.ม.
2.6 อัตราการสูญเสียความร้อนต่อชั่วโมง (2.6) = [(2.4) x (2.5)] ÷ 1,000	78.17	74.76	เมกกะจูล/ชม.
2.7 ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการรักษาอุณหภูมิ (2.7) = (2.6) ÷ (1.8)	111.67	106.80	เมกกะจูล/ชม.
2.8 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (2.8) = (2.6) ÷ (1.10)	2.22	2.13	กก./ชม.
2.9 ระยะเวลารักษาอุณหภูมิ (ระยะเวลาดำเนินงานต่อวัน)	24	24	ชม./วัน
2.10 ปริมาณแก๊ส LPG ที่ใช้รักษาอุณหภูมิ (2.10) = (2.9)x(2.8)	53.37	51.04	กก./วัน

ตาราง 4.26 ปริมาณความต้องการแก๊สเชื้อเพลิง (LPG) (ต่อ)

รายละเอียด		ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงต่อปี		หน่วย
		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
2.11 จำนวนวันในการผลิต	Heat sink 510	78	78	วัน/lot size
(ข้อมูลตามตาราง 4.17)	Flange final driven	36	36	วัน/lot size
	Heat sink (main) 034	144	144	วัน/lot size
	Hub front	42	42	วัน/lot size
2.12 ปริมาณแก๊ส LPG	Heat sink 510	4,163	3,981	กก./lot size
(2.12) = [(1.11) + (2.10)] × (2.11)	Flange final driven	1,921	1,837	กก./lot size
	Heat sink (main) 034	7,685	7,350	กก./lot size
	Hub front	2,242	2,144	กก./lot size
แก๊สเชื้อเพลิงทั้งหมด		**16,011**	**15,312**	**กก./ปี**

ค. ไฟฟ้า คำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าแบบ Time of Use (TOU) โดยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวเครื่องจักรที่ใช้ไฟฟ้ามี 2 เครื่อง ได้แก่ เครื่องหล่อฉีดโลหะและเตาอุ่นน้ำโลหะ ส่วนกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งเครื่องจักรที่ใช้ไฟฟ้ามี 3 เครื่อง ได้แก่ เครื่องหล่อฉีดโลหะ เตาอุ่นน้ำโลหะ และเครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง ดังนั้น ปริมาณความต้องการไฟฟ้าของเครื่องจักรแต่ละชนิด แสดงดังตาราง 4.27

ตาราง 4.27 ปริมาณความต้องการไฟฟ้าของเครื่องจักรแต่ละชนิด

รายละเอียด	ปริมาณความต้องการไฟฟ้าต่อเครื่องจักร		หน่วย
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
1. เครื่องหล่อฉีดโลหะ (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	45	45	กิโลวัตต์
2. เตาอุ่นน้ำโลหะ (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	15	15	กิโลวัตต์
3. เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)		3	กิโลวัตต์
ปริมาณความต้องการไฟฟ้า (4) = (1) + (2) + (3)	**60**	**63**	**กิโลวัตต์**

จากตาราง 4.24 4.26 และ 4.27 สามารถสรุปปริมาณความต้องการพลังงานแต่ละชนิดต่อปี แสดงดังตาราง 4.28

ตาราง 4.28 ปริมาณความต้องการพลังงานแต่ละชนิดต่อปี

รายละเอียด	ปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดต่อปี		หน่วย
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
1. ปริมาณแก๊สไนโตรเจน เครื่องหล่อฉีดโลหะ	1,020	1,020	บาร์/ปี
(ข้อมูลตามตาราง 4.24) เครื่อง GISS		155,208	ลิตร/ปี
2. ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง (ข้อมูลตามตาราง 4.26)	16,011	15,312	กก./ปี
3. ปริมาณความต้องการไฟฟ้าของเครื่องจักรทุกชนิด (ข้อมูลตามตาราง 4.27)	60	63	กิโลวัตต์

4.3 ผลลัพธ์แบบจำลองต้นทุน

4.3.1 เงินลงทุน

การวิเคราะห์เงินลงทุน หมายถึง การประเมินมูลค่าในการจัดเตรียมสิ่งต่างๆ ให้พร้อมที่จะดำเนินการ ได้แก่ ค่าสิ่งก่อสร้าง ค่าเครื่องจักร และค่าสาธารณูปโภคต่างๆ โดยแบ่งการวิเคราะห์เงินลงทุนออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว และกรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่

4.3.1.1 กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว โรงงานมีการเปิดดำเนินกิจการด้วยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว เป็นระยะเวลา 10 ปี จะทำการประเมินมูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบัน จากราคาก่อสร้าง ราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์ในปัจจุบัน แล้วพิจารณาดัชนีการเพิ่มขึ้นลดลงของราคาสินทรัพย์เฉลี่ยต่อปี เพื่อให้ทราบถึงราคาก่อสร้าง เครื่องจักรและอุปกรณ์ในอดีตแล้วหักลบด้วยมูลค่าของค่าเสื่อมราคาสะสมด้วยวิธีเส้นตรงตามอายุการใช้งาน โดยราคาก่อสร้าง ราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์ในปัจจุบัน แสดงดังตาราง 4.29

ตาราง 4.29 ราคาก่อสร้าง ราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์ในปัจจุบัน

รายละเอียด	จำนวน	มูลค่าสินทรัพย์ (บาท)	ที่มา
1. ค่าที่ดิน	400 ตร.ม.	3,000,000	กรมธนารักษ์
2. อาคารสำนักงาน ตร.ม.ละ 10,000 บาท	50 ตร.ม.	500,000	บริษัท นีโอ ซีวิล 2004 จำกัด
3. อาคารโรงงาน ตร.ม.ละ 7,000 บาท	120 ตร.ม.	840,000	
4. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน	1 เครื่อง	8,500,000	บริษัท เอส.พี. ไดคาสติง จำกัด
5. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	1 เตา	2,000,000	
6. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก.	1 เตา	2,500,000	
7. ระบบน้ำประปาในโรงงาน		100,000	บริษัท นีโอ ซีวิล 2004 จำกัด

ตาราง 4.29 ราคาก่อสร้าง ราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์ในปัจจุบัน (ต่อ)

รายละเอียด	จำนวน	มูลค่าสินทรัพย์ (บาท)	ที่มา
8. อุปกรณ์สำนักงาน	1 ชุด	100,000	บริษัท อินฟินิตี้ ออฟฟิต ซัพพลาย จำกัด
9. ยานพาหนะ (รถหกล้อ รุ่น SERIES 3 XZU303R-4W เครื่องยนต์ 4 สูบ 110 แรงม้า)	1 คัน	800,000	บริษัท ฮีโน่มอเตอร์เซลล์ (ประเทศไทย) จำกัด
รวม		**18,340,000**	

พิจารณาดัชนีการเพิ่มขึ้นลดลงของราคาสินทรัพย์เฉลี่ยต่อปี (อ้างอิงตามตาราง 3.6) เพื่อหาค่าราคาก่อสร้าง เครื่องจักรและอุปกรณ์ในอดีต กำหนดให้โรงงานมีการดำเนินกิจการมาแล้ว 10 ปี (อ้างอิงตามตาราง 3.5 ข้อ 4) โดยแสดงการคำนวณการหาค่ามูลค่าสินทรัพย์ในอดีต 1 ตัวอย่าง (ค่าก่อสร้างอาคารสำนักงาน) ดังตาราง 4.30

ตาราง 4.30 การคำนวณมูลค่าสินทรัพย์ในอดีต (เฉพาะค่าก่อสร้างอาคารสำนักงาน)

ปีที่ดำเนินการก่อสร้าง	ราคาก่อสร้าง (บาท)	ดัชนีการเพิ่มขึ้นของราคาเฉลี่ย 5% ต่อปี (บาท)
0	500,000	25,000
1	475,000	23,750
2	451,250	22,563
3	428,688	21,434
4	407,253	20,363
5	386,890	19,345
6	367,546	18,377
7	349,169	17,458
8	331,710	16,586
9	315,125	15,756
10	299,368	14,968

จากตาราง 4.32 อธิบายได้คือ ปีที่ดำเนินการก่อสร้าง ปีที่ 0 หมายถึง ปีปัจจุบันที่ดำเนินการก่อสร้าง โดยมีราคาก่อสร้าง 500,000 บาท (อ้างอิงตามตาราง 4.29 ข้อ 2) และมีดัชนีการเพิ่มขึ้นของราคาเฉลี่ย 5% ต่อปี หมายความว่า ราคาก่อสร้างเพิ่มขึ้นจากปีที่แล้ว คิดเป็นเงิน 25,000 บาท เพราะฉะนั้น เมื่อย้อนหลังไปหนึ่งปี ราคาก่อสร้าง คิดเป็นเงิน 475,000 บาท และทำการคิดย้อนหลังกลับไปจนถึงปีที่ 10 ตามระยะเวลาการดำเนินกิจการ เพื่อหาราคาก่อสร้างเมื่อ 10 ปีที่แล้ว จากนั้นทำการประเมินมูลค่าสินทรัพย์ทั้งหมดด้วยวิธีการเดียวกัน ดังตาราง 4.31

ตาราง 4.31 มูลค่าสินทรัพย์ถาวรจากการลงทุน 10 ปีที่แล้ว

รายละเอียด	มูลค่าสินทรัพย์ (บาท)
1. ค่าที่ดิน (คงที่ตามมูลค่าปัจจุบัน)	3,000,000
2. อาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	299,368
3. อาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	502,939
4. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน	6,945,119
5. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	1,634,146
6. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก.	2,042,682
7. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	59,874
8. อุปกรณ์สำนักงาน	59,874
9. ยานพาหนะ (ประเมินจากการลงทุน 5 ปีที่แล้ว)	478,990
มูลค่าสินทรัพย์เมื่อ 10 ปีที่แล้ว (1) + (2) +...+ (9)	**15,022,992**

เมื่อหมดอายุการใช้งาน ทำการประเมินมูลค่าซากเพื่อหามูลค่าเงินที่คาดว่าจะได้รับจากการขายสินทรัพย์เมื่อสิ้นสุดโครงการ (อ้างอิงข้อมูลตามตาราง 3.5 ข้อ 6) ดังตาราง 4.32

ตาราง 4.32 มูลค่าซากเพื่อการประเมินมูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบันสำหรับกรณีที่ 1 (มีโรงงานแล้ว)

รายละเอียด	% มูลค่าซาก	มูลค่าซาก (บาท) (ตาราง 4.31 × % มูลค่าซาก)
1. ค่าที่ดิน (คงที่ตามมูลค่าปัจจุบัน)		3,000,000
2. อาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	30%	89,810
3. อาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	30%	150,882
4. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน	20%	1,389,024
5. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	20%	326,829
6. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก.	20%	408,536
7. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	0	0
8. อุปกรณ์สำนักงาน	0	0
9. ยานพาหนะ	60%	287,394
มูลค่าซาก (1) + (2) +...+ (9)		**5,652,475**

ประเมินค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรงเพื่อหามูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบันที่ลดลงตามอายุการใช้งาน ยกเว้นที่ดินไม่คิดค่าเสื่อมราคาเนื่องจากเป็นสินทรัพย์ที่ไม่มีการเสื่อมสภาพ ดังตาราง 4.33

ตาราง 4.33 ค่าเสื่อมราคาต่อปีเพื่อการประเมินมูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบันในกรณีที่ 1 (มีโรงงานแล้ว)

รายละเอียด	อายุการใช้งาน (ปี)	ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี) (ตาราง 4.31 × ตาราง 4.32) ÷ อายุการใช้งาน
1. อาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	20	10,478
2. อาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	20	17,603
3. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน	20	277,805
4. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	20	65,366
5. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก.	20	81,707
6. เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง	20	
7. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	10	5,987
8. อุปกรณ์สำนักงาน	10	5,987
9. ยานพาหนะ	5	38,319
ค่าเสื่อมราคาต่อปี (1) + (2) +...+ (9)		**503,252**

จากการประเมินมูลค่าสินทรัพย์ที่ทำการลงทุนเมื่อ 10 ปีที่แล้ว และหักลบค่าเสื่อมราคาสะสมจากการดำเนินงาน สามารถประเมินมูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบันได้ ดังตาราง 4.34

ตาราง 4.34 มูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบันสำหรับกรณีที่ 1 (มีโรงงานแล้ว)

รายละเอียด	มูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบัน (บาท) (ตาราง 4.31 – (ระยะเวลาดำเนินงาน × ตาราง 4.33))
1. ค่าที่ดิน (คงที่ตามมูลค่าปัจจุบัน)	3,000,000
2. อาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	194,588
3. อาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	326,909
4. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน	4,167,071
5. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	980,488
6. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก.	1,225,609
7. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	0
8. อุปกรณ์สำนักงาน	0
9. ยานพาหนะ	287,394
มูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบัน (1) + (2) +...+ (9)	**10,182,059**

โรงงานมีการดำเนินกิจการมาแล้ว 10 ปี โครงการเริ่มต้นขึ้นในปีที่ 11 ระบบน้ำประปาในโรงงาน อุปกรณ์สำนักงาน และยานพาหนะ หมดอายุการใช้งานพอดี จึงจำเป็นต้องมีการลงทุนใหม่ ดังนั้น สำหรับกรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว สามารถประเมินมูลค่าสินทรัพย์ถาวรของการลงทุนทั้งหมดของทั้งสองกระบวนการ โดยในกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง มีการเพิ่มเครื่อง GISS (ประเมินราคาโดย บริษัท กิสโค จำกัด) แสดงรายละเอียดดังตาราง 4.35

ตาราง 4.35 เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรสำหรับกรณีที่ 1 (มีโรงงานแล้ว)

รายละเอียด	มูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบัน (บาท)	
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1. ค่าที่ดิน (คงที่ตามมูลค่าปัจจุบัน)	3,000,000	3,000,000
2. อาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	194,588	194,588
3. อาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	326,909	326,909
4. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน	4,167,071	4,167,071
5. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	980,488	980,488
6. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก.	1,225,609	1,225,609
7. เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (GISS)		3,000,000
8. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	100,000	100,000
9. อุปกรณ์สำนักงาน	100,000	100,000
10.*ยานพาหนะ	800,000	800,000
มูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบัน (1) + (2) +...+ (10)	**10,894,665**	**13,894,665**

*เนื่องจากอายุโครงการ 10 ปี ยานพาหนะมีอายุการใช้งาน 5 ปี จะมีการลงทุนยานพาหนะเพิ่มปีที่ 6

เนื่องจากการเริ่มต้นโครงการในปีที่ 11 มีการลงทุนใหม่ของระบบน้ำประปาในโรงงาน อุปกรณ์สำนักงาน และยานพาหนะ ดังนั้น มูลค่าซากและค่าเสื่อมราคาต่อปีมีค่าเปลี่ยนแปลงจากการประเมินในขั้นต้น จึงทำการประเมินมูลค่าซากและค่าเสื่อมราคาต่อปีตามเงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร โดยมูลค่าที่ดินจะไม่คิดค่าเสื่อมราคาเนื่องจากที่ดินเป็นสินทรัพย์ที่ไม่มีการเสื่อมสภาพ แสดงดังตาราง 4.36 และ 4.37 ตามลำดับ

ตาราง 4.36 มูลค่าซากสำหรับกรณีที่ 1 (มีโรงงานแล้ว)

รายละเอียด	% มูลค่าซาก	มูลค่าซาก (บาท) (ตาราง 4.35 × % มูลค่าซาก)	
		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1. ค่าที่ดิน (คงที่ตามมูลค่าปัจจุบัน)		3,000,000	3,000,000
2. อาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	30%	89,810	89,810
3. อาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	30%	150,882	150,882
4. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน	20%	1,389,024	1,389,024
5. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	20%	326,829	326,829
6. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก.	20%	408,536	408,536
7. เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง	20%		600,000
8. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	0	0	0
9. อุปกรณ์สำนักงาน	0	0	0
10.ยานพาหนะ	60%	480,000	480,000
มูลค่าซาก (1) + (2) +...+ (10)		**5,845,081**	**6,445,081**

ตาราง 4.37 ค่าเสื่อมราคาต่อปีสำหรับกรณีที่ 1 (มีโรงงานแล้ว)

รายละเอียด	อายุการใช้งาน (ปี)	ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี) (ตาราง 4.35 × ตาราง 4.36) ÷ อายุการใช้งาน	
		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1. อาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	20	10,478	10,478
2. อาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	20	17,603	17,603
3. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน	20	277,805	277,805
4. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	20	65,366	65,366
5. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก.	20	81,707	81,707
6. เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง	20		120,000
7. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	10	10,000	10,000
8. อุปกรณ์สำนักงาน	10	10,000	10,000
9. ยานพาหนะ	5	64,000	64,000
ค่าเสื่อมราคาต่อปี (1) + (2) +...+ (9)		**536,959**	**656,959**

4.3.1.2 กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ เป็นการลงทุนกิจการใหม่ระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและแบบกึ่งของแข็ง โดยเงินลงทุนโครงการ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร และเงินทุนหมุนเวียน

ก. ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตั้งแต่วันแรกของการเริ่มโครงการจนถึงวันที่เริ่มดำเนินการผลิต ซึ่งเท่ากันทั้งสองกระบวนการ ดังตาราง 4.38

ตาราง 4.38 ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน

รายละเอียด	จำนวนเงิน (บาท)
1. ค่าใช้จ่ายในการศึกษาความเป็นไปได้	80,000
ค่าคำนวณพื้นที่อาคาร	20,000
ค่าคำนวณต้นทุนการก่อสร้าง	20,000
ค่าคำนวณต้นทุนการดำเนินการ	20,000
ค่าคำนวณผลตอบแทนที่จะได้รับ	20,000
2. ค่าใช้จ่ายในการติดต่อสื่อสาร	50,000
3. ค่าฝึกอบรมพนักงาน	100,000
4. ค่าติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์	100,000
ค่าขนส่งเครื่องจักร	80,000
ค่าแรงงาน	20,000
5. เงินเดือน :	420,000
ผู้จัดการโครงการ เดือนละ 20,000 บาท	240,000
วิศวกรโครงการ เดือนละ 15,000 บาท	180,000
ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน (1) + (2) +...+ (5)	**750,000**

ที่มา : ฝ่ายประเมินราคา บริษัท นีโอซีวิล 2004 จำกัด (2554)

ข. เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร (อ้างอิงตามตาราง 4.29) เป็นค่าใช้จ่ายที่ลงทุนไว้เพื่อใช้ในการผลิตสินค้า ดังตาราง 4.39

ตาราง 4.39 เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรสำหรับกรณีที่ 2 (จัดตั้งโรงงานใหม่)

รายละเอียด	จำนวนเงิน (บาท)	
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1. ค่าที่ดิน	3,000,000	3,000,000
2. อาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	500,000	500,000
3. อาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	840,000	840,000
4. งานปรับที่ดิน ขนาด 400 ตร.ม.ค่าปรับที่ดิน ตร.ม.ละ 440 บาท (ที่มา บริษัท นีโอซีวิล 2004 จำกัด)	176,000	176,000
5. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน	8,500,000	8,500,000
6. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กิโลกรัม	2,000,000	2,000,000
7. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กิโลกรัม	2,500,000	2,500,000
8. เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (GISS)		3,000,000
9. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	100,000	100,000
10.อุปกรณ์สำนักงาน	100,000	100,000
11.*ยานพาหนะ	800,000	800,000
เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร (1) + (2) +...+ (11)	**18,516,000**	**21,516,000**

*เนื่องจากอายุโครงการ 10 ปี ยานพาหนะมีอายุการใช้งาน 5 ปี จะมีการลงทุนยานพาหนะเพิ่มปีที่ 6

ค. เงินทุนหมุนเวียน เป็นจำนวนเงินสำหรับจัดเตรียมวัตถุดิบคงคลังเพื่อให้การผลิตดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง กำหนดให้มีการจัดเก็บวัตถุดิบคงคลัง 6 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียม เกรด ADC12 ฟลักซ์ น้ำยาพ่นแม่พิมพ์ น้ำมันไฮดรอลิก แก๊สไนโตรเจน และแก๊สเชื้อเพลิง จากปริมาณการใช้วัตถุดิบและพลังงานต่อปีในตาราง 4.23 และ 4.28 แสดงมูลค่าเงินทุนหมุนเวียน ดังตาราง 4.40

ตาราง 4.40 เงินทุนหมุนเวียน

ชนิดวัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบต่อวัน		ระยะเวลาสั่งซื้อ (วัน)	ปริมาณวัตถุดิบจัดเก็บ		ราคาต่อหน่วย (บาท/หน่วย)	เงินทุนหมุนเวียน (บาท)	
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1. Al เกรด ADC12 (กก.)	451.56	636.46	30	13,547	19,094	80	1,083,752	1,527,496
2. ฟลักซ์ (กก.)	1.29	1.82	120	155	218	39	6,037	8,518
3. น้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (ลิตร)	3.48	3.22	120	417	387	51	21,277	19,727
4. น้ำมันไฮดรอลิก (ลิตร)	1.00	1.00	120	120	120	44	5,280	5,280
5. แก๊สไนโตรเจน (บาร์)	3.40	3.40	120	408	408	15.71	6,410	6,410
(ลิตร)		517.36	30		15,521	0.4		6,208
6. แก๊สเชื้อเพลิง	48.10	44.66	60	2,886	2,680	23	66,378	61,635
เงินทุนหมุนเวียน (1) + (2) +...+ (6)							**1,189,134**	**1,635,274**

ดังนั้น เงินในการลงทุนโครงการ สำหรับกรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ ดังตาราง 4.41

ตาราง 4.41 เงินลงทุนโครงการสำหรับกรณีที่ 2 (จัดตั้งโรงงานใหม่)

รายละเอียด	จำนวนเงิน (บาท)	
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1. ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน		
1.1 ค่าใช้จ่ายในการศึกษาความเป็นไปได้	80,000	80,000
1.2 ค่าใช้จ่ายในการติดต่อสื่อสาร	50,000	50,000
1.3 ค่าฝึกอบรมพนักงาน	100,000	100,000
1.4 ค่าติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์	100,000	100,000
1.5 เงินเดือน : ผู้จัดการโครงการ และวิศวกรโครงการ	420,000	420,000
รวมค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน	**750,000**	**750,000**
2. เงินลงทุนในทรัพย์สินทรัพย์ถาวร		
2.1 ค่าที่ดิน	3,000,000	3,000,000
2.2 ค่าก่อสร้างอาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	500,000	500,000
2.3 ค่าก่อสร้างอาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	840,000	840,000
2.4 งานปรับที่ดินและล้อมรั้ว ขนาด 400 ตร.ม.	176,000	176,000
2.5 เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน	8,500,000	8,500,000
2.6 เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กิโลกรัม	2,000,000	2,000,000
2.7 เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กิโลกรัม	2,500,000	2,500,000
2.8 เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (GISS)		3,000,000
2.9 ระบบน้ำประปาในโรงงาน	100,000	100,000
2.10 อุปกรณ์สำนักงาน	100,000	100,000
2.11 ยานพาหนะ	800,000	800,000
รวมเงินลงทุนในทรัพย์สินถาวร	**18,516,000**	**21,516,000**
3. เงินทุนหมุนเวียน	**1,189,134**	**1,635,274**
เงินลงทุนโครงการทั้งสิ้น	**20,455,134**	**23,901,274**

การลงทุนสำหรับโครงการนี้ สมมติการจัดหาเงินลงทุนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เงินทุนจากผู้ประกอบการเอง และส่วนที่ 2 เงินทุนจากการกู้เงินจากสถาบันการเงิน โดยทั่วไปสำหรับการลงทุนในกิจการขนาดเล็ก ทางธนาคารจะปล่อยกู้ 50% ของเงินลงทุนทั้งหมด ทำการกู้เงินระยะยาวจากธนาคารกรุงไทย ในอัตราร้อยละ 8 ต่อปี ชำระคืนเงินต้นและดอกเบี้ยเป็นเวลา 10 ปี ปีละเท่าๆ กัน การชำระคืนเงินต้นและดอกเบี้ยในการลงทุนกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและแบบกึ่งของแข็งเฉพาะปีแรก แสดงดังตาราง 4.42

ตาราง 4.42 การชำระคืนเงินต้นและดอกเบี้ยเฉพาะปีแรก

รายละเอียด	จำนวนเงิน (บาท)	
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1. เงินลงทุนทั้งหมด	20,455,134	23,901,274
2. กู้เงินจากธนาคาร ร้อยละ 50 ของเงินลงทุนทั้งหมด	10,227,567	11,950,637
3. อัตราดอกเบี้ย ร้อยละ 8 ต่อปี		
4. ระยะเวลาชำระคืน 10 ปี		
5. (A/P,i%,n)	0.1490	0.1490
6. จำนวนเงินชำระคืนต่อปี	1,524,209	1,780,997
7. จำนวนดอกเบี้ยจ่าย (เฉพาะปีแรก)	818,205	956,051
8. จำนวนเงินต้นชำระคืน (เฉพาะปีแรก)	706,004	824,946
9. เงินต้นคงเหลือ ณ ปลายปี (เฉพาะปีแรก)	9,521,563	11,125,691

การชำระคืนเงินต้นและดอกเบี้ย เป็นระยะเวลา 10 ปีของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและแบบกึ่งของแข็ง แสดงดังตาราง 4.43 และ 4.44 ตามลำดับ

ตาราง 4.43 การชำระคืนเงินต้นและดอกเบี้ยตลอดอายุโครงการของกระบวนการแบบของเหลว

หน่วย : บาท

ปีที่	เงินต้น ณ ต้นปี	จำนวน เงินชำระต่อปี	จำนวน ดอกเบี้ยจ่าย	จำนวน เงินต้นชำระคืน	เงินต้นคงเหลือ ณ ปลายปี
0					10,227,567
1	10,227,567	1,524,209	818,205	706,004	9,521,563
2	9,521,563	1,524,209	761,725	762,484	8,759,079
3	8,759,079	1,524,209	700,726	823,483	7,935,597
4	7,935,597	1,524,209	634,848	889,361	7,046,235
5	7,046,235	1,524,209	563,699	960,510	6,085,725
6	6,085,725	1,524,209	486,858	1,037,351	5,048,374
7	5,048,374	1,524,209	403,870	1,120,339	3,928,035
8	3,928,035	1,524,209	314,243	1,209,966	2,718,068
9	2,718,068	1,524,209	217,445	1,306,764	1,411,305
10	1,411,305	1,524,209	112,904	1,411,305	0
รวม		**15,242,091**	**0**	**10,227,567**	

ตาราง 4.44 การชำระเงินต้นและดอกเบี้ยตลอดอายุโครงการของกระบวนการแบบกึ่งของแข็ง

หน่วย : บาท

ปีที่	เงินต้น ณ ต้นปี	จำนวน เงินชำระต่อปี	จำนวน ดอกเบี้ยจ่าย	จำนวน เงินต้นชำระคืน	เงินต้นคงเหลือ ณ ปลายปี
0					11,950,637
1	11,950,637	1,780,997	956,051	824,946	11,125,691
2	11,125,691	1,780,997	890,055	890,942	10,234,749
3	10,234,749	1,780,997	818,780	962,217	9,272,531
4	9,272,531	1,780,997	741,802	1,039,195	8,233,336
5	8,233,336	1,780,997	658,667	1,122,330	7,111,006
6	7,111,006	1,780,997	568,880	1,212,117	5,898,889
7	5,898,889	1,780,997	471,911	1,309,086	4,589,803
8	4,589,803	1,780,997	367,184	1,413,813	3,175,990
9	3,175,990	1,780,997	254,079	1,526,918	1,649,072
10	1,649,072	1,780,997	131,926	1,649,072	0
รวม		**17,809,973**	**0**	**11,950,637**	

เมื่อหมดอายุโครงการ 10 ปี ทำการประเมินมูลค่าซากเพื่อหามูลค่าเงินที่คาดว่าจะได้รับจากการขายสินทรัพย์ (อ้างอิงข้อมูลตามตาราง 3.5 ข้อ 6) ดังตาราง 4.45

ตาราง 4.45 มูลค่าซากสำหรับกรณีที่ 2 (จัดตั้งโรงงานใหม่)

รายละเอียด	% มูลค่าซาก	มูลค่าซาก (บาท)	
		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1. ค่าที่ดิน (คงที่ตามมูลค่าปัจจุบัน)		3,000,000	3,000,000
2. อาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	50%	250,000	250,000
3. อาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	50%	420,000	420,000
4. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน	40%	3,400,000	3,400,000
5. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	40%	800,000	800,000
6. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก.	40%	1,000,000	1,000,000
7. เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง	40%		1,200,000
8. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	0	0	0
9. อุปกรณ์สำนักงาน	0	0	0
10.ยานพาหนะ	60%	480,000	480,000
มูลค่าซาก (1) + (2) +...+ (10)		**9,350,000**	**10,550,000**

ประเมินค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรงเพื่อหามูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบันที่ลดลงตามอายุการใช้งานต่อปี ยกเว้น ที่ดินจะไม่คิดค่าเสื่อมราคาเนื่องจากที่ดินเป็นสินทรัพย์ที่ไม่มีการเสื่อมสภาพ แสดงรายละเอียดดังตาราง 4.46

ตาราง 4.46 ค่าเสื่อมราคาต่อปีสำหรับกรณีที่ 2 (จัดตั้งโรงงานใหม่)

รายละเอียด	อายุการใช้งาน (ปี)	ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)	
		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1. อาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	10	25,000	25,000
2. อาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	10	42,000	42,000
3. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน	10	510,000	510,000
4. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	10	120,000	120,000
5. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก.	10	150,000	150,000
6. เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง	10		180,000
7. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	10	10,000	10,000
8. อุปกรณ์สำนักงาน	10	10,000	10,000
9. ยานพาหนะ	5	64,000	64,000
ค่าเสื่อมราคาต่อปี (1) + (2) +...+ (10)		**931,000**	**1,111,000**

4.3.2 ต้นทุนต่อหน่วย

จากผลลัพธ์แบบจำลองการดำเนินงาน ทำให้ทราบถึงปริมาณความต้องการของทรัพยากรแต่ละชนิด ดังนั้น ในแบบจำลองต้นทุนสามารถหาค่าต้นทุนของทรัพยากรต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (อ้างอิงราคาวัตถุดิบต่อหน่วยตามตาราง 3.7) ดังนี้

4.3.2.1 ต้นทุนทางตรง

ก. ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง สามารถคำนวณต้นทุนอะลูมิเนียม เกรด ADC12 ต่อปีของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ดังตาราง 4.47

ตาราง 4.47 ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง

รายละเอียด	ต้นทุน Al ADC12 ต่อ lot size								หน่วย
	Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front		
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
1. ปริมาณ Al ADC12 (ข้อมูลตามตาราง 4.18 ข้อ 9)	49,705	70,560	8,837	12,654	55,649	79,309	21,278	28,414	กก./ปี
2. ราคา Al ADC12 (ข้อมูลตามตาราง 3.7 ข้อ 1)	80	80	80	80	80	80	80	80	บาท/กก.
3. ต้นทุน Al ADC12 (3) = (1) × (2)	**3,976,400**	**5,644,800**	**706,986**	**1,012,320**	**4,451,920**	**6,344,720**	**1,702,240**	**2,273,120**	**บาท/ปี**

ข. ต้นทุนแรงงานทางตรง มีจำนวนแรงงานทางตรง 2 คน (อ้างอิงตามตาราง 3.3 ข้อ 4) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมเครื่องจักร เนื่องจากค่าแรงงานทางตรงคิดเป็นรายวันและทุกผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมีจำนวนวันในการผลิตเท่ากัน ดังนั้น ต้นทุนแรงงานทางตรงเท่ากันทุกผลิตภัณฑ์ สามารถคำนวณหาต้นทุนแรงงานทางตรง ดังตาราง 4.48

ตาราง 4.48 ต้นทุนแรงงานทางตรง

รายละเอียด		ต้นทุนแรงงานทางตรงต่อ lot size		หน่วย
		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
1. จำนวนแรงงานทางตรง (ข้อมูลตามตาราง 3.3 ข้อ 4)		2	2	คน/กะ
2. อัตราการทำงาน (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)		3	3	กะ/วัน
3. อัตราค่าแรงงาน (ข้อมูลตามตาราง 3.7 ข้อ 9)		215	215	บาท/คน/กะ
4. ค่าแรงงาน (4) = (1) x (2) x (3)		1,290	1,290	บาท/วัน
5. จำนวนวันในการผลิต	Heat sink 510	78	78	วัน/lot size
(ข้อมูลตามตาราง 4.17)	Flange final driven	36	36	วัน/lot size
	Heat sink (main) 034	144	144	วัน/lot size
	Hub front	42	42	วัน/lot size
6. ต้นทุนแรงงานทางตรง	**Heat sink 510**	**100,620**	**100,620**	**บาท/ปี**
(6) = (4) x (5)	**Flange final driven**	**46,440**	**46,440**	**บาท/ปี**
	Heat sink (main) 034	**185,760**	**185,760**	**บาท/ปี**
	Hub front	**54,180**	**54,180**	**บาท/ปี**

สรุปต้นทุนทางตรงต่อหน่วยจากการดำเนินงานของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแต่ละชนิด รายละเอียดดังตาราง 4.49

ตาราง 4.49 ต้นทุนทางตรงต่อหน่วยจากการดำเนินงาน

รายละเอียด	ต้นทุนทางตรง								หน่วย
	Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front		
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
1. ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง	3,976,400	5,644,800	706,986	1,012,320	4,451,920	6,344,720	1,702,240	2,273,120	บาท/ปี
2. ต้นทุนแรงงานทางตรง	100,620	100,620	46,440	46,440	185,760	185,760	54,180	54,180	บาท/ปี
3. รวมต้นทุนทางตรง (3) = (1) + (2)	4,077,020	5,745,420	753,426	1,058,760	4,637,680	6,530,480	1,756,420	2,327,300	บาท/ปี
4. ปริมาณผลิตภัณฑ์ (ข้อมูลตามตาราง 4.17)	336,207	500,000	13,333	20,000	53,582	80,000	17,500	25,000	หน่วย/ปี
5. ต้นทุนทางตรงต่อหน่วย (5) = (3) ÷ (4)	**12.13**	**11.49**	**56.48**	**52.88**	**86.55**	**81.57**	**100.39**	**92.93**	**บาท/หน่วย**

4.3.2.2 ต้นทุนทางอ้อม

ก. ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม จากการหาปริมาณความต้องการวัตถุดิบทางอ้อมแต่ละชนิดในแบบจำลองดำเนินงาน สามารถคำนวณหาต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม (อ้างอิงราคาวัตถุดิบต่อหน่วยตามตาราง 3.7) ดังตาราง 4.50

ตาราง 4.50 ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม

รายละเอียด	ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม (บาท/lot size)							
	Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front	
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1. ต้นทุนฟลักซ์	5,538	7,878	975	1,404	6,201	8,853	2,379	3,159
2. ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์	13,464	12,546	6,426	6,018	25,755	24,123	7,548	6,630
3. ต้นทุนน้ำ RO	1,532	1,429	729	686	2,930	2,744	858	752
4. ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิก	3,432	3,432	1,584	1,584	6,336	6,336	1,848	1,848
5. ต้นทุนน้ำประปา	5,968	5,968	2,752	2,752	11,040	11,040	3,248	3,248
6. *ต้นทุนบำรุงรักษา								
กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว	55,234	94,234	25,493	43,493	101,971	173,971	29,741	50,741
กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่	169,000	208,000	78,000	96,000	312,000	384,000	91,000	112,000
7. ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม								
กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว	**85,168**	**125,487**	**37,959**	**55,937**	**154,233**	**227,067**	**45,622**	**66,378**
กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่	**198,934**	**239,253**	**90,466**	**108,444**	**364,262**	**437,096**	**106,881**	**127,637**

*ต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักร กรณีที่ 1 ปีที่ 1-5 ต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักรเท่ากับ 2% ของราคาเครื่องจักรทั้งหมด ยกเว้น เครื่อง GISS คิดต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักรเท่ากับ 5% ของราคาเครื่องจักร กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว คิดเป็นเงิน 212,439 บาท/ปี กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง 362,439 บาท/ปี ส่วนปีที่ 6-10 ต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักรเท่ากับ 5% ของราคาเครื่องจักรทั้งหมด ยกเว้น เครื่อง GISS คิดต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักรเท่ากับ 2% ของราคาเครื่องจักร กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว คิดเป็นเงิน 531,097 บาท/ปี กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง 591,097 บาท/ปี และกรณีที่ 2 ปีที่ 1-5 ต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักรเท่ากับ 5% ของราคาเครื่องจักรทั้งหมด กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว คิดเป็นเงิน 650,000 บาท/ปี กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง 800,000 บาท/ปี ปีที่ 6-10 ต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักรเท่ากับ 2% ของราคาเครื่องจักรทั้งหมด กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว คิดเป็นเงิน 260,000 บาท/ปี กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง 320,000 บาท/ปี และเนื่องจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแต่ละชนิดมีระยะเวลาดำเนินงานไม่เท่ากัน จึงนำต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักรมาคูณด้วยสัดส่วนการผลิต (ข้อมูลตามตาราง 4.17) จะได้ต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักรต่อ lot size

ข. ต้นทุนพลังงาน จากการหาปริมาณความต้องการพลังงานแต่ละชนิดต่อปีในแบบจำลองดำเนินงาน สามารถคำนวณหาต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม (อ้างอิงราคาวัตถุดิบต่อหน่วยตามตาราง 3.7) ดังตาราง 4.51

ตาราง 4.51 ต้นทุนพลังงาน

รายละเอียด	ต้นทุนพลังงาน (บาท/ปี)							
	Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front	
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1. ต้นทุนแก๊สไนโตรเจน								
เครื่องหล่อฉีดโลหะ	4,166	4,166	1,923	1,923	7,692	7,692	2,243	2,243
เครื่อง GISS		23,333		5,600		22,400		10,750
2. ต้นทุนแก๊สเชื้อเพลิง	95,749	91,563	44,183	42,251	176,755	169,050	51,566	49,312
3. ต้นทุนไฟฟ้า	814,024	844,719	374,615	386,201	1,504,790	1,544,120	443,057	427,140
4. ต้นทุนพลังงาน	**913,939**	**963,781**	**420,721**	**435,975**	**1,689,237**	**1,743,262**	**496,866**	**489,445**

ค. ต้นทุนแรงงานทางอ้อม มีจำนวนแรงงานทางอ้อม 2 คน ได้แก่ ผู้จัดการโรงงาน และพนักงานธุรการ ดังตาราง 4.52

ตาราง 4.52 ต้นทุนแรงงานทางอ้อม

รายละเอียด		ต้นทุนแรงงานทางอ้อมต่อ lot size		หน่วย
		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
1. ผู้จัดการโรงงาน เงินเดือน 25,000 บาท/เดือน (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)		300,000	300,000	บาท/ปี
2. พนักงานธุรการ เงินเดือน 12,000 บาท/เดือน (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)		144,000	144,000	บาท/ปี
3. ค่าส่งเสริมการตลาด 5% ต่อปีของต้นทุนแรงงานทางอ้อม (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)		22,200	22,200	บาท/ปี
4. รวม ต้นทุนแรงงานทางอ้อม (4) = (1) + (2) + (3)		466,200	466,200	บาท/ปี
5. สัดส่วนการผลิตผลิตภัณฑ์ (ข้อมูลตามตาราง 4.17)	Heat sink 510	26.00%	26.00%	
	Flange final driven	12.00%	12.00%	
	Heat sink (main) 034	48.00%	48.00%	
	Hub front	14.00%	14.00%	
6. ต้นทุนแรงงานทางอ้อม (6) = (4) × (5)	**Heat sink 510**	**121,212**	**121,212**	**บาท/lot size**
	Flange final driven	**55,944**	**55,944**	**บาท/lot size**
	Heat sink (main) 034	**223,776**	**223,776**	**บาท/lot size**
	Hub front	**65,268**	**65,268**	**บาท/lot size**

ง. ค่าใช้จ่ายโรงงาน กำหนดให้ค่าใช้จ่ายโรงงาน เท่ากับ 10% ของต้นทุนดำเนินการ สามารถคำนวณหาค่าใช้จ่ายโรงงาน ดังตาราง 4.53

ตาราง 4.53 ค่าใช้จ่ายโรงงาน

กรณี	รายละเอียด	ค่าใช้จ่ายโรงงาน (บาท/ปี)							
		Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front	
		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว	1. ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง	3,976,400	5,644,800	706,986	1,012,320	4,451,920	6,344,720	1,702,240	2,273,120
	2. ต้นทุนแรงงานทางตรง	100,620	100,620	46,440	46,440	185,760	185,760	54,180	54,180
	3. ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม	85,168	125,487	37,959	55,937	154,233	227,067	45,622	66,378
	4. ต้นทุนพลังงาน	913,939	963,781	420,721	435,975	1,689,237	1,743,262	496,866	489,445
	5. ต้นทุนแรงงานทางอ้อม	121,212	121,212	55,944	55,944	223,776	223,776	65,268	65,268
	6. ค่าใช้จ่ายโรงงาน	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
	7. ค่าใช้จ่ายโรงงาน (7) = [(1)+(2)+...+(5)]x[(6)÷100]	**519,734**	**695,590**	**126,805**	**160,662**	**670,493**	**872,459**	**236,418**	**294,839**
กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่	8. ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง	3,976,400	5,644,800	706,986	1,012,320	4,451,920	6,344,720	1,702,240	2,273,120
	9. ต้นทุนแรงงานทางตรง	100,620	100,620	46,440	46,440	185,760	185,760	54,180	54,180
	10.ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม	198,934	239,253	90,466	108,444	364,262	437,096	106,881	127,637
	11.ต้นทุนพลังงาน	913,939	963,781	420,721	435,975	1,689,237	1,743,262	496,866	489,445
	12.ต้นทุนแรงงานทางอ้อม	121,212	121,212	55,944	55,944	223,776	223,776	65,268	65,268
	13. ค่าใช้จ่ายโรงงาน	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
	14. ค่าใช้จ่ายโรงงาน (14)=[(8)+(9)+...+(12)]x[(13)÷100]	**531,111**	**706,967**	**132,056**	**165,912**	**691,496**	**893,461**	**242,544**	**300,965**

จ. ค่าเสื่อมราคา ประกอบด้วย อาคารสำนักงาน อาคารโรงงาน เครื่องจักร อุปกรณ์และระบบสาธารณูปโภคต่างๆ ย่อมเกิดการสึกหรอ (กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว อ้างอิงตามตาราง 4.37 และกรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ อ้างอิงตามตาราง 4.46) โดยระยะเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดเท่ากัน จึงทำการแบ่งค่าเสื่อมราคาเท่าๆ กันทุกผลิตภัณฑ์จากค่าเสื่อมราคาทั้งหมด แสดงดังตาราง 4.54

ตาราง 4.54 ค่าเสื่อมราคาจากการดำเนินงาน

กรณี	รายละเอียด	ค่าเสื่อมราคา								หน่วย
		Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front		
		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว	1.ค่าเสื่อมราคาทั้งหมด	536,959	656,959	536,959	656,959	536,959	656,959	536,959	656,959	บาท/ปี
	2.สัดส่วนการผลิต	26.00%	26.00%	12.00%	12.00%	48.00%	48.00%	14.00%	14.00%	
	3.ค่าเสื่อมราคา (3) = (1) × (2)	**139,609**	**170,809**	**64,435**	**78,835**	**257,740**	**315,340**	**75,174**	**91,974**	**บาท/ lot size**
กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่	4.ค่าเสื่อมราคาทั้งหมด	931,000	1,111,000	931,000	1,111,000	931,000	1,111,000	931,000	1,111,000	บาท/ปี
	5.สัดส่วนการผลิต	26.00%	26.00%	12.00%	12.00%	48.00%	48.00%	14.00%	14.00%	
	6.ค่าเสื่อมราคา (3) = (1) × (2)	**242,060**	**288,860**	**111,720**	**133,320**	**446,880**	**533,280**	**130,340**	**155,540**	**บาท/ lot size**

สรุปต้นทุนทางอ้อมจากการดำเนินงานของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ดังตาราง 4.55

ตาราง 4.55 ต้นทุนทางอ้อมต่อหน่วยจากการดำเนินงาน

กรณี	รายละเอียด	ต้นทุนทางอ้อม								หน่วย
		Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front		
		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	
กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว	1. ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม	85,168	125,487	37,959	55,937	154,233	227,067	45,622	66,378	บาท/ปี
	2. ต้นทุนพลังงาน	913,939	963,781	420,721	435,975	1,689,237	1,743,262	496,866	489,445	บาท/ปี
	3. ต้นทุนแรงงานทางอ้อม	121,212	121,212	55,944	55,944	223,776	223,776	65,268	65,268	บาท/ปี
	4. ค่าใช้จ่ายโรงงาน	519,734	695,590	126,805	160,662	670,493	872,459	236,418	294,839	บาท/ปี
	5. ค่าเสื่อมราคา	139,609	170,809	64,435	78,835	257,740	315,340	75,174	91,974	บาท/ปี
	6. รวมต้นทุนทางอ้อม (6) = (1)+(2)+..+(5)	1,779,662	2,076,879	705,864	787,353	2,995,479	3,381,904	919,348	1,007,904	บาท/ปี
	7. ปริมาณการผลิต (ข้อมูลตามตาราง 4.17)	336,207	500,000	13,333	20,000	53,582	80,000	17,500	25,000	หน่วย/ปี
	8. ต้นทุนทางอ้อมต่อหน่วย (8) = (6) ÷ (7)	**5.29**	**4.15**	**52.94**	**39.37**	**55.90**	**42.27**	**52.53**	**40.32**	**บาท/หน่วย**
กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่	9. ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม	198,934	239,253	90,466	108,444	364,262	437,096	106,881	127,637	บาท/ปี
	10.ต้นทุนพลังงาน	913,939	963,781	420,721	435,975	1,689,237	1,743,262	496,866	489,445	บาท/ปี
	11.ต้นทุนแรงงานทางอ้อม	121,212	121,212	55,944	55,944	223,776	223,776	65,268	65,268	บาท/ปี
	12.ค่าใช้จ่ายโรงงาน	531,111	706,967	132,056	165,912	691,496	893,461	242,544	300,965	บาท/ปี
	13.ค่าเสื่อมราคา	242,060	288,860	111,720	133,320	446,880	533,280	130,340	155,540	บาท/ปี
	14.รวมต้นทุนทางอ้อม (14)=(9)+(10)+...+(13)	2,007,256	2,320,073	810,907	899,595	3,415,651	3,830,875	1,041,899	1,138,855	บาท/ปี
	15.ปริมาณการผลิต (ข้อมูลตามตาราง 4.17)	336,207	500,000	13,333	20,000	53,582	80,000	17,500	25,000	หน่วย/ปี
	16.ต้นทุนทางอ้อมต่อหน่วย (16) = (14) ÷ (15)	**5.97**	**4.64**	**60.82**	**44.98**	**63.75**	**47.89**	**59.54**	**45.55**	**บาท/หน่วย**

ดังนั้น สรุปต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ได้ ดังตาราง 4.56

ตาราง 4.56 ต้นทุนต่อหน่วยจากการดำเนินงาน

กรณี	รายละเอียด	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/หน่วย)							
		Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front	
		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว	1. ต้นทุนทางตรงต่อหน่วย	12.13	11.49	56.48	52.88	86.55	81.57	100.39	92.93
	2. ต้นทุนทางอ้อมต่อหน่วย	5.29	4.15	52.94	39.37	55.90	42.27	52.53	40.32
	3. ต้นทุนต่อหน่วย	**17.42**	**15.64**	**109.42**	**92.25**	**142.45**	**123.84**	**152.92**	**133.25**
กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่	4. ต้นทุนทางตรงต่อหน่วย	12.13	11.49	56.48	52.88	86.55	81.57	100.39	92.93
	5. ต้นทุนทางอ้อมต่อหน่วย	5.97	4.64	60.82	44.98	63.75	47.89	59.54	45.55
	6. ต้นทุนต่อหน่วย	**18.10**	**16.13**	**117.30**	**97.86**	**150.30**	**129.46**	**159.93**	**138.48**

ทั้งนี้ กำหนดราคาขายผลิตภัณฑ์ กำหนดให้เพิ่มขึ้น 20% จากต้นทุนต่อหน่วยของกรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวแต่ละผลิตภัณฑ์ (อ้างอิงตามตาราง 3.5) จึงกำหนดราคาขาย ดังตาราง 4.57

ตาราง 4.57 ราคาขายผลิตภัณฑ์

ชนิดผลิตภัณฑ์	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/หน่วย)	ราคาขาย (บาท/หน่วย)
1. Heat sink 510	17.42	20.00
2. Flange final driven	109.42	130.00
3. Heat sink (main) 034	142.45	170.00
4. Hub front	152.92	185.00

4.3.3 ประมาณการงบกำไรขาดทุนและประมาณการงบกระแสเงินสด

ประมาณการงบกำไรขาดทุน เป็นงบการเงินที่แสดงผลการดำเนินงานของกิจการในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง จะแสดงรายได้ ค่าใช้จ่าย และกำไรหรือขาดทุนสุทธิ (อ้างอิงอัตราการเพิ่มขึ้นลดลงต่อปีของราคาขายและค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการผลิตตามตาราง 3.6 และค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรอ้างอิงตามอายุการใช้งาน ตาราง 3.4) ประมาณการงบกำไรขาดทุน สำหรับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ทั้งสองกระบวนการผลิต ดังตาราง 4.58-4.61 และประมาณการงบกระแสเงินสด เป็นงบการเงินที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของเงินสดของกิจการในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง โดยสามารถประมาณงบกระแสเงินสดตลอดโครงการของกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ทั้งสองกระบวนการ ดังตาราง 4.62-4.65

ตาราง 4.58 ประมาณการงบกำไรขาดทุนของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว)

รายละเอียด	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
ยอดขาย :										
Heat sink 510 (หน่วย)	336,207	336,207	327,586	336,207	336,207	327,586	336,207	336,207	327,586	336,207
Flange final driven (หน่วย)	13,333	13,333	13,334	13,333	13,333	13,334	13,333	13,333	13,334	13,333
Heat sink (main) 034 (หน่วย)	53,582	53,582	52,836	53,582	53,582	52,836	53,582	53,582	52,836	53,582
Hub front (หน่วย)	17,500	17,500	15,000	17,500	17,500	15,000	17,500	17,500	15,000	17,500
ราคาขาย :										
Heat sink 510 (บาท/หน่วย)	20.00	20.50	21.01	21.54	22.08	22.63	23.19	23.77	24.37	24.98
Flange final driven (บาท/หน่วย)	130.00	133.25	136.58	140.00	143.50	147.08	150.76	154.53	158.39	162.35
Heat sink (main) 034 (บาท/หน่วย)	170.00	174.25	178.61	183.07	187.65	192.34	197.15	202.08	207.13	212.31
Hub front (บาท/หน่วย)	185.00	189.63	194.37	199.22	204.21	209.31	214.54	219.91	225.40	231.04
รายได้จากการขายผลิตภัณฑ์ (บาท/ปี)	20,803,870	21,323,967	21,056,899	22,403,493	22,963,580	22,675,978	24,126,111	24,729,264	24,419,548	25,981,183
หักต้นทุนโรงงาน :										
วัตถุดิบทางตรง (บาท/ปี)	10,837,546	11,108,485	11,386,197	11,670,852	11,962,623	12,261,689	12,568,231	12,882,437	13,204,497	13,534,610
แรงงานทางตรง (บาท/ปี)	387,000	406,350	426,668	448,001	470,401	493,921	518,617	544,548	571,775	600,364
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ในการผลิต :										
วัตถุดิบทางอ้อม (บาท/ปี)	110,543	113,307	116,139	119,043	122,019	125,069	128,196	131,401	134,686	138,053
แก๊สพลังงาน (บาท/ปี)	384,277	393,884	403,731	413,824	424,170	434,774	445,644	456,785	468,204	479,909
พลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	3,136,486	3,136,486	3,030,019	3,136,486	3,136,486	3,030,019	3,136,486	3,136,486	3,030,019	3,136,486
ค่าใช้จ่ายโรงงาน (บาท/ปี)	1,553,450	1,592,286	1,632,093	1,672,896	1,714,718	1,757,586	1,801,526	1,846,564	1,892,728	1,940,046
ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร (บาท/ปี) (ปีที่ 0-5 2%, ปีที่ 6-10 5% ยกเว้น เครื่อง GISS ปีที่ 0-5 5%, ปีที่ 6-10 2%)	212,439	212,439	212,439	212,439	212,439	531,097	531,097	531,097	531,097	531,097
ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)	536,959	536,959	536,959	536,959	536,959	536,959	536,959	536,959	536,959	536,959
รวมต้นทุนการผลิต (บาท/ปี)	17,158,700	17,500,195	17,744,245	18,210,499	18,579,815	19,171,114	19,666,755	20,066,276	20,369,966	20,897,525
กำไรขั้นต้น (บาท/ปี)	3,645,170	3,823,771	3,312,654	4,192,993	4,383,765	3,504,863	4,459,356	4,662,988	4,049,581	5,083,658
หักต้นทุนดำเนินการ :										
แรงงานทางอ้อม (บาท/ปี)	466,200	489,510	513,986	539,685	566,669	595,002	624,753	655,990	688,790	723,229
รวมต้นทุนดำเนินการ (บาท/ปี)	466,200	489,510	513,986	539,685	566,669	595,002	624,753	655,990	688,790	723,229
กำไร (ขาดทุน) ก่อนหักภาษี (บาท/ปี)	3,178,970	3,334,261	2,798,669	3,653,308	3,817,096	2,909,861	3,834,603	4,006,998	3,360,792	4,360,429
หักภาษี 30% (บาท/ปี)	953,691	1,000,278	839,601	1,095,993	1,145,129	872,958	1,150,381	1,202,099	1,008,238	1,308,129
กำไร (ขาดทุน) สุทธิ (บาท/ปี)	2,225,279	2,333,983	1,959,068	2,557,316	2,671,967	2,036,903	2,684,222	2,804,898	2,352,554	3,052,300
กำไรสะสม (บาท/ปี)	2,225,279	4,559,262	6,518,330	9,075,646	11,747,613	13,784,516	16,468,738	19,273,636	21,626,191	24,678,491

ตาราง 4.59 ประมาณการงบกำไรขาดทุนของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว)

รายละเอียด	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
ยอดขาย :										
Heat sink 510 (หน่วย)	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000
Flange final driven (หน่วย)	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
Heat sink (main) 034 (หน่วย)	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000
Hub front (หน่วย)	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000
ราคาขาย :										
Heat sink 510 (บาท/หน่วย)	20.00	20.50	21.01	21.54	22.08	22.63	23.19	23.77	24.37	24.98
Flange final driven (บาท/หน่วย)	130.00	133.25	136.58	140.00	143.50	147.08	150.76	154.53	158.39	162.35
Heat sink (main) 034 (บาท/หน่วย)	170.00	174.25	178.61	183.07	187.65	192.34	197.15	202.08	207.13	212.31
Hub front (บาท/หน่วย)	185.00	189.63	194.37	199.22	204.21	209.31	214.54	219.91	225.40	231.04
รายได้จากการขายผลิตภัณฑ์ (บาท/ปี)	30,825,000	31,595,625	32,385,516	33,195,154	34,025,032	34,875,658	35,747,550	36,641,238	37,557,269	38,496,201
หักต้นทุนโรงงาน :										
วัตถุดิบทางตรง (บาท/ปี)	15,274,960	15,656,834	16,048,255	16,449,461	16,860,698	17,282,215	17,714,271	18,157,127	18,611,056	19,076,332
แรงงานทางตรง (บาท/ปี)	387,000	406,350	426,668	448,001	470,401	493,921	518,617	544,548	571,775	600,364
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ในการผลิต :										
วัตถุดิบทางอ้อม (บาท/ปี)	112,430	115,241	118,122	121,075	124,102	127,204	130,384	133,644	136,985	140,410
แก๊สพลังงาน (บาท/ปี)	430,283	441,040	452,066	463,368	474,952	486,826	498,996	511,471	524,258	537,365
พลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	3,202,180	3,202,180	3,202,180	3,202,180	3,202,180	3,202,180	3,202,180	3,202,180	3,202,180	3,202,180
ค่าใช้จ่ายโรงงาน (บาท/ปี)	2,023,550	2,074,139	2,125,992	2,179,142	2,233,621	2,289,461	2,346,698	2,405,365	2,465,499	2,527,137
ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร (บาท/ปี) (ปีที่ 0-5 2%, ปีที่ 6-10 5% ยกเว้น เครื่อง GISS ปีที่ 0-5 5%, ปีที่ 6-10 2%)	362,439	362,439	362,439	362,439	362,439	591,097	591,097	591,097	591,097	591,097
ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)	656,959	656,959	656,959	656,959	656,959	656,959	656,959	656,959	656,959	656,959
รวมต้นทุนการผลิต (บาท/ปี)	22,449,801	22,915,182	23,392,680	23,882,625	24,385,351	25,129,864	25,659,202	26,202,392	26,759,809	27,331,843
กำไรขั้นต้น (บาท/ปี)	8,375,199	8,680,443	8,992,835	9,312,529	9,639,682	9,745,795	10,088,347	10,438,847	10,797,460	11,164,358
หักต้นทุนดำเนินการ :										
แรงงานทางอ้อม (บาท/ปี)	466,200	489,510	513,986	539,685	566,669	595,002	624,753	655,990	688,790	723,229
รวมต้นทุนดำเนินการ (บาท/ปี)	466,200	489,510	513,986	539,685	566,669	595,002	624,753	655,990	688,790	723,229
กำไร (ขาดทุน) ก่อนหักภาษี (บาท/ปี)	7,908,999	8,190,933	8,478,850	8,772,844	9,073,012	9,150,792	9,463,595	9,782,856	10,108,670	10,441,129
หักภาษี 30% (บาท/ปี)	2,372,700	2,457,280	2,543,655	2,631,853	2,721,904	2,745,238	2,839,078	2,934,857	3,032,601	3,132,339
กำไร (ขาดทุน) สุทธิ (บาท/ปี)	5,536,299	5,733,653	5,935,195	6,140,991	6,351,109	6,405,555	6,624,516	6,847,999	7,076,069	7,308,790
กำไรสะสม (บาท/ปี)	5,536,299	11,269,953	17,205,147	23,346,138	29,697,247	36,102,802	42,727,318	49,575,317	56,651,386	63,960,177

ตาราง 4.60 ประมาณการงบกำไรขาดทุนของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่)

รายละเอียด	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
ยอดขาย :										
Heat sink 510 (หน่วย)	336,207	336,207	327,586	336,207	336,207	327,586	336,207	336,207	327,586	336,207
Flange final driven (หน่วย)	13,333	13,333	13,334	13,333	13,333	13,334	13,333	13,333	13,334	13,333
Heat sink (main) 034 (หน่วย)	53,582	53,582	52,836	53,582	53,582	52,836	53,582	53,582	52,836	53,582
Hub front (หน่วย)	17,500	17,500	15,000	17,500	17,500	15,000	17,500	17,500	15,000	17,500
ราคาขาย :										
Heat sink 510 (บาท/หน่วย)	20.00	20.50	21.01	21.54	22.08	22.63	23.19	23.77	24.37	24.98
Flange final driven (บาท/หน่วย)	130.00	133.25	136.58	140.00	143.50	147.08	150.76	154.53	158.39	162.35
Heat sink (main) 034 (บาท/หน่วย)	170.00	174.25	178.61	183.07	187.65	192.34	197.15	202.08	207.13	212.31
Hub front (บาท/หน่วย)	185.00	189.63	194.37	199.22	204.21	209.31	214.54	219.91	225.40	231.04
รายได้จากการขายผลิตภัณฑ์ (บาท/ปี)	20,803,870	21,323,967	21,056,899	22,403,493	22,963,580	22,675,978	24,126,111	24,729,264	24,419,548	25,981,183
หักต้นทุนโรงงาน :										
วัตถุดิบทางตรง (บาท/ปี)	10,837,546	11,108,485	11,386,197	11,670,852	11,962,623	12,261,689	12,568,231	12,882,437	13,204,497	13,534,610
แรงงานทางตรง (บาท/ปี)	387,000	406,350	426,668	448,001	470,401	493,921	518,617	544,548	571,775	600,364
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ในการผลิต :										
วัตถุดิบทางอ้อม (บาท/ปี)	110,543	113,307	116,139	119,043	122,019	125,069	128,196	131,401	134,686	138,053
แก๊สพลังงาน (บาท/ปี)	384,277	393,884	403,731	413,824	424,170	434,774	445,644	456,785	468,204	479,909
พลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	3,136,486	3,136,486	3,030,019	3,136,486	3,136,486	3,030,019	3,136,486	3,136,486	3,030,019	3,136,486
ค่าใช้จ่ายโรงงาน (บาท/ปี)	1,597,207	1,637,137	1,678,066	1,720,017	1,763,018	1,807,093	1,852,270	1,898,577	1,946,042	1,994,693
ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร (บาท/ปี) (ปีที่ 0-5 5%, ปีที่ 6-10 2% ยกเว้น เครื่อง GISS ปีที่ 0-5 2%, ปีที่ 6-10 5%)	650,000	650,000	650,000	650,000	650,000	260,000	260,000	260,000	260,000	260,000
ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)	931,000	931,000	931,000	931,000	931,000	931,000	931,000	931,000	931,000	931,000
รวมต้นทุนการผลิต (บาท/ปี)	18,034,059	18,376,648	18,621,819	19,089,223	19,459,716	19,343,565	19,840,444	20,241,233	20,546,223	21,075,115
กำไรขั้นต้น (บาท/ปี)	2,769,811	2,947,318	2,435,080	3,314,270	3,503,864	3,332,413	4,285,667	4,488,031	3,873,324	4,906,068
หักต้นทุนดำเนินการ :										
แรงงานทางอ้อม (บาท/ปี)	466,200	489,510	513,986	539,685	566,669	595,002	624,753	655,990	688,790	723,229
รวมต้นทุนดำเนินการ (บาท/ปี)	466,200	489,510	513,986	539,685	566,669	595,002	624,753	655,990	688,790	723,229
หักดอกเบี้ยเงินกู้ (บาท/ปี)	818,205	761,725	700,726	634,848	563,699	486,858	403,870	314,243	217,445	112,904
กำไร (ขาดทุน) ก่อนหักภาษี (บาท/ปี)	1,485,406	1,696,083	1,220,369	2,139,737	2,373,496	2,250,552	3,257,045	3,517,798	2,967,089	4,069,935
หักภาษี 30% (บาท/ปี)	445,622	508,825	366,111	641,921	712,049	675,166	977,113	1,055,339	890,127	1,220,980
กำไร (ขาดทุน) สุทธิ (บาท/ปี)	1,039,784	1,187,258	854,258	1,497,816	1,661,447	1,575,386	2,279,931	2,462,458	2,076,963	2,848,954
กำไรสะสม (บาท/ปี)	1,039,784	2,227,043	3,081,301	4,579,117	6,240,564	7,815,950	10,095,881	12,558,340	14,635,302	17,484,257

ตาราง 4.61 ประมาณการงบกำไรขาดทุนของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่)

รายละเอียด	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
ยอดขาย :										
Heat sink 510 (หน่วย)	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000	500,000
Flange final driven (หน่วย)	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
Heat sink (main) 034 (หน่วย)	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000	80,000
Hub front (หน่วย)	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000
ราคาขาย :										
Heat sink 510 (บาท/หน่วย)	20.00	20.50	21.01	21.54	22.08	22.63	23.19	23.77	24.37	24.98
Flange final driven (บาท/หน่วย)	130.00	133.25	136.58	140.00	143.50	147.08	150.76	154.53	158.39	162.35
Heat sink (main) 034 (บาท/หน่วย)	170.00	174.25	178.61	183.07	187.65	192.34	197.15	202.08	207.13	212.31
Hub front (บาท/หน่วย)	185.00	189.63	194.37	199.22	204.21	209.31	214.54	219.91	225.40	231.04
รายได้จากการขายผลิตภัณฑ์ (บาท/ปี)	30,825,000	31,595,625	32,385,516	33,195,154	34,025,032	34,875,658	35,747,550	36,641,238	37,557,269	38,496,201
หักต้นทุนโรงงาน :										
วัตถุดิบทางตรง (บาท/ปี)	15,274,960	15,656,834	16,048,255	16,449,461	16,860,698	17,282,215	17,714,271	18,157,127	18,611,056	19,076,332
แรงงานทางตรง (บาท/ปี)	387,000	406,350	426,668	448,001	470,401	493,921	518,617	544,548	571,775	600,364
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ในการผลิต :										
วัตถุดิบทางอ้อม (บาท/ปี)	112,430	115,241	118,122	121,075	124,102	127,204	130,384	133,644	136,985	140,410
แก๊สพลังงาน (บาท/ปี)	430,283	441,040	452,066	463,368	474,952	486,826	498,996	511,471	524,258	537,365
พลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	3,202,180	3,202,180	3,202,180	3,202,180	3,202,180	3,202,180	3,202,180	3,202,180	3,202,180	3,202,180
ค่าใช้จ่ายโรงงาน (บาท/ปี)	2,067,305	2,118,988	2,171,962	2,226,261	2,281,918	2,338,966	2,397,440	2,457,376	2,518,810	2,581,781
ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร (บาท/ปี) (ปีที่ 0-5 5%, ปีที่ 6-10 2% ยกเว้น เครื่อง GISS ปีที่ 0-5 2%, ปีที่ 6-10 5%)	800,000	800,000	800,000	800,000	800,000	320,000	320,000	320,000	320,000	320,000
ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)	1,111,000	1,111,000	1,111,000	1,111,000	1,111,000	1,111,000	1,111,000	1,111,000	1,111,000	1,111,000
รวมต้นทุนการผลิต (บาท/ปี)	23,385,158	23,851,632	24,330,253	24,821,346	25,325,250	25,362,312	25,892,888	26,437,346	26,996,064	27,569,431
กำไรขั้นต้น (บาท/ปี)	7,439,842	7,743,993	8,055,263	8,373,808	8,699,782	9,513,346	9,854,661	10,203,892	10,561,205	10,926,770
หักต้นทุนดำเนินการ :										
แรงงานทางอ้อม (บาท/ปี)	466,200	489,510	513,986	539,685	566,669	595,002	624,753	655,990	688,790	723,229
รวมต้นทุนดำเนินการ (บาท/ปี)	466,200	489,510	513,986	539,685	566,669	595,002	624,753	655,990	688,790	723,229
หักดอกเบี้ยเงินกู้ (บาท/ปี)	956,051	890,055	818,780	741,802	658,667	568,880	471,911	367,184	254,079	131,926
กำไร (ขาดทุน) ก่อนหักภาษี (บาท/ปี)	6,017,591	6,364,428	6,722,498	7,092,321	7,474,446	8,349,464	8,757,998	9,180,718	9,618,336	10,071,615
หักภาษี 30% (บาท/ปี)	1,805,277	1,909,328	2,016,749	2,127,696	2,242,334	2,504,839	2,627,399	2,754,215	2,885,501	3,021,485
กำไร (ขาดทุน) สุทธิ (บาท/ปี)	4,212,314	4,455,099	4,705,748	4,964,625	5,232,112	5,844,625	6,130,598	6,426,502	6,732,835	7,050,131
กำไรสะสม (บาท/ปี)	4,212,314	8,667,413	13,373,161	18,337,786	23,569,898	29,414,523	35,545,121	41,971,624	48,704,459	55,754,590

ตาราง 4.62 ประมาณการงบกระแสเงินสดของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว)

รายละเอียด	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
1.กระแสเงินสดรับ :											
รายได้จากการขายผลิตภัณฑ์ (บาท/ปี)		20,803,870	21,323,967	21,056,899	22,403,493	22,963,580	22,675,978	24,126,111	24,729,264	24,419,548	25,981,183
มูลค่าซาก (บาท)						480,000					5,845,081
รวมกระแสเงินสดรับ (บาท/ปี)		20,803,870	21,323,967	21,056,899	22,403,493	23,443,580	22,675,978	24,126,111	24,729,264	24,419,548	31,826,264
2.กระแสเงินสดจ่าย :											
เงินลงทุน (บาท/ปี)	10,894,665						800,000				
ต้นทุนโรงงาน (บาท/ปี) (ไม่รวมค่าเสื่อมราคา)		16,621,741	16,963,236	17,207,286	17,673,540	18,042,856	18,634,155	19,129,796	19,529,317	19,833,007	20,360,566
ต้นทุนดำเนินการ (บาท/ปี)		466,200	489,510	513,986	539,685	566,669	595,002	624,753	655,990	688,790	723,229
ภาษีเงินได้ 30% (บาท/ปี)		953,691	1,000,278	839,601	1,095,993	1,145,129	872,958	1,150,381	1,202,099	1,008,238	1,308,129
รวมกระแสเงินสดจ่าย (บาท/ปี)	10,894,665	18,041,632	18,453,025	18,560,872	19,309,218	19,754,654	20,902,116	20,904,930	21,387,407	21,530,034	22,391,924
3.กระแสเงินสดสุทธิ (บาท/ปี)	-10,894,665	2,762,238	2,870,942	2,496,027	3,094,275	3,688,926	1,773,862	3,221,181	3,341,857	2,889,513	9,434,340
มูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดสุทธิ	-10,894,665	2,260,609	1,922,884	1,368,177	1,388,086	1,354,321	532,974	792,074	672,516	475,887	1,271,613

ตาราง 4.63 ประมาณการงบกระแสเงินสดของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว)

รายละเอียด	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
1.กระแสเงินสดรับ :											
รายได้จากการขายผลิตภัณฑ์ (บาท/ปี)		30,825,000	31,595,625	32,385,516	33,195,154	34,025,032	34,875,658	35,747,550	36,641,238	37,557,269	38,496,201
มูลค่าซาก (บาท)						480,000					6,445,081
รวมกระแสเงินสดรับ (บาท/ปี)		30,825,000	31,595,625	32,385,516	33,195,154	34,505,032	34,875,658	35,747,550	36,641,238	37,557,269	44,941,282
2.กระแสเงินสดจ่าย :											
เงินลงทุน (บาท/ปี)	13,894,665						800,000				
ต้นทุนโรงงาน (บาท/ปี) (ไม่รวมค่าเสื่อมราคา)		21,792,842	22,258,223	22,735,721	23,225,666	23,728,392	24,472,905	25,002,243	25,545,433	26,102,850	26,674,884
ต้นทุนดำเนินการ (บาท/ปี)		466,200	489,510	513,986	539,685	566,669	595,002	624,753	655,990	688,790	723,229
ภาษีเงินได้ 30% (บาท/ปี)		2,372,700	2,457,280	2,543,655	2,631,853	2,721,904	2,745,238	2,839,078	2,934,857	3,032,601	3,132,339
รวมกระแสเงินสดจ่าย (บาท/ปี)	13,894,665	24,631,742	25,205,013	25,793,362	26,397,204	27,016,965	28,613,145	28,466,074	29,136,280	29,824,241	30,530,452
3.กระแสเงินสดสุทธิ (บาท/ปี)	-13,894,665	6,193,258	6,390,612	6,592,154	6,797,950	7,488,068	6,262,514	7,281,475	7,504,958	7,733,028	14,410,830
มูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดสุทธิ	-13,894,665	5,068,548	4,280,270	3,613,436	3,049,547	2,749,106	1,881,632	1,790,481	1,510,299	1,273,587	1,942,372

ตาราง 4.64 ประมาณการงบกระแสเงินสดของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่)

รายละเอียด	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
1.กระแสเงินสดรับ :											
รายได้จากการขายผลิตภัณฑ์ (บาท/ปี)		20,803,870	21,323,967	21,056,899	22,403,493	22,963,580	22,675,978	24,126,111	24,729,264	24,419,548	25,981,183
มูลค่าซาก (บาท)						480,000					9,350,000
รวมกระแสเงินสดรับ (บาท/ปี)		20,803,870	21,323,967	21,056,899	22,403,493	23,443,580	22,675,978	24,126,111	24,729,264	24,419,548	35,331,183
2.กระแสเงินสดจ่าย :											
เงินลงทุน (บาท/ปี)	20,455,134						800,000				
ต้นทุนโรงงาน (บาท/ปี) (ไม่รวมค่าเสื่อมราคา)		17,103,059	17,445,648	17,690,819	18,158,223	18,528,716	18,412,565	18,909,444	19,310,233	19,615,223	20,144,115
ต้นทุนดำเนินการ (บาท/ปี)		466,200	489,510	513,986	539,685	566,669	595,002	624,753	655,990	688,790	723,229
ดอกเบี้ยและเงินต้นชำระคืน (บาท/ปี)		1,524,209	1,524,209	1,524,209	1,524,209	1,524,209	1,524,209	1,524,209	1,524,209	1,524,209	1,524,209
ภาษีเงินได้ 30% (บาท/ปี)		445,622	508,825	366,111	641,921	712,049	675,166	977,113	1,055,339	890,127	1,220,980
รวมกระแสเงินสดจ่าย (บาท/ปี)	20,455,134	19,539,090	19,968,192	20,095,124	20,864,038	21,331,643	22,006,942	22,035,519	22,545,772	22,718,349	23,612,534
3.กระแสเงินสดสุทธิ (บาท/ปี)	-20,455,134	1,264,780	1,355,774	961,775	1,539,455	2,111,937	669,035	2,090,592	2,183,492	1,701,199	11,718,649
มูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดสุทธิ	-20,455,134	1,035,093	908,063	527,189	690,596	775,359	201,018	514,067	439,406	280,178	1,579,505

ตาราง 4.65 ประมาณการงบกระแสเงินสดของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งตลอดอายุโครงการ (กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่)

รายละเอียด	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
1.กระแสเงินสดรับ :											
รายได้จากการขายผลิตภัณฑ์ (บาท/ปี)		30,825,000	31,595,625	32,385,516	33,195,154	34,025,032	34,875,658	35,747,550	36,641,238	37,557,269	38,496,201
มูลค่าซาก (บาท)						480,000					10,550,000
รวมกระแสเงินสดรับ (บาท/ปี)		30,825,000	31,595,625	32,385,516	33,195,154	34,505,032	34,875,658	35,747,550	36,641,238	37,557,269	49,046,201
2.กระแสเงินสดจ่าย :											
เงินลงทุน (บาท/ปี)	23,901,274						800,000				
ต้นทุนโรงงาน (บาท/ปี) (ไม่รวมค่าเสื่อมราคา)		22,274,158	22,740,632	23,219,253	23,710,346	24,214,250	24,251,312	24,781,888	25,326,346	25,885,064	26,458,431
ต้นทุนดำเนินการ (บาท/ปี)		466,200	489,510	513,986	539,685	566,669	595,002	624,753	655,990	688,790	723,229
ดอกเบี้ยและเงินต้นชำระคืน (บาท/ปี)		1,780,997	1,780,997	1,780,997	1,780,997	1,780,997	1,780,997	1,780,997	1,780,997	1,780,997	1,780,997
ภาษีเงินได้ 30% (บาท/ปี)		1,805,277	1,909,328	2,016,749	2,127,696	2,242,334	2,504,839	2,627,399	2,754,215	2,885,501	3,021,485
รวมกระแสเงินสดจ่าย (บาท/ปี)	23,901,274	26,326,632	26,920,468	27,530,984	28,158,724	28,804,250	29,932,151	29,815,037	30,517,549	31,240,352	31,984,141
3.กระแสเงินสดสุทธิ (บาท/ปี)	-23,901,274	4,498,368	4,675,157	4,854,531	5,036,430	5,700,782	4,943,508	5,932,512	6,123,689	6,316,917	17,062,060
มูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดสุทธิ	-23,901,274	3,681,453	3,131,302	2,660,972	2,259,332	2,092,937	1,485,324	1,458,777	1,232,332	1,040,361	2,299,719

4.3.4 ผลตอบแทนการลงทุน

ผลตอบแทนการลงทุน เป็นการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่มีความสัมพันธ์กันจากการวิเคราะห์ต้นทุนเพื่อประเมินค่าโครงการ ดูแนวโน้ม และทิศทางของการลงทุน ซึ่งกรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว ทำการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน และกรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ จะทำการวิเคราะห์ 3 ประการ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนในการลงทุน และระยะเวลาคืนทุนของโครงการ จากนั้นทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการเพื่อทดสอบความมั่นคงของข้อสรุปที่ได้ทั้งสองกรณี

4.3.4.1 จุดคุ้มทุน

จุดคุ้มทุน (breakeven point) เป็นระดับของยอดขายของกิจการที่ให้ค่าต้นทุนเท่ากันทั้งสองกระบวนการ คือปริมาณการผลิตที่ค่าต้นทุนของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งเท่ากัน จุดคุ้มทุนจะสามารถหาได้จากการแยกค่าใช้จ่ายเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเฉพาะกรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว เพื่อหาปริมาณการผลิตที่เหมาะสมจากการเปิดดำเนินกิจการมาแล้วในการตัดสินใจเลือกกระบวนการผลิต โดยต้นทุนคงที่ เป็นจำนวนที่ไม่แปรตามจำนวนผลผลิต สำหรับกระบวนการหล่อฉีดโลหะ ประกอบด้วย ค่าเสื่อมราคาของสิ่งก่อสร้าง เครื่องจักร อุปกรณ์ ต้นทุนแรงงานทางอ้อม ต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักร แสดงรายละเอียดดังตาราง 4.66

ตาราง 4.66 ต้นทุนคงที่

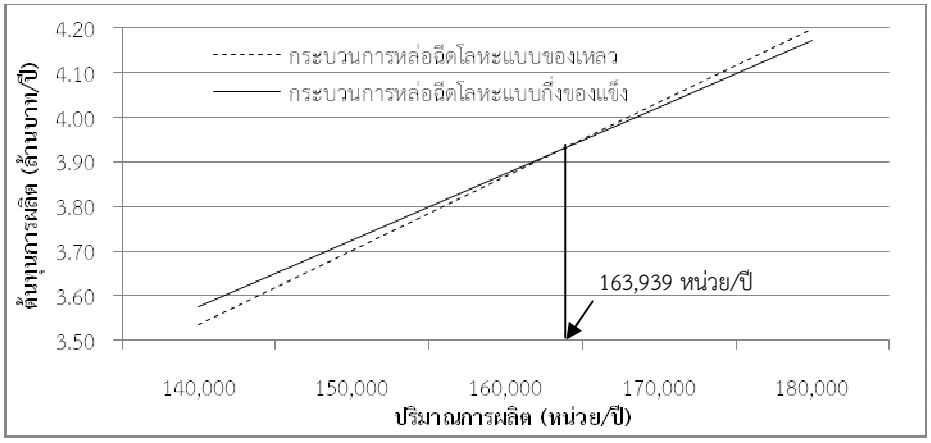
รายละเอียด	จำนวนเงิน (บาท/ปี)	
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1.ค่าเสื่อมราคา	536,959	656,959
2.ต้นทุนแรงงานทางอ้อม	466,200	466,200
3.ต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักร	212,439	362,439
รวม ต้นทุนคงที่	**1,215,598**	**1,485,598**

ต้นทุนผันแปร เป็นต้นทุนที่ผันแปรตามการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการผลิต สำหรับกระบวนการหล่อฉีดโลหะ ประกอบด้วย ต้นทุนอะลูมิเนียม เกรด ADC12 ต้นทุนแรงงานทางตรง ต้นทุนฟลักซ์ ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ ต้นทุนน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิก ต้นทุนน้ำประปา ต้นทุนแก๊สไนโตรเจน ต้นทุนแก๊สเชื้อเพลิง (LPG) ต้นทุนพลังงานไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ของโรงงาน โดยต้นทุนผันแปรจะแสดงเป็นมูลค่ารวมของต้นทุนแต่ละชนิด ที่ปริมาณการผลิตต่างๆ และสามารถแสดงต้นทุนรวมทั้งหมดในการผลิต ดังตาราง 4.67

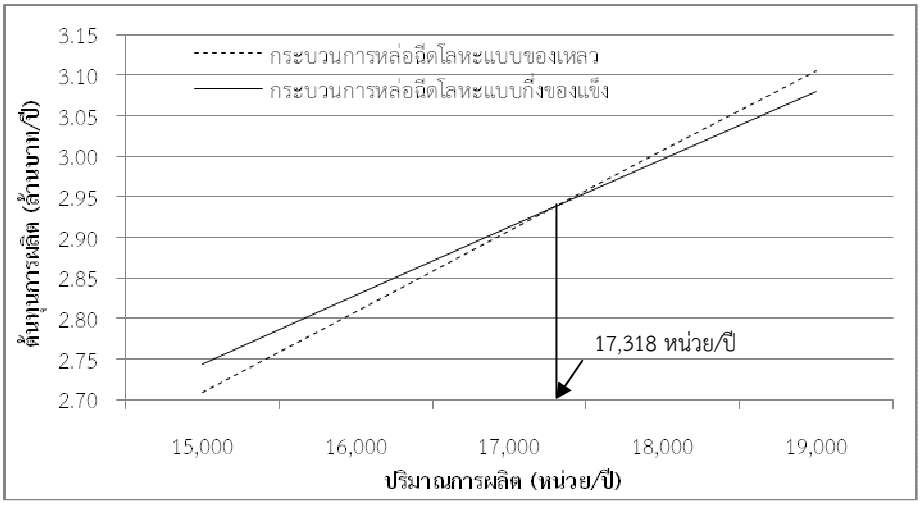
ตาราง 4.67 ต้นทุนรวมของแต่ละผลิตภัณฑ์ที่ระดับปริมาณการผลิตต่างๆ

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณการผลิต (หน่วย)	ต้นทุน (บาท)					
		ต้นทุนคงที่		ต้นทุนผันแปร		ต้นทุนรวม	
		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
Heat sink 510	140,000	1,215,598	1,485,598	2,319,764	2,089,472	3,535,362	3,575,070
	150,000	1,215,598	1,485,598	2,485,526	2,238,435	3,701,124	3,724,033
	160,000	1,215,598	1,485,598	2,651,287	2,387,865	3,866,885	3,873,463
	170,000	1,215,598	1,485,598	2,817,048	2,536,829	4,032,646	4,022,427
	180,000	1,215,598	1,485,598	2,982,344	2,686,259	4,197,942	4,171,857
Flange final driven	15,000	1,215,598	1,485,598	1,492,724	1,258,539	2,708,322	2,744,137
	16,000	1,215,598	1,485,598	1,592,236	1,342,611	2,807,834	2,828,209
	17,000	1,215,598	1,485,598	1,691,749	1,426,217	2,907,347	2,911,815
	18,000	1,215,598	1,485,598	1,791,261	1,510,540	3,006,859	2,996,138
	19,000	1,215,598	1,485,598	1,890,308	1,594,613	3,105,906	3,080,211
Heat sink (main) 034	14,000	1,215,598	1,485,598	1,856,792	1,617,442	3,072,390	3,103,040
	15,000	1,215,598	1,485,598	1,989,418	1,732,656	3,205,016	3,218,254
	16,000	1,215,598	1,485,598	2,122,043	1,848,336	3,337,641	3,333,934
	17,000	1,215,598	1,485,598	2,254,669	1,963,550	3,470,267	3,449,148
	18,000	1,215,598	1,485,598	2,387,294	2,079,481	3,602,892	3,565,079
Hub front	12,000	1,215,598	1,485,598	1,730,119	1,503,539	2,945,717	2,989,137
	13,000	1,215,598	1,485,598	1,874,604	1,628,542	3,090,202	3,114,140
	14,000	1,215,598	1,485,598	2,018,837	1,754,010	3,234,435	3,239,608
	15,000	1,215,598	1,485,598	2,163,070	1,879,012	3,378,668	3,364,610
	16,000	1,215,598	1,485,598	2,306,838	2,004,480	3,522,436	3,490,078

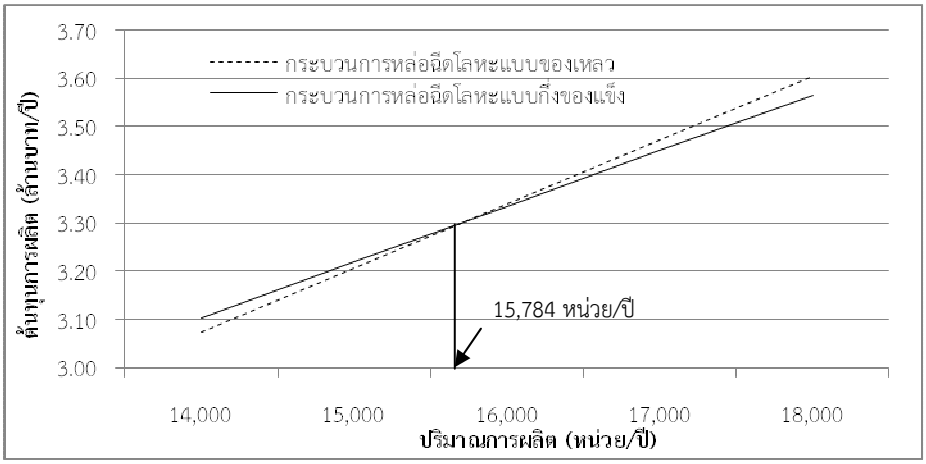
จากตาราง 4.67 สามารถแสดงกราฟจุดคุ้มทุนของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ได้แก่ Heat sink 510, Flange final driven, Heat sink (main) 034 และ Hub front ที่ระดับปริมาณการผลิตต่างๆ เพื่อหาปริมาณการผลิตที่เหมาะสมในการตัดสินใจเลือกระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ดังภาพประกอบ 4.1-4.4 ตามลำดับ



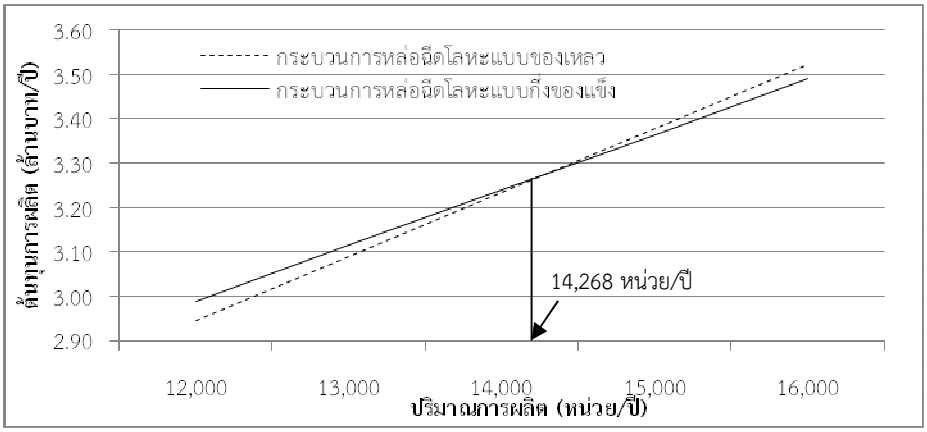
ภาพประกอบ 4.1 กราฟจุดคุ้มทุนของผลิตภัณฑ์ Heat sink 510



ภาพประกอบ 4.2 กราฟจุดคุ้มทุนของผลิตภัณฑ์ Flange final driven



ภาพประกอบ 4.3 กราฟจุดคุ้มทุนของผลิตภัณฑ์ Heat sink (main) 034



ภาพประกอบ 4.4 กราฟจุดคุ้มทุนของผลิตภัณฑ์ Hub front

จากภาพประกอบ 4.1-4.4 แสดงให้เห็นถึงปริมาณการผลิตที่ส่งผลให้มีมูลค่าต้นทุนเท่ากันทั้งสองกระบวนการผลิต โดยสามารถเลือกกระบวนการผลิตได้จากจุดคุ้มทุน เช่น ผลิตภัณฑ์ Heat sink 510 มีจุดคุ้มทุน 163,939 หน่วย/ปี มีปริมาณการผลิต 336,207 หน่วย/ปี ซึ่งน้อยกว่าจุดคุ้มทุน ควรเลือกผลิตด้วยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง และจากปริมาณการผลิตต่อ lot size ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแต่ละชนิด (อ้างอิงข้อมูลตามตาราง 4.17) พบว่า ทุกชนิดมากกว่าจุดคุ้มทุน ดังนั้น ในกรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว ควรเปลี่ยนเป็นกระบวนการผลิตเป็นกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง สำหรับปริมาณการผลิตที่คุ้มทุนของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแต่ละชนิด ดังตาราง 4.68

ตาราง 4.68 จุดคุ้มทุนของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแต่ละชนิด

ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง	จุดคุ้มทุน (หน่วย/ปี)
Heat sink 510	163,939
Flange final driven	17,318
Heat sink (main) 034	15,784
Hub front	14,268

4.3.4.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ เป็นตัวเลขที่แสดงผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ โดยใช้ฟังก์ชันทางการเงินของโปรแกรม Microsoft Office Excel 2007 ที่อัตราส่วนลด ร้อยละ 8 (อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ลูกค้ารายย่อยชั้นดี ธนาคารกรุงไทย) มูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว เท่ากับ -5,689,157 บาท และกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เท่ากับ 16,655,859 บาท

4.3.4.3 อัตราผลตอบแทนภายใน

อัตราผลตอบแทนภายใน เป็นตัวเลขที่แสดงอัตราคิดลด (discount rate) ของโครงการ ที่มีผลทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่ต้องจ่ายในการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการ โดยใช้ฟังก์ชันทางการเงินของโปรแกรม Microsoft Office Excel 2007 อัตราผลตอบแทนภายในตลอดโครงการของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว เท่ากับ 3.1% และกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เท่ากับ 19.3%

4.3.4.4 ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน เป็นระยะเวลาที่ได้รับผลตอบแทนในรูปของกระแสเงินสดเข้าเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายลงทุน ระยะเวลาคืนทุนของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว เท่ากับ 11 ปี 9 เดือน และกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เท่ากับ 4 ปี 11 เดือน

จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน พบว่า NPV ตลอดโครงการของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งมีค่ามากกว่ากระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว เนื่องจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งมีรอบเวลาการผลิตน้อยกว่าจึงให้ผลผลิตมากกว่าในระยะเวลาการผลิตที่เท่ากัน ทั้งนี้ยังให้ต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าและผลกำไรต่อปีสูงกว่า ส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่า และเมื่อพิจารณาถึง IRR ตลอดโครงการเปรียบเทียบกับอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่พอใจ (The Minimum Attractive Rate of Return, MARR) เท่ากับร้อยละ 22.19 (อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 8 + อัตราเงินเฟ้อร้อยละ 4.19 + อัตราความเสี่ยงร้อยละ 10) ทั้งกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งมีค่า IRR น้อยกว่า MARR แต่หากจำเป็นจะต้องลงทุนกิจการ สำหรับกรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ ควรเลือกกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เนื่องจากให้ผลตอบแทนน่าพอใจมากกว่ากระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว

4.3.4.5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว เป็นการทดสอบความมั่นคงของข้อสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน โดยใช้ดุลพินิจเกี่ยวกับตัวเลขต่างๆ มาใช้ในการวิเคราะห์ในการแทนที่ข้อสมมติที่แตกต่างไปจากเดิมในระดับที่ต้องการ แล้วคำนวณใหม่อีกครั้งแล้วพิจารณาผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ว่าแตกต่างไปจากเดิมมากน้อยเพียงใด ในกรณีนี้ ตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความอ่อนไหวของโครงการมี 2 ตัวแปร ได้แก่ ต้นทุนวัตถุดิบ และราคาขาย นำมาวิเคราะห์โดยการเปลี่ยนแปลงค่าเพื่อดูความอ่อนไหวของโครงการ 4 ค่า ได้แก่ ลดลงร้อยละ 10 ลดลงร้อยละ 5 เพิ่มขึ้นร้อยละ 5 และเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 สำหรับกรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการที่มีผลต่อจุดคุ้มทุน แสดงดังตาราง 4.69 และ 4.70 ส่วนกรณีที่ 2 ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการที่มีผลต่อ NPV และ IRR แสดงดังตาราง 4.71-4.73

ตาราง 4.69 ความอ่อนไหวของโครงการที่มีผลต่อจุดคุ้มทุน (เปลี่ยนแปลงตัวแปรเดียว)

หน่วย : หน่วย

ตัวแปร	การเปลี่ยนแปลง (%)	จุดคุ้มทุน (หน่วย)			
		Heat sink 510	Flange final driven	Heat sink (main) 034	Hub front
ต้นทุนวัตถุดิบ	-10	119,426	13,705	11,479	10,405
	-5	141,904	15,233	13,346	12,230
	0	163,393	17,318	15,784	14,268
	5	184,975	19,465	17,888	16,761
	10	207,352	21,094	19,004	18,217
ราคาขาย	-10	230,629	23,136	21,112	20,075
	-5	196,471	20,235	18,293	17,445
	0	163,393	17,318	15,784	14,268
	5	131,278	14,007	12,561	11,455
	10	98,912	11,344	9,068	8,549

ตาราง 4.70 ความอ่อนไหวของโครงการที่มีผลต่อจุดคุ้มทุน (เปลี่ยนแปลงหลายตัวแปร)

หน่วย : หน่วย

ผลิตภัณฑ์	ตัวแปร	การเปลี่ยนแปลง (%)	ราคาขาย				
			-10	-5	0	5	10
Heat sink 510	ต้นทุนวัตถุดิบ	-10	182,890	151,463	119,426	87,463	55,276
		-5	205,228	173,008	141,904	109,549	77,894
		0	230,629	196,471	163,393	131,278	98,912
		5	248,966	216,337	184,975	153,091	121,569
		10	271,113	239,064	207,352	175,943	143,850
Flange final driven	ต้นทุนวัตถุดิบ	-10	17,544	16,085	15,705	14,808	12,995
		-5	18,145	16,957	16,233	12,966	12,052
		0	19,136	18,235	17,318	12,007	11,344
		5	20,781	19,024	18,465	11,366	10,080
		10	21,809	20,135	19,094	10,022	9,610
Heat sink (main) 034	ต้นทุนวัตถุดิบ	-10	17,451	14,622	11,479	8,007	5,132
		-5	19,661	16,877	13,346	10,675	7,260
		0	21,112	18,293	15,784	12,561	9,068
		5	23,076	20,222	17,888	14,230	11,877
		10	25,268	22,106	19,004	15,886	12,997
Hub front	ต้นทุนวัตถุดิบ	-10	16,753	13,142	10,405	7,088	4,956
		-5	18,202	15,039	12,230	9,134	6,004
		0	20,075	17,445	14,268	11,455	8,549
		5	22,491	19,143	16,761	13,328	10,668
		10	24,200	21,055	18,217	15,216	12,877

ตาราง 4.71 ความอ่อนไหวของโครงการที่มีผลต่อ NPV และ IRR (เปลี่ยนแปลงตัวแปรเดียว)

กระบวนการ	ตัวแปร	การเปลี่ยนแปลง (%)	NPV (ล้านบาท)	IRR (%)
หล่อฉีดโลหะแบบของเหลว	ต้นทุนวัตถุดิบ	5	6.6	13.4
		-5	0.5	8.4
		0	-5.7	3.1
		5	-11.8	-2.6
		10	-18.0	-8.7
	ราคาขาย	-10	-20.9	-
		-5	-13.3	-4.0
		0	-5.7	3.1
		5	1.9	9.6
		10	9.5	15.7
หล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง	ต้นทุนวัตถุดิบ	-10	32.8	29.5
		-5	24.7	24.5
		0	16.7	19.3
		5	8.6	14.0
		10	0.5	8.4
	ราคาขาย	-10	-6.2	3.5
		-5	5.2	11.7
		0	16.7	19.3
		5	28.1	26.5
		10	39.5	33.5

ตาราง 4.72 ความอ่อนไหวของโครงการที่มีผลต่อ NPV (เปลี่ยนแปลงหลายตัวแปร)

หน่วย : ล้านบาท

กระบวนการ	ตัวแปร	การเปลี่ยนแปลง (%)	ราคาขาย				
			-10	-5	0	5	10
หล่อฉีดโลหะแบบของเหลว	ต้นทุนวัตถุดิบ	-10	-8.6	-1.0	6.6	14.2	21.8
		-5	-14.8	-7.2	0.5	8.1	15.7
		0	-20.9	-13.3	-5.7	1.9	9.5
		5	-27.1	-19.5	-11.8	-4.2	3.4
		10	-33.2	-25.6	-18.0	-10.4	-2.8
หล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง	ต้นทุนวัตถุดิบ	-10	10.0	21.4	32.8	44.2	55.6
		-5	1.9	13.3	24.7	36.1	47.5
		0	-6.2	5.2	16.7	28.1	39.5
		5	-14.2	-2.8	8.6	20.0	31.4
		10	-22.3	-10.9	0.5	12.0	23.4

ตาราง 4.73 ความอ่อนไหวของโครงการที่มีผลต่อ IRR (เปลี่ยนแปลงหลายตัวแปร)

หน่วย : เปอร์เซ็นต์

กระบวนการ	ตัวแปร	การเปลี่ยนแปลง (%)	ราคาขาย				
			-10	-5	0	5	10
หล่อฉีดโลหะแบบของเหลว	ต้นทุนวัตถุดิบ	-10	0.4	7.1	13.4	19.3	25.0
		-5	-5.5	1.8	8.4	14.6	20.4
		0	-	-4.0	3.1	9.6	15.7
		5	-	-	-2.6	4.4	10.8
		10	-	-	-8.7	-1.1	5.7
หล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง	ต้นทุนวัตถุดิบ	-10	14.9	22.4	29.5	36.4	43.1
		-5	9.4	17.1	24.5	31.5	38.3
		0	3.5	11.7	19.3	26.5	33.5
		5	-2.9	6.0	14.0	21.4	28.5
		10	-	-0.2	8.4	16.2	23.5

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ ดังนี้

ก. ราคาขาย เมื่อราคาขายมีการเปลี่ยนแปลง พบว่า หากราคาขายลดลงมีผลต่อผลตอบแทนที่ได้รับ นั่นคือ ทั้ง NPV และ IRR ลดลง ส่วนจุดคุ้มทุนเพิ่มขึ้น ดังนั้น การลดราคาขายผลิตภัณฑ์มีผลต่อความอ่อนไหวของโครงการซึ่งอาจทำให้เกิดอัตราเสี่ยงต่อผลประกอบการ แต่ถ้าหากจำเป็นต้องลดราคาขายเพื่อเพิ่มยอดในการสั่งซื้อของลูกค้าก็ต้องลดราคาอย่างมีกลยุทธ์ เช่น การลดราคาแบบมีเงื่อนไขจะต้องสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ตามจำนวนที่กำหนดถึงจะได้ส่วนลด เป็นต้น

ข. ต้นทุนวัตถุดิบ เมื่อต้นทุนวัตถุดิบมีการเปลี่ยนแปลง พบว่า หากราคาวัตถุดิบเพิ่มมากขึ้นมีผลต่อผลตอบแทนที่ได้รับ นั่นคือ ทั้ง NPV และ IRR ลดลง ส่วนจุดคุ้มทุนเพิ่มขึ้น ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของต้นทุนวัตถุดิบมีผลต่อความอ่อนไหวของโครงการซึ่งอาจทำให้เกิดอัตราเสี่ยงต่อผลประกอบการจากการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของราคาวัตถุดิบ ผู้ประกอบการอาจจะต้องปรับราคาขายให้เพิ่มสูงขึ้นตามราคาของต้นทุนเพื่อให้ผลประกอบการที่ได้รับไม่เสี่ยงต่อการขาดทุน

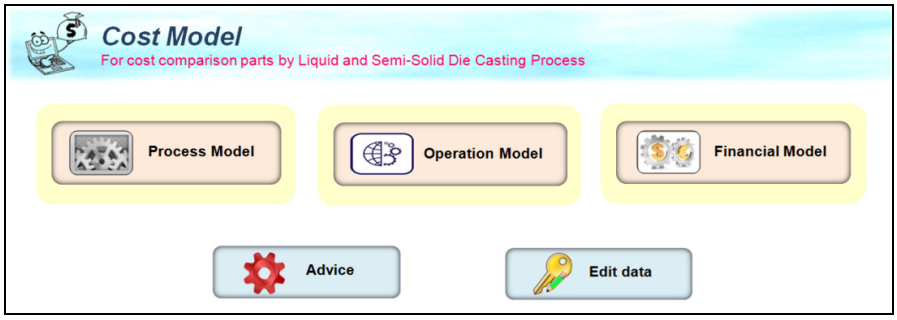
ค. การเปลี่ยนแปลงของราคาขายและต้นทุนวัตถุดิบ (เปลี่ยนแปลงตัวแปรเดียว) พบว่า การเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งเดียวกันของราคาขายและต้นทุนวัตถุดิบ เช่น กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งที่ราคาขายลดลง 10% มีจุดคุ้มทุน (Heat sink 510) เท่ากับ 230,629 หน่วย NPV เท่ากับ -6.2 ล้านบาท IRR เท่ากับ 3.5% และที่ต้นทุนวัตถุดิบเพิ่มขึ้น 10% มีจุดคุ้มทุน (Heat sink 510) เท่ากับ 207,352 หน่วย NPV เท่ากับ 0.5 ล้านบาท IRR เท่ากับ 8.4% เมื่อทำการเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่าค่า NRV และ IRR ของราคาขายให้ผลตอบแทนที่ต่ำกว่าต้นทุนวัตถุดิบ และจุดคุ้มทุนของราคาขายมีปริมาณมากกว่าต้นทุนวัตถุดิบ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของราคาขายมีผลต่อความอ่อนไหวของโครงการมากกว่าต้นทุนวัตถุดิบ

ง. การเปลี่ยนแปลงของราคาขายและต้นทุนวัตถุดิบ (เปลี่ยนแปลงหลายตัวแปร) พบว่า การเปลี่ยนแปลงของราคาขายลดลง 10% และต้นทุนวัตถุดิบเพิ่มขึ้น 10% พร้อมกันเป็นเหตุการณ์ที่ส่งผลให้เกิดผลกำไรน้อยที่สุด พบว่า กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว จุดคุ้มทุนของทุกผลิตภัณฑ์

ตัวอย่าง ยกเว้น Flange final driven เหมาะสมกับการผลิตด้วยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ส่วนผลตอบแทนการลงทุน สำหรับกรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว ค่า NPV เท่ากับ -33.2 ล้านบาท กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ค่า NPV เท่ากับ -22.3 ล้านบาท ค่า IRR ไม่สามารถหาค่าได้ทั้งสองกระบวนการ ดังนั้น ทั้งสองกรณีควรเลือกลงทุนกิจการด้วยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง

4.4 ลักษณะแบบจำลองที่สร้างขึ้น

จากการศึกษาต้นทุนทั้งหมดสามารถนำมาสร้างเป็นแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้นอกเหนือจากผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ได้กล่าวมาข้างต้น ภาพรวมของแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการที่สร้างขึ้น แสดงดังภาพประกอบ 4.5

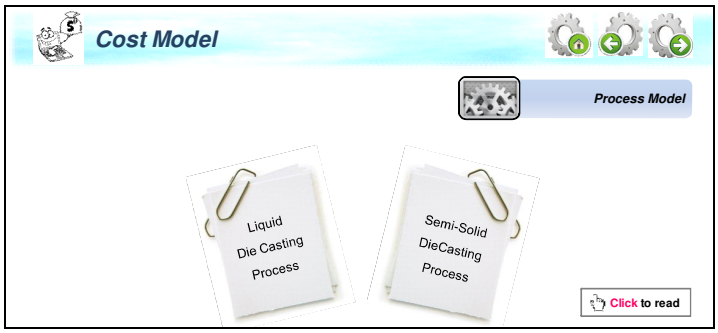


ภาพประกอบ 4.5 ภาพรวมของแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการที่สร้างขึ้น

แบบจำลองต้นทุน ประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ดังนี้

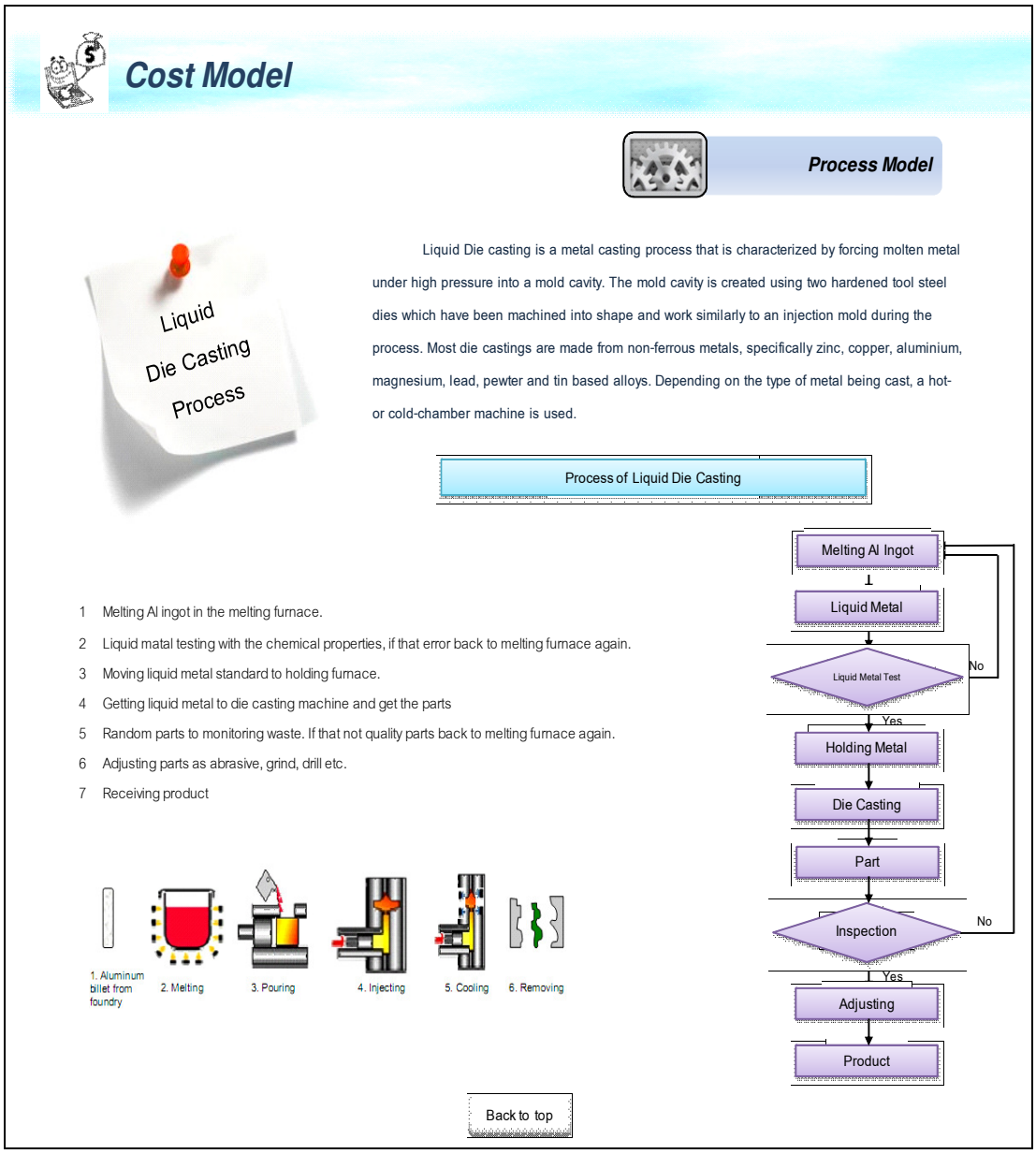
4.4.1 แบบจำลองกระบวนการ

การอธิบายถึงขั้นตอนและกรรมวิธีการผลิตกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว และกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง โดยคลิกเลือกหัวเรื่อง ดังภาพประกอบ 4.6

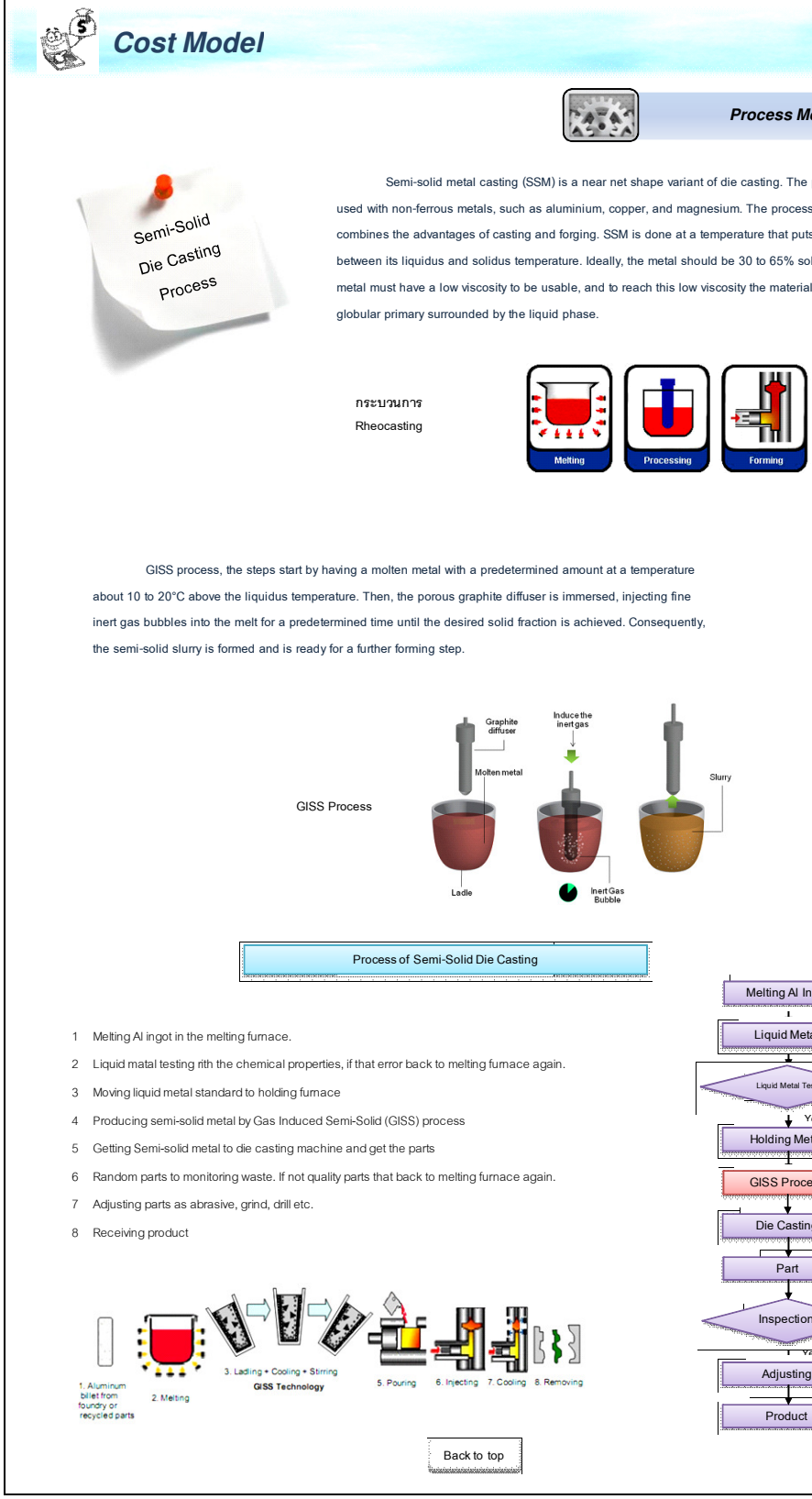


ภาพประกอบ 4.6 หัวเรื่องเพื่ออ่านรายละเอียดกระบวนการผลิต

เมื่อทำการคลิกเลือกหัวเรื่องกระบวนการผลิต แบบจำลองจะแสดงรายละเอียดของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว ดังภาพประกอบ 4.7 และกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ดังภาพประกอบ 4.8



ภาพประกอบ 4.7 ขั้นตอนและกรรมวิธีการผลิตของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว

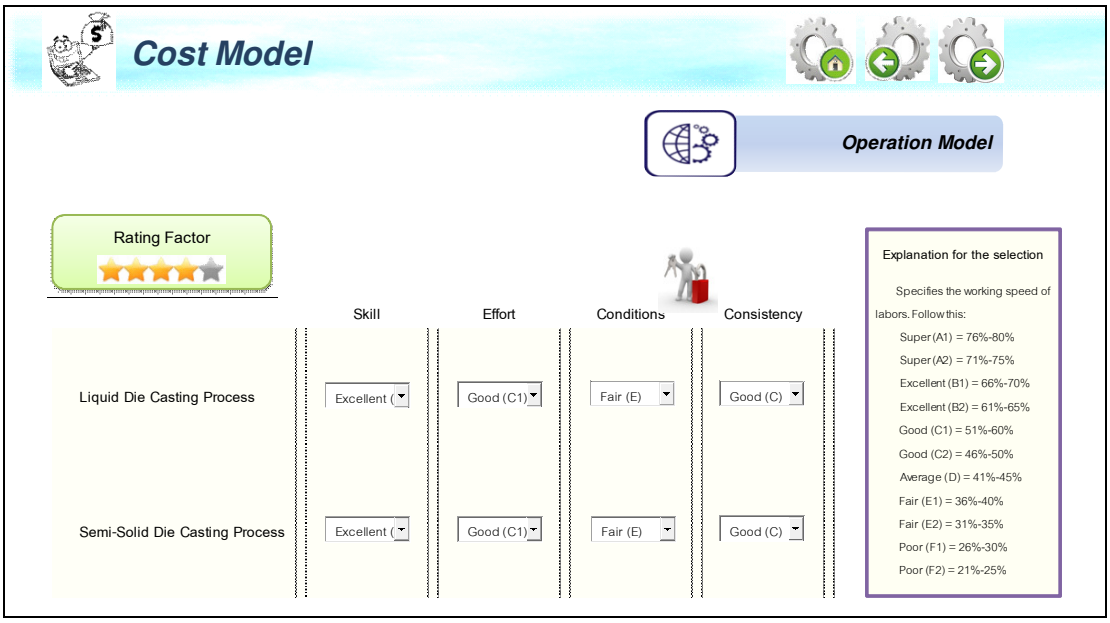


ภาพประกอบ 4.8 ขั้นตอนและกรรมวิธีการผลิตของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง

4.4.2 แบบจำลองการดำเนินงาน

การรับข้อมูลเงื่อนไขของการดำเนินงาน ซึ่งกรอกข้อมูลโดยผู้ใช้งานแบบจำลอง ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

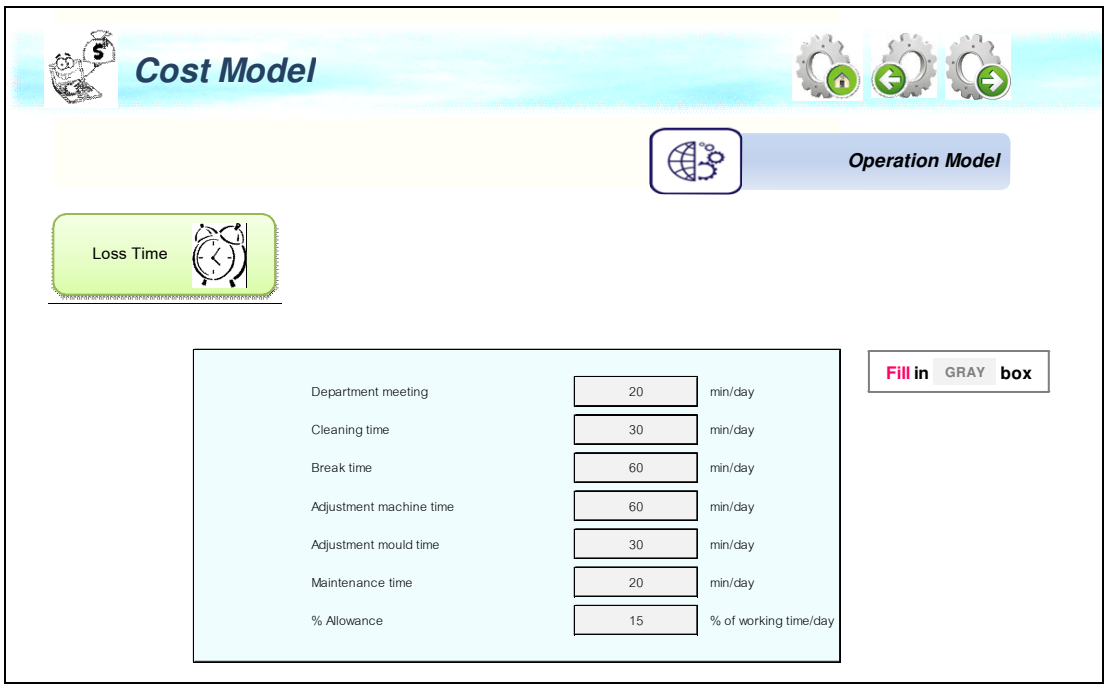
4.4.2.1 ระดับการทำงานของพนักงาน (rating factor) เป็นการประเมินอัตราความเร็วของพนักงานตามวิธีการ Westinghouse system of rating โดยเปรียบเทียบการทำงานของคนงานซึ่งกำลังถูกศึกษาอยู่กับระดับการทำงานปกติในระดับปกติในความรู้สึกของผู้ทำการศึกษา ดังภาพประกอบ 4.9



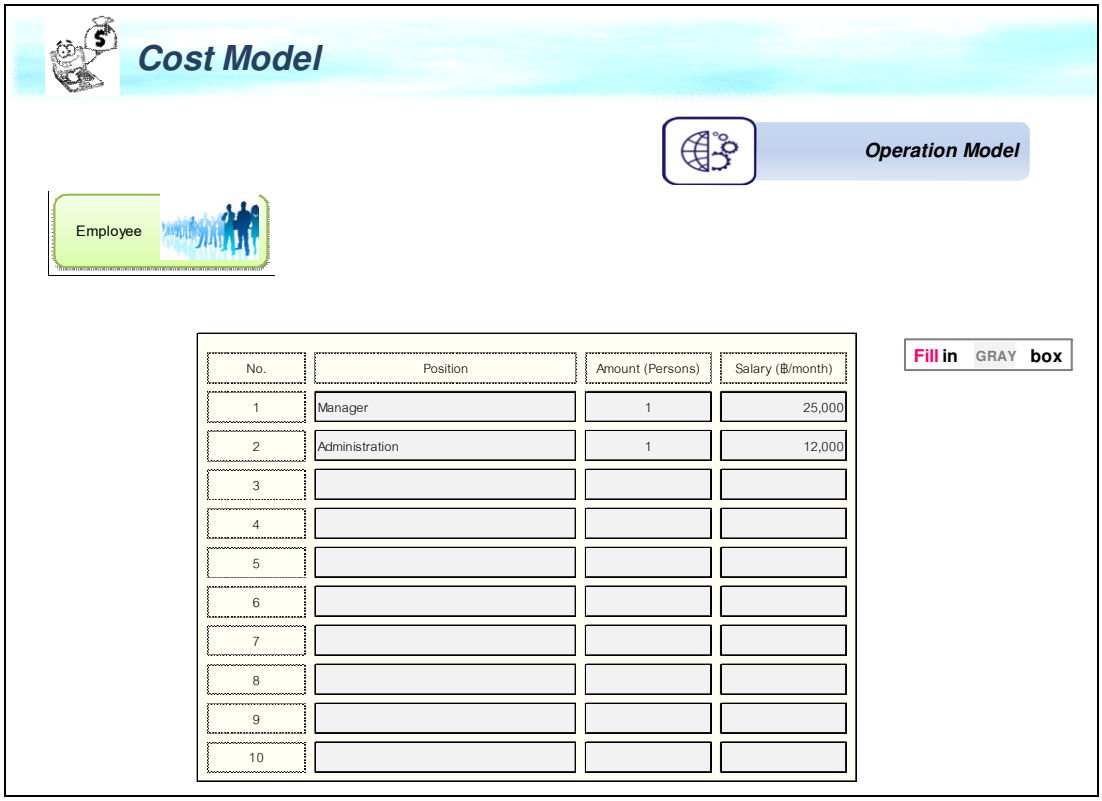
ภาพประกอบ 4.9 หน้าต่างรับข้อมูลระดับการทำงานของพนักงาน

4.4.2.2 เวลาสูญเสียจากการดำเนินงาน (loss time) เป็นการระบุเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้นต่อวัน เช่น เวลาพัก เวลาปรับแต่งแม่พิมพ์ เวลาทำความสะอาด เวลาซ่อมบำรุงเครื่องจักร และรวมถึงระยะเวลาเผื่อต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากพนักงาน เช่น เวลาในการทำธุระส่วนบุคคล เป็นต้น ดังภาพประกอบ 4.10

4.4.2.3 จำนวนพนักงานฝ่ายบริหาร (number of employee) เป็นการระบุจำนวนพนักงานรายเดือนตามตำแหน่งและเงินเดือน ภาพประกอบ 4.11



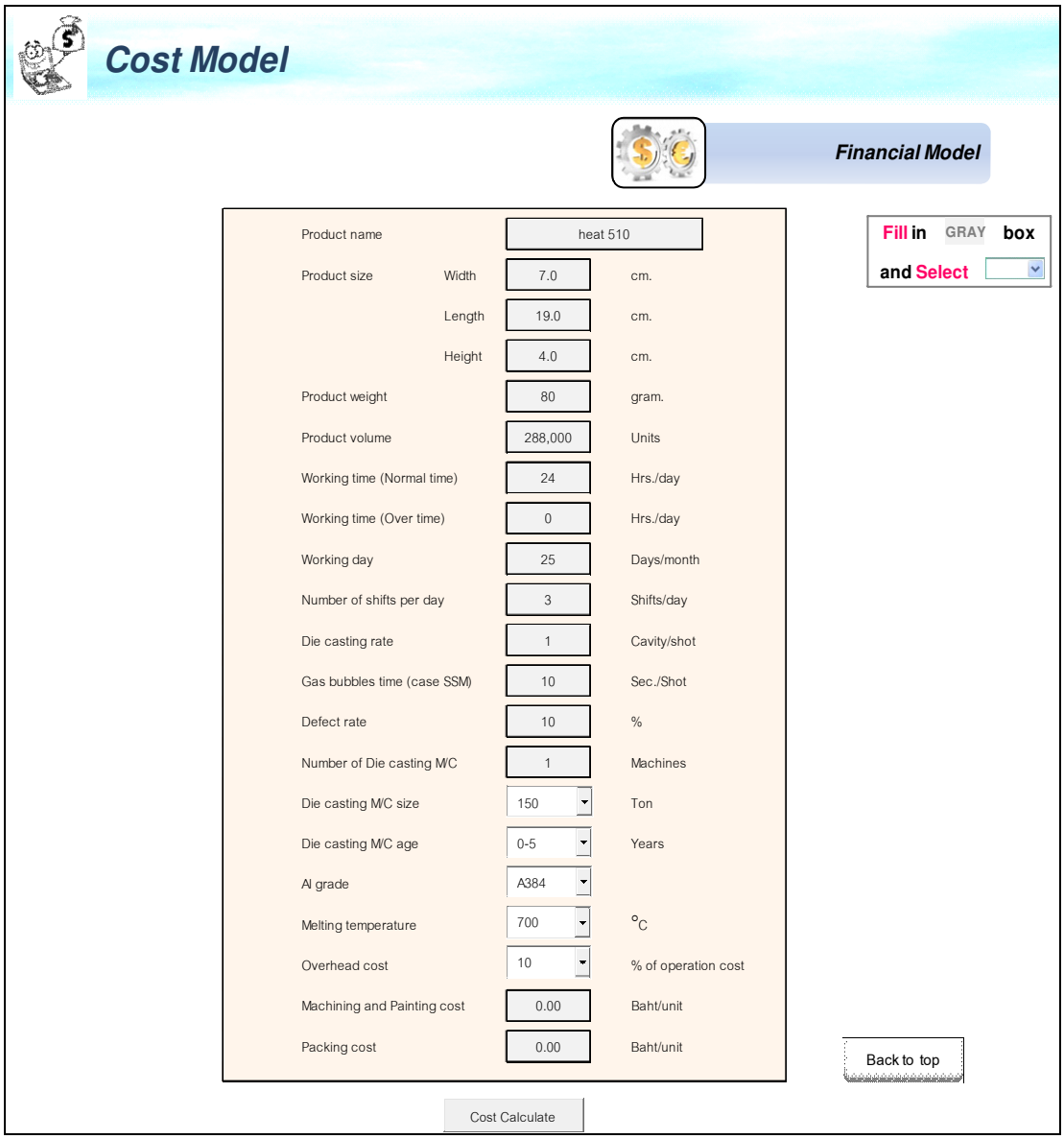
ภาพประกอบ 4.10 หน้าต่างรับข้อมูลเวลาสูญเสียจากการดำเนินงาน



ภาพประกอบ 4.11 หน้าต่างรับข้อมูลจำนวนพนักงานฝ่ายบริหาร

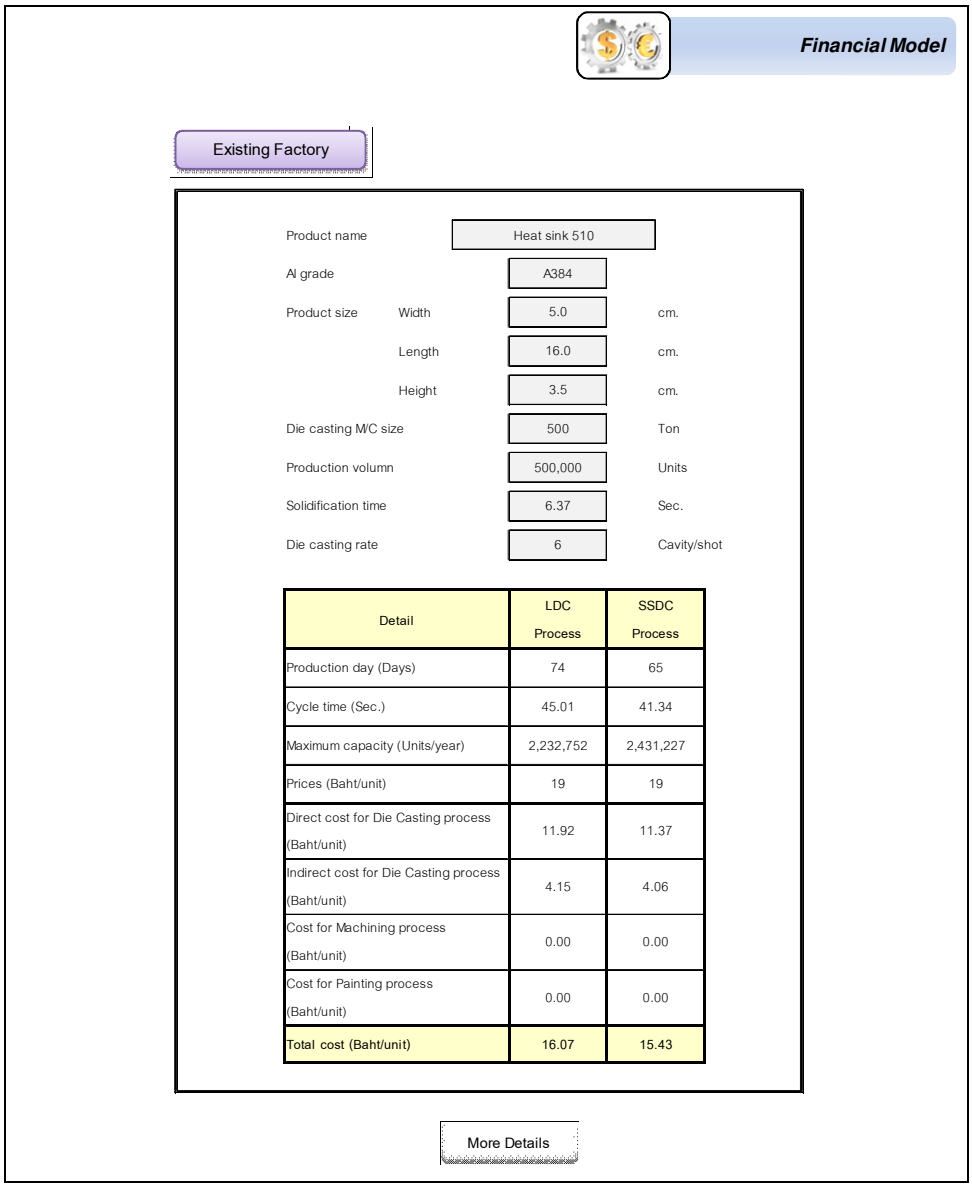
4.4.3 แบบจำลองต้นทุน

การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ ในแบบจำลองผู้ใช้งานจะเป็นผู้กรอกข้อมูลในหน้าต่างรับข้อมูล โดยการกรอกข้อมูลประกอบด้วย 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลที่ผู้ใช้งานกรอกข้อมูลตามการผลิตผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ชื่อผลิตภัณฑ์ ขนาดผลิตภัณฑ์ น้ำหนักผลิตภัณฑ์ ปริมาณการผลิต ระยะเวลาทำงาน จำนวน cavity/shot ระยะเวลาในการปล่อยฟองแก๊ส อัตราการเกิดของเสีย และจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ส่วนข้อมูลอีกกลุ่มหนึ่งเป็นข้อมูลที่ผู้ใช้งานเลือกตามช่วงที่กำหนด ได้แก่ ขนาดเครื่องหล่อฉีดโลหะ อายุการใช้งานเครื่องจักร เกรดอะลูมิเนียม อุณหภูมิหลอม และเปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายโรงงาน ดังภาพประกอบ 4.12



ภาพประกอบ 4.12 หน้าต่างรับข้อมูล

เมื่อกรอกข้อมูลครบถ้วนคลิกคำนวณต้นทุน แบบจำลองก็จะแสดงผลลัพธ์เป็นรายละเอียดเบื้องต้นของต้นทุนต่อหน่วย ได้แก่ ชื่อผลิตภัณฑ์ เกรดอะลูมิเนียม ขนาดผลิตภัณฑ์ ขนาดเครื่องจักร ปริมาณการผลิตต่อ lot size ระยะเวลาการแข็งตัวของน้ำโลหะ จำนวน cavity/shot ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต รอบเวลาการผลิต ปริมาณการผลิตสูงสุดต่อปี ราคาขายผลิตภัณฑ์ต่อหน่วย ต้นทุนทางตรง ต้นทุนทางอ้อม และต้นทุนรวม ดังภาพประกอบ 4.13 และหากคลิกไอคอนรายละเอียดเพิ่มเติม (more details) แบบจำลองจะแสดงผลลัพธ์รายละเอียดต่างๆ ของต้นทุน ได้แก่ การแจกแจงรายละเอียดของต้นทุนต่อหน่วยแต่ละประเภท ต้นทุนต่อหน่วยเมื่อมีปริมาณการผลิตและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตเปลี่ยนแปลงไป และเปอร์เซ็นต์การลดลงและเพิ่มขึ้นของต้นทุนแต่ละชนิดเมื่อเปลี่ยนกระบวนการผลิต ดังภาพประกอบ 4.14



ภาพประกอบ 4.13 ผลลัพธ์แบบจำลองเบื้องต้น

Model Result

Product name	heat 510			Al grade	A384		Die casting M/C size	150	Ton
Production volume	288,000	Units/lot size		Die casting rate	1	Cavity/shot	Product weight	80	Gram/unit
Product size	Width	7	Length	19	Height	4	cm.	Price	36	Baht/unit

Die Casting Process

Operation	LDC	SSDC
Cycle time (Sec.)	51.02	35.39
Production day (Days)	453	300
Maximum capacity (Units/year)	209,926	302,637

Direct cost (Baht/unit)	LDC	SSDC
Raw material cost	7.88	7.53
Labor cost	2.03	1.34
Total	9.91	8.87

Indirect cost (Baht/unit)	LDC	SSDC
Indirect raw material cost	13.13	11.06
Indirect labor cost	2.44	1.62
Overhead cost	2.55	2.15
Depreciation	1.74	2.15
Total	19.86	16.98

Parameter changes (Baht/unit)

No. of M/C / Volume	1		2		3	
	LDC	SSDC	LDC	SSDC	LDC	SSDC
576,000	28.91	23.70	21.77	18.29	17.51	15.01
864,000	28.32	23.70	21.77	18.57	16.95	14.72
1,152,000	28.47	23.70	21.77	18.29	17.08	15.01

*** Should be increase number of machine. ***

Discussion

If using SSDC process		Cost changing					
Temp. ↓	100 °C	3.30%					
Cooling ↓	No used	-0.41%					
Cycle time ↓	30.63%	-13.45%					
Nitrogen gas ↑		0.85%					
Defect ↓		30%	-0.7%	40%	-1.0%	50%	-1.2%
Die life ↓		2 times	1.9%	3 times	1.4%	4 time	1.2%

note : ↓ Cost decreased ↑ Cost increased

Product cost (Baht/unit)

Process	Die Casting	Machining & Painting	Packing	Total cost (Baht/unit)
Liquid Die Casting Process	29.78	0	0	29.78
Semi-Solid Die Casting Process	25.85	0	0	25.85

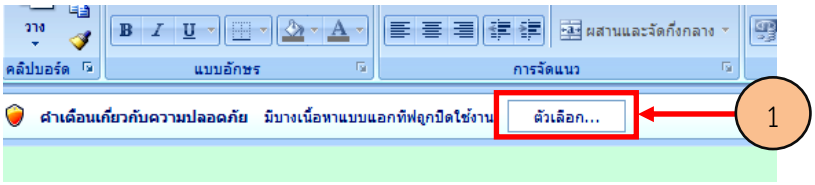
ภาพประกอบ 4.14 ผลลัพธ์แบบจำลอง

4.4.4 ข้อแนะนำการใช้แบบจำลอง

4.4.4.1 การติดตั้งแบบจำลอง

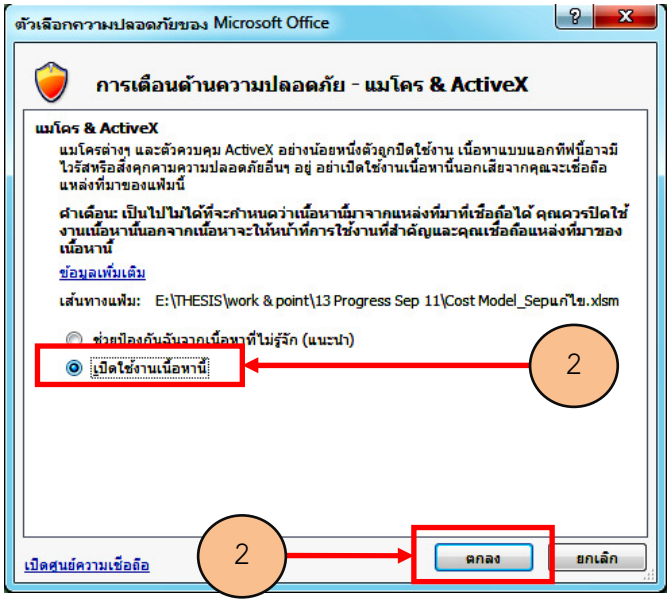
แบบจำลองสร้างขึ้นโดยใช้งานผ่านโปรแกรม Microsoft Office Excel 2007 ใช้คำสั่งภาษา Visual Basic for Application (VBA) ในการจัดการฟอร์ม และควบคุมการทำงานด้วยแมโคร (Macro) ดังนั้น ในการใช้งานโปรแกรมนี้จึงต้องเปิดใช้งานแมโครก่อน โปรแกรมจึงจะทำงานได้อย่างสมบูรณ์ มีขั้นตอนดังนี้

ก. เมื่อเปิดไฟล์ขึ้นมาครั้งแรกจะพบคำเตือน คลิก ตัวเลือก ดังภาพประกอบ 4.15



ภาพประกอบ 4.15 เรียกเครื่องมือเพื่อติดตั้งแมโคร

ข. การเตือนด้านความปลอดภัยเป็น คลิก เปิดใช้งานเนื้อหานี้ แล้วคลิก ตกลง ดังภาพประกอบ 4.16 โปรแกรมจึงพร้อมใช้งาน



ภาพประกอบ 4.16 ติดตั้งแมโคร

4.4.4.2 คำอธิบายปุ่มสัญลักษณ์ การใช้งานแบบจำลองมีปุ่มสัญลักษณ์เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานและสามารถใช้งานแบบจำลองได้อย่างถูกต้อง จึงแสดงคำอธิบายปุ่มสัญลักษณ์ ดังตาราง 4.74

ตาราง 4.74 คำอธิบายปุ่มสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
	คลิก เมื่อต้องการไปเมนูหลัก
	คลิก เมื่อต้องการกลับไปเมนูก่อนหน้า
	คลิก เมื่อต้องการแสดงตัวอย่างก่อนพิมพ์
	คลิก เมื่อต้องการพิมพ์เอกสาร

4.4.5 ข้อจำกัดแบบจำลอง

แบบจำลองสร้างขึ้นผ่านโปรแกรม Microsoft Office Excel 2007 จึงมีขีดความสามารถและข้อจำกัดบางประการสำหรับการใช้งานแบบจำลอง ดังต่อไปนี้

4.4.5.1 การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตสามารถเปรียบเทียบได้เฉพาะระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง

4.4.5.2 การศึกษาแบบจำลองนี้ไม่ได้ครอบคลุมถึงต้นทุนต่อหน่วยของกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ แต่จะรับข้อมูลเป็นค่าคงที่มาบวกเพิ่มกับต้นทุนต่อหน่วยของกระบวนการหล่อฉีดโลหะเท่านั้น

4.4.5.3 การเรียกใช้ไฟล์บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในขณะหนึ่ง เฉพาะผู้ที่เรียกใช้ไฟล์คนแรกหรือผู้ที่กำหนดหลักเท่านั้นที่จะสามารถดัดแปลงแก้ไขเพิ่มเติมในไฟล์นั้นได้ ส่วนผู้อื่นจะมีสิทธิเรียกใช้งานในขณะเดียวกันได้แต่ต้องเปิดไฟล์นั้นแบบอ่านอย่างเดียว ซึ่งสามารถใช้งานได้แต่ไม่สามารถบันทึกสิ่งที่เปลี่ยนแปลงใหม่หรือต้องรอจนกว่าผู้ใช้งานหลักจะใช้งานเสร็จก่อน

4.4.5.4 โปรแกรม Microsoft Office Excel ใช้นามสกุล xls แบบเดียว สำหรับ worksheet ไม่ว่าจะเป็นเวอร์ชันใด แต่มีโครงสร้างของการเก็บไฟล์ต่างกัน ทำให้เวอร์ชันเก่าอ่านไฟล์ของเวอร์ชันใหม่ไม่ได้ แต่เวอร์ชันใหม่อ่านและเขียนไฟล์ของเวอร์ชันเก่าได้

4.5 ผลการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เป็นการตรวจสอบผลจากการออกแบบแบบจำลองว่าเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ตอนเริ่มโครงการหรือไม่ โดยทำการเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์และต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจากโรงงานกรณีศึกษาเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับต้นทุนต่อหน่วยที่ได้จากแบบจำลอง และด้วยข้อจำกัดบางประการของโรงงานกรณีศึกษาจึงสามารถเก็บข้อมูลต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ได้จำนวน 18 ผลิตภัณฑ์ แสดงดังตาราง 4.75 และ 4.76 ตามลำดับ

ตาราง 4.75 ข้อมูลผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	ข้อมูลผลิตภัณฑ์								
	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	น้ำหนัก (กรัม)	จำนวนผลิต (หน่วย/lot size)	อัตราฉีด (cavity)	เวลาปล่อยฟองแก๊ส (วินาที)	% ของเสีย	ขนาด M/C (ตัน)
1. Holder	3.5	6.5	0.7	10	90,000	4	5	10%	80
2. Heat sink 510	5.0	16.0	3.5	120	500,000	6	10	10%	500
3. Heat sink 027	5.5	20.0	1.5	95	100,000	4	10	10%	500
4. Feed dog supporter	4.6	6.0	1.5	28	40,000	2	5	10%	250
5. Feed dog fork	3.0	9.3	2.0	47	50,000	2	5	10%	250
6. Body bracket	7.0	13.0	4.0	107	70,000	2	5	10%	250
7. Base stator	14.2	10.0	4.0	320	50,000	1	10	5%	300
8. Cover comp cylinder	8.0	16.3	5.0	355	45,000	1	10	5%	300
9. Foot roofrall front	5.6	47.0	6.5	390	36,000	1	10	12%	800
10. Flange final driven	14.0	14.0	7.0	538	20,000	1	10	10%	250
11. Foot roofrall front	8.0	42.0	9.6	450	36,000	1	10	12%	800
12. Heat sink (main) 034	25.0	30.0	7.0	843	80,000	1	10	15%	630
13. Heat sink (main)	6.5	25.0	9.8	707	25,000	1	10	10%	500
14. Hub front	16.0	16.0	6.0	944	25,000	1	15	10%	500
15. Hub rear (drum)	15.0	15.0	10.0	870	20,000	1	10	10%	500
16. Hub rear	15.0	15.0	10.0	1,000	25,000	1	10	10%	500
17. Chassis stander	20.0	50.0	12.5	2,498	50,000	1	20	12%	800
18. Chassis sockel	20.0	50.0	13.0	2,509	50,000	1	20	15%	630

ที่มา : บริษัท เดโช โมลด์ แอนด์ ไดคาสติง จำกัด

ตาราง 4.76 ข้อมูลต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์จากโรงงานกรณีศึกษา

ผลิตภัณฑ์	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/หน่วย)			
	ชิ้นงาน Die Casting	ชิ้นงาน Machining	ชิ้นงาน Painting	รวม
1. Holder	8.40	8.34	0	16.74
2. Heat sink 510	20.16	3.42	0	23.58
3. Heat sink 027	18.83	2.27	0	21.10
4. Feed dog supporter	19.94	1.97	0	21.91
5. Feed dog fork	20.44	2.05	0	22.49
6. Body bracket	28.44	10.43	0	38.87
7. Base stator	59.87	28.42	0	88.29
8. Cover comp cylinder	68.56	24.88	0	93.44
9. Foot roofrall front	96.16	13.2	0	109.36
10. Flange final driven	105.86	21.26	0	127.12
11. Foot roofrall front	117.20	15.78	20.7	153.68
12. Heat sink (main) 034	137.03	30.62	0	167.65
13. Heat sink (main)	139.16	18.78	8.18	166.12
14. Hub front	147.29	48.94	0	196.23
15. Hub rear (drum)	156.69	79.33	16.08	252.10
16. Hub rear	169.58	19.45	0	189.03
17. Chassis stander	324.98	55.14	0	380.12
18. Chassis sockel	329.53	61.82	0	391.35

ที่มา : บริษัท เดโช โมลด์ แอนด์ ไดคาสติง จำกัด

นำข้อมูลผลิตภัณฑ์ป้อนเข้าแบบจำลอง โดยผลลัพธ์ที่ได้จากป้อนข้อมูลผลิตภัณฑ์ทั้ง 18 ผลิตภัณฑ์ แสดงรายละเอียดดังตาราง 4.77

ตาราง 4.77 ผลลัพธ์ต้นทุนของผลิตภัณฑ์จากแบบจำลอง

ผลิตภัณฑ์	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/หน่วย)			
	กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว		กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่	
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
1. Holder	15.93	15.77	16.62	16.35
2. Heat sink 510	20.82	19.32	23.61	21.38
3. Heat sink 027	20.05	19.05	21.94	20.62
4. Feed dog supporter	21.25	20.37	23.92	22.58
5. Feed dog fork	21.81	20.55	25.39	23.41
6. Body bracket	37.69	35.01	44.34	39.99
7. Base stator	91.26	84.95	106.06	95.80
8. Cover comp cylinder	96.86	89.15	115.17	102.52

ตาราง 4.77 ผลลัพธ์ต้นทุนของผลิตภัณฑ์จากแบบจำลอง (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/หน่วย)			
	กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว		กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่	
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง
9. Foot roofrall front	114.26	102.01	152.45	130.67
10. Flange final driven	133.72	123.51	156.66	140.67
11. Foot roofrall front	164.25	146.67	219.87	188.13
12. Heat sink (main) 034	176.63	160.44	214.25	188.63
13. Heat sink (main)	177.61	158.52	222.91	190.47
14. Hub front	205.13	191.21	233.06	211.75
15. Hub rear (drum)	269.95	249.72	315.90	281.99
16. Hub rear	202.98	182.11	249.35	215.08
17. Chassis stander	444.09	390.04	495.53	443.50
18. Chassis sockel	452.14	399.98	505.52	450.87

เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษามีการเปิดดำเนินการมาแล้ว 10 ปี และเป็นการผลิตแบบกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว จึงเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ระหว่างข้อมูลต้นทุนจากโรงงานกรณีศึกษาและต้นทุนจากแบบจำลอง กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว แสดงดังภาพประกอบ 4.17 และสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้ ดังตาราง 4.78

ตาราง 4.78 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยระหว่างต้นทุนจากโรงงานกรณีศึกษาและต้นทุนจากแบบจำลอง กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว

ผลิตภัณฑ์	ต้นทุนต่อหน่วย จากโรงงาน (บาท/หน่วย)	ต้นทุนต่อหน่วยจาก แบบจำลอง (บาท/หน่วย)	% ความคลาดเคลื่อน
1. Holder	16.74	15.93	-4.83
2. Heat sink 510	23.58	20.82	-11.72
3. Heat sink 027	21.10	20.05	-4.98
4. Feed dog supporter	21.91	21.25	-3.00
5. Feed dog fork	22.49	21.81	-3.02
6. Body bracket	38.87	37.69	-3.03
7. Base stator	88.29	91.26	+3.36
8. Cover comp cylinder	93.44	96.86	+3.66
9. Foot roofrall front	109.36	114.26	+4.48
10. Flange final driven	127.12	133.72	+5.19

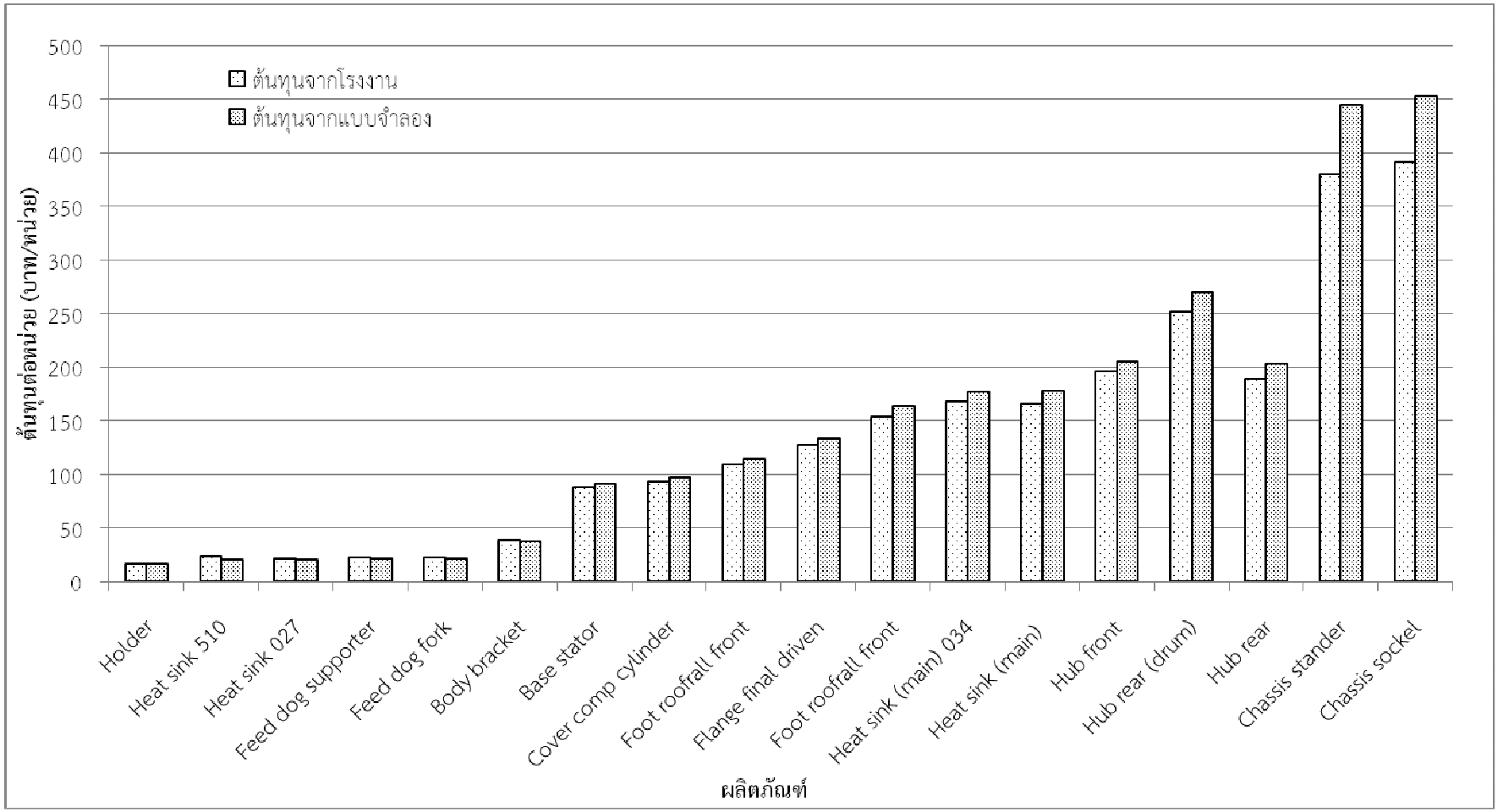
ตาราง 4.78 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยระหว่างต้นทุนจากโรงงานกรณีศึกษาและต้นทุนจากแบบจำลอง กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	ต้นทุนต่อหน่วยจากโรงงาน (บาท/หน่วย)	ต้นทุนต่อหน่วยจากแบบจำลอง (บาท/หน่วย)	% ความคลาดเคลื่อน
11. Foot roofrall front	153.68	164.25	+6.88
12. Heat sink (main) 034	167.65	176.63	+5.36
13. Heat sink (main)	166.12	177.61	+6.92
14. Hub front	196.23	205.13	+4.53
15. Hub rear (drum)	252.1	269.95	+7.08
16. Hub rear	189.03	202.98	+7.38
17. Chassis stander	380.12	444.09	+63.97
18. Chassis sockel	391.35	452.14	+60.79

จากการเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยระหว่างโรงงานกรณีศึกษากับผลลัพธ์แบบจำลอง กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว สามารถวิเคราะห์ได้ 2 กลุ่ม ดังนี้

ก. ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการฉีดหนึ่งครั้งได้ผลิตภัณฑ์หนึ่งชิ้น (1 cavity/shot) ที่ความหนา 0.1 ถึง 5 ซม. มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ +0% ถึง +4% น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความหนา 5 ซม.ขึ้นไป ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 4% ขึ้นไป เนื่องจากรอบเวลาที่ใช้ในการผลิตขึ้นอยู่กับความหนาของผลิตภัณฑ์ หากผลิตภัณฑ์มีความหนามากรอบเวลาการผลิตก็จะเพิ่มมากขึ้น การควบคุมตัวแปรต่างในระหว่างการหล่อฉีดโลหะทำได้ยากขึ้น จึงส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น

ข. ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการฉีดหนึ่งครั้งได้ผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งชิ้น (มากกว่า 1 cavity/shot) มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ -3% ถึง -8% เนื่องจากในแบบจำลองเป็นการรับข้อมูลปริมาณการผลิต แล้วหารด้วยจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อการฉีดหนึ่งครั้ง เพื่อหาจำนวนครั้งในการฉีดต่อ lot size จึงส่งผลให้ต้นทุนจากแบบจำลองน้อยกว่าต้นทุนจากโรงงานกรณีศึกษา ดังนั้นหากจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อการฉีดหนึ่งครั้งมีจำนวนมากขึ้น เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก็จะเพิ่มมากขึ้น

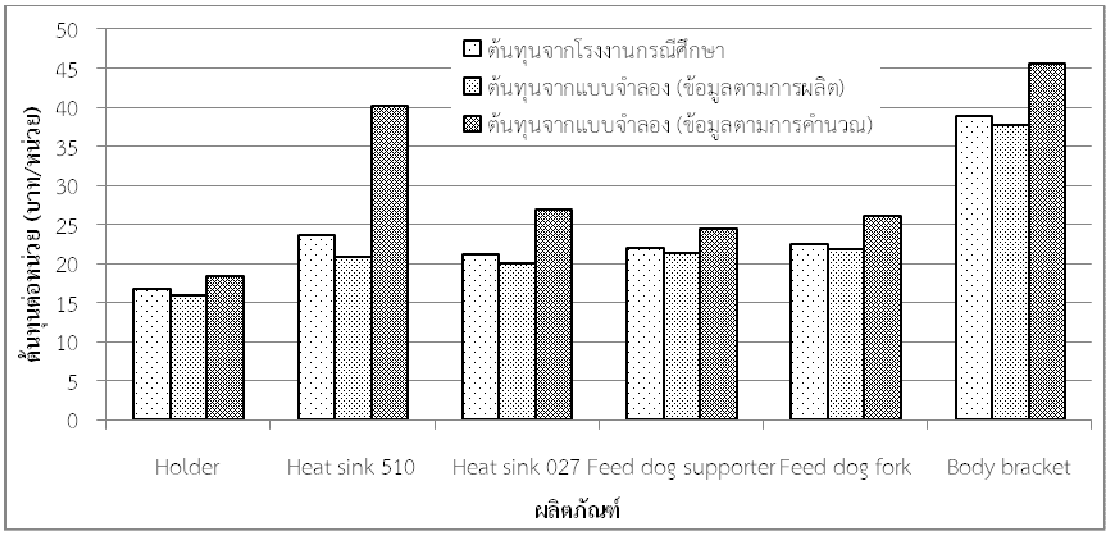


ภาพประกอบ 4.17 เปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยระหว่างต้นทุนจากโรงงานกรณีศึกษา
และต้นทุนจากแบบจำลอง กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการฉีดหนึ่งครั้งได้ผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งชิ้น มี 6 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ Holder, Heat sink 510, Heat sink 027, Feed dog supporter, Feed dog fork และ Body bracket เนื่องจากการรับข้อมูลเข้าเป็นผลิตภัณฑ์ทีละตัว ดังนั้น จึงทำการทดสอบแบบจำลองอีกครั้ง โดยนำมาเปรียบเทียบกัน 3 เงื่อนไข ได้แก่ ต้นทุนต่อหน่วยจากโรงงานกรณีศึกษา ต้นทุนต่อหน่วยจากแบบจำลอง (กรอกข้อมูลจำนวน Cavity/shot ตามการผลิตจริง) และต้นทุนต่อหน่วยจากแบบจำลอง (กรอกข้อมูล 1 Cavity/shot ตามการคำนวณของแบบจำลอง) สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้ ดังตาราง 4.79 และแสดงดังภาพประกอบ 4.18

ตาราง 4.79 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วย 3 เงื่อนไข ได้แก่ ต้นทุนต่อหน่วยจากโรงงานกรณีศึกษา ต้นทุนต่อหน่วยจากแบบจำลอง (ข้อมูลตามการผลิต) และต้นทุนต่อหน่วยจากแบบจำลอง (ข้อมูลตามการคำนวณ)

ชื่อผลิตภัณฑ์	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/หน่วย)			% ความคลาดเคลื่อน	
	โรงงานกรณีศึกษา	แบบจำลอง (ข้อมูลตามการผลิต)	แบบจำลอง (ข้อมูลตามการคำนวณ)	โรงงานและแบบจำลอง (ข้อมูลตามการผลิต)	โรงงานและแบบจำลอง (ข้อมูลตามการคำนวณ)
1. Holder	16.74	15.93	18.35	-4.83	+9.62
2. Heat sink 510	23.58	20.82	40.10	-11.72	+70.06
3. Heat sink 027	21.10	20.05	26.84	-4.98	+27.20
4. Feed dog supporter	21.91	21.25	24.52	-3.00	+11.91
5. Feed dog fork	22.49	21.81	26.01	-3.02	+15.65
6. Body bracket	38.87	37.69	45.64	-3.03	+17.42



ภาพประกอบ 4.18 การเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วย 3 เงื่อนไข ได้แก่ ต้นทุนต่อหน่วยจากโรงงานกรณีศึกษา ต้นทุนต่อหน่วยจากแบบจำลอง (ข้อมูลตามการผลิต) และต้นทุนต่อหน่วยจากแบบจำลอง (ข้อมูลตามการคำนวณ)

จากการเปรียบเทียบต้นทุนผลิตภัณฑ์ 3 เงื่อนไข ได้แก่ ต้นทุนต่อหน่วยจากโรงงานกรณีศึกษา ต้นทุนต่อหน่วยจากแบบจำลอง (ข้อมูลตามการผลิต) และต้นทุนต่อหน่วยจากแบบจำลอง (ข้อมูลตามการคำนวณ) สามารถวิเคราะห์ได้ คือ จำนวนที่ได้ผลิตภัณฑ์ต่อการฉีดหนึ่งครั้งและปริมาณการผลิตต่อ lot size มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนจากโรงงานกรณีศึกษาและต้นทุนต่อหน่วยจากแบบจำลอง (ข้อมูลตามการผลิต) มากที่สุด นั่นคือ ผลิตภัณฑ์ Heat sink 510 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำการฉีดหนึ่งครั้งได้ 6 ผลิตภัณฑ์ และทำการผลิต 500,000 หน่วยต่อ lot size ซึ่งมีจำนวน cavity/shot และปริมาณการผลิตมากที่สุดจาก 6 ผลิตภัณฑ์ เมื่อเปลี่ยนการป้อนข้อมูลเข้าแบบจำลองเป็นฉีดหนึ่งครั้งได้ 1 ผลิตภัณฑ์ จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนก็มากขึ้นตามไปด้วย (+70.06%) เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็ก การฉีดหนึ่งครั้งได้ผลิตภัณฑ์หนึ่งชิ้นจะต้องใช้ระยะเวลาในการผลิตนาน ทั้งมีปริมาณในการผลิตต่อ lot size ค่อนข้างมาก ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตก็จะยาวนานขึ้น จึงส่งผลให้ต้นทุนต่อหน่วยที่ได้จากแบบจำลองสูงมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น สรุปได้ว่าการใช้แบบจำลองที่มีหลายผลิตภัณฑ์ต่อการฉีดหนึ่งครั้งควรจะป้อนข้อมูลตามการฉีดจริง เพราะให้ผลความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการป้อนข้อมูลหนึ่งผลิตภัณฑ์ต่อการฉีดหนึ่งครั้ง

นำเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากแบบจำลองทั้งสองกลุ่มมาตั้งสมมติฐานทดสอบทางสถิติ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้แบบจำลอง

ก. ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการฉีดหนึ่งครั้งได้ผลิตภัณฑ์หนึ่งชิ้น (1 cavity/shot)

<u>สมมติฐาน</u> H_0 : ต้นทุนต่อหน่วยจากโรงงานและแบบจำลอง (1 cavity/shot) ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ต้นทุนต่อหน่วยจากโรงงานและแบบจำลอง (1 cavity/shot) แตกต่างกัน

<u>กำหนดสถิติทดสอบ</u> เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบจับคู่ และประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ ขนาดตัวอย่าง n=12 (<30) และไม่ทราบค่าแปรปรวนประชากร จึงใช้สถิติทดสอบ t

<u>คำนวณสถิติทดสอบ</u> คำนวณค่า d_i จาก $d_i = X_{1i}-X_{2i}$ ดังตาราง 4.80

ตาราง 4.80 หาค่า Σd_i ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการฉีดหนึ่งครั้งได้ผลิตภัณฑ์หนึ่งชิ้น

ผลิตภัณฑ์	ต้นทุน (บาท/หน่วย)		$d_i = X_{1i}-X_{2i}$	$\sum d_i^2$
	โรงงาน (X_{1i})	แบบจำลอง (X_{2i})		
1. Base stator	88.29	91.26	-2.97	8.82
2. Cover comp cylinder	93.44	96.86	-3.42	11.70
3. Foot roofrall front	109.36	114.26	-4.90	24.01
4. Flange final driven	127.12	133.72	-6.60	43.56
5. Foot roofrall front	153.68	164.25	-10.57	111.72
6. Heat sink (main) 034	167.65	176.63	-8.98	80.64
7. Heat sink (main)	166.12	177.61	-11.49	132.02
8. Hub front	196.23	205.13	-8.90	79.21

ตาราง 4.80 หาค่า Σd_i (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	ต้นทุน (บาท/หน่วย)		$d_i = X_{1i}-X_{2i}$	$\sum d_i^2$
	โรงงาน (X_{1i})	แบบจำลอง (X_{2i})		
9. Hub rear (drum)	252.10	269.95	-17.85	318.62
10.Hub rear	189.03	202.98	-13.95	194.60
11.Chassis stander	380.12	444.09	-63.97	4,092.16
12.Chassis sockel	391.35	457.14	-60.79	3,695.42
			Σd_i = -214.39	**$\sum d_i^2$ =8,792.49**

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{n} = \frac{-214.39}{12} = -17.87$$

$$s_d^2 = \frac{\sum d_i^2 - \frac{(\sum d_i)^2}{n}}{n-1} = \frac{8,792.49 - \frac{(214.39)^2}{12}}{12-1} = 451.11$$

$$s_d = \sqrt{451.11} = 21.24$$

<u>สถิติทดสอบ</u> $$t = \frac{\bar{d} - d_0}{s_d / \sqrt{n}} = \frac{-17.87 - 0}{21.24/\sqrt{12}} = -2.91$$

กำหนดระดับนัยสำคัญ α = 0.01 และเขตปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ถ้า $-t > -t_{1-\alpha;n-1}$ หรือ $-t > -t_{0.99;11} = -2.91$ ดังนั้น สรุปผลการทดสอบยอมรับ H_0 เนื่องจาก $t = -2.91 < -3.106$

เพราะฉะนั้น ต้นทุนต่อหน่วยจากโรงงานและแบบจำลอง (1 cavity/shot) ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ข. ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการฉีดหนึ่งครั้งได้ผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งชิ้น (มากกว่า 1 cavity/shot)

<u>สมมติฐาน</u> H_0 : ต้นทุนต่อหน่วยจากโรงงานและแบบจำลอง (>1 cavity/shot) ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ต้นทุนต่อหน่วยจากโรงงานและแบบจำลอง (>1 cavity/shot) แตกต่างกัน

<u>กำหนดสถิติทดสอบ</u> เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบจับคู่ และประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ ขนาดตัวอย่าง n=6 (<30) และไม่ทราบค่าแปรปรวนประชากร จึงใช้สถิติทดสอบ t

<u>คำนวณสถิติทดสอบ</u> คำนวณค่า d_i จาก $d_i = X_{1i}-X_{2i}$ ดังตาราง 4.81

ตาราง 4.81 หาค่า Σd_i ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการฉีดหนึ่งครั้งได้ผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งชิ้น

ผลิตภัณฑ์	ต้นทุน (บาท/หน่วย)		$d_i = X_{1i}-X_{2i}$	$\sum d_i^2$
	โรงงาน (X_{1i})	แบบจำลอง (X_{2i})		
1. Holder	16.74	15.93	0.81	0.65
2. Heat sink 510	23.58	20.82	2.76	7.64
3. Heat sink 027	21.10	20.05	1.05	1.10
4. Feed dog supporter	21.91	21.25	0.66	0.43
5. Feed dog fork	22.49	21.81	0.68	0.46
6. Body bracket	38.87	37.69	1.18	1.38
			Σd_i = 7.13	**$\sum d_i^2$ = 11.67**

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{n} = \frac{7.13}{6} = 1.19$$

$$S_d^2 = \frac{\sum d_i^2 - \frac{(\sum d_i)^2}{n}}{n-1} = \frac{11.67 - \frac{(7.13)^2}{6}}{6-1} = 0.64$$

$$S_d = \sqrt{0.64} = 0.80$$

<u>สถิติทดสอบ</u> $$t = \frac{\bar{d} - d_0}{s_d/\sqrt{n}} = \frac{1.19 - 0}{0.80/\sqrt{6}} = 3.65$$

กำหนดระดับนัยสำคัญ α = 0.01 และเขตปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ถ้า $t > t_{1-\alpha;n-1}$ หรือ $t > t_{0.99;5} = 4.032$ ดังนั้น สรุปผลการทดสอบยอมรับ H_0 เนื่องจาก $t = 3.65 < 4.032$

เพราะฉะนั้น ต้นทุนต่อหน่วยจากโรงงานและแบบจำลอง (มากกว่า 1 cavity/shot) ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

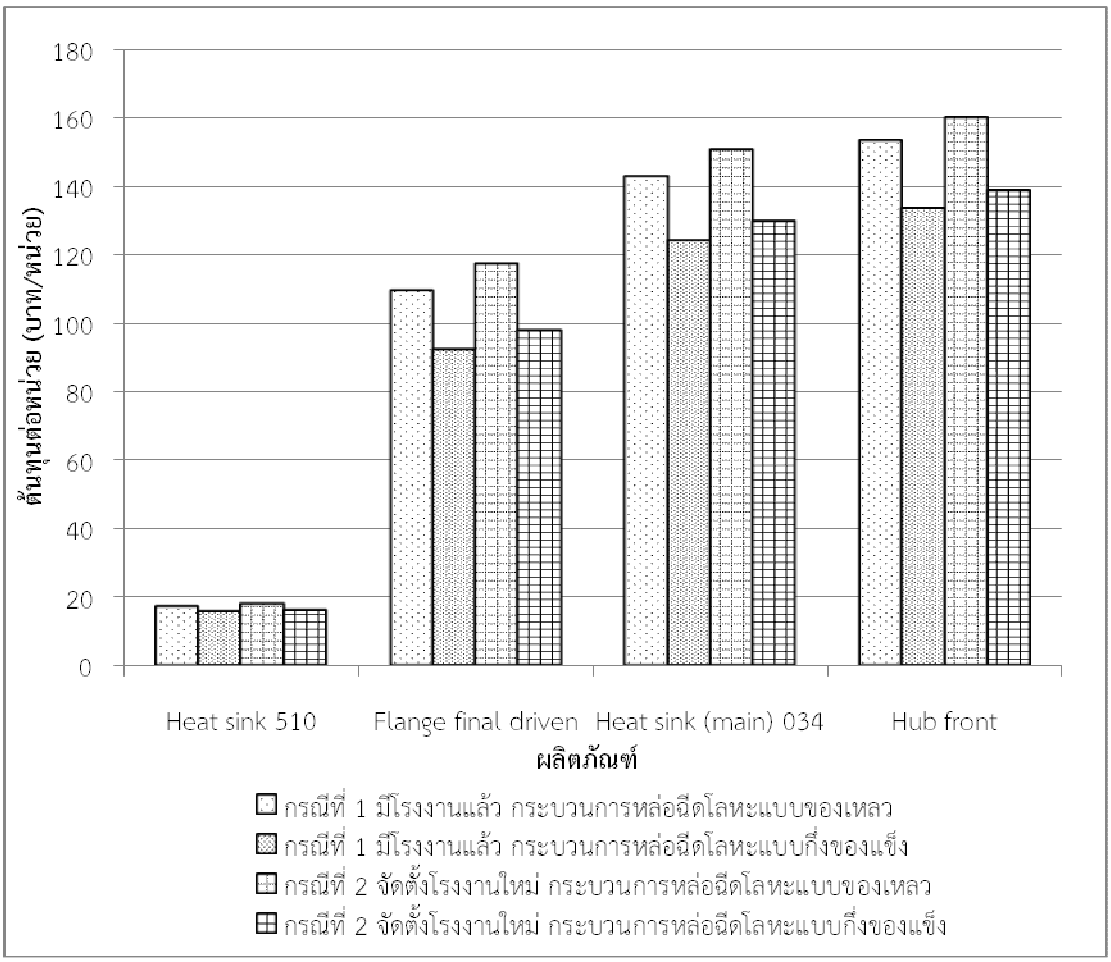
จากการทดสอบความน่าเชื่อถือทางสถิติของแบบจำลองของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้ง 18 ชนิด พบว่า ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของโรงงานกรณีศึกษาและแบบจำลองไม่แตกต่างกันสามารถใช้ทดแทนกันได้ โดยมีความน่าเชื่อถือที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

4.6 การอภิปรายผล

การวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมยานยนต์ระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและแบบกึ่งของแข็ง มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ระหว่างสองกระบวนการผ่านการใช้งานแบบจำลองต้นทุนที่สร้างขึ้นตามแนวคิดของ PBCM จากการศึกษางานวิจัยนี้ พบว่า ในการผลิตโลหะกึ่งของแข็ง น้ำโลหะเริ่มมีการแข็งตัวเป็นบางส่วนขณะเทเข้าแม่พิมพ์ ทำให้ระยะเวลาในการแข็งตัวของน้ำโลหะลดลง ทั้งการใช้โลหะกึ่งของแข็งในการหล่อฉีดยังต้องการอุณหภูมิในแม่พิมพ์สูงกว่าการหล่อฉีดแบบธรรมดาจึงสามารถช่วยลดเวลาในการสเปรย์แม่พิมพ์เพื่อลดอุณหภูมิได้อีกด้วย จากการลดระยะเวลาดังกล่าวส่งผลให้รอบเวลาการผลิตลดลงซึ่งช่วยในการเพิ่มผลผลิตมากขึ้น ดังนั้น ต้นทุนต่อหน่วยจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งจึงต่ำกว่าต้นทุนต่อหน่วยจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว โดยตาราง 4.82 แสดงผลลัพธ์ต้นทุนต่อหน่วยทั้งสองกระบวนการของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างโดยใช้แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ ต้นทุนต่อหน่วย ประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง ต้นทุนแรงงานทางตรง ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม ต้นทุนแรงงานทางอ้อม ต้นทุนพลังงาน ค่าใช้จ่ายโรงงาน และค่าเสื่อมราคา และได้แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบ ดังภาพประกอบ 4.19

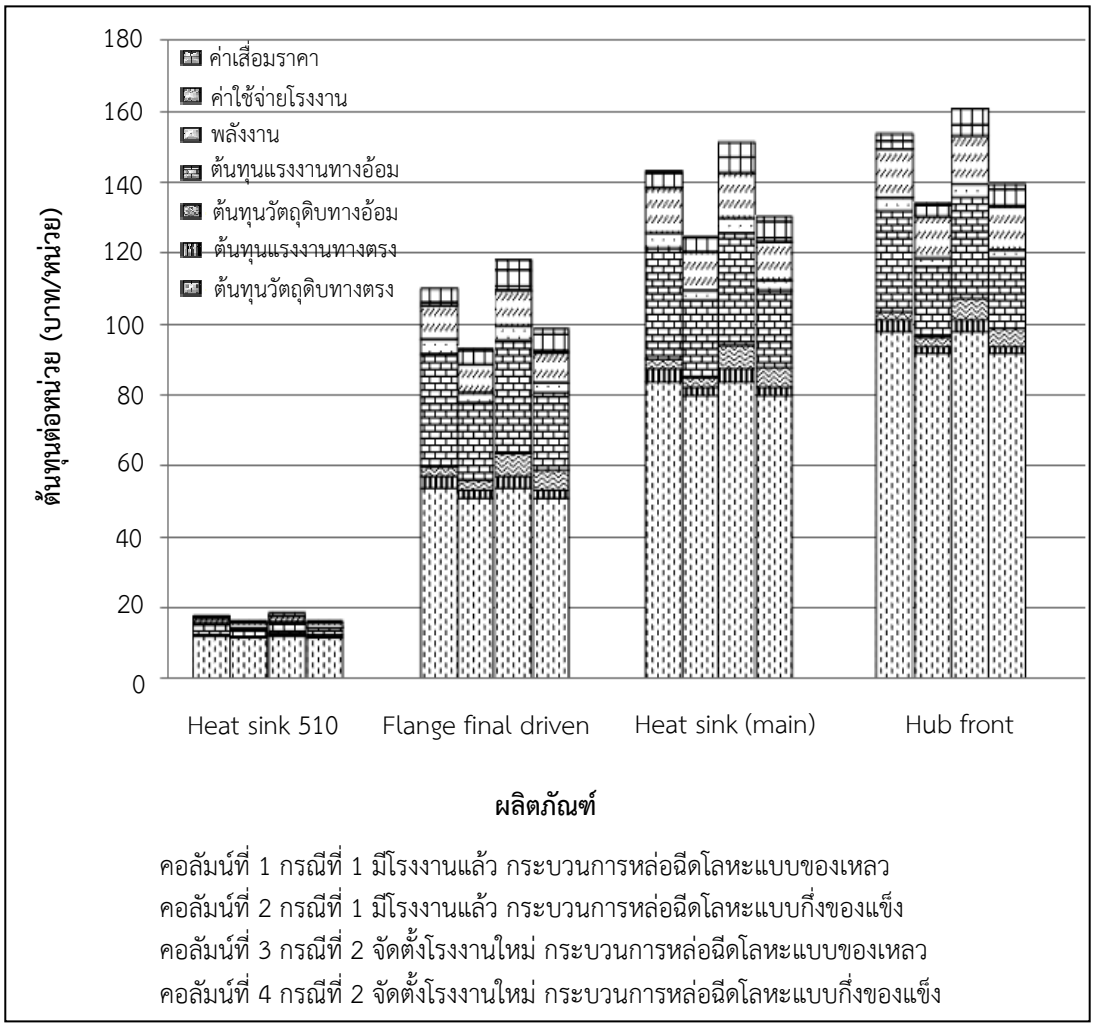
ตาราง 4.82 ต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากผลลัพธ์แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ

กรณี	ประเภทต้นทุน (บาท/หน่วย)	Heat sink 510		Flange final driven		Heat sink (main) 034		Hub front	
		ของเหลว	กึ่งของแข็ง	ของเหลว	กึ่งของแข็ง	ของเหลว	กึ่งของแข็ง	ของเหลว	กึ่งของแข็ง
กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว	วัตถุดิบทางตรง	11.83	11.29	53.03	50.62	83.09	79.31	97.27	90.92
	แรงงานทางตรง	0.30	0.20	3.48	2.32	3.47	2.32	3.10	2.17
	วัตถุดิบทางอ้อม	0.25	0.25	2.85	2.80	2.88	2.84	2.61	2.66
	พลังงาน	2.72	1.93	31.55	21.80	31.53	21.79	28.39	19.58
	แรงงานทางอ้อม	0.36	0.24	4.20	2.80	4.18	2.80	3.73	2.61
	ค่าใช้จ่ายโรงงาน	1.55	1.39	9.51	8.03	12.51	10.91	13.51	11.79
	ค่าเสื่อมราคา	0.42	0.34	4.83	3.94	4.81	3.94	4.30	3.68
	ต้นทุนต่อหน่วย	**17.42**	**15.64**	**109.42**	**92.25**	**142.45**	**123.84**	**152.92**	**133.25**
กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่	วัตถุดิบทางตรง	11.83	11.29	53.03	50.62	83.09	79.31	97.27	90.92
	แรงงานทางตรง	0.30	0.20	3.48	2.32	3.47	2.32	3.10	2.17
	วัตถุดิบทางอ้อม	0.59	0.48	6.79	5.42	6.80	5.46	6.11	5.11
	พลังงาน	2.72	1.93	31.55	21.80	31.53	21.79	28.39	19.58
	แรงงานทางอ้อม	0.36	0.24	4.20	2.80	4.18	2.80	3.73	2.61
	ค่าใช้จ่ายโรงงาน	1.58	1.41	9.90	8.30	12.91	11.17	13.86	12.04
	ค่าเสื่อมราคา	0.72	0.58	8.38	6.67	8.34	6.67	7.45	6.22
	ต้นทุนต่อหน่วย	**18.10**	**16.13**	**117.33**	**97.86**	**150.3**	**129.46**	**159.93**	**138.48**



ภาพประกอบ 4.19 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยระหว่างสองกระบวนการ

จากภาพประกอบ 4.19 ซึ่งเห็นได้ว่าต้นทุนต่อหน่วยของทุกผลิตภัณฑ์เมื่อเปลี่ยนจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวเป็นกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งมีมูลค่าลดลง โดยเฉพาะต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ Flange final driven และ ผลิตภัณฑ์ Heat sink (main) 034 ลดลงมากที่สุด เฉลี่ย 16.14% และ 13.46% ตามลำดับ เนื่องจากทั้งสองผลิตภัณฑ์มีความหนามากที่สุด เมื่อเปลี่ยนกระบวนการผลิตรอบเวลาการผลิตก็จะลดลง และส่งผลต่อต้นทุนต่อหน่วยชัดเจนที่สุด สำหรับผลิตภัณฑ์ Hub front และผลิตภัณฑ์ Heat sink 510 มีต้นทุนต่อหน่วยลดลงใกล้เคียงกัน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ Hub front มีการใส่ตลับลูกปืน (bearing) ไว้เป็นแกนกลางของผลิตภัณฑ์ตามการใช้งาน ต้นทุนจึงเพิ่มขึ้นและไม่สามารถลดหรือหลีกเลี่ยงต้นทุนส่วนนี้ได้ ส่วนผลิตภัณฑ์ Heat sink 510 ในการผลิตผลิตภัณฑ์การฉีดหนึ่งครั้งได้ผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งชิ้นการควบคุมปัจจัยการเกิดต้นทุนจึงทำได้ยากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ฉีดหนึ่งครั้งได้ผลิตภัณฑ์หนึ่งชิ้น



ภาพประกอบ 4.20 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยโดยแยกต้นทุนแต่ละชนิด

จากภาพประกอบ 4.20 แผนภูมิแสดงรายละเอียดต้นทุนต่อหน่วยของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว พบว่า ทุกผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง มีต้นทุนวัตถุดิบทางตรง (อะลูมิเนียม เกรด ADC12) มีผลต่อโครงสร้างต้นทุนสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 58.12% ของต้นทุนทั้งหมด ในทางกลับกันต้นทุนแรงงานทางตรงมีผลต่อโครงสร้างต้นทุนต่ำที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.28% ของต้นทุนทั้งหมด และรายละเอียดต้นทุนต่อหน่วยของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง พบว่า เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว นั่นคือ ทุกผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง มีต้นทุนวัตถุดิบทางตรงมีผลต่อโครงสร้างต้นทุนสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 63.50% ของต้นทุนทั้งหมด และต้นทุนแรงงานทางตรงมีผลต่อโครงสร้างต้นทุนต่ำที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.78% ของต้นทุนทั้งหมด กล่าวได้ว่าต้นทุนวัตถุดิบทางตรงของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งมูลค่ามากกว่ากระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวเนื่องจากอัตราการเกิดของเสียที่ลดลงของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งจากอัตราการใช้ประโยชน์จริงของต้นทุนส่วนนี้จึงส่งผลต่อต้นทุนต่อหน่วยเพิ่มมากขึ้น ส่วนต้นทุนแรงงานทางตรงกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งน้อยกว่ากระบวนการหล่อฉีดโลหะ

แบบของเหลวเนื่องจากรอบเวลาการผลิตที่สั้นลงระยะเวลาการทำงานน้อยลงต้นทุนแรงงานทางตรงจึงส่งผลต่อต้นทุนต่อหน่วยลดน้อยลง ส่วนค่าใช้จ่ายโรงงานซึ่งเป็นต้นทุนที่ไม่สามารถจัดสรรได้แต่จะเพิ่มขึ้นลดลงตามปริมาณการผลิตจึงมีผลต่อโครงสร้างต้นทุนค่อนข้างสูงเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าต้นทุนที่เกิดขึ้นทุกส่วนงานของการผลิตล้วนสำคัญ แต่สิ่งที่ควรให้ความสำคัญเป็นอันดับแรกในการลดต้นทุนหรือใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าที่สุดคือต้นทุนวัตถุดิบทางตรง (อะลูมิเนียม)

ทั้งนี้ ได้เปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยที่แตกต่างกันระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ตาราง 4.83 พบว่า กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งให้ต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำกว่ากระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวทุกผลิตภัณฑ์ และเนื่องจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวมีการตั้งราคาขายโดยใช้ต้นทุนเป็นตัวชี้วัด ผู้ผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมยานยนต์ก็จะได้รับผลกำไรจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวอยู่แล้ว หากเปลี่ยนมาเป็นกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งก็จะทำให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมยานยนต์สามารถเพิ่มผลกำไรได้มากขึ้นจากต้นทุนต่อหน่วยที่ลดลงและผลกำไรที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อราคาขายเท่าเดิม

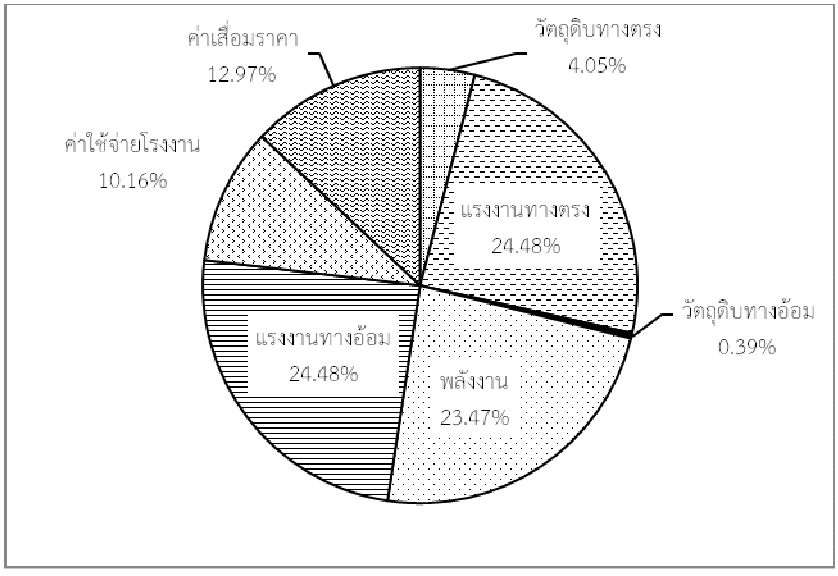
ตาราง 4.83 เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและแบบกึ่งของแข็ง

กรณี	ผลิตภัณฑ์	ต้นทุน (บาท/หน่วย)		ความแตกต่าง	
		แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	(บาท)	(%)
กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว	Heat sink 510	17.42	15.64	1.78	10.22
	Flange final driven	109.42	92.25	17.17	15.69
	Heat sink (main) 034	142.45	123.84	18.61	13.06
	Hub front	152.92	133.25	19.67	12.86
กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่	Heat sink 510	18.10	16.13	1.97	10.88
	Flange final driven	117.33	97.86	19.47	16.59
	Heat sink (main) 034	150.30	129.46	20.84	13.87
	Hub front	159.93	138.48	21.45	13.41

จากการเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง พบว่า เมื่อเปลี่ยนจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวเป็นกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ต้นทุนรวมต่อหน่วยจะลดลงเฉลี่ย 13.49% และจากการเฉลี่ยต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้งสี่ ต้นทุนแต่ละชนิดลดลง (เพิ่มขึ้น) แสดงรายละเอียดดังตาราง 4.84 และแสดงสัดส่วนการลดลงของต้นทุนแต่ละชนิด ดังภาพประกอบ 4.21

ตาราง 4.84 การลดลง (เพิ่มขึ้น) ของต้นทุนแต่ละชนิด

ต้นทุน	ต้นทุน (บาท/หน่วย)		ความแตกต่าง	
	แบบของเหลว	แบบกึ่งของแข็ง	(บาท)	(%)
1. ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง	61.30	58.03	3.27	5.33
2. ต้นทุนแรงงานทางตรง	2.59	1.75	0.83	32.22
3. ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม	2.15	2.14	0.01	0.52
ต้นทุนฟลักซ์	0.09	0.08	0.01	5.36
ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์	0.36	0.22	0.14	37.74
ต้นทุนน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์	0.04	0.03	0.02	37.69
ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิก	0.09	0.06	0.03	32.22
ต้นทุนน้ำประปา	0.15	0.10	0.05	32.21
ต้นทุนบำรุงรักษา	1.42	1.64	-0.22	-15.65
4. ต้นทุนพลังงาน	23.55	16.27	7.27	30.89
ต้นทุนไนโตรเจน	0.11	0.33	-0.22	-209.80
ต้นทุนแก๊สเชื้อเพลิง	2.46	1.60	0.87	35.18
ต้นทุนไฟฟ้า	20.98	14.35	6.63	31.62
5. ต้นทุนแรงงานทางอ้อม	3.12	2.11	1.00	32.22
6. ค่าใช้จ่ายโรงงาน	9.27	8.03	1.24	13.37
7. ค่าเสื่อมราคา	3.59	2.98	0.61	17.07
รวม	**105.56**	**91.32**	**14.24**	**13.49**



ภาพประกอบ 4.21 แผนภูมิวงกลมแสดงสัดส่วนการลดลงของต้นทุนแต่ละชนิด

สามารถอธิบายการลดลง (เพิ่มขึ้น) ของต้นทุนแต่ละชนิด ดังนี้

ก. ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง (อะลูมิเนียม เกรด ADC12) ลดลงเฉลี่ย 5.33% เนื่องจากโลหะกึ่งของแข็งมีการแข็งตัวบางส่วน สามารถควบคุมการไหลของน้ำโลหะเข้าสู่แม่พิมพ์ได้ดีกว่าโลหะเหลวและไม่เกิดการไหลแบบปั่นป่วน ส่งผลให้เกิดโพรงอากาศและโพรงหดตัวของชิ้นงานลดน้อยลง นั่นคือ อัตราการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตลดลง จึงสามารถลดเวลาและประหยัดการใช้วัตถุดิบจากการทำงานซ้ำ จึงมีผลทำให้ต้นทุนวัตถุดิบทางตรงจึงลดลง

ข. ต้นทุนแรงงานทางตรง ลดลงเฉลี่ย 32.22% เนื่องจากโลหะกึ่งของแข็งมีการแข็งตัวบางส่วนก่อนฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ ระยะเวลาที่ใช้ในการแข็งตัวของน้ำโลหะจึงเร็วกว่าโลหะเหลว ทั้งนี้อุณหภูมิของแม่พิมพ์ในการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งต้องสูงประมาณ 300-400 ºC เพื่อไม่ให้โลหะแข็งตัวก่อนไหลเข้าเต็มแม่พิมพ์ การฉีดน้ำยาลดอุณหภูมิแม่พิมพ์จึงใช้ระยะเวลาน้อยลง รอบเวลาการผลิตต่อหน่วยของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งเปรียบเทียบกับแบบของเหลวลดลงเฉลี่ย 31.23% ดังนั้น ในระยะเวลาที่เท่ากันกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งจึงให้ผลผลิตได้มากกว่าแบบของเหลว จึงมีผลทำให้ต้นทุนแรงงานทางตรงต่อหน่วยลดลง

ค. ต้นทุนฟลักซ์ ลดลงเฉลี่ย 5.36% เนื่องจากปริมาณการใส่ฟลักซ์ขึ้นอยู่กับปริมาณอะลูมิเนียมที่ต้องทำการหลอม ดังนั้น เมื่อหล่อฉีดด้วยโลหะกึ่งของแข็ง อัตราการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตลดลง ปริมาณอะลูมิเนียมที่นำมาหลอมก็ลดลง จึงส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการใช้ฟลักซ์ ต้นทุนฟลักซ์จึงลดลงแปรผันตรงกับต้นทุนวัตถุดิบทางตรง

ง. ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ ลดลงเฉลี่ย 37.22% เนื่องจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ต้องมีอุณหภูมิแม่พิมพ์สูงประมาณ 300-400 °C เพื่อไม่ให้โลหะแข็งตัวก่อนไหลเข้าเต็มแม่พิมพ์ การฉีดน้ำยาลดอุณหภูมิแม่พิมพ์จึงใช้ระยะเวลาน้อยลงเพื่อไม่ให้แม่พิมพ์เย็นตัวมากเกินไป จึงมีผลทำให้ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์จึงลดลง

จ. ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิก ลดลงเฉลี่ย 32.22% น้ำมันไฮดรอลิกเป็นตัวกลางในการถ่ายทอดแรงไปยังส่วนต่างๆ และช่วยระบายความร้อนระบบ โดยปริมาณการใช้น้ำมันไฮดรอลิกคิดตามจำนวนวันดำเนินงาน ดังนั้น ในระยะเวลาการผลิตเท่ากันกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งให้ผลผลิตมากกว่าแบบของเหลว จึงมีผลทำให้ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิกจึงลดลง

ฉ. ต้นทุนน้ำประปา ลดลง 37.74% เนื่องจากในกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว จะต้องมีการปรับลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้มีอุณหภูมิประมาณ 250 °C ก่อนทำการผลิตครั้งต่อไป เพื่อลดการติดกันของชิ้นงานกับแม่พิมพ์และลดการเกิดโพรงหดตัว ส่วนกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง อุณหภูมิแม่พิมพ์ต้องสูงประมาณ 300-400 °C เพื่อไม่ให้โลหะแข็งตัวก่อนไหลเข้าเต็มแม่พิมพ์ ทั้งนี้ โลหะกึ่งของแข็งมีความหนืดจึงไม่มีการไหลแบบปั่นป่วน ทำให้ไม่เกิดโพรงอากาศและโพรงหดตัวภายในชิ้นงาน จึงมีผลทำให้น้ำประปาลดลง

ช. ต้นทุนบำรุงรักษา เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 15.65% ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องจักรรวมของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งมากกว่าแบบของเหลว เนื่องจากจะต้องมีการบำรุงรักษาเครื่อง GISS เพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้ต้นทุนบำรุงรักษาจึงเพิ่มขึ้น

ซ. ต้นทุนแก๊สไนโตรเจน เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 209.80% แก๊สไนโตรเจนใช้เป็นแรงอัดของเครื่องหล่อฉีดโลหะ สำหรับการผลิตโลหะกึ่งของแข็ง ผลิตโดยการปล่อยฟองแก๊สไนโตรเจนละเอียดซึ่งเป็นตัวกลางในการกวนเพื่อให้น้ำโลหะมีลักษณะเป็นกึ่งของแข็งของเหลว จึงมีผลทำให้ในกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งมีต้นทุนไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

ฌ. ต้นทุนแก๊สเชื้อเพลิง ลดลงเฉลี่ย 35.18% แก๊สเชื้อเพลิงใช้ให้ความร้อนในการหลอมเหลวอะลูมิเนียม โดยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งใช้อุณหภูมิหลอมต่ำกว่ากระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว เนื่องจากในกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งนำน้ำโลหะที่ได้จากการหลอมอะลูมิเนียมมาผลิตเป็นโลหะกึ่งของแข็งในขั้นตอนถัดไปจึงไม่ต้องการให้น้ำโลหะมีลักษณะเป็นของเหลวมากเกินไป จึงมีผลทำให้ต้นทุนแก๊สเชื้อเพลิงจึงลดลง

ญ. ต้นทุนไฟฟ้า ลดลงเฉลี่ย 31.62% อัตราการใช้ไฟฟ้าของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวมี 2 เครื่อง ได้แก่ เครื่องหล่อฉีดโลหะและเตาอุ่นน้ำโลหะ ส่วนกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งเครื่องจักรที่ใช้ไฟฟ้ามี 3 เครื่อง ได้แก่ เครื่องหล่อฉีดโลหะ เตาอุ่นน้ำโลหะ และเครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง เมื่อรวมต้นทุนไฟฟ้าต่อปีของเครื่องจักรทุกชนิดในแต่ละกระบวนการ พบว่า ต้นทุนไฟฟ้าของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งมากกว่ากระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว แต่ในระยะเวลาการผลิตเท่ากันกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งให้ผลผลิตมากกว่าแบบของเหลว จึงมีผลทำให้ต้นทุนไฟฟ้าจึงลดลง

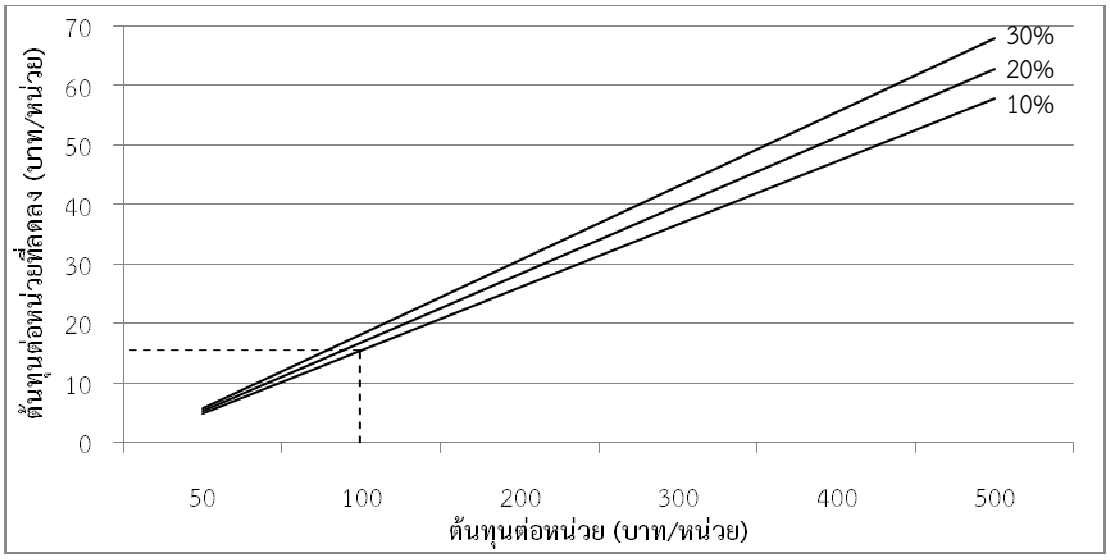
ฎ. ต้นทุนแรงงานทางอ้อม ลดลงเฉลี่ย 32.22% ต้นทุนแรงงานทางอ้อมเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับพนักงานรายเดือนควบคุมดูแลด้านการบริหารงาน ค่าใช้จ่ายตลอดทั้งปีของทั้งสองกระบวนการเท่ากัน แต่ในระยะเวลาการผลิตเท่ากันกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งให้ผลผลิตมากกว่าแบบของเหลว จึงมีผลทำให้ต้นทุนแรงงานทางอ้อมจึงลดลง

ฏ. ค่าใช้จ่ายโรงงาน ลดลงเฉลี่ย 13.37% ในกรณีศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ กำหนดให้ค่าใช้จ่ายโรงงาน เท่ากับ 10% ของต้นทุนดำเนินการทั้งหมด เมื่อต้นทุนดำเนินการของกระบวนการหล่อฉีดโลหะกึ่งของแข็งน้อยกว่าแบบของเหลว จึงมีผลทำให้ค่าใช้จ่ายโรงงานลดลง

ฐ. ค่าเสื่อมราคา ลดลงเฉลี่ย 17.07% ค่าเสื่อมราคาของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งมากกว่าแบบของเหลว เนื่องจากมีค่าเสื่อมราคาเครื่อง GISS เพิ่มขึ้น แต่ในระยะเวลาการผลิตเท่ากันกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งให้ผลผลิตมากกว่าแบบของเหลว ค่าเสื่อมราคาจึงลดลง

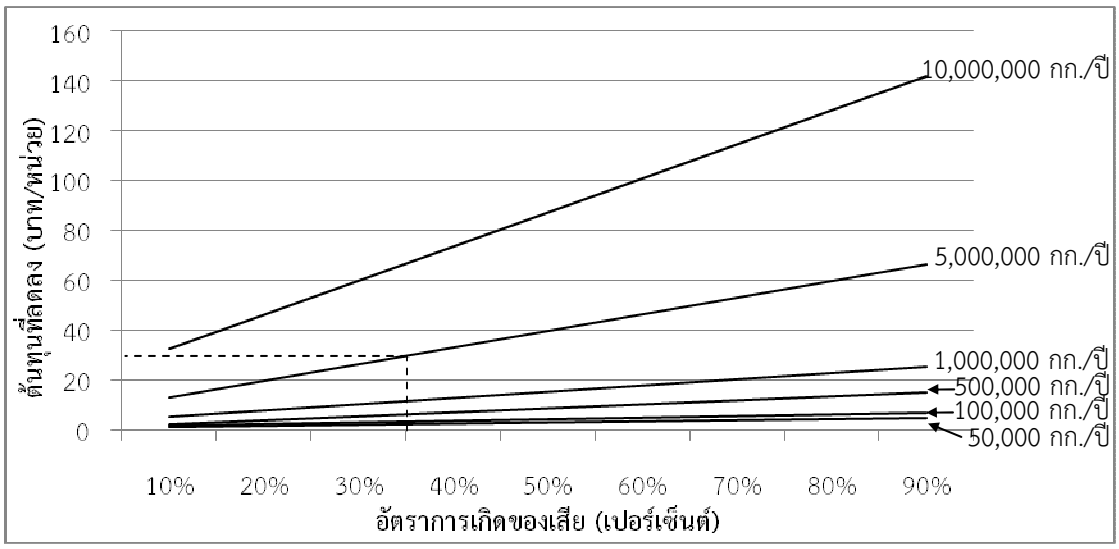
จากการศึกษางานวิจัยทั้งหมด พบว่า ทุกผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเมื่อเปลี่ยนจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวเป็นกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งส่งผลให้ต้นทุนต่อหน่วยโดยรวมลดลง และปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดลงของต้นทุนต่อหน่วยมากที่สุดมี 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ รอบเวลาการผลิต อัตราการเกิดของเสีย และอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ ดังนั้น จึงสร้างกราฟมาตรฐานให้สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้อย่างกว้างขวาง เพื่อให้ทราบมูลค่าต้นทุนต่อหน่วยที่ลดลงในแต่ละปัจจัยหลัก ดังนี้

ก. รอบเวลาการผลิต เนื่องจากในกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง น้ำโลหะมีการแข็งตัวแล้วบางส่วนระยะเวลาในการแข็งตัวของน้ำโลหะเร็วกว่าแบบของเหลว จึงส่งผลต่อต้นทุนต่อหน่วย โดยทั่วไปค่าใช้จ่ายโรงงานใช้การประมาณเป็นค่าตัวเลข แต่สำหรับงานวิจัยนี้ใช้การประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์จากต้นทุนดำเนินงานทั้งหมด จึงปรับเปลี่ยนค่าใช้จ่ายโรงงานที่ 10% 20% และ 30% ของต้นทุนดำเนินงาน เพื่อแสดงให้เห็นต้นทุนที่ลดลงที่ระดับต้นทุนต่อหน่วยต่างๆ เช่น ต้นทุนของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 100 บาท/หน่วย คิดค่าใช้จ่ายโรงงาน 10% ของต้นทุนดำเนินงาน ต้นทุนที่ลดลงเมื่อเปลี่ยนเป็นกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เท่ากับ 15 บาท/หน่วย เป็นต้น แสดงดังภาพประกอบ 4.21



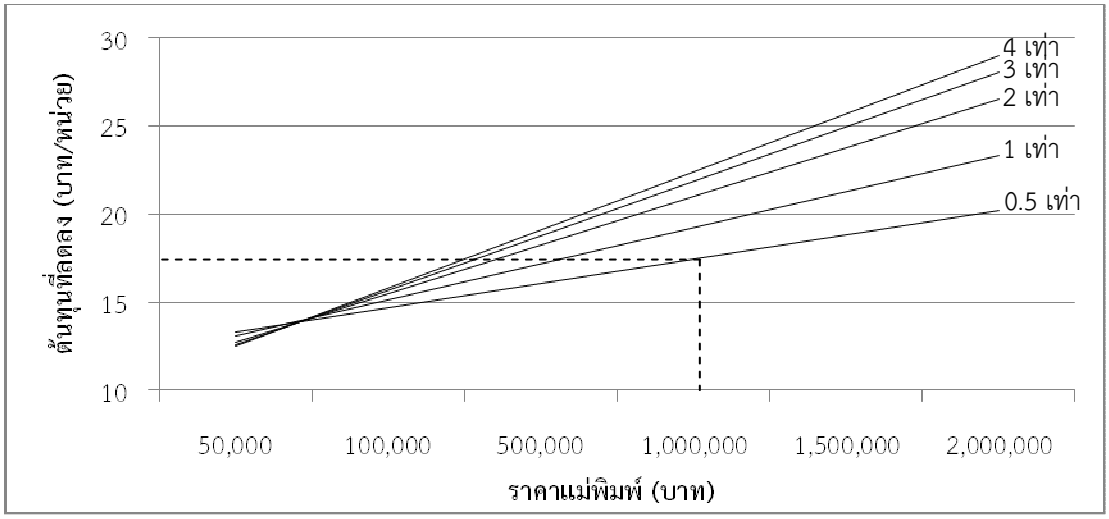
ภาพประกอบ 4.22 กราฟแสดงต้นทุนต่อหน่วยที่ลดลงเมื่อรอบเวลาการผลิตเปลี่ยนแปลง

ข. อัตราการเกิดของเสีย เกิดขึ้นมากน้อยขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร หากเครื่องจักรมีประสิทธิภาพสูง เกิดของเสียในปริมาณน้อยก็จะไม่เกิดการเสียทรัพยากรในการนำกลับไปหลอมใหม่ก็จะส่งผลให้ต้นทุนต่อหน่วย จึงทำการปรับเปลี่ยนปริมาณการใช้อะลูมิเนียมที่ 50,000 กก./ปี 100,000 กก./ปี 500,000 กก./ปี 1,000,000 กก./ปี 5,000,000 กก./ปี และ 10,000,000 กก./ปี เพื่อแสดงให้เห็นต้นทุนต่อหน่วยที่ลดลงที่ระดับอัตราการเกิดของเสียต่างๆ เช่น อัตราการเกิดของเสีย 35% ใช้วัตถุดิบ 5,000,000 กก./ปี ต้นทุนที่ลดลงเมื่อเปลี่ยนเป็นกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เท่ากับ 30 บาท/หน่วย เป็นต้น แสดงดังภาพประกอบ 4.22



ภาพประกอบ 4.23 กราฟแสดงต้นทุนต่อหน่วยที่ลดลงเมื่ออัตราการเกิดของเสียเปลี่ยนแปลง

ค. อายุการใช้งานของแม่พิมพ์ การหล่อฉีดด้วยน้ำโลหะเหลวจะต้องมีการปรับอุณหภูมิภายในแม่พิมพ์ให้เย็นตัวก่อนทำการฉีดครั้งต่อไป แต่การหล่อฉีดโลหะด้วยโลหะกึ่งของแข็งจะต้องฉีดที่อุณหภูมิสูงเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานแข็งตัวตัวก่อนไหลเข้าเต็มแม่พิมพ์จึงไม่ต้องมีการปรับอุณหภูมิแม่พิมพ์ ความล้าของแม่พิมพ์ที่เกิดจากความร้อน (thermal fatigue) จากการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งจึงน้อยกว่าแบบของเหลว อายุการใช้งานยาวนานขึ้น จึงทำการปรับเปลี่ยนอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ 0.5 เท่า 1 เท่า 2 เท่า 3 เท่า และ 4 เท่า เพื่อแสดงให้เห็นต้นทุนต่อหน่วยที่ลดลงที่ระดับราคาแม่พิมพ์ต่างๆ เช่น ราคาแม่พิมพ์ 1,000,000 บาท เมื่อเปลี่ยนเป็นกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง อายุการใช้งานแม่พิมพ์เพิ่มขึ้น 0.5 เท่า ต้นทุนต่อหน่วยลดลง 17.50 บาท/หน่วย เป็นต้น แสดงดังภาพประกอบ 4.23



ภาพประกอบ 4.24 กราฟแสดงต้นทุนต่อหน่วยที่ลดลงเมื่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์เปลี่ยนแปลง

การวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยระหว่างสองกระบวนการผลิต ตามแนวคิดแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ โดยมีโครงสร้างการทำงานเริ่มจากศึกษากระบวนการย่อยต่างๆ ที่เกิดขึ้นเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนและเกิดเป็นต้นทุนต่อหน่วยในกระบวนการผลิต ดังกล่าวข้างต้นแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการประกอบด้วยสามส่วนหลัก ได้แก่ (1) แบบจำลองกระบวนการ เป็นการศึกษากระบวนการผลิตในแต่ละกระบวนการย่อยและรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต ผลที่ได้จากแบบจำลองนี้ ได้แก่ ลักษณะทางกายของผลิตภัณฑ์ รอบเวลาการผลิต และเครื่องมือเครื่องใช้หรืออุปกรณ์การผลิต เป็นต้น (2) แบบจำลองการดำเนินงาน จะเชื่อมโยงกับแบบจำลองกระบวนการเป็นการศึกษาเงื่อนไขของการดำเนินงานในแต่ละกระบวนการย่อยตามความต้องการใช้ทรัพยากรตามปริมาณการผลิต ผลที่ได้จากแบบจำลองนี้ ได้แก่ ปริมาณวัตถุดิบทางตรง ปริมาณวัตถุดิบทางอ้อม จำนวนแรงงาน จำนวนเครื่องมือเครื่องจักร และจำนวนวันเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อปี เป็นต้น (3) แบบจำลองต้นทุน จะเชื่อมโยงกับแบบจำลองการดำเนินงานด้วยเช่นกัน นั่นคือ เป็นเปลี่ยนจากความต้องการใช้ทรัพยากรให้เป็นจำนวนเงินที่ต้องการจ่ายในกระบวนการผลิต ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้คือ ต้นทุนกระบวนการผลิต จากการใช้แบบจำลอง ทำให้การศึกษาระบบต้นทุนเป็นขั้นตอนอย่างมีระบบ และเกิดความคลาดเคลื่อนจากต้นทุนจริงเพียงเล็กน้อย นอกจากนั้น ค่าใช้จ่ายโรงงานเป็นต้นทุนที่ได้จากการประเมินเป็นเปอร์เซ็นต์จากต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมด ซึ่งโดยทั่วไปเป็นการคำนวณแบบประมาณการจึงมีความคลาดเคลื่อนสูงมาก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์และเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตแล้วนำมาสร้างเป็นแบบจำลองต้นทุนเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบเดิม (แบบของเหลว) และกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบใหม่ (แบบกึ่งของแข็ง) มีขอบเขตของการวิจัยคือ ประเมินค่าเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตแบบไม่อัตโนมัติของชิ้นส่วนยานยนต์สี่ชนิด โดยนำเอาแนวคิดการหาต้นทุนแบบ PBCM มาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองต้นทุนผ่านโปรแกรม Microsoft office Excel 2007 ในการหาคำตอบและตัดสินใจเลือกกระบวนการผลิตที่ให้ผลตอบแทนการลงทุนที่ต่ำที่สุดระหว่างสองกระบวนการ จากกรณีศึกษา 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว และกรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ แบบจำลองต้นทุนประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนการป้อนข้อมูลเข้า ส่วนประมวลผล และส่วนแสดงผลลัพธ์ มีหลักการทำงานคือ แบบจำลองจะรับข้อมูลป้อนเข้าจากผู้ใช้ และดึงรายละเอียดข้อมูลการผลิตในฐานข้อมูลมาทำการประมวลผลตามวิธีการของ PBCM ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอน หารอบเวลาการผลิตรอบเวลาปกติ รอบเวลามาตรฐาน ปริมาณทรัพยากรแต่ละชนิด และสุดท้ายแสดงผลลัพธ์เป็นข้อมูลของผลิตภัณฑ์และรายละเอียดต้นทุน ได้แก่ ขนาดและน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ขนาดเครื่องจักร รอบเวลาการผลิต ระยะเวลาในการผลิตต่อ lot size ต้นทุนแต่ละชนิด ต้นทุนรวมต่อหน่วย และราคาขาย นอกจากนี้ยังแสดงต้นทุนต่อหน่วยเมื่อปริมาณการผลิตและจำนวนเครื่องจักรเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการตัดสินใจการลงทุนเพื่อกำหนดกลยุทธ์ต่างๆ อีกทั้งทำให้มีความสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

5.1 สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาแบบจำลองต้นทุนช่วยในการตัดสินใจเลือกกระบวนการผลิตระหว่างกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เมื่อมีการปรับขนาดของชิ้นส่วนและจำนวนที่ผลิต โดยประยุกต์ใช้แนวคิดการหาต้นทุนแบบ PBCM ผลจากการวิจัยพบว่า แบบจำลองสามารถประเมินค่าต้นทุนและตัดสินใจเลือกกระบวนการผลิตที่ให้ผลตอบแทนที่ดีที่สุด ซึ่งถือเป็นกระบวนการผลิตที่ดีที่สุด

ในการประมวลผลแบบจำลองนั้น แบบจำลองจะรับข้อมูลป้อนเข้าจากผู้ใช้แบบจำลอง และทำการประมวลผลตามกรอบของ PBCM นั่นคือ แบบจำลองกระบวนการ แบบจำลองการดำเนินงาน และแบบจำลองต้นทุน ทำให้แบบจำลองมีระบบการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน ส่งผลให้การประมวลผลเกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด

แบบจำลองกระบวนการ เป็นการวิเคราะห์กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว และกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ผลลัพธ์แบบจำลอง คือ รอบเวลาการผลิต และชนิดของทรัพยากรที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต ในการดำเนินการวิจัยใช้ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง 4 ชนิด ได้แก่ Heat sink 510, Flange final driven, Heat sink (main) 034 และ Hub front โดยทั่วไปรอบเวลาการผลิตของโรงงานใช้วิธีจับเวลาโดยตรงจากการทำงานจริงของพนักงาน แต่ในแบบจำลองจำเป็นต้องคำนวณหารอบเวลาการผลิต เพื่อประเมินมูลค่าต้นทุนที่เกิดขึ้นก่อนการดำเนินการผลิตจริง เพื่อให้ตัวแทนเวลามีความน่าเชื่อถือจึงนำมาทดสอบทางสถิติที่ค่าความผิดพลาด 1% พบว่ายอมรับได้ทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์ ส่วนชนิดของทรัพยากรที่ต้องการใช้ในกระบวนการผลิต (1) สินทรัพย์ถาวร ได้แก่ ที่ดิน อาคารสำนักงาน อาคารโรงงาน ครุภัณฑ์สำนักงาน ยานพาหนะ เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก และเครื่อง GISS (2) แรงงาน ได้แก่ แรงงานทางตรง และแรงงานทางอ้อม (3) วัตถุดิบ ได้แก่ แท่งอะลูมิเนียม ฟลักซ์ น้ำยาพ่นแม่พิมพ์ น้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ น้ำมันไฮดรอลิก น้ำประปา และวัสดุบำรุงรักษา (4) พลังงาน ได้แก่ ไฟฟ้า แก๊สไนโตรเจน และแก๊สเชื้อเพลิง

แบบจำลองการดำเนินงาน เป็นการประเมินเงื่อนไขการดำเนินงาน โดยกำหนดให้เงื่อนไขการดำเนินงานทุกอย่างเท่ากับโรงงานกรณีศึกษาเพื่อให้การทดสอบความถูกต้องแบบจำลองในขั้นตอนสุดท้ายมีคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ผลลัพธ์แบบจำลอง คือ เวลามาตรฐาน ระยะเวลาในการดำเนินการผลิตตามยอดการสั่งต่อครั้ง (lot size) ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด และปริมาณความต้องการใช้ทรัพยากรแต่ละชนิด (1) สินทรัพย์ถาวร ได้แก่ ที่ดิน 400 ตร.ม. อาคารสำนักงาน 50 ตร.ม. อาคารโรงงาน 120 ตร.ม. ครุภัณฑ์สำนักงาน 1 ชุด ยานพาหนะ 1 คัน เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 630 ตัน 1 เครื่อง เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก. 1 เครื่อง และเครื่อง GISS 1 เครื่อง (2) แรงงาน ได้แก่ แรงงานทางตรง 2 คน และแรงงานทางอ้อม 2 คน (3) วัตถุดิบและพลังงานแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับจำนวนวันที่ดำเนินการผลิตต่อ lot size

แบบจำลองต้นทุน เป็นการประเมินปัจจัยทางด้านการเงิน ซึ่งแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

1. กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว แบ่งการตัดสินใจออกเป็น 2 ทางเลือก คือ

1.1 กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว เป็นกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบเดิมที่มีการดำเนินกิจการอยู่ในปัจจุบัน

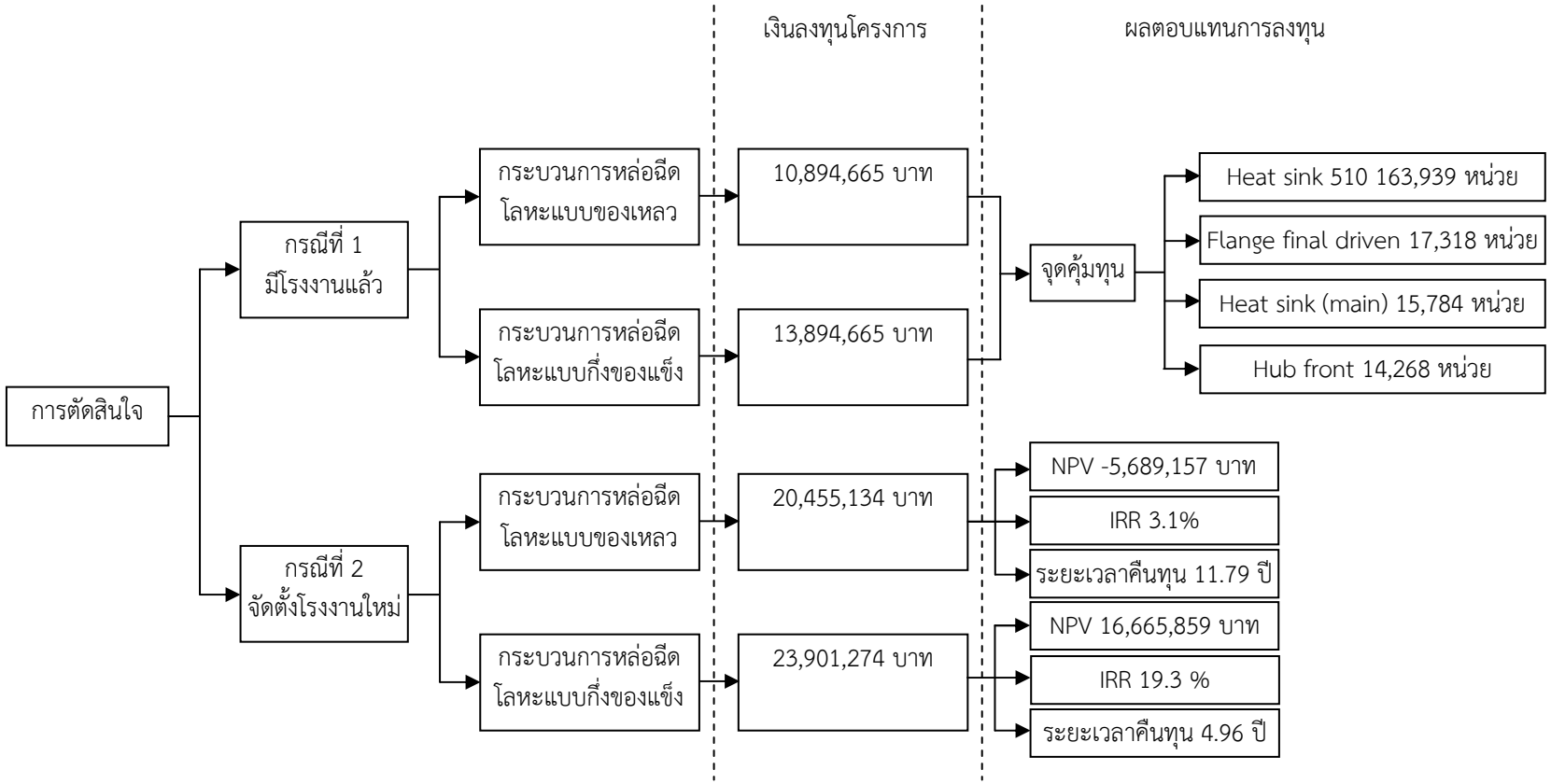
1.2 กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เป็นการนำเครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็งไปติดตั้งเพิ่มในกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวที่มีการดำเนินกิจการอยู่แล้ว

2. กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ แบ่งการตัดสินใจออกเป็น 2 ทางเลือก คือ

2.1 กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว เป็นการลงทุนกิจการใหม่ทั้งหมดในกระบวนการผลิตแบบของเหลวเหมือนเดิม

2.2 กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เป็นการลงทุนกิจการใหม่ทั้งหมดในกระบวนการผลิตแบบกึ่งของแข็ง

สามารถสรุปเป็นแผนผังแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองต้นทุน ดังภาพประกอบ 5.1



ภาพประกอบ 5.1 แผนผังแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองต้นทุน

จากการผลลัพธ์แบบจำลองต้นทุน ในระยะเวลาการผลิตที่เท่ากัน เมื่อเปลี่ยนจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวเป็นกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เนื่องจากรอบเวลาการผลิตที่ลดลงทำให้ปริมาณการผลิตในกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งเพิ่มขึ้น ดังนั้น กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว ต้นทุนต่อหน่วยลดลงเฉลี่ย 13.49% และเมื่อวิเคราะห์จุดคุ้มทุน พบว่า ปริมาณการผลิตต่อ lot size ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด มากกว่าจุดคุ้มทุน จึงสามารถสรุปได้ว่า กรณีที่ 1 มีโรงงานแล้ว ควรตัดสินใจเลือกกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เนื่องจากให้มูลค่าต้นทุนต่อหน่วยต่ำกว่ากระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว ถึงแม้ว่าจะมีการลงทุนเพิ่มเติมในส่วนของเครื่อง GISS แต่ก็ยังให้ผลกำไรที่สูงกว่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.41% ส่วนกรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ ต้นทุนต่อหน่วยลดลงเฉลี่ย 13.90% และผลตอบแทนการลงทุนกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งให้ผลตอบแทนน่าพึงพอใจมากกว่ากระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว จึงสามารถสรุปได้ว่า กรณีที่ 2 จัดตั้งโรงงานใหม่ ควรตัดสินใจเลือกกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง เนื่องจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนทั้ง 3 ประการให้ผลตอบแทนสูงกว่ากระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลว และนอกจากนั้นยังให้ผลกำไรสูงกว่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.47% และถึงแม้ว่ากระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งจะต้องใช้เงินลงทุนที่สูงกว่าแต่ผลตอบแทนที่ได้รับก็น่าพึงพอใจมากกว่า และอุตสาหกรรมหล่อฉีดโลหะควรเปิดรับเทคโนโลยีหล่อฉีดโลหะด้วยกรรมวิธีปล่อยฟองแก๊ส เพราะนอกจากคุณสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นแล้วยังส่งผลดีหลายประการต่อกระบวนการผลิต เช่น เพิ่มอายุการใช้งานของของแม่พิมพ์ ลดเวลาในการผลิต ลดปัญหาโพรงอากาศและโพรงหดตัว เป็นต้น

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ (1) ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการฉีดหนึ่งครั้งได้ผลิตภัณฑ์หนึ่งชิ้น (1 cavity/shot) (2) ผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการฉีดหนึ่งครั้งได้ผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งชิ้น (>1 cavity/shot) ทำการทดสอบทางสถิติของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นทั้งสองกลุ่ม พบว่า สามารถยอมรับค่าความเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 จึงสามารถนำแบบจำลองต้นทุนที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้ โดยที่ความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลองและผลที่ได้จากการนำแบบจำลองไปใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยความครบถ้วนขององค์ประกอบต้นทุน เนื่องจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างมีความซับซ้อน ทำให้มีการใช้ทรัพยากรหลายชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน ทรัพยากรบางชนิดถูกนำมาใช้ในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน การที่ไม่สามารถประเมินต้นทุนจากทรัพยากรที่ใช้ร่วมกันได้ผลลัพธ์ที่ได้อาจจะมีค่าความคลาดเคลื่อนจากความจริง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความถูกต้องของข้อมูลด้านราคา ต้นทุนบางส่วนเป็นต้นทุนที่หาได้จากราคาท้องตลาด แต่ต้นทุนอีกส่วนหนึ่งเป็นต้นทุนที่ทราบกันเฉพาะตัวแทนจำหน่าย มักจะถูกเก็บเป็นความลับหรือข้อมูลที่ได้อาจไม่ใช่ข้อมูลที่แท้จริงเพื่อประโยชน์ทางการแข่งขัน เมื่อนำมาทดสอบกับแบบจำลองมูลค่าเงินที่ได้อาจจะมีค่าความคลาดเคลื่อนจากความจริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์และเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบของเหลวและกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง สามารถสรุปข้อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองต้นทุนที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังต่อไปนี้

5.2.1 ควรพัฒนาแบบจำลองให้มีการรับข้อมูลเพิ่มในฐานข้อมูลได้ เช่น ข้อมูลขนาดเครื่องจักร เกรดอะลูมิเนียม เวลาสูญเสีย เป็นต้น

5.2.2 ข้อจำกัดของการใช้งานผ่านโปรแกรม Microsoft Office Excel 2007 คือไม่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนได้ จึงควรพัฒนาให้สามารถใช้งานออนไลน์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตและเก็บข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองให้อยู่ในฐานข้อมูลโดยอัตโนมัติซึ่งสามารถช่วยให้ผู้ใช้งานค้นหาข้อมูลต้นทุนได้รวดเร็วขึ้น และลดเวลาในการป้อนข้อมูลใหม่

5.2.3 แบบจำลองต้นทุนที่พัฒนาขึ้นเป็นการวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดขึ้นภายในโรงงาน จึงควรพัฒนาให้มีการรองรับและครอบคลุมถึงการส่งมอบผลิตภัณฑ์

5.2.4 ปัจจุบันมีกรอบแนวคิดต่างๆ ในการวิเคราะห์ต้นทุนเพิ่มมากขึ้น การศึกษาและนำเอากรอบแนวคิดใหม่ๆ มาปรับใช้กับกรอบแนวคิด PBCM จะทำให้การวิเคราะห์ต้นทุนมีความถูกต้องและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น เช่น Hierarchy Probability Cost Analysis (HPCA) มีลักษณะเป็นแบบจำลองจัดสรรการจ่ายเงิน เป็นต้น

บรรณานุกรม

[1] J. Wannasin, "Semi-Solid Die Casting Technology," in *Thai Third Foundry Conference*, Bitec Bangna,Thailand, 2006.

[2] กระทรวงอุตสาหกรรม. 2555. อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน (ออนไลน์). สืบค้นจาก http://www.industry.go.th/ops/page/index.aspx (30 ม.ค. 2555).

[3] ธนาคารแห่งประเทศไทย. ดัชนีการอุปโภคบริโภคภาคเอกชนและองค์ประกอบที่ปรับฤดูกาล (ออนไลน์). สืบค้นจาก http://www2.bot.or.th/statistics/ReportPage.aspx?report-ID=403&language=th (9 ก.ค. 2555).

[4] A. Gunasekaran and M. Sarhadi, "Implementation of activity-based costing in manufacturing," *International Journal of Production Economics,* vol. 56–57, pp. 231-242, 1998.

[5] S. Thanabumrungkul, S. Wisutmethangoon, and J. Wannasin, "Fundamantal studies of semi-solid metal processing by introducting gas bubbles during solidification," นำเสนอที่ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลา-นครินทร์, 2008.

[6] R. Burapa, R. Canyook, and J. Wannasin, "Development of the Gas Induced Semi-Solid Metal Processing for A356 Aluminium Alloy," presented at the ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2009.

[7] J. Wannasin and S. Thanabumrungkul, "Development of a semi-solid metal processing technique for aluminium casting applications," *Songklanakarin J. Sci. Technol.,* vol. 30, pp. 215-220, 2008.

[8] ธเนศ รัตโนชัยกุล, "การพัฒนากระบวนการอัดรีดอะลูมิเนียมแบบกึ่งของแข็ง," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2553.

[9] M. Johnson and R. Kirchain, "Quantifying the effects of parts consolidation and development costs on material selection decisions: A process-based costing approach," *International Journal of Production Economics,* vol. 119, pp. 174-186, 2009.

[10] F. Field, R. Kirchain, and R. Roth, "Process cost modeling: Strategic engineering and economic evaluation of materials technologies," *JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society,* vol. 59, pp. 21-32, 2007.

[11] E. R. H. Fuchs, E. J. Bruce, R. J. Ram, and R. E. Kirchain, "Process-Based Cost Modeling of Photonics Manufacture: The Cost Competitiveness of Monolithic Integration of a 1550-nm DFB Laser and an Electroabsorptive Modulator on an InP Platform," *J. Lightwave Technol.,* vol. 24, p. 3175, 2006.

[12] J. Wannasin, S. Janudom, T. Rattanochaikul, R. Canyook, R. Burapa, T. Chucheep, and S. Thanabumrungkul, "Research and development of gas induced semi-solid process for industrial applications," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China,* vol. 20, Supplement 3, pp. s1010-s1015, 2010.

[13] R. Burapa, S. Janudom, T. Chucheep, R. Canyook, and J. Wannasin, "Effects of primary phase morphology on mechanical properties of Al-Si-Mg-Fe alloy in semi-solid slurry casting process," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China,* vol. 20, Supplement 3, pp. s857-s861, 2010.

[14] M. C. Andrade, R. C. Pessanha Filho, A. M. Espozel, L. O. A. Maia, and R. Y. Qassim, "Activity-based costing for production learning," *International Journal of Production Economics,* vol. 62, pp. 175-180, 1999.

[15] W. D. J. Cotton, S. M. Jackman, and R. A. Brown, "Note on a New Zealand replication of the Innes et al. UK activity-based costing survey," *Management Accounting Research,* vol. 14, pp. 67-72, 2003.

[16] S. Suthummanon, W. Ratanamanee, N. Boonyanuwat, and P. Saritprit, "Applying Activity-Based Costing (ABC) to a Parawood Furniture Factory," *The Engineering Economist,* vol. 56, pp. 80-93, 2011/02/28 2011.

[17] Y.-M. Chen and J.-J. Liu, "Cost-effective design for injection molding," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing,* vol. 15, pp. 1-21, 1999.

[18] R. J. Urbance. 2553. Die Casting Cost Model: Instrument Panel Beam Study (ออนไลน์). สืบค้นจาก http://www.ivt.ntnu.no/ipm/und/fag/TMM4145/power-point/SIO2040dashbord.pdf (28 สิงหาคม 2553).

[19] E. M. Shehab and H. S. Abdalla, "Manufacturing cost modelling for concurrent product development," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing,* vol. 17, pp. 341-353, 2001.

[20] C. Bloch and R. Ranganathan, "Process-based cost modeling," *Components, Hybrids, and Manufacturing Technology, IEEE Transactions on,* vol. 15, pp. 288-294, 1992.

[21] M. D. Johnson and R. E. Kirchain, "Quantifying the effects of product family decisions on material selection: A process-based costing approach," *International Journal of Production Economics,* vol. 120, pp. 653-668, 2009.

[22] M.-C. Nadeau, A. Kar, R. Roth, and R. Kirchain, "A dynamic process-based cost modeling approach to understand learning effects in manufacturing," *International Journal of Production Economics,* vol. 128, pp. 223-234, 2010.

[23] หริส สูตะบุตร และ เคนยิ จิยิอิวา, หล่อโลหะ (พิมพ์ครั้งที่ *1)*. กรุงเทพมหานคร: ดวงกมล, 2537.

[24] อนิวรรต หาสุข, "การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการจำลองกระบวนการหล่อในการหล่อด้วยแบบหล่อกาวิตี้ไดคาสตี้," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.

[25] นุชธนา พูลทอง, "อิทธิพลของธาตุผสมและอัตราการเย็นตัวต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลของเหล็กหล่อกึ่งของแข็ง," วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. , ฉบับที่ 25, หน้า 69-85, 2545.

[26] เจษฎา วรรณสินธุ์, "โครงสร้างวิวัฒนาการการเกิดสัดส่วนของแข็งในสเลอร์รี่กึ่งของแข็งของอะลูมิเนียมผสมที่เจือด้วยซิลิกอนและทองแดง (รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์)," มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา2551.

[27] มุฑตา สมันหลี, "การหล่ออลูมิเนียมผสมขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อโลหะกึ่งของแข็งแบบ Rheocasting," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2551.

[28] รอมฎอน บูระพา, "การพัฒนาระบบผลิตโลหะกึ่งของแข็งโดยการพ่นฟองแก๊สขณะแข็งตัว ", วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552.

[29] J. Wannasin, R. A. Martinez, and M. C. Flemings, "A Novel Technique to Produce Metal Slurries for Semi-Solid Metal Processing," *Solid State Phenomena,* vol. 116-117, pp. 366-369, 2006.

[30] ชัยรัตน์ แก้วค้าง, "แนวทางการเลือกกรรมวิธีการหล่อฉีดอลูมิเนียม," วารสารหล่อโลหะไทย, ฉบับที่ 6, หน้า 23-35, 2538.

[31] คมสัน จิระภัทรศิลป. 2552. Industrial time study. สืบค้นจาก http://www.pteonline-.org/img-lib/staff/file/komson_000822.pdf (21 มีนาคม 2555).

[32] แผนกเทคโนโลยีการผลิต สถาบันยานยนต์. 2554. Cycle time (รอบเวลาทำงาน). สืบค้นจาก http://www.thaiauto.or.th/tps/data_center_tps/document/Cycletime.pdf (21 มีนาคม 2555).

[33] A. Kopper, R. Donahue, D. Olson, and S. Midson, "Case Studies of Large Components Produced by High-Pressure Die Casting and Slurry-on-Demand Casting," in *SAE 2005 World Congress & Exhibition*, Detroit, USA, 2005.

[34] M.C. Flemings, *Solidification Processing*. New York: McGraw-Hill, Inc., 1974.

[35] นพรัตน์ สีม่วง. 2550. การประเมินค่าอัตราความเร็ว. สืบค้นจาก http://www.pe.kmut-nb.ac.th/nsm/files/st_lb.pdf (21 มีนาคม 2555).

[36] ไชยา วรสิงห์, วิชัย รุ่งเรืองอนันต์, and เสาวนิตย์ จันทนโรจน์, "การเพิ่มผลิตภาพการผลิตโดยการศึกษาการทำงาน กรณีศึกษา: โรงงานผลิตชิ้นส่วนและอะไหล่เครื่องจักร," presented at the การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.

[37] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. 2549. เวลามาตรฐานการผลิตและการสมดุลของสายงานผลิต. สืบค้นจาก http://www.thaieei.com/neweei/file/technical/PDF%20File%20/8_1-TPI.pdf (21 มีนาคม 2555).

[38] จิรวัฒน์ วัฒนบุตร, "การวิเคราะห์ต้นทุนสัมฤทธิ์ผลในการบ่มใบยาสูบ : กรณีศึกษา โรงบ่มยาสูบแบบดั้งเดิมกับแบบความร้อนรวมศูนย์ ณ จังหวัดลำพูน," วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541.

[39] วันชัย ริจิรวนิช และ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน, การวิเคราะห์ต้นทุนอุตสาหกรรมและงบประมาณ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

[40] ซัลวาณีย์ ฮัสบุลเลาะฮ์, "การประเมินต้นทุนและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลม," วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2551.

[41] วรวรรณ บุณยะวันตัง, "แบบจำลองเพื่อประเมินต้นทุนไอน้ำ," วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2539.

[42] กังวาน ชยุติมันต์กุล, "การวิเคราะห์ต้นทุนคุณภาพสำหรับโรงงานหล่อโลหะ," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[43] วัชระ วันมาละ, "การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตสำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมโดยใช้ระบบต้นทุนกิจกรรม," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.

[44] อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์. การบัญชีต้นทุน. สืบค้นจาก http://home.kku.ac.th/anuton/-cost%20accounting/cost%20split.htm (6 กุมภาพันธ์ 2555).

[45] D. Besanko, D. Dranove, and M. Shanley. Economics of Strategy. สืบค้นจาก http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%B8%E0%B8%99 (6 กุมภาพันธ์ 2555).

[46] สมาคมนักบัญชีและผู้สอบบัญชีรับอนุญาตแห่งประเทศไทย. ต้นทุน. สืบค้นจาก http://www.avaccount.com/wb/update/account_update1496.htm (6 กุมภาพันธ์ 2555).

[47] หนังสือพิมพ์ BUSINESS THAI. การบริหารต้นทุน. สืบค้นจาก http://thaitax.brave-pages.com/account18.html (6 กุมภาพันธ์ 2555).

[48] ธวัชชัย อร่ามดิลกรัตน์. การบริหารจัดการทรัพยากร. สืบค้นจาก http://www.bp-smakom.org/BP_School/Social/administer-natural.htm (6 กุมภาพันธ์ 2555).

[49] นิติพล เกื้อกูล, "การลดต้นทุนการขนส่งสินค้า : กรณีศึกษาโรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์ ", วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2550.

[50] สาโรช เวโรจน์, "การพัฒนาโปรแกรมคำนวณต้นทุนการผลิตของกระบวนการผลิตอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.

[51] M. D. Johnson, "A Methodology for Determining Engineering Costs Their Effects on the development of Product Families," Massachusetts Institute of Technology2004.

[52] M. D. Johnson and R. Kirchain, "Developing and Assessing Commonality Metrics for Product Families: A Process-Based Cost-Modeling Approach," *Engineering Management, IEEE Transactions on,* vol. 57, pp. 634-648, 2010.

[53] บุญเกิด หงวนบุญมาก, "ต้นทุนโรงพยาบาลชุมชน," สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครปฐม, นครปฐม 2553.

[54] มาลินี วชิราภากร. 2008. ค่าเสื่อมราคา (Depreciation). สืบค้นจาก http://www.cvc-cha.ac.th/accounting/depreciation.php (3 เมษายน 2555).

[55] อมรรัตน์ พีระพล, การวิเคราะห์และตัดสินใจอย่างนักการเงิน. กรุงเทพมหานคร, 2552.

[56] นงนุช โสรัตน์, การจัดการและการพัฒนาธุรกิจการเกษตร. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเศรษฐศาสตร์เกษตรและทรัพยากร คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.

[57] สนั่น เถาชารี, "กลยุทธ์การบำรุงรักษาเครื่องจักรกล," วารสารสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), vol. 9, pp. 12-14, 2552.

ภาคผนวก

1. รอบเวลาการผลิตจากการจับเวลา

ตารางภาคผนวก 1 รอบเวลาการผลิตจากการจับเวลาของผลิตภัณฑ์ Heat sink 510

ขั้นตอน	เวลาการผลิตต่อหน่วย (วินาที/shot)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
1. หยิบปืน/พ่นน้ำสเปรย์	10.84	10.36	11.05	11.23	10.41	11.08	10.35	10.94	10.68	11.32	10.83
2. เป่าลม/แขนกลตักน้ำ Al	11.16	10.67	10.72	10.54	11.02	10.31	10.77	10.98	10.79	10.76	10.77
3. กดสวิทช์/แม่พิมพ์เคลื่อนปิด/ตักน้ำ Al	11.04	10.15	11.57	11.61	10.83	10.94	11.31	10.69	11.22	10.38	10.97
4. M/C ทำงานอัตโนมัติ/แม่พิมพ์เคลื่อนเปิด	10.21	9.37	9.40	9.84	10.42	9.81	9.96	8.61	9.77	10.36	9.78
5. หยิบชิ้นงานจากแม่พิมพ์	2.09	2.61	2.16	2.93	2.9	2.59	2.69	2.45	2.56	2.66	2.56
รอบเวลาการผลิต (วินาที/shot)	**45.34**	**43.16**	**44.90**	**46.15**	**45.58**	**44.73**	**45.08**	**43.67**	**45.02**	**45.48**	**44.91**

ตารางภาคผนวก 2 รอบเวลาการผลิตจากการจับเวลาของผลิตภัณฑ์ Flange final driven

ขั้นตอน	เวลาการผลิตต่อหน่วย (วินาที/shot)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
1. หยิบปืน/พ่นน้ำสเปรย์	21.85	21.76	21.49	21.88	21.30	21.33	21.57	20.43	21.98	21.12	21.47
2. เป่าลม/แขนกลตักน้ำ Al	21.47	21.13	21.76	21.29	21.68	21.36	20.89	21.69	21.72	20.82	21.38
3. กดสวิทช์/แม่พิมพ์เคลื่อนปิด/ตักน้ำ Al	21.16	22.10	21.16	22.23	22.18	21.24	22.14	21.92	21.17	21.27	21.66
4. M/C ทำงานอัตโนมัติ/แม่พิมพ์เคลื่อนเปิด	18.75	19.28	18.58	19.36	19.45	18.78	18.54	19.36	18.52	19.46	19.01
5. หยิบชิ้นงานจากแม่พิมพ์	3.46	3.10	3.45	3.54	3.24	2.93	3.61	3.24	3.16	3.10	3.28
รอบเวลาการผลิต (วินาที/shot)	**86.69**	**87.37**	**86.44**	**88.30**	**87.85**	**85.64**	**86.75**	**86.64**	**86.55**	**85.77**	**86.80**

ตารางภาคผนวก 3 รอบเวลาการผลิตจากการจับเวลาของผลิตภัณฑ์ Heat sink (main) 034

ขั้นตอน	เวลาการผลิตต่อหน่วย (วินาที/shot)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
1. หยิบปืน/พ่นน้ำสเปรย์	19.76	18.06	21.61	21.15	21.12	21.12	22.00	21.42	22.30	22.02	21.06
2. เป่าลม/แขนกลตักน้ำ Al	19.65	22.49	19.76	22.38	22.09	22.31	20.87	20.26	21.59	21.80	21.32
3. กดสวิทช์/แม่พิมพ์เคลื่อนปิด/ตักน้ำ Al	21.54	21.64	21.31	22.12	22.61	22.09	22.24	22.23	21.35	21.48	21.86
4. M/C ทำงานอัตโนมัติ/แม่พิมพ์เคลื่อนเปิด	19.05	19.10	19.21	19.17	18.87	19.05	18.74	18.98	19.05	19.17	19.04
5. หยิบชิ้นงานจากแม่พิมพ์	2.15	2.10	2.35	2.26	2.32	2.40	2.56	2.71	2.20	2.57	2.36
รอบเวลาการผลิต (วินาที/shot)	82.15	83.39	84.24	87.08	87.01	86.97	86.41	85.60	86.49	87.04	85.34

ตารางภาคผนวก 4 รอบเวลาการผลิตจากการจับเวลาของผลิตภัณฑ์ Hub front

ขั้นตอน	เวลาการผลิตต่อหน่วย (วินาที/shot)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
1. หยิบปืน/พ่นน้ำสเปรย์	18.21	17.78	18.41	18.70	17.74	18.12	17.68	17.51	18.56	18.16	18.09
2. เป่าลม/แขนกลตักน้ำ Al	19.02	17.70	18.23	17.78	17.63	17.57	17.34	17.32	17.80	19.06	17.95
3. กดสวิทช์/แม่พิมพ์เคลื่อนปิด/ตักน้ำ Al	20.08	19.19	17.94	18.61	20.82	18.78	18.31	17.57	17.02	19.11	18.74
4. M/C ทำงานอัตโนมัติ/แม่พิมพ์เคลื่อนเปิด	16.63	15.47	15.99	15.75	16.66	14.98	15.66	17.34	15.97	16.69	16.21
5. หยิบชิ้นงานจากแม่พิมพ์	3.23	4.31	3.31	4.42	3.91	4.05	4.66	4.06	5.03	4.29	4.13
รอบเวลาการผลิต (วินาที/shot)	**77.17**	**74.45**	**73.88**	**75.26**	**76.76**	**73.50**	**73.65**	**73.80**	**74.38**	**77.31**	**75.12**

2. การทดสอบความน่าเชื่อถือทางสถิติของตัวแทนเวลา

การทดสอบจำนวนรอบการจับเวลาที่ตัวอย่างน้อยกว่า 30 รอบ จึงใช้สถิติทดสอบ t ดังสมการภาคผนวก 1

$$\bar{x} \pm t\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

จากสมการภาคผนวก 1 สามารถพิจารณาค่าผิดพลาดของค่าเฉลี่ยของเวลาที่จับ ($\bar{x}$) ได้ดังสมการภาคผนวก 2

$$k\bar{x} = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (2)$$

โดยที่ k = ± ร้อยละความน่าจะเป็นของความผิดพลาด
$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของเวลาที่จับ (วินาที)
t = $t_{(\alpha, n-1)}$ ที่ค่าความผิดพลาด 2%
σ = ค่าความแปรปรวนของประชากร
n = จำนวนรอบที่จับเวลา

ดังนั้น จำนวนรอบในการจับเวลา (n) ดังสมการภาคผนวก 3

$$n = \left(\frac{t\sigma}{k\bar{x}}\right)^2 \qquad (3)$$

ค่าความแปรปรวนของประชากร (σ) ดังสมการภาคผนวก 4

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (4)$$

ที่ค่าความผิดพลาดที่ 2% หาค่า $t = t_{(0.02,9)} = 2.821$ จากนั้น แทนค่าในสมการภาคผนวก 3 เพื่อหาจำนวนรอบในการจับเวลาที่ยอมรับได้ของแต่ละผลิตภัณฑ์ แสดงดังตารางภาคผนวก 5-8

ตารางภาคผนวก 5 จำนวนรอบในการจับเวลาที่ยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์ Heat sink 510

รอบเวลาที่จับ	x_i	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	45.34	44.91	0.43	0.1840
2	43.16	44.91	-1.75	3.0660
3	44.90	44.91	-0.01	0.0001
4	46.15	44.91	1.24	1.5351
5	45.58	44.91	0.67	0.4476
6	44.73	44.91	-0.18	0.0328
7	45.08	44.91	0.17	0.0286
8	43.67	44.91	-1.24	1.5401
9	45.02	44.91	0.11	0.0119
10	45.48	44.91	0.57	0.3238
รวม				7.1699
ค่าความแปรปรวนของประชากร (σ)				0.8926
จำนวนรอบในการจับเวลา (n)				**1.6687**

ตารางภาคผนวก 6 จำนวนรอบในการจับเวลาที่ยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์ Flange final driven

รอบเวลาที่จับ	x_i	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	86.69	86.80	-0.11	0.0121
2	87.37	86.80	0.57	0.3249
3	86.44	86.80	-0.36	0.1296
4	88.30	86.80	1.50	2.2500
5	87.85	86.80	1.05	1.1025
6	85.64	86.80	-1.16	1.3456
7	86.75	86.80	-0.05	0.0025
8	86.64	86.80	-0.16	0.0256
9	86.55	86.80	-0.25	0.0625
10	85.77	86.80	-1.03	1.0609
รวม				6.3162
ค่าความแปรปรวนของประชากร (σ)				0.8377
จำนวนรอบในการจับเวลา (n)				**1.8532**

ตารางภาคผนวก 7 จำนวนรอบในการจับเวลาที่ยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์ Heat sink (main) 034

รอบเวลาที่จับ	x_i	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	82.15	85.34	-3.49	12.1661
2	83.39	85.34	-2.25	5.0535
3	84.24	85.34	-1.40	1.9544
4	87.08	85.34	1.44	2.0794
5	87.01	85.34	1.37	1.8824
6	86.97	85.34	1.33	1.7742
7	86.41	85.34	0.77	0.5960
8	85.60	85.34	-0.04	0.0014
9	86.49	85.34	0.85	0.7259
10	87.04	85.34	1.40	1.9656
รวม				28.1990
ค่าความแปรปรวนของประชากร (σ)				1.7701
จำนวนรอบในการจับเวลา (n)				**8.4997**

ตารางภาคผนวก 8 จำนวนรอบในการจับเวลาที่ยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์ Hub front

รอบเวลาที่จับ	x_i	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	77.17	75.12	2.05	4.2189
2	74.45	75.12	-0.67	0.4436
3	73.88	75.12	-1.24	1.5277
4	75.26	75.12	0.14	0.0207
5	76.76	75.12	1.64	2.7027
6	73.50	75.12	-1.62	2.6115
7	73.65	75.12	-1.47	2.1492
8	73.80	75.12	-1.32	1.7319
9	74.38	75.12	-0.74	0.5417
10	77.31	75.12	2.19	5.2624
รวม				20.6614
ค่าความแปรปรวนของประชากร (σ)				1.5152
จำนวนรอบในการจับเวลา (n)				**8.1163**

จากผลการทดสอบทางสถิติหาจำนวนรอบในการจับเวลาของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้งสี่ชนิด พบว่า ทุกผลิตภัณฑ์มีจำนวนรอบน้อยกว่าจำนวนรอบที่จับเวลาจากโรงงานกรณีศึกษา จึงสรุปได้ว่าจำนวนรอบการจับเวลาที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนสามารถยอมรับได้