การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า
A Cost Analysis of the Production Process of Below-knee Prosthesis

ไพลิน กระจ่างพิภพ
Pailin Krachangphiphop

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต 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
2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า
ผู้เขียน นางสาวไพลิน กระจ่างพิภพ
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร มีมงคล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(รองศาตราจารย์ ดร.เจษฎา วรรณสินธุ์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร มีมงคล)

.....กรรมการ
(รองศาตราจารย์ ดร.เจษฎา วรรณสินธุ์)

.....กรรมการ
(ดร.วนัฐณพงษ์ คงแก้ว)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นิวิท เจริญใจ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

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

ลงชื่อ .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา วรรณสินธุ์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ .....
(นางสาวไพลิน กระจ่างพิภพ)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....
(นางสาวไพลิน กระจ่างพิภพ)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า
ผู้เขียน นางสาวไพลิน กระจ่างพิภพ
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ผู้พิการขาขาดในปัจจุบันมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น อุปกรณ์ที่ช่วยให้ผู้พิการขาขาดสามารถดำรงชีวิตได้อย่างคนปกติ คือ ขาเทียมและเท้าเทียม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาต้นทุนต่อหน่วยของขาเทียมใต้เข่าและเท้าเทียม โดยศึกษาขาเทียมที่ผลิตจากการขึ้นรูปแบบอะลูมิเนียมกึ่งของแข็งโดยใช้เทคนิค GISS (Gas Induced Semi-Solid Process) และเท้าเทียมผลิตจากแกนคอมโพสิตและยางธรรมชาติ โดยใช้ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง 6 ชิ้นส่วน มี 2 ประเภท คือ ขาเทียมใต้เข่าจากอะลูมิเนียมมีชิ้นส่วน 5 ชิ้น ทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อฉีด (Die Casting) ร่วมกับการทุบขึ้นรูป (Forging) และเท้าเทียม 1 ชิ้น เป็นกรณีศึกษา วิเคราะห์ตามหลักการของแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ (Process-Based Costing Model) ซึ่งประกอบด้วย 3 แบบจำลองย่อย ได้แก่ (1) แบบจำลองกระบวนการ เป็นการพิจารณาถึงกระบวนการผลิต เพื่อหารอบเวลาการผลิตต่อหน่วยและชนิดของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต (2) แบบจำลองดำเนินงาน เป็นการพิจารณาถึงเงื่อนไขการดำเนินงานในรูปแบบต่างๆ เพื่อหาเวลามาตรฐานการทำงานและปริมาณของทรัพยากรแต่ละชนิด และ (3) แบบจำลองต้นทุน เป็นการวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยทางด้านราคา เพื่อหาต้นทุนต่อหน่วย วิเคราะห์ต้นทุนต่อชิ้นที่ปริมาณการผลิตขนาด 5,000 ชุด 10,000 ชุด 50,000 ชุด และ 100,000 ชุดต่อปี ร่วมกับการดำเนินงาน แบบ 1 กะ 2 กะ และ 3 กะ เพื่อเปรียบเทียบหาต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำที่สุด ผลการวิจัย พบว่าการวิเคราะห์กระบวนการผลิตและจำลองการดำเนินงานที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชุด ได้ต้นทุนต่อหน่วยของขาเทียมใต้เข่า 2,463.91 บาทต่อ 1 ชุด และต้นทุนต่อหน่วยของเท้าเทียมได้ 774.75 บาทต่อชิ้น และผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการแต่ละขนาดปริมาณการผลิตพบว่า ต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำที่สุดของขาเทียมใต้เข่าอยู่ที่การผลิตแบบ 3 กะ ที่ปริมาณการผลิต 100,000 ชุด คือ 1,636 บาทต่อ 1 ชุด ส่วนของเท้าเทียมอยู่ที่การผลิตแบบ 3 กะ ที่ปริมาณการผลิต 100,000 ชิ้น คือ 370.16 บาทต่อชิ้น

Thesis Title A Cost Analysis of the Production Process of Below-knee Prosthesis
Author Miss Pailin Krachangphiphop
Major Program Industrial and Systems Engineering
Academic Year 2014

ABSTRACT

Since, a volume of amputees is increasing. Devices that can help them to live as regular people are prosthesis and prosthetic foot. The aim of this research is to study the cost per unit of below-knee prosthesis and prosthetic foot. The prosthesis is made from semi-solid aluminum using gas induced semi-solid (GISS) technique, and the prosthetic foot is made from composite keel and natural rubber. Six sample products were selected as a case study including two types of below-knee prostheses which manufactured by die casting and forging methods, and prosthetic foot from rubber. The process-based costing model was used to analyze a cost per unit. The model consisted of 3 sub-models that were (1) process model, considering the process for investigating a cycle time and process requirement, (2) operation model, considering the operating conditions and investigating a standard time and total amount of resource requirement and, (3) financial model, considering the factor prices and investigating the cost per unit. The cost of production volume 5,000 10,000 50,000 and 100,000 sets per year with 1, 2 and 3 working shift operations was researched into the lowest cost per unit. The analysis results showed that the process operation model at 5000 sets per year of production volume with normal working shift gave the cost per unit of below-knee prosthesis and prosthetic foot were 2,463.91 Baht per set and 774.75 Baht per piece, respectively. In addition, the lowest cost per unit of below-knee prosthesis and the prosthetic foot were 1,636 Baht per set and 370.16 Baht per piece that obtained from 100,000 sets per year of production volume with 3 working shifts, respectively.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(15)
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ขาเทียม	4
2.2 เปรียบเทียบขาเทียมที่ผลิตในประเทศกับขาเทียมที่นำเข้าจากต่างประเทศ	5
2.3 สิทธิบัตรขาเทียมใต้เข่าและเท้าเทียม	9
2.4 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า	12
2.5 ต้นทุน	16
3 วิธีการดำเนินการวิจัยและข้อมูลเบื้องต้น	
3.1 โครงสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ	27
3.2 การสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการของการผลิตการขึ้นรูปชิ้นส่วนโลหะแบบกึ่งของแข็ง	28
3.3 การสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการของการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ	37
3.4 การเปรียบเทียบต้นทุนแต่ละปริมาณการผลิตร่วมกับจำนวนกะของขาเทียมโลหะและเท้าเทียม	43
4 ผลการดำเนินการวิจัย	
4.1 ชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า	44
4.1.1 แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการของชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า	44
4.1.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการแต่ละขนาดปริมาณการผลิตขึ้นรูปชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า	73
4.2 ชิ้นส่วนเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ	92
4.2.1 แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ	92
4.2.2 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการชิ้นส่วนเท้าเทียมแต่ละขนาดปริมาณการผลิต	114

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่	
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1. สรุปผลการวิจัย	127
5.2. ข้อเสนอแนะ	131
บรรณานุกรม	128
ภาคผนวก ก.	131
ภาคผนวก ข.	136
ภาคผนวก ค.	142
ประวัติผู้เขียน	147

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เปรียบเทียบขาเทียมที่ผลิตในประเทศ นำเข้าจากต่างประเทศและของชมรมนักพัฒนาอุตสาหกรรม	6
2.2	เปรียบเทียบราคาอุปกรณ์ขาเทียมของที่ผลิตในประเทศ ชมรมนักพัฒนาอุตสาหกรรมและนำเข้าจากต่างประเทศ	7
2.3	เปรียบเทียบส่วนประกอบขาเทียมที่ผลิตในประเทศจากมูลนิธิขาเทียม	8
2.4	เปรียบเทียบน้ำหนักของส่วนประกอบของขาเทียมที่ผลิตในประเทศจากมูลนิธิขาเทียมในสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนีและต่างประเทศ	9
3.1	ข้อมูลเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ขาเทียมตัวอย่าง	31
3.2	เวลาที่หยุดทำงานที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานกระบวนการผลิตขาเทียม	32
3.3	ลักษณะจำเพาะของเครื่องจักรของกระบวนการผลิตขาเทียม	32
3.4	สมมติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงินของกระบวนการผลิตขาเทียม	33
3.5	ราคาวัตถุดิบกระบวนการผลิตขาเทียม	34
3.6	อัตราค่าไฟฟ้าแบบ Time of Use (TOU)	34
3.7	ข้อมูลผลิตภัณฑ์เท้าเทียมตัวอย่าง	39
3.8	เวลาที่หยุดทำงานที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานการผลิตเท้าเทียม	40
3.9	ลักษณะจำเพาะของเครื่องจักรการผลิตเท้าเทียม	40
3.10	สมมติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงินของการผลิตเท้าเทียม	41
3.11	ราคาวัตถุดิบของกระบวนการผลิตเท้าเทียม	42
4.1	ระยะเวลาปล่อยฟองแก๊สของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง	45
4.2	รอบเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง	45
4.3	ระดับการทำงานพนักงานที่ประเมินได้ของโรงงานกรณีศึกษา	46
4.4	รอบเวลาปกติและเวลามาตรฐานของกระบวนการผลิตขาเทียม	47
4.5	ชนิดของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตของกระบวนการผลิตขาเทียม	48
4.6	ระยะเวลาดำเนินงานต่อกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	49
4.7	จำนวนวันที่ใช้ผลิตของกระบวนการผลิตขาเทียม	53
4.8	ปริมาณความต้องการแท่งอะลูมิเนียมของกระบวนการผลิตขาเทียม	54
4.9	ปริมาณฟลักซ์ของกระบวนการผลิตขาเทียม	55
4.10	ปริมาณความต้องการน้ำยาพ่นแม่พิมพ์และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ของขาเทียม	56
4.11	ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิกของกระบวนการผลิตขาเทียม	58
4.12	ปริมาณความต้องการวัตถุดิบแต่ละชนิดของกระบวนการผลิตขาเทียม	59
4.13	ปริมาณแก๊สไนโตรเจนของกระบวนการผลิตขาเทียม	60

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.13	ปริมาณแก๊สไนโตรเจนของกระบวนการผลิตขาเทียม	60
4.14	ปริมาณแก๊ส LPG ของกระบวนการผลิตขาเทียม	61
4.15	ปริมาณความต้องการไฟฟ้าต่อเครื่องจักรของกระบวนการผลิตขาเทียม	61
4.16	ความต้องการด้านทรัพยากรทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตของกระบวนการผลิตขาเทียม	62
4.17	ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงานของกระบวนการผลิตขาเทียม	63
4.18	เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรของกระบวนการผลิตขาเทียม	63
4.19	ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหารของกระบวนการผลิตขาเทียม	65
4.20	มูลค่าซากของกระบวนการผลิตขาเทียม	66
4.21	ต้นทุนค่าเครื่องจักรของกระบวนการผลิตขาเทียม	67
4.22	ต้นทุนค่าอุปกรณ์ของกระบวนการผลิตขาเทียม	67
4.23	ต้นทุนการก่อสร้างของกระบวนการผลิตขาเทียม	68
4.24	ต้นทุนคงที่ของกระบวนการผลิตขาเทียม	68
4.25	ต้นทุนวัตถุดิบของกระบวนการผลิตขาเทียม	70
4.26	ต้นทุนแรงงานของกระบวนการผลิตขาเทียม	71
4.27	ต้นทุนพลังงานของกระบวนการผลิตขาเทียม	71
4.28	ต้นทุนผันแปรของกระบวนการผลิตขาเทียม	72
4.29	ต้นทุนต่อหน่วยของกระบวนการผลิตขาเทียม	72
4.30	กำลังการผลิตสูงสุดต่อวันของกระบวนการผลิตขาเทียม	73
4.31	จำนวนวันที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	74
4.32	จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	74
4.33	จำนวนแรงงานที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	75
4.34	ปริมาณอะลูมิเนียมที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	76
4.35	จำนวนพนักงานในระดับบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	77
4.36	ค่าใช้จ่ายในการบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปีของกระบวนการผลิตขาเทียม	77
4.37	ต้นทุนค่าเครื่องจักรใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปีของกระบวนการผลิตขาเทียม	78

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.38	ต้นทุนค่าอุปกรณ์ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปีของกระบวนการผลิตขาเทียม	78
4.39	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชุดต่อปีของกระบวนการผลิตขาเทียม	79
4.40	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ปริมาณการผลิต 10,000 ชุดต่อปีของกระบวนการผลิตขาเทียม	79
4.41	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ปริมาณการผลิต 50,000 ชุดของกระบวนการผลิตขาเทียม	80
4.42	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ปริมาณการผลิต 100,000 ชุดของกระบวนการผลิตขาเทียม	80
4.43	ต้นทุนอะลูมิเนียมต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	82
4.44	ต้นทุนฟลักซ์ต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	83
4.45	ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์รวมต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	83
4.46	ต้นทุนน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	84
4.47	ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิกต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	84
4.48	ต้นทุนน้ำประปาต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	85
4.49	ต้นทุนค่าแรงงานของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	86
4.50	ต้นทุนแก๊ส LPG ต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	86
4.51	ต้นทุนไนโตรเจนต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	87
4.52	ต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	88
4.53	ต้นทุนผันแปรต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	88
4.54	ต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าแต่ละปริมาณการผลิต	90
4.55	รายละเอียดของต้นทุนชิ้นส่วนขาเทียมต่อหน่วยผลิตแบบ 3 กะ	91
4.56	เปรียบเทียบชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าจากภายในและต่างประเทศ	92

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.57	ชนิดของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตของเท้าเทียม 5,000 ชิ้นต่อปี	93
4.58	ระยะเวลาดำเนินงานต่อวันของเท้าเทียม	95
4.59	จำนวนวันในการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ	98
4.60	ปริมาณความต้องการวัตถุดิบของกระบวนการผลิตแกนภายใน	99
4.61	ปริมาณสารเคมีของกระบวนการผลิตแกนภายใน	100
4.62	ปริมาณความต้องการสารเคมีสำหรับกระบวนการผลิตเนื้อเท้าเทียม	101
4.63	ปริมาณยางแท่งสำหรับเนื้อเท้าเทียม	101
4.64	ปริมาณยางแท่งสำหรับผิวเท้าเทียม	102
4.65	ปริมาณสารเคมีสำหรับผิวเท้าเทียม	102
4.66	ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิกของเท้าเทียม	103
4.67	ปริมาณความต้องการไฟฟ้าต่อเครื่องจักรของเท้าเทียม	104
4.68	ความต้องการด้านทรัพยากรทั้งหมดที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนเท้าเทียมต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี	104
4.69	ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงานของเท้าเทียม	105
4.70	เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรของเท้าเทียม	106
4.71	ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหารการผลิตของเท้าเทียม	108
4.72	มูลค่าซากของเครื่องจักรของเท้าเทียม	108
4.73	ต้นทุนค่าเครื่องจักรผลิตเท้าเทียมที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชิ้นต่อปี	109
4.74	ต้นทุนค่าอุปกรณ์การผลิตของเท้าเทียม	110
4.75	ราคาสิ่งก่อสร้าง และค่าเสื่อมราคาต่อปีของเท้าเทียม	110
4.76	ต้นทุนคงที่ของเท้าเทียม	111
4.77	ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีรวม	112
4.78	ต้นทุนแรงงานการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ	112
4.79	ต้นทุนพลังงานการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ	113
4.80	ต้นทุนผันแปรการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ	113
4.81	ต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนเท้าเทียม	113
4.82	กำลังการผลิตสูงสุดต่อวันของการผลิตเท้าเทียม	114
4.83	จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของการผลิตเท้าเทียม	114
4.84	จำนวนแรงงานที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม	115
4.85	จำนวนวันที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม	116

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.86	จำนวนพนักงานในระดับบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม	117
4.87	ค่าใช้จ่ายในการบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปีของเท้าเทียม	117
4.88	ต้นทุนค่าเครื่องจักรของเท้าเทียมใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปี	117
4.89	ต้นทุนค่าอุปกรณ์ของเท้าเทียมใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปี	118
4.90	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยของเท้าเทียมที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชิ้นต่อปี	119
4.91	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยของเท้าเทียมที่ปริมาณการผลิต 10,000 ชุดต่อปี	119
4.92	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยของเท้าเทียมที่ปริมาณการผลิต 50,000 ชุดต่อปี	120
4.93	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยของเท้าเทียมที่ปริมาณการผลิต 100,000 ชุดต่อปี	120
4.94	ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตเท้าเทียม	121
4.95	ต้นทุนค่าแรงงานต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม	122
4.96	ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม	122
4.97	ต้นทุนผันแปรต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม	123
4.98	ต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนเท้าเทียมแต่ละปริมาณการผลิตเท้าเทียม	124
4.99	ต้นทุนต่อหน่วยของเท้าเทียมที่ต่ำที่สุดของแต่ละปริมาณการผลิตเท้าเทียม	125
4.100	เปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นส่วนเท้าเทียมจากภายในและภายนอกประเทศ	126
5.1	ต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า	128
5.2	รายละเอียดของต้นทุนต่อหน่วยผลิตแบบ 3 กะของขาเทียม	129
5.3	ต้นทุนต่อหน่วยกระบวนการผลิตของเท้าเทียม	130
5.4	ต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนเท้าเทียมแต่ละปริมาณการผลิตของเท้าเทียม	130

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบต่าง ๆ ของขาเทียมใต้เข่า	5
2.2	รายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์ใน US Patent No. 4,969,911	9
2.3	รายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์ใน US Patent No. 5,755,812	10
2.4	รายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์ใน US Patent No. 5,888,234	10
2.5	รายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์ใน US Patent No. 5,037,444	11
2.6	รายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์ใน US Patent No. 5,156,632	11
2.7	รายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์ใน US Patent No. 5,062,859	11
2.8	กรรมวิธีการผลิตโลหะกึ่งของแข็งด้วยกระบวนการ GISS	14
2.9	การหล่ออะลูมิเนียมแบบกึ่งของแข็งผ่านการอบชุบด้วยกระบวนการทางความร้อนในสภาวะ T6	16
2.10	โครงสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ	19
2.11	ตัวอย่างเท้าเทียม (บริษัท ottobock)	22
3.1	แผนผังแสดงวิธีการดำเนินงานวิจัย	27
3.2	ผลิตภัณฑ์ขาเทียมอะลูมิเนียมน้ำหนักเบาจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง	29
3.3	ผลิตภัณฑ์ขาเทียมอะลูมิเนียมน้ำหนักเบาจากกระบวนการทุบขึ้นรูปโลหะแบบกึ่งของแข็ง ชิ้นส่วนท่อขาเทียมใต้เข่า	29
3.4	ขั้นตอนทำงานของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง	30
3.5	ภาพรวมการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วย	36
3.6	ส่วนประกอบของเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ	37
3.7	ขั้นตอนทำงานของกระบวนการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ	39
3.8	รูปแบบการเปรียบเทียบต้นทุนแต่ละปริมาณการผลิตร่วมกับจำนวนกะ	43
4.1	โครงสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ	44
4.2	แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนอะลูมิเนียมต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	82
4.3	แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนค่าแรงงานต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	86
4.4	แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนแก๊ส LPG ต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	87
4.5	แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม	88

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่ **หน้า**

4.6 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนผันแปรต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม 89

4.7 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ 90

4.8 กราฟความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อหน่วยและปริมาณการผลิตชิ้นส่วนขาเทียม 91

4.9 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม 123

4.10 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม 124

4.11 กราฟความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อหน่วยและปริมาณการผลิตเท้าเทียม 125

5.1 กราฟความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อหน่วยและปริมาณการผลิตของขาเทียม 129

5.2 กราฟความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อหน่วยและปริมาณการผลิตของเท้าเทียม 131

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

สำนักงานสถิติแห่งชาติเคยสำรวจจำนวนผู้พิการขาขาดในประเทศไทยเมื่อปี 2549 มีผู้พิการประมาณ 1.8 ล้านคน โดยมีผู้พิการขาขาดประมาณ 70,000 คน [1] สาเหตุของผู้พิการขาขาดส่วนใหญ่ในประเทศไทย ประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์เกิดจากอุบัติเหตุทางการจราจร 25 เปอร์เซ็นต์เกิดจากการเหยียบกับระเบิด 20 เปอร์เซ็นต์เกิดจากแผลเรื้อรังจากโรคเบาหวาน 10 เปอร์เซ็นต์เป็นความพิการผิดปรกติมาแต่กำเนิดและสาเหตุอื่นๆ [2]

ปัจจุบันจำนวนผู้พิการในประเทศไทยที่ถูกตัดขาเนื่องจากแผลเรื้อรังจากโรคเบาหวานกำลังเพิ่มขึ้นและจำนวนผู้พิการจากอุบัติเหตุทางการจราจรก็ไม่ได้ลดลง เพราะฉะนั้นการฟื้นฟูสมรรถภาพผู้พิการจะช่วยให้ผู้พิการมีระดับความสามารถสูงขึ้น สามารถช่วยเหลือตนเองได้ ดังนั้นการผลิตขาเทียมที่มีคุณภาพดีจะสามารถช่วยเหลือในเรื่องที่กล่าวมาได้ แต่ขาเทียมที่มีคุณภาพสูงนั้นต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง ข้อมูลจากชมรมนักพัฒนาอุตสาหกรรมไทยแสดงให้เห็นว่าราคาขาเทียมใต้เข่าจากต่างประเทศมีราคาสูง ถึงข้างละ 24,900 บาท หากจะให้ผู้พิการทุกคนมีขาเทียมคุณภาพสูง จะต้องมีการนำเข้าขาเทียมสูงถึง 1,743 ล้านบาท ซึ่งเป็นมูลค่าที่สูงมาก นอกจากนี้ผู้พิการส่วนใหญ่เป็นผู้ยากไร้ ไม่สามารถซื้อขาเทียมที่มีคุณภาพจากต่างประเทศเหล่านี้ได้ จึงมีการวิจัยและพัฒนาโดยหน่วยงานในประเทศ เช่น มูลนิธิขาเทียมในสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชนนีและชมรมนักพัฒนาอุตสาหกรรมไทย เพื่อออกแบบและผลิตขาเทียมให้แก่ผู้พิการต่างๆ โดยขาเทียมที่ผลิตในประเทศโดยหน่วยงานเหล่านี้ มีราคาประมาณข้างละ 1,000-1,500 บาท โดยวัสดุหลักที่ใช้ ได้แก่ เหล็กกล้าไร้สนิมและอะลูมิเนียมรีไซเคิล ชิ้นส่วนเหล่านี้มีความทนทานน้อยกว่าชิ้นส่วนที่นำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้อายุการใช้งานสั้นหรือความสบายในการใส่ไม่ดีเท่าขาเทียมนำเข้า ผู้พิการซึ่งอยู่ในพื้นที่ห่างไกลจะประสบปัญหามากเมื่อขาเทียมชำรุดบ่อย เนื่องจากไม่สะดวกในการเดินทางเข้ามาเปลี่ยนที่โรงพยาบาลที่มีหน่วยบริการเกี่ยวกับขาเทียม โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในตัวเมืองเพราะต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทาง

หากเลือกได้ ผู้พิการทุกคนต้องการขาเทียมที่มีน้ำหนักเบาสวมใส่สบายและมีความทนทานไม่ต้องเปลี่ยนบ่อย จากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่โรงพยาบาลสงขลานครินทร์พบว่า ผู้พิการที่มีสิทธิในการเบิกเงินสวัสดิการเกี่ยวกับการรักษาพยาบาลไม่สูง เช่น สิทธิบัตรทอง ซึ่งมีจำนวนมากไม่ได้รับขาเทียมที่มีคุณภาพสูงจากต่างประเทศ ซึ่งต่างจากผู้พิการที่มีสิทธิในการเบิกเงินสวัสดิการเกี่ยวกับการรักษาพยาบาลสูงหรือจ่ายเงินเองที่ได้รับขาเทียมจากต่างประเทศ ข้อมูลเหล่านี้เป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ที่จะพัฒนาและวิเคราะห์ต้นทุนชิ้นส่วนขาเทียมที่มีคุณภาพสูงเทียบเท่ากับขาเทียมจากต่างประเทศในราคาไม่แพงซึ่งผู้พิการทุกคนมีสิทธิ์ที่จะได้รับ

โดยขาเทียมใต้เข่าจากต่างประเทศส่วนใหญ่ประกอบด้วยชิ้นส่วนสองประเภทคือ เท้าเทียม อีกส่วนคือแกนขาและข้อต่อต่างๆที่ทำจากอะลูมิเนียมผสม เหตุผลหนึ่งที่ทำให้ชิ้นส่วนขาเทียมที่ทำจากโลหะมีราคาสูงมากคือ การขึ้นรูปชิ้นส่วนโลหะ จำเป็นต้องอาศัยเครื่องจักรใหญ่ในการ

ขึ้นรูปแท่งโลหะในสถานะของแข็งให้มีรูปร่างได้ตามความต้องการ ซึ่งเครื่องจักรดังกล่าวมีราคาสูงมาก หากใช้กรรมวิธีการหล่อทั่ว ไปก็จะได้ชิ้นงานที่มีสมบัติต่ำกว่าการหล่อขึ้นรูปแบบกึ่งของแข็ง ในประเทศไทยมีการขึ้นรูปอะลูมิเนียมผสมอยู่มาก เช่น การขึ้นรูปขอบประตู หน้าต่าง และ การหล่อขึ้นรูปชิ้นส่วนในรถยนต์ต่างๆ แต่ชิ้นงานอะลูมิเนียมผสมที่ได้มีความแข็งแรงไม่มากนักเมื่อเทียบกับชิ้นส่วนอะลูมิเนียมที่นำเข้าจากต่างประเทศ ทีมวิจัย Innovative Metal Technology (IMT) มีเทคโนโลยีการขึ้นรูปอะลูมิเนียมแบบกึ่งของแข็งที่เรียกว่ากระบวนการ Gas Induced Semi-Solid หรือ GISS ที่สามารถขึ้นรูปอะลูมิเนียมผสมเกรดที่มีความแข็งแรงสูงที่ใช้ในเครื่องบินโดยการอัดในสถานะกึ่งแข็งกึ่งเหลว ซึ่งอะลูมิเนียมจะมีพฤติกรรมคล้ายไอศกรีมทำให้สามารถอัดขึ้นรูปโดยไม่ต้องใช้เครื่องจักรใหญ่และมีราคาแพงแต่ยังได้สมบัติเชิงกลที่ดีเหมาะสำหรับนำมาผลิตชิ้นส่วนขาเทียมที่มีคุณภาพดี

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีแล้วในด้านของราคาขายก็เป็นส่วนสำคัญสำหรับการแข่งขันในธุรกิจ ถ้ามีผลิตภัณฑ์คุณภาพดีมาก แต่ราคาสูง ก็อาจทำให้ผู้อุปโภคบริโภคหันไปเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของคู่แข่งได้ จึงจำเป็นต้องมีการดูแลในด้านของต้นทุนการผลิตเนื่องจากต้นทุนเป็นตัวที่กำหนดราคาขายของผลิตภัณฑ์และเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดเกี่ยวกับการตั้งราคาสินค้าที่อาจมีการตั้งราคาสินค้าที่ผิดพลาดคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ซึ่งอาจส่งผลเสียแก่ผู้ผลิตได้ จึงควรมีการวิเคราะห์ต้นทุนเพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างของต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์เพื่อช่วยให้สามารถกำหนดนโยบายทางการผลิต ทางการเงิน ให้กำหนดและควบคุมต้นทุนการผลิตได้

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าโลหะที่ขึ้นรูปแบบโลหะกึ่งของแข็งโดยกระบวนการ GISS และเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ เพื่อให้ทราบต้นทุนของชิ้นส่วนขาเทียมความแข็งแรงสูงมีคุณภาพเทียบเท่ากับขาเทียมที่นำเข้าจากต่างประเทศ และนำไปทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับราคาของขาเทียมที่นำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อให้ผู้พิการในประเทศไทยได้มีโอกาสใช้ชิ้นส่วนขาเทียมที่มีคุณภาพดีเทียบเท่ากับขาเทียมจากต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนในแต่ละขนาดกำลังผลิตของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า

1.3 ขอบเขต

ศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าในชิ้นงานต้นแบบพร้อมทั้งศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับปริมาณการผลิตในแต่ละขนาด ในงานวิจัยนี้มีชิ้นงานต้นแบบ 6 ชิ้นส่วน ประกอบด้วย

1) ชิ้นส่วนที่ยึดระหว่างส่วนรองรับเบ้ากับแกนหน้าแข้ง (Tube Clamp Adapter)
2) ชิ้นส่วนที่ยึดระหว่างแกนหน้าแข้งกับส่วนข้อเท้าเทียม (Foot Clamp Adapter)
3) ชิ้นส่วนข้อเท้าเทียม (Foot Adapter)
4) ชิ้นส่วนที่รองรับเบ้า (Socket Adapter)

5) แกนหน้าแข้ง (Tube)
6) เท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

1.4 ประโยชน์

1) ได้ทราบต้นทุนการผลิตต่อชิ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า
2) ได้ทราบต้นทุนการผลิตในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าที่สัมพันธ์กับปริมาณการผลิต
3) ได้เป็นแนวทางในการพยากรณ์ เตรียมงบประมาณค่าใช้จ่ายสำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้สำรวจเอกสารเกี่ยวกับ ประเภทของขาเทียม กระบวนการผลิตโลหะแบบกึ่งของแข็งด้วยกระบวนการ GISS กระบวนการผลิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใย กระบวนการขึ้นรูปยาง การวิเคราะห์ต้นทุนโดยการสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ เพื่อให้มีความเข้าใจถึงที่มาและความสำคัญตลอดจนการนำไปประยุกต์ใช้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ขาเทียม

ขาเทียมคืออุปกรณ์ที่ใช้ทดแทนอวัยวะหรือชิ้นส่วนของอวัยวะที่ขาดหายไป หมายถึง อุปกรณ์ใดๆก็ตามภายนอกร่างกาย ที่นำมาทดแทนส่วนของรยางค์ (แขน-ขา) ทั้งหมด หรือบางส่วนซึ่งไม่เคยมีอยู่เลยหรือขาดหายไป

ประเภทขาเทียมสามารถแบ่งได้หลายประเภทดังนี้ [3]

2.1.1 ประเภทของขาเทียมตามลักษณะแกนของขาเทียม

2.1.1.1 ขาเทียมแกนนอก (Exoskeleton Prosthetic) เป็นระบบขาเทียมใช้ไม้ หรือโฟมอัดแน่นเป็นแกนขา และหุ้มด้วยพลาสติกเรซิน เพื่อป้องกันการสึกกร่อนและมีความสวยงามคล้ายขาจริง

2.1.1.2 ขาเทียมแกนใน (Endoskeleton Prosthetic) เป็นขาเทียมใช้แกนขาเป็นโลหะ หรือพลาสติกเป็นแกน นอกจากนี้สามารถใช้งานแบบเปลือย หรือหุ้มด้วยโฟมเพื่อความสวยงามก็ได้

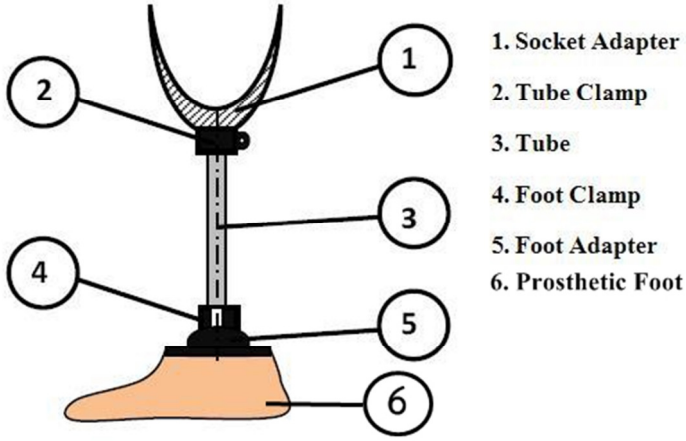
2.1.2 ประเภทขาเทียมตามตำแหน่งการตัด

2.1.2.1 ขาเทียมแบบเหนือเข่า (Above Knee Prosthetic) เป็นขาเทียมที่ใช้สาหรับคนพิการตัดขาระดับเหนือเข่า (Above Knee: AK)

2.1.2.2 ขาเทียมแบบใต้เข่า (Below Knee Prosthetic) เป็นขาเทียมที่ใช้สำหรับคนพิการตัดขาระดับใต้เข่า (Below Knee: BK) ที่ยังเหลือเข่าธรรมชาติอยู่ ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆ ดังต่อไปนี้

1) เบ้า ทำหน้าที่สัมผัสกับทุกส่วนของตอขา มีการรับน้ำหนักที่เอ็นสะบ้า และมีระบบระบายอากาศเพื่อความสบายและลดการติดเชื้อราของตอขา
2) อุปกรณ์ปรับแนว ช่วยให้ความสะดวกในการปรับแนวระดับระหว่างเบ้าและเท้าเทียม
3) แกนหน้าแข้ง เป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างเบ้าและเท้าเทียม
4) เท้าเทียม รูปร่างเหมือนเท้าจริง ส้นเท้ารับแรงกระแทกขณะลงส้นและมีแรงส่งขณะยกขาทำให้ประหยัดพลังงานทำให้ผู้พิการเดินได้ไกลขึ้นและเหนื่อยน้อยลง
5) การยึดติดกับตอขา ไม่ต้องใช้เข็มขัดรัดแต่ใช้การแต่งขอบบนของเบ้าให้โอบหุ้มรอบเข่า

จากส่วนประกอบหลักของขาเทียมใต้เข่าจึงอธิบายดังภาพประกอบที่ 2.1 ได้ว่า ชิ้นที่ 1 คือ เบ้า ชิ้นที่ 2, 4, 5 คือ อุปกรณ์ปรับแนว ชิ้นที่ คือ 3 แกนหน้าแข้ง และชิ้นที่ 6 ผลิตจากยางธรรมชาติ คือ เท้าเทียม



ภาพประกอบที่ 2.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของขาเทียมใต้เข่า

2.2 เปรียบเทียบขาเทียมที่ผลิตในประเทศกับขาเทียมที่นำเข้าจากต่างประเทศ

เปรียบเทียบขาเทียมที่ผลิตในประเทศกับขาเทียมที่นำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งทำการเปรียบเทียบในเรื่องน้ำหนักเท้า แกนในฝ่าเท้า ข้อเท้า ความสามารถในการผลิต ราคาและวัสดุที่ใช้ในการทำส่วนต่างๆ ของขาเทียม โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบ จาก 3 องค์กร คือ 1. ขาเทียมที่ผลิตในประเทศผลิตโดยมูลนิธิขาเทียมในสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี 2. ขาเทียมที่นำเข้าจากต่างประเทศ (ขาเทียมจาก บริษัท Ottobock) และ 3. ขาเทียมจากชมรมนักพัฒนาอุตสาหกรรมไทย (THAI INDUSTRIALIST DEVELOPMENT FORUM) ที่เกิดการรวมตัวกันของสมาชิกจาก 103 โรงงาน ประกอบกิจการที่แตกต่างกัน ด้วยจุดประสงค์ที่ต้องการช่วยเหลือเพื่อนมนุษย์ ทางชมรมฯ ก็เริ่มคิดค้นประดิษฐ์ขาเทียมและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งขาเทียมที่ทางชมรมฯ ประดิษฐ์นั้นล้วนใช้ทรัพยากรในประเทศ ด้วยระบบที่ค้นคิดโดยคนไทย และเพื่อให้คนไทยผู้ด้อยโอกาสทั้งหลายได้ยืนบนขาของตนเองอีกครั้ง ผลของการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบขาเทียมที่ผลิตในประเทศ นำเข้าจากต่างประเทศและของชมรมนักพัฒนาอุตสาหกรรม ในตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบราคาอุปกรณ์ขาเทียมของที่ผลิตในประเทศ ชมรมนักพัฒนาอุตสาหกรรม และนำเข้าจากต่างประเทศ ในตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบส่วนประกอบขาเทียมที่ผลิตในประเทศและต่างประเทศ และในตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบน้ำหนักของส่วนประกอบของขาเทียมที่ผลิตในประเทศและต่างประเทศพบว่าน้ำหนักแต่ละชิ้นส่วนของขาเทียมที่ผลิตจากมูลนิธิขาเทียมในสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนีมีน้ำหนักมากกว่าชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่นำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งปัจจัยน้ำหนักส่งผลต่อการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุและการออกแบบควรคำนึงถึงน้ำหนักเพื่อให้ชิ้นส่วนขาเทียมมีน้ำหนักน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับต่างประเทศ

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบขาเทียมที่ผลิตในประเทศ นำเข้าจากต่างประเทศและของชมรมนักพัฒนาอุตสาหกรรม

รายการ	ขาเทียมผลิตในประเทศ	ขาเทียมนำเข้าจากต่างประเทศ	ขาเทียมผลิตโดยชมรมนักพัฒนาอุตสาหกรรมไทย
1. น้ำหนักเท้า	760 กรัม	350 กรัม	450 กรัม
2.แกนในฝ่าเท้า	เป็นไม้ลงน้ำไม่ได้	เป็นไม้ลงน้ำไม่ได้	เป็นพลาสติกลงน้ำได้
3. ข้อเท้า	ไม่มีจุดยืดหยุ่น	ไม่มีจุดยืดหยุ่น	มีจุดยืดหยุ่นถึง 4 จุด
4.ความสามารถ ในการผลิต	ทำได้เฉพาะใต้เข่า	ทำได้ทั้งใต้เข่าและเหนือเข่า	ทำได้ทั้งใต้เข่าและเหนือเข่า
5. การปรับระดับ	ไม่สามารถปรับระดับความสูงต่ำในขาเหนือเข่า	ไม่สามารถปรับสูงต่ำในขาเหนือเข่า	สามารถปรับความสูงต่ำในขาเหนือเข่า
6. อุปกรณ์ประกอบ	ทำได้บางชิ้น	มีจำหน่ายทุกชิ้น	ทำอุปกรณ์ทุกชิ้นได้ด้วยตนเอง
7. เบ้าขานอก	แข็งเพราะใช้เรซิน หรือไม้	แข็งเพราะใช้เรซิน ไม้แวคคัม พลาสติกหรือยางฟองน้ำ	แข็งใช้โพลีเอทิลีนด้านในนิ่มเพราะใช้โพลียูรีเทน
8. โครงขา	ทำจากพลาสติกหรือไม้	ทำจากไม้หรือโครงโลหะ	ทำจากโลหะไม่เป็นสนิม
9. ระยะเวลาในการประกอบ	4 วัน/ขา	1 วัน/ขา	2 ชม./ขา
10. ราคา	พลาสติก 1,000 บาท/ขา ขาไม้ 7,100 บาท/ขา	ไม้ 7,100 บาท/ขา โลหะ 25,000 บาท/ขา	โลหะ 1,500 บาท/ขา

ที่มา: ชมรมนักพัฒนาอุตสาหกรรม [4]

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบราคาอุปกรณ์ขาเทียมของที่ผลิตในประเทศ ชมรมนักพัฒนาอุตสาหกรรม และนำเข้าจากต่างประเทศ

อุปกรณ์ขาเทียม	ขาเทียมผลิตในประเทศ		ขาเทียมผลิตโดยชมรมนักพัฒนาอุตสาหกรรมไทย		นำเข้าจากต่างประเทศ			
					รพ.พระมงกุฎเกล้า		รพ.ทหารผ่านศึก	
	ราคา (บาท)	วัสดุที่ใช้	ราคา (บาท)	วัสดุที่ใช้	ราคา (บาท)	วัสดุที่ใช้	ราคา (บาท)	วัสดุที่ใช้
1. เท้าเทียม	200	ยางพารา	180	ยูริเทน	2,200	ยูริเทน	1,680	ยูริเทน
2. หน้าแข้งเทียม	-	-	150	โพลีเอทิลีนทิลีน	-	-	700	เรซิน
3. แป้นยึดเบ้าขา	-	พลาสติก	200	สเตนเลส	2,000	สเตนเลส	-	-
4. ข้อต่อเท้ากับหน้าแข้ง	-	พลาสติก	200	สเตนเลส	3,800	สเตนเลส	-	-
5.ข้อเข่าเทียม	ไม่สามารถทำได้		500	อะลูมิเนียม	13,000	อะลูมิเนียม	10,800	อะลูมิเนียม
6.แกนตั้งอะลูมิเนียม	30	พลาสติก	50	อะลูมิเนียม	28,000	อะลูมิเนียม	-	-
7.ตัวปรับนั่งขัดสมาธิและพับเพียบ	ไม่สามารถทำได้		500	สเตนเลส	12,000	-	-	-
8.ขาเทียมชนิดใต้เข่า	1,000	แกนพลาสติก	1,500	แกนโลหะ	24,900	แกนโลหะ	10,900	แกนโลหะ
9.ขาเทียมเหนือเข่าชนิดขัดสมาธิและพับเพียบ	ไม่สามารถทำได้		4,000	แกนโลหะ	78,000	แกนโลหะ	35,120	โครงไม้ไม่สามารถพับเพียบ/ขัดสมาธิ

ที่มา: ชมรมนักพัฒนาอุตสาหกรรม [4]

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบส่วนประกอบขาเทียมที่ผลิตในประเทศจากมูลนิธิขาเทียมในสมเด็จพระ-ศรีนครินทราบรมราชชนนีและต่างประเทศ

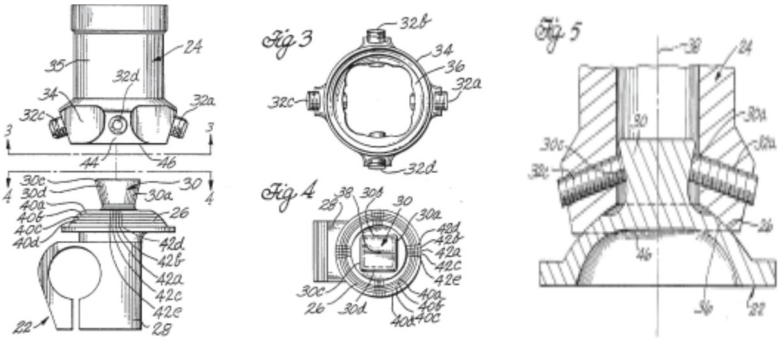
ลำดับ	ส่วนประกอบขาเทียม	มูลนิธิขาเทียมในสมเด็จพระ-ศรีนครินทราบรมราชชนนี	ต่างประเทศ (บริษัท Ottobock จำกัด)
1	Socket Adapter คือ ชิ้นส่วนที่ยึดระหว่างฐานรองเข่า		
2	Tube Clamp คือส่วนที่ยึดระหว่าง ฐานรองเข่า กับแกนหน้าแข้ง (Tube)		
3	Tube คือ แกนหน้าแข้งทีทำหน้าที่แทนหน้าแข้ง สามารถปรับระดับความสูงได้		
4	Foot Adapter คือ ชิ้นส่วนที่ต่อระหว่างแกนหน้าแข้งกับเท้าเทียม		
5	Prosthetic Foot คือ เท้าเทียม		

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบน้ำหนักของส่วนประกอบของขาเทียมที่ผลิตในประเทศจากมูลนิธิขาเทียมในสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนีและต่างประเทศ

ลำดับ	ส่วนประกอบขาเทียม	น้ำหนักของส่วนประกอบของขาเทียม (กรัม)	
		มูลนิธิขาเทียมในสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี	ต่างประเทศ (บริษัท Ottobock จำกัด)
1	ฐานรองเบ้า (Socket Adapter)	185.10	65.49
2	ข้อต่อบน (Tube Clamp)	98.11	53.60
3	แกนหน้าแข้งและข้อต่อล่าง (Tube + Foot Clamp)	256.77	155.00
4	ที่ยึดเท้าเทียมกับข้อต่อล่าง (Foot Adapter)	94.64	95.00
5	เท้าเทียม (Prosthetic Foot)	469.92	461.30
น้ำหนักรวม		1,104.54	830.39

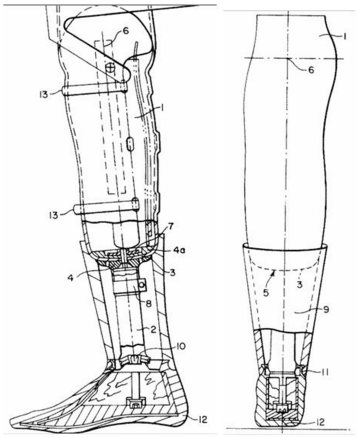
2.3 สิทธิบัตรขาเทียมใต้เข่าและเท้าเทียม

สิทธิบัตรลำดับที่ US Patent No.4,969,911 (Adjustable Prosthetic Joint with Alignment Means) [5] กล่าวถึงข้อต่อระหว่างชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าที่เป็นกลไกการยึดติดระหว่างข้อต่อที่สามารถปรับรูปแบบการใช้งานกับขาเทียม รูปแบบและรายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์นี้แสดงในภาพประกอบที่ 2.2



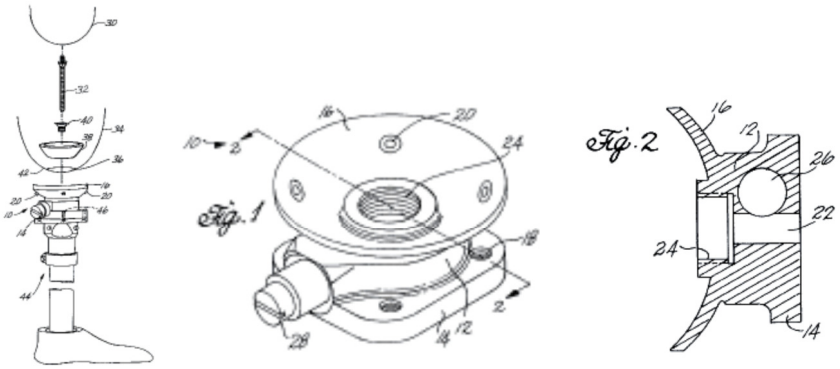
ภาพประกอบที่ 2.2 รายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์ใน US Patent No. 4,969,911 [5]

US Patent No. 5,755,812 (Below-knee prosthesis having an Adapter displaceable on spherical segment surface) [6] กล่าวถึงขาเทียมใต้เข่าของบริษัท Ottobock ที่ 2 ออกแบบให้มีการใช้งานและติดตั้งที่ง่ายขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องใช้ช่างเทคนิคที่ผ่านการฝึกฝนมามาก โดยมีการออกแบบ Adapter ให้เคลื่อนที่ได้และยึดติดได้บนผิวทรงกลม เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการติดตั้ง รายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์แสดงในภาพประกอบที่ 2.3



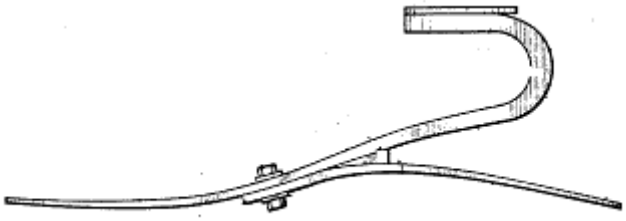
ภาพประกอบที่ 2.3 รายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์ใน US Patent No. 5,755,812 [6]

สิทธิบัตรลำดับที่ US Patent No. 5,888,234 (Shuttle Lock) [7] กล่าวถึงตัวล็อคสำหรับขาเทียมใต้เข่าที่ออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาการยึดและติดตั้งของขาเทียม โดยที่ต้องมีการวางแนวหมุดให้ตรงกันเพื่อการล็อค ในสิ่งประดิษฐ์นี้ตัวล็อคสามารถตั้งและปรับระดับใหม่ได้อย่างง่าย รูปแบบและรายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์นี้แสดงในภาพประกอบที่ 2.4



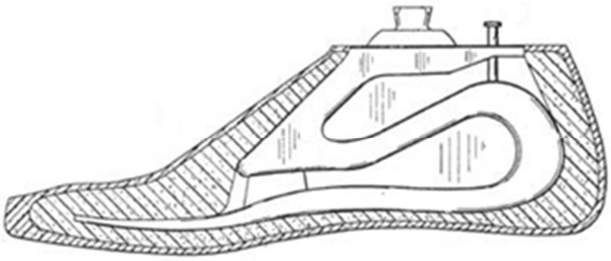
ภาพประกอบที่ 2.4 รายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์ใน US Patent No. 5,888,234 [7]

สิทธิบัตรลำดับที่ US 5,037,444 กล่าวถึงการพัฒนารูปแบบของเท้าเทียมแบบใหม่ที่มีวัสดุผสมแบบแผ่นประกบทำจากเส้นใยชนิดต่างๆ เช่น ใยคาร์บอน ใยแก้วและเส้นใยเคฟล่า เป็นโครงสร้างภายใน ถูกห่อหุ้มด้วยพอลิเมอร์ สามารถปรับระดับของส้นเท้าและฝ่าเท้าได้ตามสภาวะต่างๆได้ รูปแบบและรายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์นี้แสดงในภาพประกอบที่ 2.5



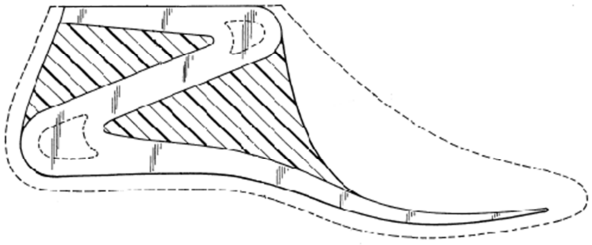
ภาพประกอบที่ 2.5 รายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์ใน US Patent No. 5,037,444 [8]

สิทธิบัตรลำดับที่ US 5,156,632 เป็นการพัฒนาเท้าเทียมรูปแบบเฉพาะทีมีรูปร่างคล้ายตัว “S” เพียงชิ้นเดียวในโครงสร้างภายในซึ่งทำหน้าที่ในการรับและส่งถ่ายแรง ลักษณะของโครงสร้างดังกล่าวถูกอ้างว่าเป็นโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นสูงและมีความสามารถในการเก็บรักษาพลังงานในส่วนหน้าได้ดี ส่วนช่วงกลางทำหน้าที่คล้ายกับสปริง เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นบริเวณส้นเท้า แต่ลักษณะของแกนจะขึ้นรูปยาก เนื่องจากความหนาของแกนในแต่ละส่วนไม่เท่ากัน รูปแบบและรายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์นี้แสดงในภาพประกอบที่ 2.6



ภาพประกอบที่ 2.6 รายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์ใน US Patent No. 5,156,632 [9]

สิทธิบัตรลำดับที่ US 5,062,859 กล่าวถึงแกนเท้าเทียมที่มีรูปร่างคล้ายตัว “Z” มีความยืดหยุ่นสูงและกระจายโหลดได้ดีเนื่องจากมีรูปแบบคล้ายกับการทำงานของสปริง คล้ายกับรูปแบบแกนตัว “S” แต่รูปร่างจะไม่ซับซ้อนเหมือนตัว “S” ภายในสามารถเสริมวัสดุที่มีความยืดหยุ่นประเภทโฟมยางที่มีน้ำหนักเบาได้ รูปแบบและรายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์นี้แสดงในภาพประกอบที่ 2.7



ภาพประกอบที่ 2.7 รายละเอียดของสิ่งประดิษฐ์ใน US Patent No. 5,062,859 [10]

จากสิทธิบัตรที่สืบค้นมาจึงมีการพัฒนาขาเทียมใต้เข่าที่ทำด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรงและมีน้ำหนักเบาเพื่อเพิ่มความสะดวกแก่ผู้มีความบกพร่องทางร่างกายขณะใช้งาน เมื่อพิจารณาข้อมูลสิทธิบัตรจะเห็นว่าส่วนใหญ่เป็นรูปแบบที่เน้นให้มีน้ำหนักเบาเป็นส่วนใหญ่ ทางทีมวิจัยจึงพัฒนาแกนขาเทียมใต้เข่าให้มีน้ำหนักเบาเทียบเคียงกับเท้าเทียมที่นำเข้าจากต่างประเทศได้ และการพัฒนาแกนเท้าเทียมที่ทำด้วยวัสดุคอมโพสิท ที่มีความแข็งแรงและมีความยืดหยุ่นเพื่อเพิ่มความสบายขณะใช้งาน เมื่อพิจารณาข้อมูลสิทธิบัตรจะเห็นว่าแกนส่วนใหญ่จะมีรูปแบบโค้งเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งนักวิจัยเห็นว่าสามารถที่จะพัฒนาแกนเท้าเทียมให้มีน้ำหนักเบาเทียบเคียงกับเท้าเทียมที่นำเข้าจากต่างประเทศได้

2.4 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า

รูปแบบกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนของกายอุปกรณ์เทียมในประเทศไทย [11] มี 3 รูปแบบดังนี้ (1) การขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรกล Machining การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้เป็นกระบวนการตัดเฉือน ได้แก่ การเจาะ การกลึง การกัด การเจียระไน โดยมีการขึ้นรูปทั้งจากโลหะก้อนและขึ้นรูปชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอื่นมาก่อน เช่น งานหล่อ เป็นต้น (2) การขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อโลหะ (Casting) กระบวนการหล่อโลหะที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนกายอุปกรณ์นี้เป็นกระบวนการหล่อแบบพิเศษ (Special Casting) ซึ่งมีชื่อเฉพาะว่าการหล่อโลหะแบบลอสแวกซ์ (Lost Wax Casting) กระบวนการหล่อโลหะวิธีนี้เป็นการหล่อโลหะที่ใช้ความพิถีพิถันสูง ชิ้นงานที่ผลิตได้จะมีขนาดความถูกต้องสูง ผิวชิ้นงานมีความเรียบสวยงามและข้อสำคัญคือ สามารถหล่อชิ้นงานที่มีความซับซ้อนของรูปทรง ชิ้นงานที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้สามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการใด ๆ อีก (3) การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ทั้งแม่พิมพ์โลหะ (Punch and Die) และแม่พิมพ์พลาสติก (Plastic Mould) ใช้ในการผลิตชิ้นงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงมาก ๆ การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์มีหลายกระบวนการ เช่น การทุบขึ้นรูป (Forging) เป็นต้น

จากกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนของกายอุปกรณ์เทียมข้างต้นพบว่าการขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อโลหะ (Casting) ให้คุณสมบัติด้านความเที่ยงตรงต่ำกว่าการขึ้นรูปแบบการทุบขึ้นรูป (Forging) แต่คุณสมบัติด้านอื่น ๆ นั้นสูงกว่าการขึ้นรูปแบบการทุบขึ้นรูป (Forging) ทางทีม Innovative Metal Technology (IMT) ที่มี รศ.ดร เจษฎา วรรณสินธุ์ เป็นผู้วิจัยจึงได้นำเทคนิคการขึ้นรูปโลหะกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Metal) แบบ Rheocasting มาปรับปรุงคุณสมบัติของการขึ้นรูปแบบการทุบขึ้นรูป ให้มีคุณสมบัติด้านต่าง ๆ อยู่ในระดับที่เท่าเทียมกันหรือมากกว่า เนื่องจากการขึ้นรูปโลหะกึ่งของแข็งช่วยลดเวลาในการแข็งตัวของเนื้อโลหะ และลดแรงที่ใช้ขึ้นรูปจึงทำให้เครื่องจักรที่ใช้มีขนาดเล็กลงได้ จากการลดแรงที่ใช้ขึ้นรูปและลดเวลาทำให้ต้นทุนของการผลิตต่ำลงและยังให้วัสดุที่มีความแข็งแรงเท่ากันหรือมากกว่าวิธีการทุบขึ้นรูปแบบธรรมดา

ขาเทียมใต้เข่าประกอบไปด้วยชิ้นส่วนที่ผลิตจากโลหะ 5 ชิ้นส่วน คือ (1) ฐานรองเบ้า (Socket Adapter) (2) ข้อต่อบนที่ต่อกับฐานรองเบ้ากับแกนหน้าแข้ง (Tube Clamp) (3) แกนหน้าแข้ง (Tube) (4) ข้อต่อล่างที่ต่อกับแกนหน้าแข้งกับที่ยึดเท้าเทียม (Foot Clamp) และ (5) ข้อต่อที่ยึดเท้าเทียม (Foot Adapter) โดยชิ้นส่วนที่ผลิตจากโลหะจะทำการผลิตโดยกระบวนการผลิต

โลหะกึ่งของแข็งโดยกรรมวิธีการปล่อยฟองแก๊ส และเท้าเทียมที่ผลิตจากยางธรรมชาติและวัสดุพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใย

2.4.1 กระบวนการผลิตขึ้นรูปโลหะแบบกึ่งของแข็งโดยกรรมวิธีการปล่อยฟองแก๊ส (Gas Induced Semi Solid, GISS)

โลหะกึ่งของแข็งคือโลหะที่อยู่ในสถานะกึ่งแข็งกึ่งเหลวคล้ายยาสีฟัน โดยที่โลหะส่วนที่แข็งตัวแล้วมีลักษณะโครงสร้างเป็นก้อนกลม (Spheroidal หรือ Globular Grain) โดยโครงสร้างแบบก้อนกลมทำให้สามารถไหลเข้าภายในแม่พิมพ์ได้อย่างราบเรียบเนื่องจากมีความหนืดมากกว่าสถานะของเหลว จากการไหลเข้าแม่พิมพ์อย่างราบเรียบส่งผลให้ชิ้นงานจากการขึ้นรูปเกิดโพรงอากาศน้อย ทำให้มีคุณสมบัติทางกลที่ดีกว่าการขึ้นรูปแบบของเหลว การวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการผลิตโลหะกึ่งของแข็งได้ค้นพบเป็นครั้งแรกในช่วงต้นปี ค.ศ. 1970 โดย Spencer และ Flemings ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งรัฐแมสซาชูเซตส์ (Massachusetts Institute of Technology, MIT) เป็นเวลามากกว่า 40 ปีแล้วที่ได้มีการวิจัย และพัฒนากรรมวิธีการผลิตโลหะกึ่งของแข็งด้วยเทคนิคต่างๆ

กระบวนการของการทุบขึ้นรูปสถานะกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Forging) มาณวิกา (2012) [12] ได้ทำการศึกษาการทุบขึ้นรูปแบบ Rheo-Forging โดยทุบขึ้นรูปเป็นลักษณะแท่งกระบอกตันยาว (rod) ด้วยวิธีการทุบขึ้นรูปอะลูมิเนียมสถานะกึ่งของแข็งของ เกรด 7075 และศึกษาต่อโดยการนำชิ้นงานที่ทุบขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีโลหะกึ่งของแข็งของอะลูมิเนียมผสม เกรด 7075 ไปทำการอบชุบด้วยกระบวนการทางความร้อนในสภาวะ T6 (Heat Treatment, T6) โดยทำ Solution Treated ที่อุณหภูมิ 480 °C เป็นเวลา 17 ชั่วโมง แล้วจึงลดอุณหภูมิของชิ้นงานลงอย่างรวดเร็วด้วยการชุบเย็นในน้ำ หลังจากนั้นจึงทำ Artificially aging ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 34 ชั่วโมงพบว่าให้ค่าความแข็งแรง 438 MPa และความสามารถของวัสดุที่ยืดออกได้โดยไม่เกิดการแตกหักเสียหาย 4% จึงได้นำกระบวนการผลิตนี้มาใช้ในการผลิตชิ้นส่วน แกนหน้าแข้ง (Tube)

การหล่อโลหะด้วยความดันสูงแบบกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Die Casting) โดยการหล่อโลหะได้มีการพัฒนาเทคนิคเทคโนโลยีการหล่อโลหะด้วยความดันสูงแบบกึ่งของแข็ง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ

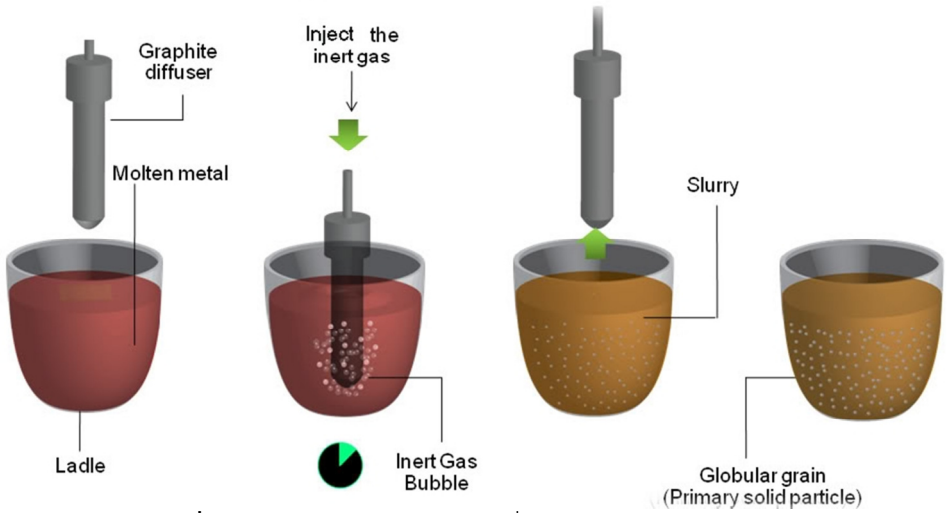
1) กรรมวิธีการหล่อแบบทิกโซแคสติง (Thixocasting) คือการทำให้โลหะหลอมเหลวเกิดการแข็งตัว และชิ้นงานออกมาในรูปก้อน (Billet) หลังจากนั้นจะให้ความร้อนอีกครั้งเพื่อให้ชิ้นงานอยู่ในสภาพกึ่งของแข็ง แล้วทำการขึ้นรูป
2) กรรมวิธีการหล่อแบบรีโอแคสติง (Rheocasting) คือการกวนน้ำโลหะพร้อมทั้งทำให้เย็นตัวลง และทำการขึ้นรูปในขณะที่โลหะเกิดการแข็งตัวบางส่วนและเริ่มเกิดเป็นผลึก

แต่เนื่องจากกรรมวิธีการหล่อแบบทิกโซแคสติง มีต้นทุนในการซื้อเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีราคาสูง วัตถุดิบที่ใช้คือ แท่งวัตถุดิบ (Billet) มีราคาแพงกว่าอินกอต (Ingot) ของโลหะที่ใช้ในการหล่อทั่วไป รวมถึงชิ้นส่วนที่เป็นทางเดินของโลหะและส่วนที่ล้นออกจากแม่พิมพ์หรือของเสียต่างๆ ไม่สามารถนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้ จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้กรรมวิธีแบบทิกโซแคสติงไม่เป็นที่นิยม ทำให้มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตโลหะกึ่งของแข็งและได้เปลี่ยนไปใช้กรรมวิธี

แบบรีโอแคสติง แทน [13-15] กระบวนการที่ใช้ผลิตโลหะแบบกึ่งของแข็งด้วยกรรมวิธีรีโอแคสติง ในปัจจุบันมีอยู่หลายกระบวนการ เช่น

1) The New Rheo Casting process (NRC^{TM}) เป็นกรรมวิธีรีโอแคสติง Rheocasting วิธีแรกที่ประดิษฐ์ขึ้นโดยบริษัท UBE Machinery (UBE Machinery, Inc.) ของประเทศญี่ปุ่น
2) The Sub Liquidus Casting process (SLC^{TM}) เป็นเทคโนโลยีของบริษัท THT Presses ประเทศสหรัฐอเมริกา
3) The Slurry-on-Demand process (SoD) ของบริษัท Mercury Casting ประเทศสหรัฐอเมริกา
4) Semi-Solid Rheocasting (SSR^{TM}) โดยนักวิจัยที่มหาวิทยาลัย Massachusetts Institute of Technology (MIT) ประเทศสหรัฐอเมริกา
5) CSIR rheocasting system (CSIR-RCS) เป็นเทคโนโลยีของ The Council for Scientific and Industrial Research (CSIR) ประเทศอัฟริกาใต้
6) Advanced Rheo-diecasting Technique (ART) ประเทศเกาหลีใต้
7) The Hitachi process ของบริษัท Hitachi ประเทศญี่ปุ่น
8) The Honda process ของบริษัท Honda ประเทศญี่ปุ่น

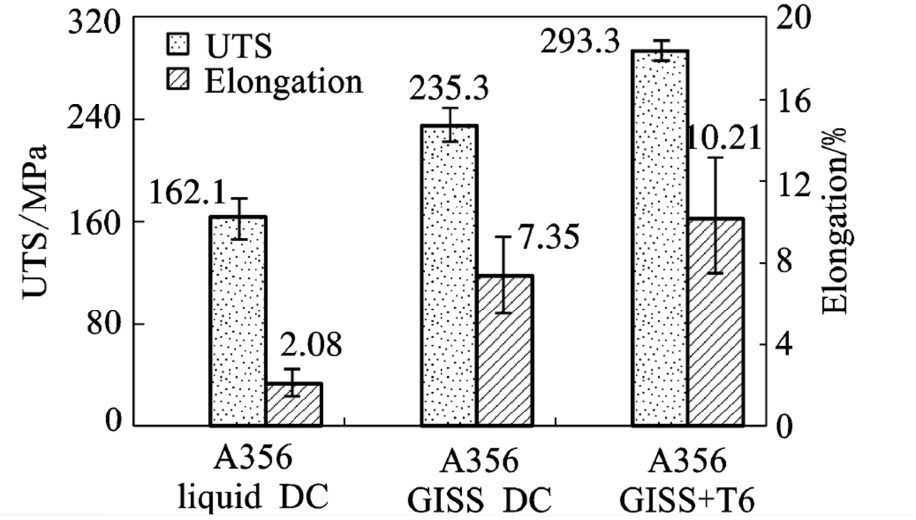
ในประเทศไทยมีหน่วยงานคิดค้นและพัฒนาเทคนิค Semi-Solid Metal สำหรับวงการหล่ออะลูมิเนียมเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมไทยโดย เจษฎา วรรณสินธุ์ และสงบ ธนบำรุงกูล (2006) [16] โดยคิดค้นและพัฒนาเทคนิค Semi-Solid Metal แบบรีโอแคสติง เป็นเทคนิคการปล่อยฟองก๊าซผ่านแท่งกราไฟต์พรุนเพื่อใช้ในการสร้างสเลอร์รี่กึ่งของแข็ง (Semi-Solid slurry) กระบวนการผลิตนี้คือ กระบวนการผลิตโลหะกึ่งของแข็งโดยกรรมวิธีการปล่อยฟองแก๊ส (Gas Induced Semi Solid, GISS) ดังภาพประกอบที่ 2.8



ภาพประกอบที่ 2.8 กรรมวิธีการผลิตโลหะกึ่งของแข็งด้วยกระบวนการ GISS [17]

ทีมวิจัย Innovative Metal Technology (IMT) ได้ทำการทดสอบกับอะลูมิเนียมผสม 3 ชนิด คือ A356, Al - 4.4% Cu และ ADC12 ผลจากการทดสอบพบว่า A356 และ Al - 4.4% Cu สามารถเปลี่ยนสถานะเป็นกึ่งของแข็งได้ถึง 50% ปัจจุบันฝ่ายพัฒนาของ Innovative Metal Technology (IMT) แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิคการหล่อแบบกึ่งของแข็งและความสามารถในการเตรียมอะลูมิเนียมผสมให้เป็นสถานะกึ่งของแข็งได้ 2 กิโลกรัม แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้เทคนิคนี้ในการผลิตชิ้นส่วนในเชิงพาณิชย์ได้ และสงบ ธนบำรุงกูล และคณะ (2008) [18] ได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการศึกษาอิทธิพลของแท่งกราไฟต์เกี่ยวกับอัตราการไหลของแก๊ส การระบายความร้อนของแท่งกราไฟต์ และอุณหภูมิของอะลูมิเนียมในการจุ่มแท่งกราไฟต์ โดยใช้อะลูมิเนียม A356 ในการทดสอบ ผลที่พบว่าได้การปล่อยฟองแก๊สผ่านแท่งกราไฟต์ส่งผลให้กลไกการเกิดโครงสร้างก้อนกลม น่าจะสามารถผลิตอนุภาคที่ละเอียดและมีปริมาณมาก การวิจัยของเทคนิค Gas Induced Semi-Solid (GISS) ยังได้ศึกษาต่อว่าโดย รอมฎอน บูระพา และ เจษฎา วรรณสินธุ์ (2008) [19] พบว่าสามารถใช้ผลิตโลหะกึ่งของแข็งของโลหะผสมต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น Sn-15wt.% Pb Alloy, Zn-4wt.% Al Alloy, อะลูมิเนียมผสม A356, A380 และ A7075 โดยโครงสร้างทางจุลภาคของโลหะผสมที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะที่ไม่เป็นแบบเดนไดรต์ แต่จะมีลักษณะเป็นโครงสร้างแบบก้อนกลมที่มีความสม่ำเสมอตลอดทั้งชิ้นงานและศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโลหะกึ่งของแข็ง ที่ส่งผลให้สามารถผลิตโลหะกึ่งของแข็งได้อย่างมีคุณภาพสม่ำเสมอและสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องหล่อโลหะด้วยความดันสูงแบบกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Die Casting) ได้ และในปัจจุบัน สงบ ธนบำรุงกูล และคณะ (2010) [20] ได้ทำการพัฒนากระบวนการผลิตนี้เข้าสู่ระบบอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ จากการพัฒนาพบว่าอะลูมิเนียมผสม 7075 และ A356 ให้ชิ้นงานที่ดี มีโพรงอากาศน้อยทำให้ชิ้นงานมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการหล่อโลหะแบบของเหลว และศึกษาต่อโดยนำชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยีโลหะกึ่งของแข็งของอะลูมิเนียมผสม A356 ไปทำการอบชุบด้วยกระบวนการทางความร้อนในสภาวะ T6 (Heat Treatment, T6) โดยทำ Solution Treated ที่อุณหภูมิ 540 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วจึงลดอุณหภูมิของชิ้นงานลงอย่างรวดเร็วด้วยการชุบเย็นในน้ำ หลังจากนั้นจึงทำ Artificially Aging ที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ศึกษาค่าความแข็งเปรียบเทียบกันระหว่างการหล่ออะลูมิเนียมแบบของเหลว (A356 liquid die-casting) การหล่ออะลูมิเนียมแบบกึ่งของแข็งโดยกรรมวิธีการปล่อยฟองแก๊ส (A356 GISS die-casting) และการหล่ออะลูมิเนียมแบบกึ่งของแข็งโดยกรรมวิธีการปล่อยฟองแก๊สไปผ่านการอบชุบด้วยกระบวนการทางความร้อนในสภาวะ T6 (A356 GISS die-casting +T6) ผลที่ได้แสดงดังภาพประกอบที่ 2.9 พบว่าการทดสอบค่าความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุทั้งสามชนิด ค่าความแข็งแรงแบบของเหลวได้ค่าที่ต่ำที่สุด คือ 162.1±16.6 MPa การหล่ออะลูมิเนียมแบบกึ่งของแข็งโดยกรรมวิธีการปล่อยฟองแก๊ส คือ 235.3±13.1 MPa และการหล่ออะลูมิเนียมแบบกึ่งของแข็งโดยกรรมวิธีการปล่อยฟองแก๊สไปผ่านการอบชุบด้วยกระบวนการทางความร้อนในสภาวะ T6 คือ 293.3±7.70 MPa และศึกษาความสามารถของวัสดุที่ยืดออกได้โดยไม่เกิดการแตกหักเสียหายทั้งสามชนิด พบว่าค่าที่ได้ A356 GISS die-casting +T6 ให้เท่ากับ (10.21±2.80)% เป็นค่าสูงสุดในสามชนิดนี้ จากการทดสอบนี้ทำให้ทราบว่าการหล่ออะลูมิเนียมแบบกึ่งของแข็งโดยกรรมวิธีการปล่อยฟองแก๊สไปผ่านการอบชุบด้วยกระบวนการทางความร้อนในสภาวะ

T6 จะให้ทำค่าความแข็งแรงและความสามารถของวัสดุที่ยืดออกได้โดยไม่เกิดการแตกหักเสียหายเพิ่มสูงมากขึ้นจากการหล่ออะลูมิเนียมแบบกึ่งของแข็งโดยกรรมวิธีการปล่อยฟองแก๊สเพียงอย่างเดียว ทำให้การนำกระบวนการผลิตนี้มาใช้ผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าควรใช้การหล่ออะลูมิเนียมแบบกึ่งของแข็งโดยกรรมวิธีการปล่อยฟองแก๊สไปผ่านการอบชุบด้วยกระบวนการทางความร้อนในสภาวะ T6



ภาพประกอบที่ 2.9 การหล่ออะลูมิเนียมแบบของเหลว การหล่ออะลูมิเนียมแบบกึ่งของแข็ง และการหล่ออะลูมิเนียมแบบกึ่งของแข็งไปผ่านการอบชุบด้วยกระบวนการทางความร้อนในสภาวะ T6

2.5 ต้นทุน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนที่นำมาใช้ในรายงานวิจัยฉบับนี้ ได้แก่ ทฤษฎีพื้นฐานด้านต้นทุนและแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ (Process-Based Cost Model)

2.5.1 ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์

การจำแนกต้นทุนตามช่วงปฏิบัติการสำหรับธุรกิจ กล่าวคือ แบ่งเป็นช่วงการผลิตและช่วงการขาย หรืออาจกล่าวได้ว่า ต้นทุนรวมประกอบด้วย ต้นทุนการผลิต (Production cost) และค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร (Marketing and administrative expense)

ต้นทุนการผลิต (Production cost) คือ ต้นทุนทั้งหมดที่เกิดในการผลิตสินค้าสำหรับงวดหนึ่ง ซึ่งต้นทุนการผลิตเป็นผลรวมขององค์ประกอบทั้งสามด้าน ได้แก่ วัตถุดิบทางตรง แรงงานทางตรง และโสหุ้ยการผลิต โดยผลรวมของวัตถุดิบทางตรงและแรงงานทางตรงรวมกันได้เป็นต้นทุนขั้นต้น (Prime cost) และผลรวมของแรงงานทางตรงและค่าโสหุ้ยการผลิตรวมกันได้เป็นต้นทุนแปรสภาพ (Conversion cost)

2.5.1.1 วัตถุดิบทางตรง (Direct material) คือ วัตถุดิบที่เป็นส่วนสำคัญในการผลิตโดยตรงของโรงงาน เช่น โรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ ไม้คือวัตถุดิบทางตรงที่ใช้ในการผลิต

โรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป ผ้าคือวัตถุดิบทางตรงที่ใช้ในการผลิต ส่วนพวกด้าย กระดุมและอื่นๆ ถือเป็นวัสดุสิ้นเปลืองซึ่งอยู่ในหมวดค่าโสหุ้ยการผลิต

2.5.1.2 แรงงานทางตรง (Direct labor) คือ ค่าแรงงานที่ใช้ในการเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบทางตรงให้เป็นสินค้าสำเร็จรูปหรือกึ่งสำเร็จรูป ได้แก่ ค่าจ้างหรือเงินเดือนที่จ่ายให้แก่คนงานที่ควบคุมและใช้เครื่องจักร สามารถคำนวณเป็นต้นทุนของแต่ละผลิตภัณฑ์ได้

2.5.1.3 ค่าโสหุ้ยการผลิต (Factory overhead) ประกอบด้วย ต้นทุนการผลิตอื่นๆที่ไม่สามารถคำนวณต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง กล่าวอีกนัยหนึ่งว่าค่าโสหุ้ยการผลิตคือต้นทุนการผลิตอื่นๆที่ไม่ใช้วัตถุดิบทางตรงและแรงงานทางตรง ตัวอย่างได้แก่

1) วัตถุดิบทางอ้อม (Indirect material) คือ วัสดุที่ต้องใช้ในการผลิตสินค้าสำเร็จรูปแต่ไม่สามารถจำแนกเป็นวัตถุดิบทางตรงได้เพราะไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ เช่น กระดาษทราย ดอกสว่าน เป็นต้น หรือเป็นวัสดุที่เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์แต่มีปริมาณการใช้น้อยมากหรือการคำนวณต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มีความซับซ้อนเสียเวลา และไม่มีประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์ เช่น ตะปู สกรู กาว เป็นต้น รวมถึงวัสดุสิ้นเปลืองในโรงงานอื่นๆ เช่น น้ำมันหล่อลื่น จาระบี และอื่นๆ
2) แรงงานทางอ้อม (Indirect labor) คือแรงงานที่ไม่สามารถคำนวณต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง เช่น ค่าแรงผู้ควบคุมงาน ค่าแรงของฝ่ายธุรการในฝ่ายผลิต ค่าแรงคนงานซ่อมบำรุง รวมถึงค่าแรงพนักงานต้อนรับสำหรับงานบริการเป็นต้น
3) ค่าสวัสดิการ (Payroll fringe cost) ต้นทุนแรงงานอีกประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญมากขึ้นเรื่อยๆ คือ สวัสดิการต่างๆ เช่น ค่าประกันสังคม ค่าประกันชีวิตและประกันอุบัติเหตุ ค่าเงินกองทุนบำเหน็จบำนาญ เหล่านี้เป็นต้น บริษัทส่วนใหญ่มักจำแนกต้นทุนนี้เป็นค่าโสหุ้ยการผลิต แต่มีบางบริษัทได้จำแนกต้นทุนนี้เป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนทางตรง
4) ต้นทุนทางอ้อมอื่นๆ เช่น ค่าเช่า ค่าเสื่อมราคา ค่าไฟฟ้า ค่าประปา และอื่นๆ

2.5.2 การวิเคราะห์ต้นทุนโดยการสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ (Process-Based Cost Model, PBCM)

การสร้างแบบจำลองต้นทุนทำให้ทราบถึงการวิเคราะห์ในสิ่งที่มีอิทธิพลต่อต้นทุนของผลิตภัณฑ์ใหม่ในเรื่องของการออกแบบ กระบวนการ และการเลือกใช้เครื่องมือ ซึ่งการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้องตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และให้ผลลัพธ์ต่อผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงขึ้น ในการประเมินค่าทางเลือกที่แตกต่างกันต้นทุนเป็นสิ่งที่จำเป็นในการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปการประเมินค่าต้นทุนมักใช้มาตรฐานของต้นทุนเป็นเกณฑ์ไม่คำนึงถึงความเหมาะสมจึงไม่สามารถยอมรับและนำมาประยุกต์ใช้ได้ [21] เนื่องจาก

1) แบ่งค่าโสหุ้ยเฉพาะกระบวนการที่ซับซ้อน

2) เฉลี่ยต้นทุนที่เกิดขึ้น เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์ที่เป็นกระบวนการเดียวกันและใช้เครื่องมือร่วมกัน
3) ขณะที่กระบวนการมีของเสียเกิดขึ้น จะทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนในผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย จึงทำให้กระบวนการมาตรฐานของต้นทุนอยู่ในระดับที่ไม่สามารถยอมรับได้

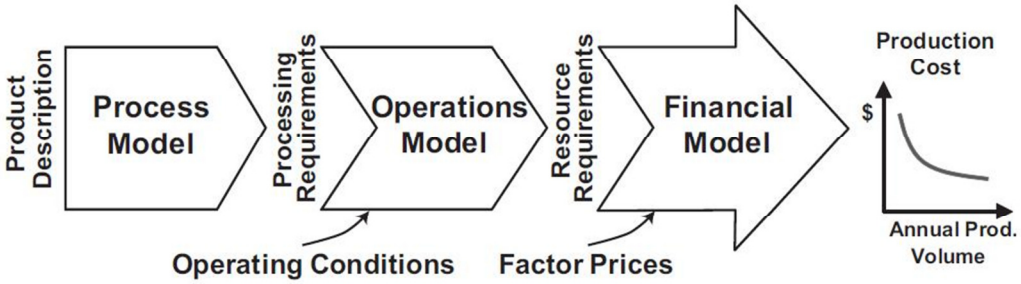
แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำมาสนับสนุนการตัดสินใจ เพื่อประเมินค่าทางเลือกในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน งานวิจัยจำนวนมากมีการดำเนินการตามเป้าหมายโดยการพยายามหาต้นทุนของผลิตภัณฑ์นั้นเพื่อวัตถุประสงค์หลายอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสัมพันธ์ระหว่างผลิตภัณฑ์และลักษณะกระบวนการ ซึ่งต้นทุนมักได้รับการวิเคราะห์แบบการคิดต้นทุนตามฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing, ABC) โดยกล่าวว่าต้นทุนเกิดจากการทำกิจกรรมและกระบวนการ ในขณะที่การคิดต้นทุนตามฐานกิจกรรมได้รับการนำเสนอเพื่อใช้วัตถุประสงค์ในการพยากรณ์โดยยึดถือตามเงื่อนไข เมื่อเงื่อนไขไม่ครบถ้วนส่งผลให้การคิดต้นทุนตามฐานกิจกรรมเกิดข้อผิดพลาดขึ้น สัดส่วนระหว่างกิจกรรมและต้นทุนไม่สามารถจับตัวแปรที่ไม่เป็นอิสระระหว่างผลิตภัณฑ์ได้ สำหรับแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ (Process-Based Cost Model) สร้างจากกระบวนการทำงานย้อนกลับจากต้นทุนเพื่อนำไปสู่เป้าหมายของแบบจำลอง นั่นคือตัวแปรทางกายภาพของข้อมูลป้อนเข้าในแบบจำลองที่สามารถควบคุมได้การออกแบบ ซึ่งแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการเกี่ยวข้องกับ [22]

1) ผลกระทบจากตัวแปรทางกายภาพของต้นทุนที่แน่นอนซึ่งเกิดจากกระบวนการ เช่น รอบเวลาการทำงาน ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ เป็นต้น
2) กระบวนการที่ส่งผลต่อจำนวนความต้องการของทรัพยากร เช่น จำนวนกิโลกรัมของวัสดุ จำนวนชั่วโมงทำงานของคน และจำนวนเครื่องมือเครื่องจักร
3) การเปลี่ยนแปลงความต้องการไปเป็นต้นทุน โดยดูจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางกายภาพและลักษณะกระบวนการ ซึ่งตัดสินใจผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการจะรวมถึงการเตรียมของผสม การทดสอบและกำจัดของเสีย ราคาวัสดุจะขึ้นอยู่กับสภาวะของตลาดและกำลังการผลิต โครงสร้างแบบจำลองตามกระบวนการแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนสำคัญ ได้แก่

1) Process Model ชิ้นส่วนต้องมีความสัมพันธ์กับกระบวนการ เช่น เวลาที่ใช้ในการออกแบบ รอบเวลาในการประกอบ เป็นต้น
2) Operation Model ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการดำเนินงาน เช่น จำนวนวันและชั่วโมงในการทำงาน จำนวนทรัพยากรที่ต้องการ เป็นต้น
3) Financial Model ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขทางการเงิน และต้นทุนทรัพยากรที่ต้องการใช้ทั้งหมดในโครงการ เช่น ต้นทุนทรัพยากร อัตราดอกเบี้ย เป็นต้น

โครงสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 2.10



ภาพประกอบที่ 2.10 โครงสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ [23]

การวิเคราะห์ต้นทุนกระบวนการผลิตในปัจจุบัน ส่วนใหญ่เป็นระบบการวิเคราะห์ต้นทุนตามฐานกิจกรรม และเริ่มพบข้อบกพร่องในบางส่วนของระบบการวิเคราะห์นี้ จึงได้มีการพัฒนาให้วิเคราะห์ได้ครอบคลุมมากขึ้น โดย Matti Sievanen และ Katja Tornberg (2002) [24] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับระบบบัญชีต้นทุนฐานกิจกรรมพบว่าระบบมีข้อบกพร่องคือ ความซับซ้อนและสิ้นเปลืองมาก ข้อมูลของการดำเนินงานกว้างเกินไปทำให้ไม่สามารถหาข้อมูลของการดำเนินงานได้ และระบบบัญชีต้นทุนฐานกิจกรรมที่ทำการวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานการดำเนินงาน เนื่องจากพบข้อบกพร่องหลายอย่างทำให้ได้มีการปรับปรุงระบบการคิดต้นทุนโดยประยุกต์ใช้พื้นฐานจากระบบบัญชีต้นทุนฐานกิจกรรม แต่ได้เน้นที่กระบวนการให้ชัดเจนมากขึ้น ระบบต้นทุนนี้คือระบบบัญชีต้นทุนตามกระบวนการ ซึ่งระบบต้นทุนนี้ง่ายต่อการรองรับของข้อมูลการดำเนินงานและข้อมูลกลยุทธ์ โดยข้อมูลที่ได้รับขึ้นอยู่กับข้อมูลของการผลิต ต่อมา Katja Tornberg, Miikka Jamsen และ Jari Paranko (2002) [25] ได้ศึกษาการใช้วิธีต้นทุนกิจกรรมร่วมกับการวิเคราะห์กระบวนการ เพื่อให้ได้ทราบข้อมูลต้นทุนที่เป็นประโยชน์แก่แผนกออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยศึกษากิจกรรมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตก่อน เพื่อเป็นประโยชน์และง่ายแก่การนำไปทดลองใช้จริง ซึ่งพบว่าเป็นเครื่องมือที่ใช้ร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการคิดต้นทุนนี้ทำให้แผนกออกแบบผลิตภัณฑ์สามารถตั้งราคาผลิตภัณฑ์โดยอ้างอิงจากต้นทุนที่เกิดขึ้นและทำให้ทราบว่ากระบวนการส่วนใดทำให้เกิดต้นทุนมาก ทำให้แผนกออกแบบผลิตภัณฑ์สามารถพัฒนากระบวนการผลิตให้ดียิ่งขึ้นและสามารถอาจต้นทุนที่ไม่จำเป็นออกไปด้วย ทำให้ในการวิเคราะห์ต้นทุนตามกระบวนการจึงเป็นประโยชน์แก่แผนกออกแบบผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก

Carl Bloch และ Ranga Ranganathan (1991) [21] ทำการศึกษาแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ (Process-Based Cost Model) ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อประเมินค่าในรูปแบบที่แตกต่างกันของอุปกรณ์ในการประกอบชิ้นส่วนและพื้นที่ทดสอบ แนวคิดการออกแบบสำหรับการผลิตเป็นการพยายามเพิ่มการวิเคราะห์ต้นทุนทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์และทดสอบมาตรฐานโดยการประเมินทางเลือก ซึ่งจะวิเคราะห์ต้นทุนโดยเข้าถึงบัญชีของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการตามลำดับ และสังเกตสิ่งต่างๆที่มีอิทธิพลต่อต้นทุนทั้งหมดในขั้นตอนที่แตกต่างกันโดยนำผลที่ได้รับจากกระบวนการในแบบจำลองมาประเมินค่าส่วนประกอบที่แตกต่างกันของต้นทุนตามเกณฑ์ จากการวิเคราะห์แบบจำลองพบว่า ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการที่ 1 กับกระบวนการที่ 2 มีความแตกต่างกัน โดยผลิตภัณฑ์กระบวนการที่ 1 ซึ่งไม่มีการซ่อมแซมผลิตภัณฑ์มี

ต้นทุนและอัตราการเกิดของเสียต่ำกว่าผลิตภัณฑ์จากกระบวนการที่ 2 ซึ่งมีการซ่อมแซมผลิตภัณฑ์ ต่อมา Mark Koslowske (2003) [26] ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมกับต้นทุนที่เกิดขึ้น โดยทำการศึกษาขั้นตอนการผลิตเซรามิคหลายชั้นของเซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์ของแข็ง (SOFCs) ในโรงงานต้นแบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้นำเสนอถึงกระบวนการปรับปรุงรูปแบบค่าใช้จ่าย โดยออกแบบแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการเพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตระหว่างกระบวนการผลิต Anode Supported และกระบวนการผลิต Electrolyte Supported จากการวิจัยพบว่า Anode Supported มีราคาต้นทุนต่อหน่วย เท่ากับ 119.83 ดอลลาร์สหรัฐ และ Electrolyte Supported มีราคาต้นทุนต่อหน่วย เท่ากับ 8.97 ดอลลาร์สหรัฐ เมื่อมีขนาดกำลังผลิต 700,000 ชิ้นต่อปี และยังได้มีการศึกษาต่อโดย Erica R. H. Fuchs ทำการศึกษาการเกิดต้นทุนในการผลิตของ Monolithic Integration ขนาด 1,550 nm DFB laser โดยการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่ผลกระทบของต้นทุนรวมของ Monolithic Integration ขนาด 1,550 nm DFB laser กับ modulator electroabsorptive บนแพลตฟอร์ม InP โดยการศึกษานี้ทำให้ทราบถึงกระบวนการที่ทำให้เกิดต้นทุนสูงและเป็นส่วนที่จำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการเพื่อเป็นประโยชน์ในการลดต้นทุนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป และยังได้มีการนำแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ ไปประยุกต์ใช้ในการวิจัยอื่นๆ มากขึ้น โดย Michael D. Johnson และ Randolph E. Kirchain (2009) [22, 27] ประยุกต์ใช้แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการในการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตรวมถึงต้นทุนการผลิต ซึ่งศึกษาผลิตภัณฑ์ประเภทแผงคานรถยนต์ ใช้วัสดุที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ เหล็กและแมกนีเซียม จากการวิจัยพบว่าการประกอบชิ้นส่วนจากการออกแบบวัสดุโดยใช้แมกนีเซียมให้ต้นทุนต่ำกว่าการประกอบชิ้นส่วนจากการออกแบบวัสดุโดยใช้เหล็ก ในทีมวิจัยเดียวกัน Marie-Claude Nadeau, Ashish Kar, Richard Roth และ Randolph Kirchain (2010) [23] ทำการพัฒนาของแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการด้วยการวิเคราะห์ต้นทุนสำหรับปริมาณการผลิตที่คงที่ โดยพัฒนาให้สามารถวิเคราะห์เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตได้ แบบจำลองมีการทดสอบก่อนที่จะทำการผลิตจริง โดยนำทฤษฎีนี้ไปประยุกต์ใช้กับการผลิตแบบ Hydroforming (กระบวนการขึ้นรูปเหล็กแผ่นด้วยน้ำอัดความดันสูง) โดยศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงรอบเวลาในการทำงาน ปรับปรุงช่วงเวลาที่เครื่องไม่สามารถทำงานได้ ปรับปรุงอัตราของเสีย เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนเปรียบเทียบระหว่างกรณีการประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ และ Wire Drawing (การดึงลวด) ผลที่ได้คือต้นทุนรวมจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างต้นทุนและองค์ประกอบหลักของต้นทุนอาจไม่สอดคล้องกับการศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิต การวิเคราะห์นี้สามารถนำมาใช้เพื่อมุ่งเน้นที่กิจกรรมเพื่อกำหนดหาตัวผลักดันต้นทุน สำหรับในประเทศไทยเริ่มมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ โดย Sappinandana Akamphona, Sittha Sukkasib และ Yuttanant Boonyongmaneerat (2011) [28] ได้พัฒนาเทคนิคใหม่ในอุตสาหกรรมการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน โดยเทคนิคนี้ที่สามารถช่วยลดการใช้สังกะสีและเพิ่มการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็ก เมื่อศึกษาคุณสมบัติเทียบกับเทคนิคการเคลือบสังกะสีแบบดั้งเดิมแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ (A process-based cost modeling (PBCM)) ถูกใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิผลของต้นทุนในกระบวนการผลิตและกำหนดตัวผลักดันต้นทุนรวมถึงพื้นที่ผิวของชิ้นส่วน ความหนาที่ใช้ในการเคลือบ และต้นทุนของวัตถุดิบ กระบวนการใหม่ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้ electrodeposition (วิธีการพอกพูนด้วยไฟฟ้า) หรือเทคนิค electroless-

deposition (วิธีการพอกพูนโดยไม่ใช้ไฟฟ้า) พบว่าประหยัดกว่า หากใช้เทคนิค electrodeposition ร่วมกับผิวที่บางของชั้นก่อนทำการเคลือบ กระบวนการ electroless-deposition มีผลให้ราคาสังกะสีและนิกเกิลเพิ่มขึ้น กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีที่ชั้นก่อนเคลือบสามารถทำให้ต้นทุนลดลงได้ คือลดการใช้สังกะสีและการยกเว้นขั้นตอน fluxing ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองตามกระบวนการวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการผลิตสองกระบวนการที่มีความแตกต่างกัน เปรียบเทียบหาต้นทุนที่ประหยัดกว่า เพื่อเป็นตัวเลือกของอุตสาหกรรมการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

เนื่องจากแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการประมาณต้นทุนก่อนทำการผลิตจริงที่มีลักษณะเป็นการเปรียบเทียบกันในเชิงที่เป็นกระบวนการผลิตแบบทางเลือก [22, 28] โดยจะประมาณต้นทุนของกระบวนการผลิตและให้ผลลัพธ์เป็นรายละเอียดส่วนต่างๆของต้นทุน เพื่อแสดงเป็นทางเลือกให้แก่ผู้ผลิตว่าควรตัดสินใจลงทุนในรูปแบบใดเพื่อให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด

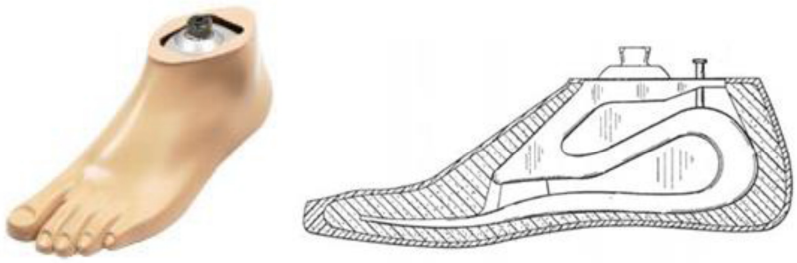
งานวิจัยและสิทธิบัตรที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า กระบวนการขึ้นรูปโลหะกึ่งของแข็ง (Semi-Solid) ในอะลูมิเนียมสามารถผลิตได้และให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าการขึ้นรูปแบบปกติ เหมาะสำหรับการทำชิ้นส่วนขาเทียมที่ต้องการสมบัติเชิงกลที่ดี ในส่วนของเท้าเทียมได้ศึกษางานวิจัยจากการขึ้นรูปของพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใย การขึ้นรูปของยางฟองน้ำ การขึ้นรูปของยางธรรมชาติ และการสร้างแบบจำลองของต้นทุนของการผลิตต่างๆที่แสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์ต้นทุนที่ถูกต้องและเหมาะสมกับกระบวนการผลิตนั้นๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาต้นทุนของกระบวนการการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมโดยเทคโนโลยีการทุบขึ้นรูปโลหะกึ่งของแข็งเพื่อเปรียบเทียบกับชิ้นส่วนขาเทียมที่นำเข้าจากต่างประเทศ

2.6 กระบวนการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติและวัสดุพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใย

เท้าเทียม เป็นแบบ Solid Ankle Cushion Heel (SACH) ใช้สำหรับรองเท้าไม่มีส้น ซึ่งเหมาะกับวิถีชีวิตชาวบ้านที่ใส่รองเท้าแตะ และวัฒนธรรมไทยที่จะต้องถอดรองเท้าเมื่อเดินบนบ้าน ตัวอย่างของเท้าเทียม แสดงดังภาพประกอบที่ 2.11 และได้ดัดแปลงให้เป็นเท้าเทียมแบบ dynamic หรือ energy saving foot เท้าเทียมประกอบไปด้วย

1) แกนใน (keel) โดยการวิจัยของทีมวิจัย ได้พัฒนาแกนใน คือ แกนที่ทำจากพอลิ-เมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใย (Fiber Reinforced Polymer) ที่มีโพลียูรีเทนโฟม (Polyurethane) ช่วยรองรับน้ำหนักและการกระแทก

2) เปลือกหุ้มเป็นรูปเท้าหุ้มรอบ keel ทำจากยางธรรมชาติ เนื่องจากยางธรรมชาติมีคุณสมบัติเด่น คือ มีความเหนียว (toughness) และความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำและอากาศได้



ภาพประกอบที่ 2.11 ตัวอย่างเท้าเทียม (บริษัท Ottobock)

2.6.1 พอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใย (Fiber Reinforced Polymer) [29]

พอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใย (Fiber Reinforced Polymer) จัดเป็นวัสดุวิศวกรรมประเภทหนึ่ง เพราะมีสมบัติเชิงกลที่ดีและยังมีสมบัติเด่นจากพอลิเมอร์ เช่น น้ำหนักเบา ต้านทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีดีเยี่ยม และยังมีความเป็นฉนวนทางความร้อนที่ดี ความแข็งแรงของวัสดุเป็นผลจากการเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดต่างๆ เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยเซลลูโลส เส้นใยสังเคราะห์ เส้นใยคาร์บอน และเส้นใยโบรอน เป็นต้น พอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยหรือพอลิเมอร์คอมโพสิท (Polymer composites) จะมีสมบัติที่ดีกว่าวัสดุดั้งเดิม เช่น โลหะประเภทอื่นๆ เนื่องจากวัสดุคอมโพสิทมีความสูงเมื่อเทียบกับความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะ ซึ่งเรียกว่า ความแข็งแรงจำเพาะ และนอกจากนั้นยังมีค่ามอดูลัสจำเพาะสูงอีกด้วย ดังนั้นวัสดุคอมโพสิทจึงเป็นวัสดุที่เบาแต่มีสมบัติเชิงกลที่ดี การขึ้นรูปทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และสามารถออกแบบให้มีรูปร่างที่เหมาะกับการใช้งาน พอลิเมอร์คอมโพสิท ประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ

1) ส่วนเมทริกซ์ (Matrix) เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่ในการยึดให้ส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกันและจัดเรียงตัวในแนวที่กำหนดพร้อมทั้งทำหน้าที่ ป้องกันความเสียหายของส่วนเสริมแรงเนื่องจากการเสียดสีจากสภาพแวดล้อม ความชื้น อีกทั้งยังช่วยในการส่งถ่ายแรงไปยังส่วนเสริมแรงในชิ้นงาน ในงานวิจัยนี้ได้ใช้อีพ็อกซีเรซิน (Epoxy Resin) เป็นเมทริกซ์ เนื่องจากมีสมบัติทางกายภาพที่หลากหลาย มีสมบัติเชิงกลที่ดี มีความสามารถในการเข้ากันได้กับเส้นใยทุกชนิด สามารถนำไปขึ้นรูปได้หลายกระบวนการ เช่น ขึ้นรูปด้วยมือ (Hand lay-up) การพันรอบแกน (Filament) เป็นต้น ดังนั้นจึงทำให้อีพ็อกซีเรซินได้รับความนิยมในการเลือกใช้มากที่สุด ทั้งนี้โครงสร้างทางเคมีของอีพ็อกซี ชนิดของสารทำให้สุก (Curing agent) ชนิดของสารดัดแปลงโครงสร้าง (Modifying reactants) ที่มีมากมายหลายชนิดเป็นตัวกำหนดสมบัติความเหนียว ความทนทานต่อสารเคมี ตัวทำละลายและสมบัติทางกล ความยืดหยุ่น ความแข็งแรง การต้านทานต่อการไหลคืบ (Creep) และความล้า เป็นต้น นอกจากนี้อีพ็อกซียังเด่นในด้านการยึดเกาะกับเส้นใยได้อย่างดี มีความทนทานต่อความร้อนและสมบัติทางไฟฟ้าอย่างดีเยี่ยม ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ร่วม (by product) และมีการหดตัวที่ต่ำ ข้อเสียที่สำคัญของอีพ็อกซี คือ การดูดความชื้นสูงและเปราะแตกหักได้ง่าย

2) ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) เป็นส่วนที่เป็นโครงสร้างสำคัญของวัสดุคอมโพสิท เพราะจะทำหน้าที่ในการให้ความแข็งแรงแก่วัสดุ ส่วนเสริมแรงจะเป็นส่วนที่รับแรงหลักของวัสดุ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เส้นใยคาร์บอนและเส้นใยแก้วเป็นส่วนเสริมแรง

ก. เส้นใยคาร์บอนและกราไฟต์ (Carbon and graphite fiber)

เส้นใยคาร์บอนเป็นเส้นใยที่นิยมใช้กันอย่างมากในงานที่ต้องการสมบัติสูง (High performance materials) เพราะเส้นใยมีความแข็งแรงและมีค่ามอดูลัสที่สูง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการจัดเรียงตัวโครงสร้างผลึกของอะตอมคาร์บอนในเส้นใย การจัดเรียงตัวของผลึกมีสองลักษณะ คือ กราไฟต์ เป็นผลึกคาร์บอนสีดำ และเพชร เป็นผลึกคาร์บอนสีใส เส้นใยคาร์บอนและกราไฟต์เป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงจำเพาะ (Specific stiffness) สูงที่สุดในกลุ่มเส้นใยทั้งหมด มีความแข็งแรงสูงทั้งในแนวการดึง (Tension) หรือการกด (Compression) ต้านทานการกัดกร่อน สำหรับคอมโพสิทมีให้เลือกหลายชนิดและมีสมบัติทางกายภาพที่หลากหลาย มีสมบัติเชิงกลที่ดี มีความสามารถในการเข้ากันได้กับเส้นใยทุกชนิด สามารถนำไปขึ้นรูปได้หลายกระบวนการ เช่น ขึ้นรูปด้วยมือ (Hand lay-up) การพันรอบแกน (Filament) เป็นต้น ดังนั้นจึงทำให้อีพ็อกซีเรซินได้รับความนิยมในการเลือกใช้มากที่สุด ทั้งนี้โครงสร้างทางเคมีของอีพ็อกซีชนิดของสารทำให้สุก (Curing agent) ชนิดของสารดัดแปลงโครงสร้าง (Modifying reactants) ที่มีมากมายหลายชนิดเป็นตัวกำหนดสมบัติความเหนียว ความทนทานต่อสารเคมี ตัวทำละลายและสมบัติทางกล (ความยืดหยุ่น ความแข็งแรง การต้านทานต่อการไหลคืบ (Creep) และความล้า เป็นต้น) นอกจากนี้อีพ็อกซียังเด่นในด้านการยึดเกาะกับเส้นใยได้อย่างดี มีความทนทานต่อความร้อนและสมบัติทางไฟฟ้าอย่างดีเยี่ยม ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ร่วม (By product) และมีการหดตัวที่ต่ำ ข้อเสียที่สำคัญของอีพ็อกซี คือ การดูดความชื้นสูงและเปราะแตกหักได้ง่าย (Corrosion) การล้า (Fatigue) การคืบ (Creep) ได้ดี โดยทั่วไปเส้นใยที่ผลิตจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-7 ไมครอนและมีสมบัติเด่นในด้านอื่นๆ เช่น ต้านทานสารเคมีดีเยี่ยม การขยายตัวทางความร้อนต่ำมากหรือเท่ากับศูนย์ มีสมบัติทางด้านการเสียดทาน (Friction properties) ที่ดีเยี่ยม นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการนำไฟฟ้าที่สูง และนำความร้อนได้ดีเยี่ยม แต่ข้อเสียคือ จะมีความเปราะ ทนต่อแรงกระแทกได้ต่ำ หรือมีความเหนียวที่ต่ำ ถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายโดยสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอากาศได้

ข. เส้นใยแก้ว (Glass fiber)

เส้นใยแก้วเป็นเส้นใยที่มีราคาถูกและนิยมใช้กันอย่างมากเมื่อเทียบกับบรรดาเส้นใยประเภทต่างๆ นอกจากนั้นยังมีสมบัติเด่น คือ ความแข็งแรงดึงและความทนแรงกระแทกสูง และความต้านทานต่อสารเคมีสูง แต่มีข้อเสียคือ ค่ามอดูลัสต่ำ ไม่ทนต่อการถูกเสียดสี มีความสามารถในการยึดเกาะกับเมทริกซ์ต่ำ เส้นใยแก้วเป็นวัสดุที่มีสมบัติผสมระหว่างแก้วและเส้นใย กล่าวคือ มีความใส แข็ง ต้านทานสารเคมี มีความเฉื่อยเหมือนแก้วและมีความแข็งแรง ยืดหยุ่น น้ำหนักเบา เส้นใยแก้วมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-20 ไมครอน และมีความยาววิกฤต (Critical length) ประมาณ 50-100 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งถือว่าเป็นความยาวที่เหมาะสมต่อการนำเส้นใยไปใช้งาน

โดยการผลิตแกนเท้าเทียมในงานวิจัยนี้เป็นการผลิตแบบคอมโพสิทแบบไฮบริด (Hybrid composite) เป็นคอมโพสิทที่เสริมแรงด้วยเส้นใยมากกว่าหนึ่งชนิด คอมโพสิทแบบไฮบริดของพอลิเมอร์เรซินที่เสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอนมีความแข็งแรง ความแข็งตึงสูง น้ำหนักเบา แต่ราคาแพง ในขณะที่เส้นใยแก้วอาจแข็งแรงไม่เท่าแต่มีราคาถูกกว่า จึงนำมาใช้ผสมกัน และทำให้คอมโพสิทแบบไฮบริดที่ได้มีความแข็งแรง ความแข็งตึง และความต้านทานการกระแทกสูงขึ้น ตัวอย่างการใช้งานวัสดุนี้ เช่น ชิ้นส่วนโครงสร้างของยานพาหนะ (ทั้งทางบก น้ำ

และอากาศ) อุปกรณ์กีฬา และชิ้นส่วนงานทางการแพทย์ที่มีน้ำหนักเบา (Lightweight orthopedic component) เป็นต้น โดยมีการพัฒนาแกนเท้าเทียมมีพัฒนาอย่างสม่ำเสมอ

2.6.2 โพลียูรีเทนโฟม (Polyurethane, PU)

เป็นพลาสติกเหลวชนิดทอร์โมเซ็ตติง (Thermosetting) ผลิตจากปฏิกิริยาของสารไอโซไซยาเนตและโพลีออลชนิดหนืดทำปฏิกิริยากับสารเติมแต่งอื่นๆ ทำให้เกิดก๊าซร้อน แทรกในเนื้อของโพลิเมอร์ วัสดุที่ได้ออกมาจึงมีน้ำหนักเบา ทนทาน และยืดหยุ่น นิยมนำมาใช้ในกลุ่มเครื่องแต่งกาย โพลียูรีเทนได้รับการปรับปรุงและพัฒนาเป็นเส้นใยสแปนเด็ก (Spandex fiber) ที่มีความทนทานและยืดหยุ่นได้ดี ในกลุ่มเครื่องนอนใช้เป็นวัสดุใส่ในหมอน ที่นอน ในกลุ่มรถยนต์ใช้ทำกันชนรถยนต์ ส่วนประกอบภายในรถ เช่น พวงมาลัย แผงคอนโซล และเบาะนั่งรถยนต์ ในกลุ่มของบรรจุภัณฑ์ ใช้ทำโฟมกันกระแทกในกล่องบรรจุภัณฑ์ ในกลุ่มของรองเท้า ใช้ทำแผ่นรองพื้นรองเท้า (Insoles) ใช้ทำอุปกรณ์ทางการแพทย์ การทำเรือ และอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากโพลียูรีเทนโฟมมีน้ำหนักเบา ทนทาน ความคงทนต่อแรงอัดและแรงดึงได้เป็นอย่างดี มีอัตราการดูดซับความชื้นที่ต่ำไม่อมน้ำ และไม่ซึมน้ำ สามารถใช้ได้กับอุณหภูมิหลายระดับ เปลี่ยนรูปได้ยาก และมีความคงตัวสูงจึงเหมาะสำหรับนำมาประยุกต์ใช้กับการผลิตขาเทียมในส่วนที่ห่อหุ้มแกนคอมโพสิทเพื่อตัวช่วยรับแรงในการเดินของเท้าเทียม

2.6.3 เทคโนโลยีการขึ้นรูปยาง (Forming) [30]

การนำยางคอมปาวนด์ที่ได้มาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่างๆตามต้องการก่อนที่จะนำไปคงรูปต่อไปหรือในบางกรณีการขึ้นรูปและการคงรูปอาจจะเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนเดียวกันได้เช่นกรณีที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ (Molding) โดยทั่วไปการขึ้นรูปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 เทคนิคใหญ่ๆ ได้แก่

1) การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ (Molding)
2) การขึ้นรูปด้วยวิธีอัดผ่านดายโดยใช้เครื่องเอ็กซทรูด (Extrusion)
3) การขึ้นรูปด้วยเครื่องคาเลนเดอร์ (Calendering)

สำหรับเทคนิคการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ ลักษณะการขึ้นรูปและคงรูปเกิดได้พร้อมกันในขั้นตอนเดียวกันแต่เทคนิคการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดผ่านดายโดยใช้เครื่องเอ็กซทรูดและการขึ้นรูปด้วยเครื่องคาเลนเดอร์ลักษณะการขึ้นรูปกับการคงรูปจะแยกขั้นตอนกันอย่างชัดเจน

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ (Molding) [31, 32] การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์นั้นเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดทั้งการขึ้นรูป (Forming) และคงรูป (Vulcanizing) ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนเดียวกันโดยอาศัยความร้อนและแรงอัด เริ่มจากการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ก่อนจากนั้นจึงนำยางคอมปาวนด์ไปใส่ลงในเบ้าพิมพ์ เมื่อยางไหลเต็มเบ้าพิมพ์แล้วความร้อนจากแม่พิมพ์จะทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาคงรูปต่อไป แม่พิมพ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 แบบ ได้แก่

1) แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression mold)
2) แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด (Transfer mold)

3) แม่พิมพ์แบบฉีด (Injection mold)

ในกระบวนการทั้ง 3 นี้ แม่พิมพ์แบบกดอัดใช้เครื่องจักรและแม่พิมพ์ที่มีราคาถูกที่สุดแต่ใช้เวลาผลิตต่อชิ้นนานที่สุด ส่วนแม่พิมพ์แบบฉีดจะใช้เครื่องจักรและแม่พิมพ์ที่มีราคาแพงที่สุดแต่ใช้เวลาในการผลิตต่อชิ้นสั้นที่สุดด้วย กรณีของแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด ราคาของเครื่องจักร แม่พิมพ์และเวลาอยู่ในช่วงระหว่างกึ่งกลางแม่พิมพ์แบบกดอัดกับแม่พิมพ์แบบฉีดโดยในงานวิจัยนี้ขึ้นรูปเท้าเทียม โดยกระบวนการใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression mold)

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัดเป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมเมื่อเทียบกับการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอื่น เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและเครื่องจักรที่ใช้มีราคาไม่สูงมากนัก เครื่องจักรที่ใช้ได้แก่เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก (Hydraulic press) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นกดอัด (Platen) จำนวน 2 แผ่น หรือมากกว่า 2 แผ่น ขึ้นกับการออกแบบ แผ่นกดอัดจะเลื่อนขึ้นลงด้วยระบบไฮดรอลิกเพื่ออัดและส่งผ่านแรงดันไปสู่แม่พิมพ์ที่อยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นกดอัด เครื่องจะสามารถตั้งอุณหภูมิและควบคุมความร้อนให้คงที่ระหว่างการผลิต ในส่วนของแม่พิมพ์แบบกดอัดนี้ประกอบด้วยแม่พิมพ์ 2 ส่วน คือ แม่พิมพ์ส่วนบน (Lid) และแม่พิมพ์ส่วนล่าง (Base) โดยแม่พิมพ์ส่วนล่างจะมีช่องเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์เรียกว่าเบ้าพิมพ์ (Cavity) สำหรับใส่ยางคอมปาวนด์ที่จะขึ้นรูป จากนั้นนำแม่พิมพ์ส่วนบนมาปิดทับสลัก (Pin) ที่ติดอยู่กับแม่พิมพ์ส่วนบนจะช่วยล็อคไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวระนาบขณะที่ได้รับแรงกดอัด เมื่อให้แรงดันแก่แม่พิมพ์ยางคอมปาวนด์จะถูกบังคับให้ไหลจนเต็มเบ้าพิมพ์และความร้อนจากแม่พิมพ์จะทำให้ยางเกิดการคงรูป ผลิตภัณฑ์ยางที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ได้แก่ พื้นรองเท้า แผ่นเสริมส้นรองเท้า

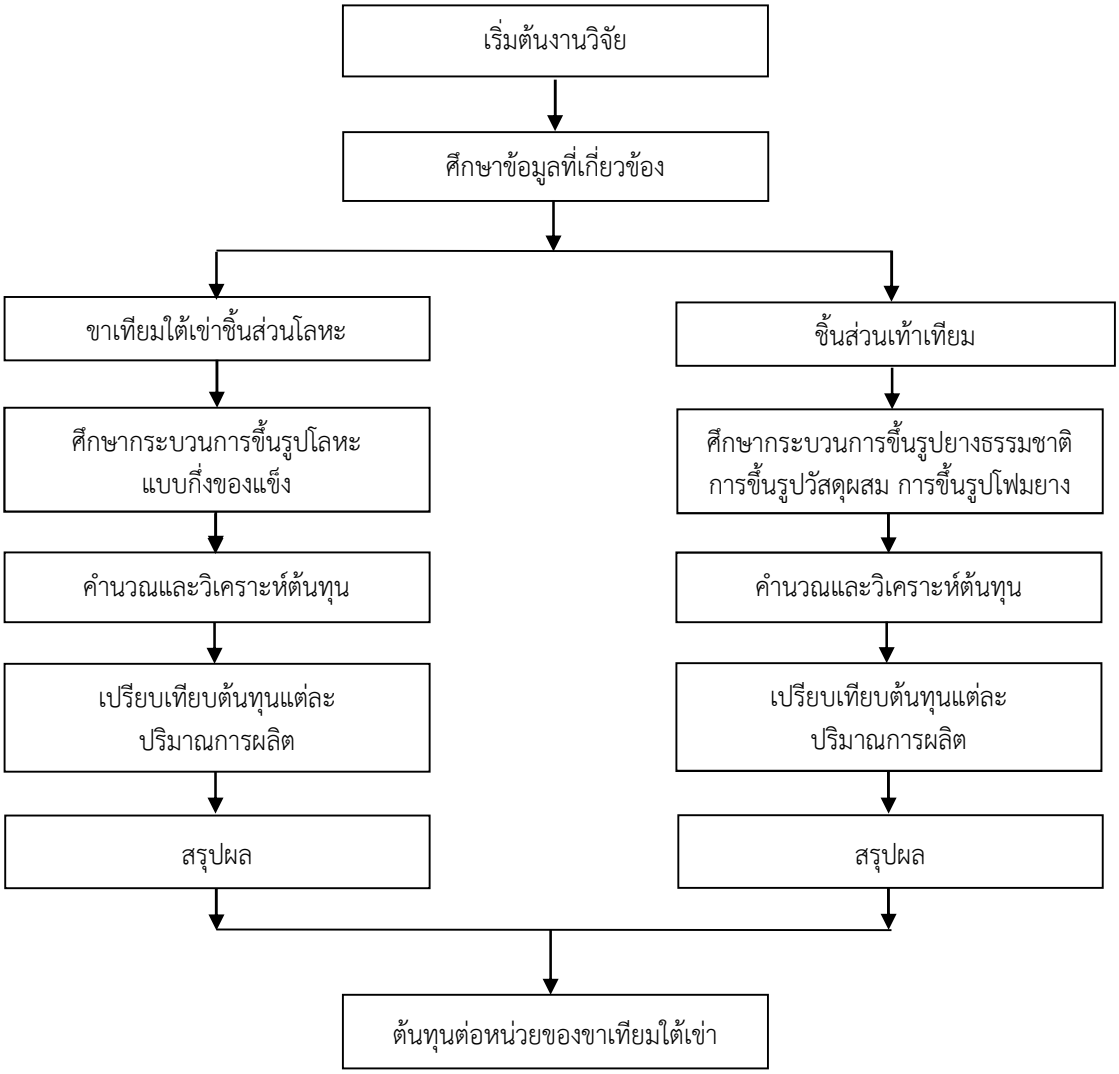
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัยและข้อมูลเบื้องต้น

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัยโดยใช้หลักการแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการกับผลิตภัณฑ์สองประเภท ประเภทที่ 1 ชิ้นส่วนที่ผลิตจากโลหะแบบกึ่งของแข็ง และประเภทที่ 2 ชิ้นส่วนจากยางและวัสดุผสม (Composite Materials) แยกการอธิบายการใช้แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการแต่ละผลิตภัณฑ์แยกเป็น 3 แบบจำลองย่อย คือ แบบจำลองกระบวนการผลิต แบบจำลองการดำเนินงาน และแบบจำลองการคิดต้นทุน ซึ่งรายละเอียดของการดำเนินการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

<u>กิจกรรมที่ 1</u>	การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
วิธีการ	ศึกษาข้อมูล สิ่งตีพิมพ์ สิทธิบัตรและสินค้าในตลาดของขาเทียมใต้เข่าเพิ่มเติม เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบชิ้นส่วนโลหะต่างๆในขาเทียมใต้เข่า
<u>กิจกรรมที่ 2</u>	ศึกษากระบวนการคิดต้นทุนในแต่ละกระบวนการผลิตอย่างละเอียด
วิธีการ	ศึกษาขั้นตอนการผลิต เก็บรวบรวมข้อมูลต้นทุนแบบเดิมและเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นในการคิดต้นทุน วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายว่าส่วนใดเป็นต้นทุนผันแปร ต้นทุนคงที่ เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่าเครื่องมือ ค่าปรับตั้งเครื่องจักร เงินเดือนพนักงานธุรการ ค่าดำเนินการต่างๆ
<u>กิจกรรมที่ 3</u>	วิเคราะห์ต้นทุนและคำนวณต้นทุน
วิธีการ	พิจารณาว่ามีกระบวนการใดเกิดขึ้นบ้าง เพื่อนำมาคิดคำนวณต้นทุนของกระบวนการผลิต โดยคำนวณจากข้อมูลต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้ โดยคำนึงถึงกำลังการผลิต วัตถุดิบ การตรวจสอบคุณภาพ ขนาดของเครื่องจักร รวมถึงจำนวนผู้ควบคุมเครื่องจักรที่ใช้ในสายการผลิต
<u>กิจกรรมที่ 4</u>	คำนวณและเปรียบเทียบต้นทุนแต่ละปริมาณการผลิต
วิธีการ	คำนวณและเปรียบเทียบต้นทุนแต่ละปริมาณการผลิตเพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของต้นทุนว่าเกิดต้นทุนจากองค์ประกอบใดที่ส่งผลให้เกิดต้นทุนมากที่สุดในแต่ละขนาดปริมาณการผลิต
<u>กิจกรรมที่ 5</u>	สรุปผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย
วิธีการ	เมื่อได้ข้อมูลต่างๆแล้ว สรุปผลการวิจัย วิเคราะห์ผล รวบรวมปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะ

โดยแผนผังแสดงวิธีการดำเนินงานวิจัยแสดงดังภาพประกอบที่ 3.1



ภาพประกอบที่ 3.1 แผนผังแสดงวิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการกับแต่ละผลิตภัณฑ์ ในบทนี้ได้แบ่งหัวข้อเป็น 3 หัวข้อใหญ่ คือ 1. การอธิบายโครงสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ (Process-Based Cost Model) 2. การสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการของการผลิตการขึ้นรูปชิ้นส่วนโลหะแบบกึ่งของแข็ง 3. การสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการของการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

3.1 โครงสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ

โครงสร้างของแบบจำลองที่สำคัญประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ แบบจำลองกระบวนการผลิต แบบจำลองการดำเนินงานและแบบจำลองการคิดต้นทุน โดยทั้งสามแบบจำลองจะรับข้อมูลป้อนเข้าแล้วประมวลผลและได้ผลลัพธ์

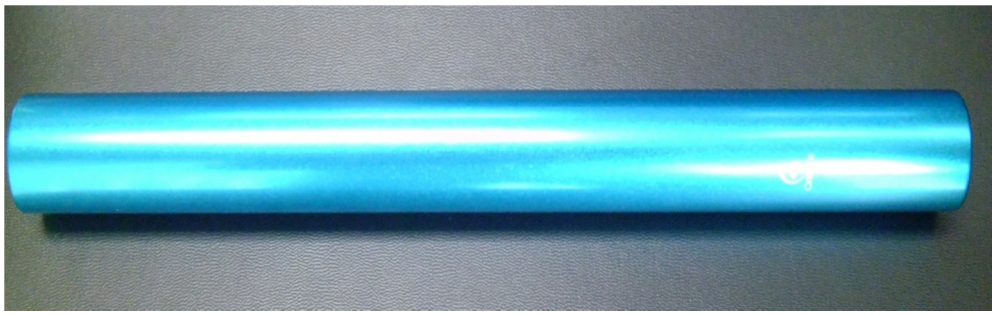
โดยจะลำดับการทำงานเริ่มจากข้อมูลป้อนเข้าในแบบจำลองกระบวนการผลิต คือ จำนวนที่ต้องการผลิตประมวลผลร่วมกับรอบเวลาที่ใช้ในการผลิต กำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องจักรหนึ่งเครื่องในทำงานปกติแปดชั่วโมงและปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ต่อชิ้น ทำให้ได้ผลลัพธ์ คือ รอบเวลาการผลิต ชนิดของวัตถุดิบ และชนิดของพลังงาน จำนวนเครื่องจักร จำนวนวันที่ใช้ จำนวนคนงานที่ใช้ในหนึ่งกะ จำนวนวัตถุดิบทีใช้ต่อชิ้น เป็นต้น และนำผลลัพธ์ของแบบจำลองกระบวนการผลิตมาเป็นข้อมูลป้อนเข้าของแบบจำลองการดำเนินงานโดยประมวลผลร่วมกับจำนวนกะในแต่ละวันหรือสภาวะของการดำเนินการผลิต เมื่อคำนวณร่วมกันแล้วจะได้ ปริมาณวัตถุดิบที่ต้องการ ปริมาณของพลังงานที่ใช้ของเครื่องจักร จำนวนคนงานทั้งหมด หรือความต้องการด้านทรัพยากรที่จำเป็นต่อการผลิตเป็นผลลัพธ์จากแบบจำลองในขั้นตอนนี้ นำผลลัพธ์ไปใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าในแบบจำลองการคิดต้นทุนในการประมวลผลส่วนนี้ จะใช้ปัจจัยทางด้านการเงินมาคิดร่วมกับข้อมูลป้อนเข้า โดยปัจจัยทางด้านการเงิน ประกอบไปด้วย ราคาวัตถุดิบ ราคาพลังงาน ค่าแรงงาน ราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์ ค่าดำเนินการต่างๆ ราคาอาคารและสถานที่ เป็นต้น จะได้ผลลัพธ์ เป็นต้นทุน 7 ประเภท คือ ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนพลังงาน ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนค่าเครื่องจักร และต้นทุนค่าอุปกรณ์ ซึ่งรวมกันแล้วจะได้เป็นต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

3.2 การสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการของการผลิตการขึ้นรูปชิ้นส่วนโลหะแบบกึ่งของแข็ง

3.2.1 การสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตของการผลิตการขึ้นรูปชิ้นส่วนโลหะแบบกึ่งของแข็ง

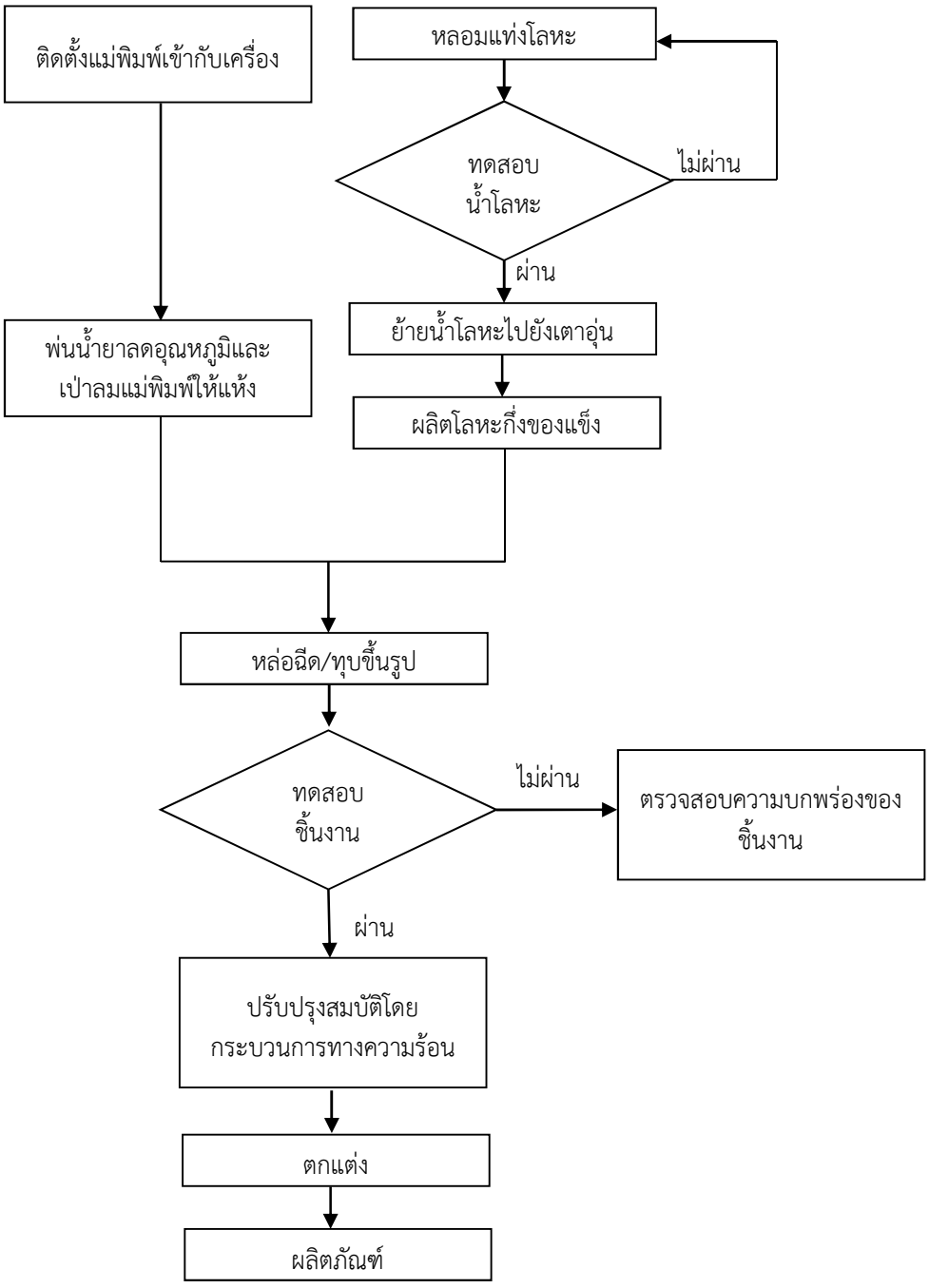
ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตเป็นต้องอธิบายขั้นตอนการผลิตอย่างละเอียด ในงานวิจัยนี้การขึ้นรูปชิ้นส่วนโลหะแบบกึ่งของแข็งสำหรับขาเทียมอะลูมิเนียมน้ำหนักเบาแบ่งประเภทการขึ้นรูปเป็น 2 รูปแบบ คือกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด คือ ชิ้นส่วนฐานรองรับเบ้า (Socket Adapter) ชิ้นส่วนจับยึดระหว่างเบ้ากับแกนหน้าแข้ง (Tube Clamp) ชิ้นส่วนจับยึดระหว่างแกนหน้าแข้งกับข้อเท้าเทียม (Foot Clamp) และข้อเท้าเทียม (Foot Adapter) ดังภาพประกอบที่ 3.2 และกระบวนการทุบขึ้นรูปโลหะแบบกึ่งของแข็งใช้สำหรับ 1 ผลิตภัณฑ์ คือ ชิ้นส่วนแกนหน้าแข้ง (Tube) ดังภาพประกอบที่ 3.3 เนื่องจากแกนหน้าแข้งเป็นชิ้นส่วนที่ต้องการผลิตในลักษณะเป็นท่อยาว แข็งแรงทนทานและมีน้ำหนักเบาไม่สามารถขึ้นรูปด้วยการหล่อฉีดโลหะที่มีข้อเสีย ชิ้นงานบิด โค้ง (Warped Casting) ได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับชิ้นงานที่มีขนาดยาว

ภาพประกอบที่ 3.2 ผลิตภัณฑ์ขาเทียมอะลูมิเนียมน้ำหนักเบาจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง (ก) ชิ้นส่วนฐานรองรับเข่า (Socket Adapter) (ข) ชิ้นส่วนจับยึดระหว่างเข่ากับท่อขาเทียม (Tube Clamp) (ค) ชิ้นส่วนจับยึดระหว่างท่อขาเทียมกับข้อเท้าเทียม (Foot Clamp) และ (ง) ข้อเท้าเทียม (Foot Adapter)



ภาพประกอบที่ 3.3 ผลิตภัณฑ์ขาเทียมอะลูมิเนียมน้ำหนักเบาจากกระบวนการทุบขึ้นรูปโลหะแบบกึ่งของแข็ง ชิ้นส่วนท่อขาเทียมใต้เข่า (Tube)

กระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง คือ การนำโลหะมาหลอมเหลวและทำการพ่นฟองแก๊สให้เกิดเป็นโลหะกึ่งของแข็งแล้วฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ตามรูปร่างที่กำหนดไว้ ขั้นตอนการผลิตมีดังนี้ และตามภาพประกอบที่ 3.4



ภาพประกอบที่ 3.4 ขั้นตอนทำงานของกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง

1) หลอมอะลูมิเนียม
2) ทำการติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องจักร
3) น้ำอะลูมิเนียมที่ได้จากการหลอมมาวัดอุณหภูมิและทดสอบสมบัติตามที่กำหนดไว้ หากน้ำอะลูมิเนียมมีปัญหาจะต้องทำการหลอมใหม่
4) ย้ายน้ำอะลูมิเนียมไปยังเตาสำหรับอุ่นน้ำอะลูมิเนียม

5) นำน้ำอะลูมิเนียมมาเข้าเครื่องพ่นฟองแก๊สเพื่อเร่งให้อะลูมิเนียมเกิดสถานะกึ่งของแข็งจะมีลักษณะคล้ายกับครีม
6) พ่นน้ำยาลดอุณหภูมิของแม่พิมพ์และต้องเป่าแม่พิมพ์ให้แห้งก่อนทำการฉีดอะลูมิเนียมกึ่งของแข็งเข้าไป
7) นำอะลูมิเนียมกึ่งของแข็งมาเทในเครื่องหล่อฉีดอะลูมิเนียม เครื่องจะทำการฉีดอะลูมิเนียมกึ่งของแข็งเข้าสู่แม่พิมพ์ หลังจากอะลูมิเนียมแข็งตัวตามเวลาที่กำหนดเปิดแม่พิมพ์แล้วหยิบชิ้นงานออกมา
8) ตรวจสอบชิ้นงานที่ได้ โดยทำการสุ่มชิ้นงานขึ้นมาตรวจสอบมาตรฐานตามที่กำหนดไว้
9) นำชิ้นงานที่ได้การได้จากการขึ้นรูปไปปรับปรุงสมบัติด้วยกระบวนการทางความร้อน
10) นำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบแล้วไปเข้าสู่กระบวนการตกแต่งชิ้นงานด้วยการกลึง กัด เจียระไน และทำตราสัญลักษณ์และเคลือบสีให้ได้ตามแบบที่กำหนดไว้

กระบวนการทุบขึ้นรูปโลหะแบบกึ่งของแข็ง คือ การขึ้นรูปที่โลหะจะถูกบีบหรือทุบจากแม่พิมพ์ที่ให้ได้เป็นรูปร่างตามที่กำหนด โดยส่วนใหญ่การทุบขึ้นรูปจะทำการทุบในสภาวะของแข็ง แต่เนื่องจากได้มีการวิจัยและพัฒนาให้สามารถทุบขึ้นรูปได้ในสภาวะกึ่งของแข็งและสามารถใช้เครื่องจักรที่มีขนาดเล็กกว่าการทุบขึ้นรูปแบบของแข็งอีกด้วย กระบวนการทุบขึ้นรูปมีขั้นตอนการผลิตเหมือนกับกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งมีขั้นตอนที่แตกต่างกัน คือ ขั้นตอนที่ 7 ที่แตกต่างกัน คือ เครื่องจักรที่ใช้ทุบขึ้นรูป

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง เช่น ขนาดผลิตภัณฑ์ น้ำหนักสุทธิ เกรดอะลูมิเนียมที่ใช้ และขนาดเครื่องจักร เป็นต้น แสดงดังตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ขาเทียมตัวอย่าง

รายละเอียด	ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง				
	Socket Adapter	Tube Clamp	Foot Clamp	Foot Adapter	Tube
1. ขนาดผลิตภัณฑ์ กว้าง	56	34.4	34.4	34	30
(มม.) ยาว	56	34.4	34.4	69	30
สูง	35.5	46.5	46.5	27.5	300
2. น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (กรัม)	60	40	40	50	100
3. อัตราของเสีย (%)	5	5	5	5	10
4. ชนิดของเครื่องจักร	เครื่องหล่อฉีดโลหะ	เครื่องหล่อฉีดโลหะ	เครื่องหล่อฉีดโลหะ	เครื่องหล่อฉีดโลหะ	เครื่องทุบขึ้นรูป
5. ขนาดเครื่องจักร (ตัน)	80	80	80	80	200
6. ประเภทวัสดุ	Al A356	Al A356	Al A356	Al A356	Al 7075

ที่มา : บริษัท กิสโค จำกัด

จากการศึกษากระบวนการขึ้นรูปแบบกึ่งของแข็งทำให้ได้ผลลัพธ์จากแบบจำลองกระบวนการผลิต คือ รอบเวลาการผลิต ชนิดของแรงงาน ชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของพลังงาน จำนวนเครื่องจักร จำนวนคนงานที่ใช้ในหนึ่งกะ และจำนวนวัตถุดิบที่ใช้ต่อชิ้น

3.2.2 การสร้างแบบจำลองการดำเนินงานของกระบวนการผลิตขาเทียม

ในการสร้างแบบจำลองการดำเนินงาน ต้องกำหนดให้จำนวนกะและเวลาดำเนินงานเพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการเลือกรูปแบบการดำเนินงานผลิต โดยกำหนดให้มีทำงานวันละ 3 รูปแบบ คือ 1 กะ 2 กะ และ 3 กะ และจำนวนวันทำงานได้สูงสุดต่อปีคือ 300 วัน ในการดำเนินงานโดยใช้แรงงานคนนั้นจะต้องมีเวลาที่หยุดทำงานตามสิทธิตามกฎหมายแรงงานและเวลาสำหรับการปรับแต่งเครื่องจักรและแม่พิมพ์ก่อนทำการผลิต ข้อมูลจากบริษัท กิสโค จำกัด ใช้คำนวณหาเวลามาตรฐาน ส่วนเวลาที่หยุดทำงานที่เกิดขึ้นใช้คำนวณระยะเวลาที่ใช้ทำงานจริงต่อวัน ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เวลาที่หยุดทำงานที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ระยะเวลา
1. เวลาที่หยุดทำงาน (นาที/กะ)	160
เวลาประชุมภายในแผนก	15
เวลาทำความสะอาด	15
เวลาพัก	60
เวลาปรับแต่งเครื่องจักร	30
เวลาปรับแต่งแม่พิมพ์	20
เวลาบำรุงรักษาเครื่องจักร	20

โดยการดำเนินงานนั้น จะต้องทำศึกษาเครื่องจักรให้ละเอียดเนื่องจากเครื่องจักรแต่ละขนาดมีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกันในแต่ละเครื่อง โดยแสดงดังตาราง 3.3

ตารางที่ 3.3 ลักษณะจำเพาะของเครื่องจักรของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ลักษณะจำเพาะของเครื่องจักร	
	เครื่องหล่อฉีดโลหะ	เครื่องทุบขึ้นรูป
1. ปริมาณการใช้แก๊สไนโตรเจน เครื่อง GISS (ลิตร/นาที)	4	4
2. ปริมาณการใช้น้ำมันไฮดรอลิก (ลิตร/วัน)	1.33	1.33
3. จำนวนแรงงาน (คน/เครื่องจักร)	1	3
4. ขนาดเตาอุ่นน้ำโลหะ (กิโลกรัม)	800	800

สำหรับขั้นตอนในการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดเพื่อแสดงความต้องการใช้ทรัพยากรของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการดำเนินงาน คือ ปริมาณวัตถุดิบที่

ต้องการ ปริมาณของพลังงานที่ใช้ของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง จำนวนคนที่งานทั้งหมด หรือความต้องการด้านทรัพยากรที่จำเป็นต่อการผลิต

3.2.3 การสร้างแบบจำลองการคิดต้นทุนของกระบวนการผลิตขาเทียม

ในการสร้างแบบจำลองการดำเนินงานต้องกำหนดสมมติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงิน เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนทางด้านการเงินของธุรกิจเพื่อให้การลงทุนมีศักยภาพ การดำเนินธุรกิจมีประสิทธิภาพ จึงได้กำหนดสมมติฐานดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สมมติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงินของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด		ข้อสมมติที่ใช้วิเคราะห์	ที่มา
1. ระยะเวลาก่อสร้างและติดตั้งเครื่องจักร		1 ปีแรกของการลงทุน	บริษัท นีโอ ซีวิล 2004 จำกัด
2. มูลค่าที่ดิน		ตามมูลค่าปัจจุบัน	
3. อายุโครงการ		10 ปี	
4. ระยะเวลาเปิดดำเนินกิจการของโรงงาน		10 ปี	บริษัท กิสโค จำกัด
5. อายุการใช้งาน	สิ่งก่อสร้างและเครื่องจักร	10 ปี	หนังสือราชการกระทรวงการคลัง ที่ กค 0528.2/ว 33545 ลงวันที่ 16 พ.ย. 2544
	ครุภัณฑ์และอุปกรณ์	10 ปี	
	ยานพาหนะ	10 ปี	
6. มูลค่าซาก (ของราคาต้นทุน)	สิ่งก่อสร้าง	50%	บริษัท นีโอ ซีวิล 2004 จำกัด บริษัท ไออาร์ดี เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
	เครื่องจักร	40%	
	ครุภัณฑ์และอุปกรณ์	เท่ากับศูนย์	
	ยานพาหนะ	35%	http://www.truck.in.th

3.2.3.1 เงินลงทุนของกระบวนการผลิตขาเทียม

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้การคิดต้นทุนเป็นรูปแบบการจัดตั้งโรงงานใหม่ การประเมินเงินลงทุนโครงการ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร และเงินทุนหมุนเวียน ประเมินโดยฝ่ายประเมินราคา บริษัท นีโอ ซีวิล 2004 จำกัด และทำการประเมินค่าเสื่อมราคาสะสมโดยวิธีเส้นตรง สำหรับสิ่งก่อสร้าง เครื่องจักร และอุปกรณ์ใดๆ ที่หมดอายุการใช้งานประเมินมูลค่าซาก โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงตามสมมติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงินดังกล่าวข้างต้น

3.2.3.2 ข้อมูลของปัจจัยทางการเงินของกระบวนการผลิตขาเทียม

ในการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยนั้น จะต้องนำปัจจัยทางด้านการเงินเข้ามาคิดรวมกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการดำเนินงานและเมื่อทราบปริมาณความต้องการใช้ทรัพยากรจากแบบจำลองดำเนินงานแล้ว จึงได้มีการกำหนดราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต โดยเป็นการสอบถามข้อมูลจากบริษัทหรือร้านค้าที่จำหน่ายวัตถุดิบชนิดนั้นๆ ที่จัดหาให้กับกลุ่มงานวิจัยที่ใช้ทดลองการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการ จึงได้สอบถามราคาวัตถุดิบสำหรับวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วย ดังตาราง 3.5

ตารางที่ 3.5 ราคาวัตถุดิบกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	จำนวนเงิน	หน่วย	ที่มา
1. ราคาอะลูมิเนียม เกรด A356	92	บาท/กก.	บริษัท พี เค เอ็ม เมทัลเวิร์ค จำกัด
เกรด A7075	350	บาท/กก.	
2. ราคาฟลักซ์	39	บาท/กก.	บริษัท เอส.พี.ไดคาสติง จำกัด
3. ราคาไนโตรเจน	0.4	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	300	บาท/คน/กะ	กระทรวงแรงงาน

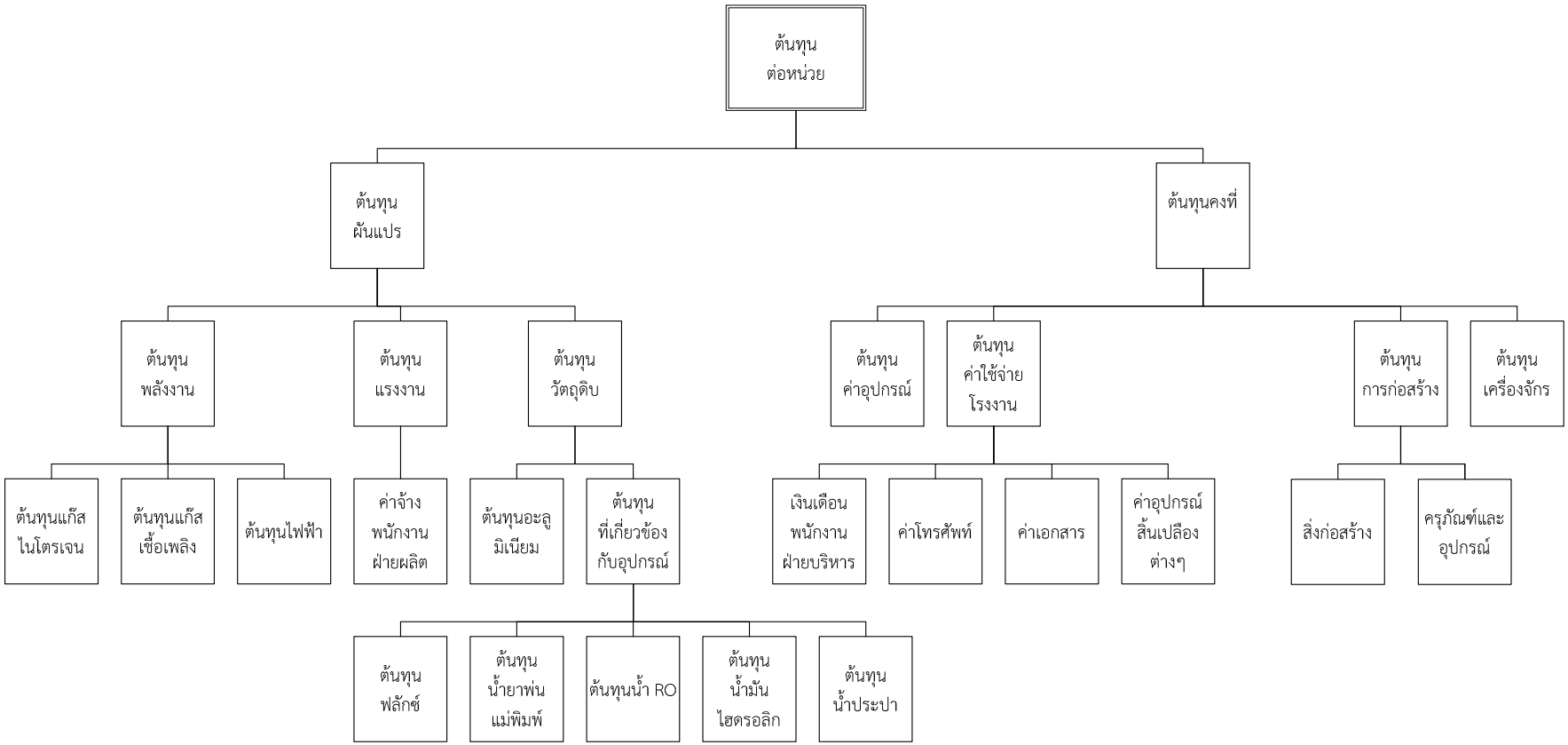
และการคำนวณค่าไฟฟ้า ใช้การคำนวณอัตราค่าไฟฟ้าแบบ Time of Use (TOU) ซึ่งเป็นการกำหนดจากสำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งมีอัตราค่าไฟฟ้าที่กำหนดให้ราคาแตกต่างกันตามช่วงเวลา ดังตาราง 3.6

ตารางที่ 3.6 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 7 ประเภท ได้แก่ ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนพลังงาน ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนค่าเครื่องจักร และต้นทุนค่าอุปกรณ์ โดยสามารถจัดประเภทของต้นทุน 7 ประเภท ข้างต้น ออกเป็น 2 ชนิด คือ ต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร โดยต้นทุนคงที่ประกอบด้วย ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนค่าเครื่องจักร และต้นทุนค่าอุปกรณ์ ในส่วนของต้นทุนผันแปรประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน และต้นทุนพลังงาน ภาพรวมของการคิดต้นทุนต่อหน่วยแสดงดังภาพประกอบ 3.5 โดยในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายไปที่ต้นทุนต่อหน่วยที่ได้จากปริมาณการผลิตและจำนวนกะที่แตกต่างกันเพื่อมาใช้เป็นตัวเลือกตัดสินใจเลือกกระบวนการผลิตที่เหมาะสมแก่การลงทุน



ภาพประกอบที่ 3.5 ภาพรวมการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วย

3.3 การสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการของการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

เท้าเทียมเป็นส่วนประกอบของขาเทียมใต้เข่าที่ใช้ในการรองรับต่อจากขาเทียม ส่วนประกอบของเท้าเทียมจากยางธรรมชาติประกอบไปด้วย 3 ส่วน

1. แกนภายในที่ผลิตจากวัสดุคอมโพสิตประเภท ผืนทอใยแก้ว (Woven Glass Fiber) และผืนทอคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber T300) โดยใช้วิธีการขึ้นรูปแบบมือทา (Hand Lay-Up) มีลักษณะดังภาพประกอบที่ 3.6 (ก)
2. เนื้อเท้าเทียมใช้โฟมสำหรับห่อหุ้มแกนภายในผลิตจากโพลียูรีเทนโฟมชนิดแข็ง มีลักษณะดังภาพประกอบที่ 3.6 (ข)
3. ผิวเท้าเทียมผลิตจากยางคอมปาวนด์ ที่มีส่วนผสมจากยางธรรมชาติชนิดยางแท่ง STR 5L ผสมกับสารเคมีและขึ้นรูปเท้าเทียมด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) มีลักษณะดังภาพประกอบที่ 3.6 (ค)

ภาพประกอบที่ 3.6 ส่วนประกอบของเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ (ก) แกนภายใน (ข) เนื้อเท้าเทียมใช้โฟมสำหรับหุ้มแกนภายใน (ค) ผิวเท้าเทียมผลิตจากยางคอมปาวนด์ และ (ง) เท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

3.3.1 การสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตของการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

เนื่องจากกระบวนการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติมีหลายกระบวนการ ผู้วิจัยจึงเริ่มอธิบายจากกระบวนการของส่วนประกอบชั้นในสุดออกมายังนอกสุด โดยแสดงขั้นตอนการผลิตดังภาพประกอบที่ 3.7 เริ่มจากกระบวนการผลิตของแกนภายในที่ผลิตด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบการทาด้วยมือ (Hand Lay-Up) มีกระบวนการผลิตดังนี้

1) นำผืนทอเส้นใยแก้วและผืนทอคาร์บอนไฟเบอร์มาตัดตามขนาดที่กำหนด

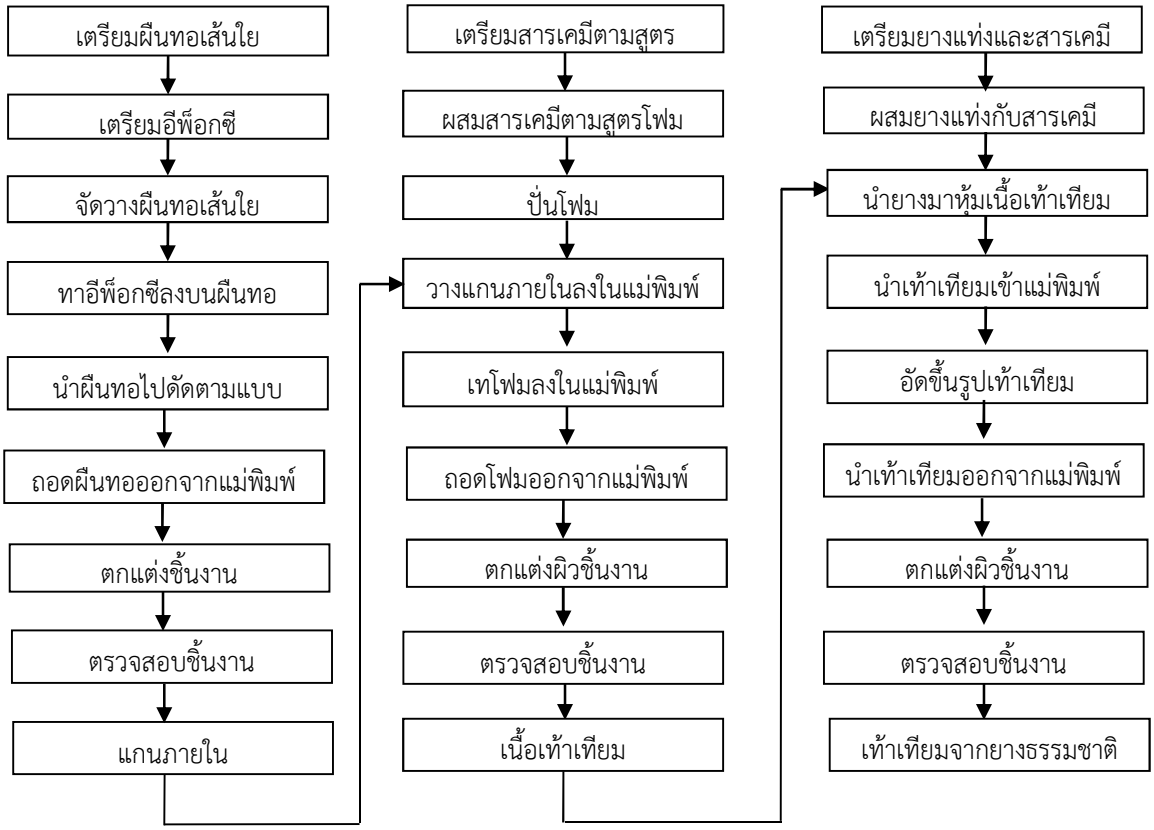
2) ผสมอีพ็อกซีกับสารเคมีเพื่อใช้ทำหน้าที่ยึดเส้นใยแก้วและคาร์บอนไฟเบอร์เข้าด้วยกัน
3) จัดวางผืนทอเส้นใยแก้วและผืนทอคาร์บอนไฟเบอร์เป็นชั้นตามแบบกำหนดบนแผ่นไมร่า
4) ใช้แปรงทาอีพ็อกซีลงบนผืนทอทุกชั้นแล้วรอให้อีพ็อกซีซึมทั่วทั้งผืน
5) นำแผ่นไมร่ามาวางด้านบนของผืนทอแล้วทำการรีดด้วยลูกกลิ้งเพื่อไล่ฟองอากาศออกจากผืนทอแล้วรอให้ผืนทอเริ่มแข็งตัว
6) นำผืนทอที่เริ่มแข็งตัวมาดัดตามรูปร่างที่กำหนดในแม่พิมพ์และปล่อยให้แข็งตัว
7) ถอดผืนทอออกจากแม่พิมพ์และนำไปตัดตกแต่งตามแบบกำหนดจะได้เป็นชิ้นส่วนของแกนภายใน

กระบวนการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติกระบวนการที่สองคือ โฟมสำหรับหุ้มแกนภายในผลิตจากโพลียูรีเทนโฟมชนิดแข็งเนื่องจากตัวโฟมมีความคงตัวสูงสามารถรองรับแรงกระแทกได้ดี การผลิตโพลียูรีเทนโฟมมีกระบวนการผลิตดังนี้

1) ผสมโพลิออล (Polyol) และไอโซไซยาเนต (Isocyanate) เข้าด้วยกัน
2) ทำการปั่นสารเคมีทั้งสองชนิดเพื่อให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กภายในเนื้อโฟม
3) จัดวางแกนภายในของเท้าเทียมลงในแม่พิมพ์ แล้วเทโฟมลงในแม่พิมพ์เพื่อให้หุ้มแกนภายใน
4) นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์แล้วนำไปเจียรตกแต่งผิวเพื่อปรับความเรียบและให้ได้ขนาดที่ต้องการ

กระบวนการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติสุดท้ายก่อนจะเป็นเท้าเทียมคือกระบวนการผลิตผิวเท้าเทียมผลิตจากยางคอมปาวนด์ด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) มีกระบวนการผลิตดังนี้

1) บดยางแท่ง STR 5L ผสมกับสารเคมีตามสูตรที่กำหนด จะได้ยางคอมปาวนด์
2) นำยางคอมปาวนด์ที่บดเสร็จแล้วมาหุ้มรอบแกนภายในที่ผ่านการหุ้มโฟมแล้ว
3) นำชิ้นงานแกนภายในที่หุ้มด้วยยางคอมปาวนด์ใส่ในแม่พิมพ์รูปเท้าเทียมแล้วทำการอัดขึ้นรูปตามเวลาที่กำหนด
4) นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และนำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบแล้วไปเข้าสู่กระบวนการตกแต่งชิ้นงานจะได้เป็นผลิตภัณฑ์



ภาพประกอบที่ 3.7 ขั้นตอนทำงานของกระบวนการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

ทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง เช่น ขนาดผลิตภัณฑ์ น้ำหนักสุทธิ ผืนทอเส้นใยแก้ว ผืนทอคาร์บอนไฟเบอร์ โพลิออล ไอโซไซยาเนต ยางแท่ง สารเคมี และขนาดเครื่องจักร เป็นต้น แสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลผลิตภัณฑ์เท้าเทียมตัวอย่าง

รายละเอียด	ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง		
	แกนภายใน	เนื้อเท้าเทียม	เท้าเทียม
1. น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (กรัม)	520		
2. อัตราของเสีย (%)	5	5	5
3. กระบวนการผลิต	การขึ้นรูปแบบมือทา	การผลิตโพลียูรีเทนโฟม	การอัดขึ้นรูป
4. ชนิดของเครื่องจักร	-	เครื่องปั่นผสม	เครื่องอัดขึ้นรูป
5. ประเภทวัสดุ	เส้นใยแก้วและคาร์บอนไฟเบอร์	โพลียูรีเทน	ยางแท่ง

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกระบวนการผลิต คือ รอบเวลาการผลิต ชนิดของแรงงาน ชนิดของวัตถุดิบ และชนิดของพลังงาน จำนวนเครื่องจักร จำนวนคนงานที่ใช้ในหนึ่งกะ จำนวนวัตถุดิบที่ใช้ต่อชิ้น

3.3.2 การสร้างแบบจำลองการดำเนินงานของการผลิตเท้าเทียม

ในการสร้างแบบจำลองการดำเนินงาน ต้องกำหนดให้จำนวนกะและเวลาดำเนินงานเพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการเลือกจำนวนกะในการผลิตแต่ละปริมาณการผลิตตามที่ต้องการ โดยกำหนดให้มีทำงานวันละ 3 รูปแบบ คือ 1 กะ 8 ชั่วโมง 2 กะ 16 ชั่วโมง 3 กะ 24 ชั่วโมง และจำนวนวันทำงานได้จำนวนสูงสุดต่อปีคือ 300 วัน ในการดำเนินงานโดยใช้แรงงานคนนั้นจะต้องมีเวลาที่หยุดทำงานตามสิทธิตามกฎหมายแรงงานและเวลาปรับแต่งเครื่องจักรและแม่พิมพ์ข้อมูลจากการทดลองทำการผลิต โดยเวลาที่หยุดทำงานที่เกิดขึ้นใช้คำนวณระยะเวลาที่ใช้ทำงานจริงต่อวัน ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 เวลาที่หยุดทำงานที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานการผลิตเท้าเทียม

รายละเอียด	ระยะเวลา
1. เวลาที่หยุดทำงาน (นาที/กะ)	120
เวลาประชุมภายในแผนก	15
เวลาทำความสะอาด	15
เวลาพัก	60
เวลาปรับแต่งเครื่องจักรและแม่พิมพ์	20
เวลาบำรุงรักษาเครื่องจักร	10

โดยการดำเนินงานนั้น จะต้องทำศึกษาเครื่องจักรให้ละเอียดเนื่องจากเครื่องจักรแต่ละขนาดมีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกันในแต่ละเครื่อง โดยแสดงดังตาราง 3.9

ตารางที่ 3.9 ลักษณะจำเพาะของเครื่องจักรการผลิตเท้าเทียม

รายละเอียด	ลักษณะจำเพาะของเครื่องจักร		
	แกนภายใน	เนื้อเท้าเทียม	เท้าเทียม
1. จำนวนแรงงาน (คน)	2	2	2
2. อัตราของเสีย (%)	5	5	5
3. กระบวนการผลิต	การขึ้นรูปแบบมือทา	การผลิตโพลียูรีเทนโฟม	การอัดขึ้นรูป
4. ชนิดของเครื่องจักร	-	เครื่องปั่นผสม	เครื่องอัดขึ้นรูป
5. ประเภทวัสดุ	เส้นใยแก้วและคาร์บอนไฟเบอร์	โพลียูรีเทน	ยางแท่ง

สำหรับขั้นตอนในการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดเพื่อแสดงความต้องการใช้ทรัพยากรของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการดำเนินงาน คือ ปริมาณวัตถุดิบที่ต้องการ ปริมาณของพลังงานที่ใช้ของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง จำนวนคนที่งานทั้งหมด หรือความต้องการด้านทรัพยากรต่างๆที่จำเป็นต่อการผลิต

3.3.3 การสร้างแบบจำลองการคิดต้นทุนของการผลิตเท้าเทียม

ในการสร้างแบบจำลองการดำเนินงานต้องกำหนดสมมติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงิน เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนทางด้านการเงินของธุรกิจเพื่อให้การลงทุนมีศักยภาพ การดำเนินธุรกิจมีประสิทธิภาพ จึงได้กำหนดสมมติฐานดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 สมมติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงินของการผลิตเท้าเทียม

รายละเอียด		ข้อสมมติที่ใช้วิเคราะห์	ที่มา
1. ระยะเวลาก่อสร้างและติดตั้งเครื่องจักร		1 ปีแรก ของการลงทุน	บริษัท นีโอ ซีวิล 2004 จำกัด
2. มูลค่าที่ดิน		ตามมูลค่าปัจจุบัน	
3. อายุโครงการ		10 ปี	
4. ระยะเวลาเปิดดำเนินกิจการของโรงงาน		10 ปี	โรงงานกรณีศึกษา
5. อายุการใช้งาน	สิ่งก่อสร้างและเครื่องจักร ครุภัณฑ์และอุปกรณ์ ยานพาหนะ	10 ปี 10 ปี 10 ปี	หนังสือราชการกระทรวงการคลัง ที่ กค 0528.2/ว 33545 ลงวันที่ 16 พ.ย. 2544
6. มูลค่าซาก (ของราคาต้นทุน)	สิ่งก่อสร้าง เครื่องจักร ครุภัณฑ์และอุปกรณ์ ยานพาหนะ	50% 40% เท่ากับศูนย์ 35%	บริษัท นีโอ ซีวิล 2004 จำกัด บริษัท ไออาร์ดี เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด http://www.truck.in.th

3.3.3.1 เงินลงทุนของการผลิตเท้าเทียม

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้การคิดต้นทุนเป็นรูปแบบการจัดตั้งโรงงานใหม่ เป็นการก่อตั้งโรงงานใหม่ การประเมินเงินลงทุนโครงการ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร และเงินทุนหมุนเวียน ประเมินโดยฝ่ายประเมินราคา บริษัท นีโอ ซีวิล 2004 จำกัด และทำการประเมินค่าเสื่อมราคาสะสมโดยวิธีเส้นตรง สำหรับสิ่งก่อสร้าง เครื่องจักร และอุปกรณ์ใดๆที่หมดอายุการใช้งานประเมินมูลค่าซาก โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงตามสมมติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงินดังกล่าวข้างต้น

3.3.3.2 ข้อมูลของปัจจัยทางการเงินของการผลิตเท้าเทียม

ในการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยนั้น จะต้องมีปัจจัยทางด้านการเงินเข้ามาคิดร่วมผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการดำเนินงานและเมื่อทราบปริมาณความต้องการใช้ทรัพยากรจากแบบจำลองดำเนินงานแล้ว จึงได้มีการกำหนดราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต โดยเป็นการสอบถามข้อมูลจากบริษัทหรือร้านค้าที่จำหน่ายวัตถุดิบชนิดนั้นๆ ที่จัดหาให้กับกลุ่มงานวิจัยที่ใช้ทดลองการผลิตในระดับห้องปฏิบัติการ จึงได้สอบถามราคาวัตถุดิบสำหรับวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วย ดังตาราง 3.11

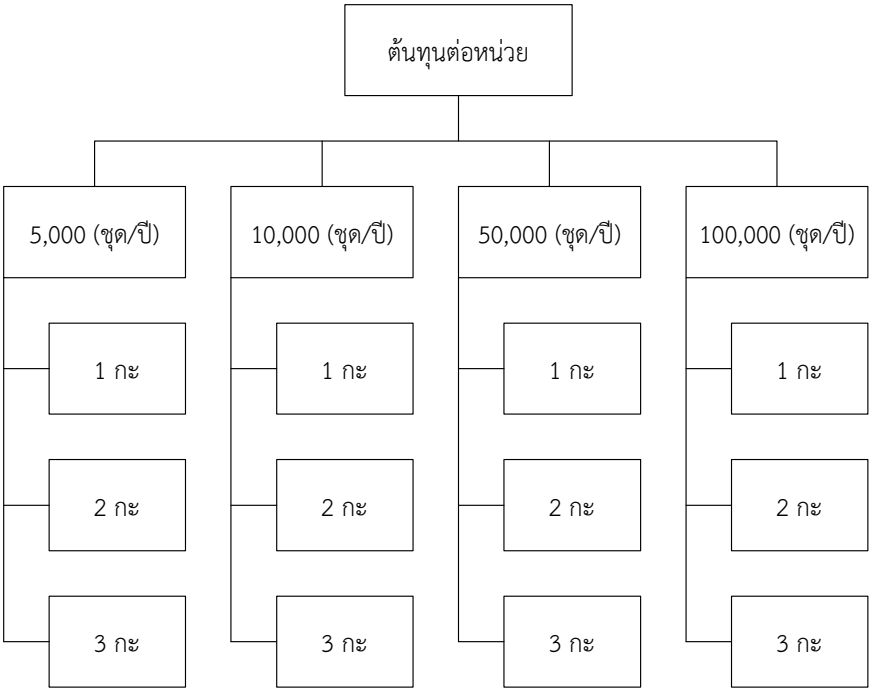
ตารางที่ 3.11 ราคาวัตถุดิบ**ของ**กระบวนการผลิตเท้าเทียม

รายละเอียด	จำนวนเงิน	หน่วย	ที่มา
1. ราคาผืนทอเส้นใย ผืนทอเส้นใยแก้ว	0.0065	บาท/ตร. ซม.	บริษัท พงษ์พนา จำกัด
ผืนทอคาร์บอน	0.32	บาท/ตร. ซม.	
2. ราคาอีพ็อกซี 850	300	บาท/ลิตร.	
3. ราคาฮาร์ทเดนเนอร์ 982	300	บาท/ลิตร	
4. ราคาทินเนอร์ อีพ็อกซี	150	บาท/ลิตร.	
5. ราคาโพลิออล	250	บาท/ลบ.ม.	
6. ราคาไอโซไซยาเนต	250	บาท/ลิตร	
7. ราคายางแท่ง STR 5L	99.13	บาท/กิโลกรัม	บริษัทฉลอง อุตสาหกรรม น้ำยางข้น จำกัด
8. ราคาน้ำมันไฮดรอลิก	44	บาท/ลิตร	ห้างหุ้นส่วนไพบูลย์ เคมี จำกัด
9. ซิงค์ออกไซด์	125	บาท/กิโลกรัม	
10. น้ำมัน	120	บาท/ลิตร	
11. กำมะถัน	85	บาท/กิโลกรัม	
12. เขม่าดำ	120	บาท/กิโลกรัม	
13. กรดสเตียริค	120	บาท/กิโลกรัม	บริษัทพอลิเมอร์อิน โนเวชัน จำกัด
14. วิงสเตย์ แอล	350	บาท/กิโลกรัม	
15. เมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล	120	บาท/กิโลกรัม	
16. อัตราค่าแรงงาน	300	บาท/คน/กะ	

และการคำนวณค่าไฟฟ้า ใช้การคำนวณอัตราค่าไฟฟ้าแบบ Time of Use (TOU) ซึ่งเป็นการกำหนดจากสำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งมีอัตราค่าไฟฟ้าที่กำหนดให้ราคาแตกต่างกันตามช่วงเวลา อ้างอิงตารางที่ 3.6

3.4 การเปรียบเทียบต้นทุนแต่ละปริมาณการผลิตร่วมกับจำนวนกะของขาเทียมโลหะและเท้าเทียม

รูปแบบการเปรียบเทียบต้นทุนแต่ละปริมาณการผลิตร่วมกับจำนวนกะ กำหนดจำนวนกะและปริมาณการผลิตเข้าไปในแบบจำลองการดำเนินงาน เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการเลือกจำนวนกะในการผลิตแต่ละปริมาณการผลิตตามที่ต้องการ โดยกำหนดให้มีทำงานวันละ 3 รูปแบบ คือ 1 กะ 2 กะ 3 กะ ต่อวัน และทำการเปรียบเทียบแต่ละปริมาณการผลิตในปริมาณ 5,000 ชุด 10,000 ชุด 50,000 ชุด 100,000 ชุด ต่อปี สามารถคิดได้เป็น 12 สภาวะ ดังภาพประกอบที่ 3.8 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจทำการผลิตของผู้ประกอบการในการลงทุน ทางผู้วิจัยได้ทำการกำหนดขนาดตั้งแต่ 5,000 ถึง 100,000 ชุด เนื่องจากผู้พิการขาขาดในทุกวันนี้มีเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องวางแผนสำหรับการเพิ่มปริมาณการผลิตในอนาคต



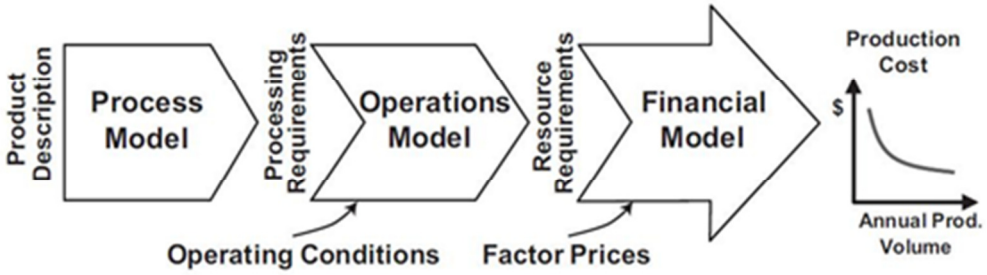
ภาพประกอบที่ 3.8 รูปแบบการเปรียบเทียบต้นทุนแต่ละปริมาณการผลิตร่วมกับจำนวนกะ

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงผลการดำเนินการวิจัย ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิจัย 2 หัวข้อใหญ่ หัวข้อที่ 1 ชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า และหัวข้อที่ 2 เท้าเทียม ผลการดำเนินการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

งานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ (Process-Based Cost Model, PBCM) เป็นกรอบในการดำเนินการวิจัย แต่ละหัวข้อย่อยมีแบบจำลองย่อย 3 ส่วน คือ 1.ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต (Process Model) 2.ผลจากการสร้างแบบจำลองการดำเนินงาน (Operation Model) 3.ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองการคิดต้นทุน (Financial Model) และส่วนสรุปผลของแบบจำลอง คือ ต้นทุนต่อหน่วย



ภาพประกอบที่ 4.1 โครงสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ [23]

4.1 ชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า

ชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าผลิตด้วยกระบวนการขึ้นรูปสองประเภท คือ การหล่อฉีดอะลูมิเนียมกึ่งของแข็งและการทุบขึ้นรูปแบบกึ่งของแข็ง ใช้แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการวิเคราะห์หาต้นทุนต่อหน่วย ผลการดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย 2 หัวข้อย่อย คือ หัวข้อย่อยที่ 1 แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการของขึ้นรูปชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า และหัวข้อย่อยที่ 2 ผลจากการเปรียบเทียบต้นทุนที่มีขนาดการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าที่แตกต่างกัน

4.1.1 แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการของชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า

แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการประกอบไปด้วยแบบจำลองย่อย 3 ส่วน คือ แบบจำลองกระบวนการผลิต แบบจำลองการดำเนินงานและแบบจำลองการคิดต้นทุน โดยทั้งสามแบบจำลองจะรับข้อมูลป้อนเข้าแล้วประมวลผล ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองออกมาเป็นต้นทุนต่อหน่วย

4.1.1.1 แบบจำลองกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง (Process Model)

แบบจำลองกระบวนการ เป็นการศึกษากระบวนการผลิตทำให้ทราบถึงรอบเวลาการผลิต (Cycle time) และชนิดของทรัพยากรที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิต

ก. รอบเวลาการผลิตของการผลิตขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง

รอบเวลาการผลิตของโรงงานศึกษาจากวิธีจับเวลาโดยตรงจากการทำงานจริงของพนักงาน พนักงานทำงานเสมือนจริง ผู้บันทึกเวลาจะบันทึกแต่ละขั้นตอนย่อยที่ต่อเนื่องกันและจับเวลาไปตามวัฏจักรการทำงานสำหรับรอบเวลาผลิตเฉลี่ยจากโรงงานกรณีศึกษาของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้งห้าชนิด โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานขึ้นรูปแบบกึ่งของแข็งจึงมีขั้นตอนการทำงานของเครื่อง GISS เพิ่มเข้ามาในกระบวนการผลิต วิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตโลหะกึ่งของแข็ง จึงได้ทำการประเมินและกำหนดระยะเวลาปล่อยฟองแก๊สของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้งห้าชนิดจากน้ำหนักผลิตภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 4.1 และรอบเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากกระบวนการหล่อฉีดโลหะกึ่งของแข็งและกระบวนทุบขึ้นรูปแบบกึ่งของแข็งจากการจับเวลาจากการผลิตจริงในโรงงานกรณีศึกษา โดยมีการเก็บข้อมูล ชิ้นละ 40 ตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยของรอบเวลาเนื่องจากผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด คือ ชิ้นส่วนฐานรองรับเบ้า (Socket Adapter) ชิ้นส่วนจับยึดระหว่างเบ้ากับแกนหน้าแข้ง (Tube Clamp) ชิ้นส่วนจับยึดระหว่างแกนหน้าแข้งกับข้อเท้าเทียม (Foot Clamp) และข้อเท้าเทียม (Foot Adapter) ใช้วิธีการผลิตเดียวกันและมีขนาดของผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชนิดใกล้เคียงกันทำให้รอบเวลาผลิตของการผลิตเป็นดังค่าเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาปล่อยฟองแก๊สของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง	ระยะเวลาปล่อยฟองแก๊ส (วินาที/shot)
1. Socket Adapter	5
2. Tube Clamp	5
3. Foot Clamp	5
4. Foot Adapter	5
5. Tube	10

ตารางที่ 4.2 รอบเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ขั้นตอนการทำงาน	ผลิตภัณฑ์ (วินาที/shot)	
	Die casting	Forging
1. หยิบปืนสเปรย์/พ่นน้ำสเปรย์	14.02	77.00
2. เป่าลม/แขนกลตักน้ำโลหะ	14.00	14.22
3. กดสวิตซ์/แม่พิมพ์ปิด/เทโลหะกึ่งของแข็ง	14.06	60.31
4. เครื่องจักรทำงานอัตโนมัติ/แม่พิมพ์เปิด	10.92	124.47
5. หยิบชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์	3.00	30.00
ค่าเฉลี่ยรอบเวลาการผลิตต่อหน่วย	**56.00**	**306**

ในการทำงานพนักงานแต่ละคนมีความสามารถในการทำงานแตกต่างกันส่งผลให้เวลาที่ได้จากการคำนวณรอบเวลาการผลิตอาจจะไม่ใช่เวลาที่แท้จริง เนื่องจากพนักงานมีอัตรา

ความเร็วในการทำงานที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์อัตราเร็วในการทำงาน (rating factor) ของอัตราการทำงาน เพื่อใช้ในการประเมินอัตราความเร็วในการทำงาน จากการศึกษาพบว่าวิธีการประเมินอัตราความเร็วในการทำงานมีหลากหลายวิธี ได้แก่ Skill & Effort Rating, Westinghouse system of Rating, Synthetic rating, Objective Rating, Physiological Evaluation of Performance Level, Performance Rating

ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์อัตราความเร็วในการทำงานตามวิธี Westinghouse system of rating โดยอาศัยองค์ประกอบ 4 ตัว ในการพิจารณา คือ ความชำนาญ (Skill) ความพยายาม (Effort) สภาพการทำงาน (Conditions) ความสม่ำเสมอ (Consistency) เหตุผลในการเลือกใช้วิธี Westinghouse system of rating เพราะองค์ประกอบทั้ง 4 ตัวที่ใช้ประเมินการทำงานสามารถประเมินได้ขณะบันทึกเวลาในการหารอบเวลาการผลิต และคะแนนขององค์ประกอบต่างๆ [33] (แสดงดังตารางภาคผนวกที่ ก.1) จากการประเมินคะแนนระดับอัตราความเร็วในการทำงานของพนักงานในตารางที่ 4.3 ข้อมูลจากการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญการขึ้นรูปกึ่งของแข็งของบริษัท กิสโค จำกัด สามารถนำไปใช้ในการคำนวณเวลาปกติ และเวลามาตรฐานการทำงานของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ระดับการทำงานพนักงานที่ประเมินได้ของโรงงานกรณีศึกษา

องค์ประกอบ	ระดับการทำงาน		
1. ความชำนาญ (Skill)	+0.13	A2	Superskill
2. ความพยายาม, ความตั้งใจ (Effort)	+0.10	B1	Excellent
3. เงื่อนไขในการทำงาน (Conditions)	0.00	D	Average
4. ความสม่ำเสมอ (Consistency)	+0.01	C	Good
5. รวมคะแนนระดับการทำงานของพนักงาน	0.13+0.10+0.00+0.01 = **0.24**		

การคำนวณเวลาปกติ สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.1

$$NT = CT \times RF \quad (4.1)$$
$$NT = 56 \times 1.24$$
$$NT = 69.44$$

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

การคำนวณหาเวลาปกติคำนวณจากรอบเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง คือ 56 วินาที (ข้อมูลจากตารางที่ 4.2) และระดับการทำงานของพนักงานเท่ากับ 0.24 (ข้อมูลจากตารางที่ 4.3) ค่าระดับการทำงานของพนักงานมีคะแนนเป็น + แสดงว่าพนักงานทำงานเร็วกว่าปกติถึง 24%

หรือเท่ากับอัตราความเร็ว 1.24 ผลจากการคำนวณ เวลาปกติที่ได้คือ 69.44 วินาที ผลของเวลาปกติของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงในตารางที่ 4.4 ข้อ 3 และนำเวลาปกติที่ได้จะนำไปคิดค่าเวลามาตรฐานต่อไป

เวลามาตรฐาน เป็นการศึกษาเวลาในการทำงานเพื่อวัดปริมาณงานออกมาเป็นหน่วยของเวลา โดยการทำงานต่างๆ ต้องมีการหยุดพักหรือมีความล่าช้าเกิดขึ้น ดังนั้น การหาเวลามาตรฐานในการทำงานจึงต้องมีการเวลาเผื่อ (Allowance)

การคำนวณหาเวลามาตรฐานคำนวณจากเวลาปกติรวมกับเปอร์เซ็นต์เวลาเผื่อ แทนค่าเวลาปกติ คือ 69.44 วินาที โรงงานผู้ผลิตได้กำหนดเปอร์เซ็นต์เวลาเผื่อ 15% ค่าเวลามาตรฐานที่ได้ คือ 79.9 วินาที ผลของเวลามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงในตารางที่ 4.4 ข้อ 5 การคำนวณเวลามาตรฐานสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.2

$$ST = NT + (NT \times \%A) \quad (4.2)$$
$$ST = NT \times [1 + (A) \div 100]$$
$$ST = 69.44 \times [1 + (15) \div 100]$$
$$ST = 79.9$$

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

ตารางที่ 4.4 รอบเวลาปกติและเวลามาตรฐานของกระบวนการผลิตขาเทียม

ขั้นตอนการทำงาน	กระบวนการ	
	Die casting	Forging
1. รอบเวลาการผลิต (วินาที/shot) (ข้อมูลตามตารางที่ 4.2)	56.00	306.00
2. ระดับการทำงานของพนักงาน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.3)	0.24	0.24
3. เวลาปกติ (วินาที/shot) (3) = (1) x [1 + (2)]	69.44	379.44
4. % เวลาเผื่อ (ข้อมูลตามตารางที่ 3.2)	15	15
5. เวลามาตรฐาน (วินาที/shot) (5) = (3) x [1 + (4)/100]	79.9	436.4

ข. ชนิดของทรัพยากรของการผลิตขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตทำให้ทราบชนิดของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ สินทรัพย์ถาวร แรงงาน วัตถุดิบ และพลังงาน แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ชนิดของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตของกระบวนการผลิตขาเทียม

ประเภททรัพยากร	ทรัพยากร
1. สินทรัพย์ถาวร	ที่ดิน อาคารสำนักงาน อาคารโรงงาน ครุภัณฑ์สำนักงาน ยานพาหนะ เครื่องจักร - เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 80 ตัน - เครื่องทุบขึ้นรูป - เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก. - เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก. - เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (GISS)
2. แรงงาน	แรงงาน
3. วัตถุดิบ	แท่งอะลูมิเนียม เกรด A356, A7075 ฟลักซ์ น้ำยาพ่นแม่พิมพ์และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ น้ำมันไฮดรอลิก น้ำประปา วัสดุบำรุงรักษา
4. พลังงาน	ไฟฟ้า แก๊สไนโตรเจน แก๊สเชื้อเพลิง

4.1.1.2 แบบจำลองการดำเนินงานการขึ้นรูปชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง (Operation Model)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ขาเทียมอะลูมิเนียมน้ำหนักเบา จะทำให้ทราบขั้นตอนการผลิต ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้ คือ ความต้องการด้านทรัพยากรทั้งหมดที่ใช้ในการผลิต

ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตประกอบไปด้วยสินทรัพย์ถาวร แรงงาน วัตถุดิบ และพลังงาน จากการเก็บข้อมูลโรงงานกรณีศึกษา ได้ข้อมูลของสินทรัพย์ถาวร โดยแบ่งประเภทการขึ้นรูปเป็น 2 รูปแบบ คือกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง และกระบวนการทุบขึ้นรูปโลหะแบบกึ่งของแข็ง เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต คือ เตาหลอมโลหะและเตาอุ่นน้ำโลหะใช้พื้นที่เตาละ 1 ตร.ม. เครื่องหล่อฉีดโลหะ 10 ตร.ม. เครื่องทุบขึ้นรูปโลหะ 10 ตร.ม. และเครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (GISS) 4 ตร.ม. และพื้นที่ใช้สอยอื่นๆ เช่น พื้นที่สินค้าคงคลัง พื้นที่วางผลิตภัณฑ์เพื่อส่งมอบ เป็นต้น มีพื้นที่ 50 ตร.ม. ดังนั้น อาคารโรงงานใช้พื้นที่ 120 ตร.ม. สำหรับอาคารสำนักงานของกิจการขนาดเล็กตาม

เอกสารการอบรมใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรมด้านความปลอดภัย กำหนดให้มีพื้นที่ขั้นต่ำในการดำเนินกิจกรรมสำนักงาน 50 ตร.ม. และพื้นที่เผื่อสำหรับขยายกิจการในอนาคตโดยมีเครื่องจักรมากที่สุด จำนวน 8 ชุด ประเมินโดยบริษัท นีโอ ซีวิล 2004 จำกัด เท่ากับ 400 ตร.ม.

การกำหนดจำนวนแรงงาน แบ่งเป็น 2 ประเภท โดยแรงงานกำหนดตามลักษณะจำเพาะของเครื่องจักร (อ้างอิงตามตารางที่ 3.3) ส่วนพนักงานระดับบริหารเป็นบุคคลสำหรับติดต่อประสานงานเพื่ออำนวยความสะดวกในการผลิตจึงกำหนดเท่าที่จำเป็น นั่นคือ 7 คน ประกอบด้วย ผู้จัดการโรงงาน 1 คน พนักงานฝ่ายบัญชีและการเงิน 1 คน พนักงานฝ่ายการตลาดและจัดซื้อ 1 คน วิศวกรโรงงาน 2 คน และพนักงานฝ่ายวางแผนและควบคุมการผลิต 2 คน แต่วิศวกรโรงงานและพนักงานฝ่ายวางแผนต่อควบคุมการผลิต จะมีการเปลี่ยนแปลงตามจำนวนกะที่ใช้ในการผลิต เนื่องจากเป็นผู้ควบคุมการดำเนินงานของพนักงาน จึงจำเป็นที่จะต้องมีวิศวกรโรงงาน และพนักงานฝ่ายวางแผนต่อควบคุมการผลิตเพื่อคอยควบคุมและช่วยเหลือ หากเกิดปัญหาระหว่างทำการผลิต ทั้งนี้กำหนดให้ตลอดอายุโครงการมีเครื่องจักรหนึ่งชุด แสดงรายละเอียดของขนาดสินทรัพย์ถาวรและจำนวนแรงงาน

วัตถุดิบหลักที่ใช้ผลิตมี 5 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียม A356 ใช้ในการขึ้นรูปหล่อฉีด โลหะ อะลูมิเนียม 7075 ใช้ในการทุบขึ้นรูป ฟลักซ์ น้ำยาพ่นแม่พิมพ์ และน้ำมันไฮดรอลิก

พลังงานที่ใช้ในการผลิตประกอบไปด้วย แก๊สไนโตรเจนใช้พ่นฟองแก๊สในอะลูมิเนียมหลอมเพื่อให้อะลูมิเนียมกลายเป็นอะลูมิเนียมกึ่งของแข็ง แก๊สเชื้อเพลิงใช้สำหรับการหลอมอะลูมิเนียม และไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ปริมาณการใช้วัตถุดิบและพลังงานขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการดำเนินงานที่กำหนดให้ผลิตแบบ 1 กะ โดยทำงานกะละ 8 ชั่วโมง คิดเป็น 480 นาทีต่อกะเนื่องจากเป็นเวลาการทำงานเวลาปกติและกำหนดเวลาสูญเสียต่อกะ 160 นาทีต่อกะ ทำให้ระยะเวลาดำเนินงานต่อวันเหลือ 320 นาทีต่อกะ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ระยะเวลาดำเนินงานต่อกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ระยะเวลาดำเนินงาน
1. เวลาทำงานต่อกะ	
1.1 จำนวนชั่วโมงต่อกะ (ชม./กะ)	8
1.2 จำนวนนาทีต่อกะ (ชม./กะ) (1.2) = (1.1) × 60]	480
2. เวลาสูญเสียต่อกะ (นาที/กะ) (ข้อมูลตามตารางที่ 3.2 ข้อ 2)	160
3. ระยะเวลาดำเนินงานต่อวัน (นาที/กะ) (3) = [(1.2) — (2)]	320

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของทีมวิจัยอยู่ในช่วงแนะนำสินค้าสู่ตลาด ซึ่งเป็นช่วงแรกของการเข้าสู่ตลาดเพื่อขายผลิตภัณฑ์ ในช่วงของการแนะนำสินค้าสู่ตลาด ผลิตภัณฑ์จะยังไม่เป็นที่รู้จักของลูกค้า ทางทีมวิจัยจึงกำหนดปริมาณการผลิต 5,000 ชุด เพื่อเป็นการแนะนำผลิตภัณฑ์ ใน 1 ชุด ประกอบไปด้วย 5 ชิ้นส่วน คือ ชิ้นส่วนฐานรองรับเข่า (Socket Adapter) ชิ้นส่วนจับยึดระหว่างเข่ากับท่อขาเทียม (Tube Clamp) ชิ้นส่วนจับยึดระหว่างท่อขาเทียมกับข้อเท้าเทียม (Foot Clamp) และข้อเท้าเทียม (Foot Adapter) และชิ้นส่วนท่อขาเทียมใต้เข่า (Tube) จึงต้องทำการวางแผนการ

ผลิตตามปริมาณการผลิตที่กำหนดไว้ โดยผลิตทุกชิ้นส่วน ชิ้นส่วนละ 5,000 ชิ้น ทำให้ต้องผลิตจากการหล่อฉีดโลหะกึ่งของแข็ง 20,000 ชิ้น และผลิตจากการทุบขึ้นรูป 5,000 ชิ้น และคิดร่วมกับอัตราการเกิดของเสียตามของแต่ละชิ้นส่วน โดยสามารถแบ่งประเภทของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตแบ่งเป็น 2 ประเภท คือกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็ง ใช้สำหรับ 4 ผลิตภัณฑ์ คือ ชิ้นส่วนฐานรองรับเข่า (Socket Adapter) ชิ้นส่วนจับยึดระหว่างเข่ากับท่อขาเทียม (Tube Clamp) ชิ้นส่วนจับยึดระหว่างท่อขาเทียมกับข้อเท้าเทียม (Foot Clamp) และข้อเท้าเทียม (Foot Adapter) และกระบวนการทุบขึ้นรูปโลหะแบบกึ่งของแข็ง ใช้สำหรับ 1 ผลิตภัณฑ์ คือ ชิ้นส่วนท่อขาเทียมใต้เข่า (Tube)

ในการคำนวณหาผลลัพธ์ที่ได้จากการผลิต แสดงตัวอย่างการคำนวณจากผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนฐานรองรับเข่า (Socket Adapter) โดยการคำนวณหาจำนวนวันในการผลิต เริ่มคิดจากปริมาณการผลิตที่กำหนดคูณกับอัตราส่วนของเสียในการผลิต ปริมาณการผลิต กำหนด 5,000 ชุด และอัตราส่วนของเสียในการผลิต 5% ผลปริมาณการผลิตสุทธิ ที่ได้ คือ 5,250 ชุด ปริมาณการผลิตสุทธิของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงในแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.7 ข้อ 3

ปริมาณการผลิตสุทธิสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.3

$$V_{net} = V \times rej \qquad (4.3)$$
$$V_{net} = 5{,}000 \times [1 + (5 \div 100)]$$
$$V_{net} = 5{,}250$$

โดยที่ V_{net} แทน ปริมาณการผลิตสุทธิ (ชิ้น)
V แทน ปริมาณการผลิต (ชิ้น)
rej แทน อัตราส่วนของเสียในการผลิต

นำปริมาณการผลิตสุทธิของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนฐานรองรับเข่า (Socket Adapter) คิดรวมกับเวลามาตรฐาน ได้เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด ปริมาณการผลิตสุทธิ คือ 5,250 ชิ้น และเวลามาตรฐาน คือ 79.9 วินาที ผลของเวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด 419,475 วินาที แปลงเป็นนาทีได้ 6,991.25 นาที เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงในแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.7 ข้อ 5

เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.4

$$T_{net} = V_{net} \times ST \qquad (4.4)$$
$$T_{net} = 5{,}250 \times 79.9$$
$$T_{net} = 419{,}475 \quad \text{วินาที}$$
$$T_{net} = 419{,}475 \div 60$$
$$T_{net} = 6{,}991.25 \quad \text{นาที}$$

โดยที่ T_{net} แทน เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด (นาที)
ST แทน เวลามาตรฐาน (วินาที)
V_{net} แทน ปริมาณการผลิตสุทธิ (ชิ้น)

นำเวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดมาหารกับระยะเวลาดำเนินงานแต่ละวัน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.4 ข้อ 3) ทำให้ได้จำนวนวันในการผลิต เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดคือ 6,991.25 นาที และระยะเวลาดำเนินงานแต่ละวัน 320 นาทีต่อวัน ผลของจำนวนวันในการผลิตชิ้นส่วนฐานรองรับเข่า (Socket Adapter) คือ 22 วัน จำนวนวันในการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงในแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.7 ข้อ 7

ผลของจำนวนวันในการผลิตสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.5

$$D = T_{net} \div OPT \quad (4.5)$$
$$D = 6{,}991.25 \div 320$$
$$D = 22$$

โดยที่ D แทน จำนวนวันในการผลิต (วัน) *ค่าที่ได้ให้ปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็ม
T_{net} แทน เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด (นาที)
OPT แทน ระยะเวลาดำเนินงาน

จำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน โดยนำระยะเวลาดำเนินงานในหน่วยนาทีมาคูณ 60 ให้เป็นหน่วยวินาทีแล้วนำมาหารด้วยเวลามาตรฐาน ระยะเวลาดำเนินงานแต่ละวัน 320 นาทีต่อวัน และเวลามาตรฐาน คือ 79.9 วินาที ผลของจำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน คือ 240 ชิ้นต่อวัน จำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงในแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.7 ข้อ 8

จำนวนที่ผลิตได้ต่อวันคำนวณได้จากสมการ 4.6

$$U = (OPT \times 60) \div ST \quad (4.6)$$
$$U = (320 \times 60) \div 79.9$$
$$U = 240$$

โดยที่ U แทน จำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน (ชิ้น) *ค่าที่ได้ให้ปัดลงเป็นจำนวนเต็ม
OPT แทน ระยะเวลาดำเนินงาน
ST แทน เวลามาตรฐาน (วินาที)

จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน คิดจากจำนวนที่ผลิตได้ต่อวันคูณจำนวนวันในการผลิต จำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน 240 ชิ้น จำนวนวันในการผลิตคือ 22 วัน ผลจำนวนที่ทำการผลิตได้

ตามจำนวนวัน คือ 5,280 ชิ้น จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวันของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงในแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.7 ข้อ 9

จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวันคำนวณได้จากสมการ 4.7

$$U_{net} = U \times D \quad (4.7)$$

$$U_{net} = 240 \times 22$$

$$U_{net} = 5,280$$

โดยที่ U_{net} แทน จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ชิ้น)

U แทน จำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน (ชิ้น)

D แทน จำนวนวันในการผลิต (วัน)

การหาจำนวนสายการผลิต จากจำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวันต่อจำนวนที่ผลิตได้ต่อวันทำให้ทราบจำนวนวันในการผลิต คิดจากเงื่อนไขการทำงาน 300 วันต่อปี หากจำนวนวันในการผลิตเกิน 300 วัน จึงต้องเพิ่มสายการผลิต

การหาจำนวนสายการผลิตคำนวณได้จากสมการ 4.8

$$L = (U_{net} \div U) \div 300 \quad (4.8)$$

$$L = (5,280 \div 240) \div 300$$

$$L = 1$$

โดยที่ L แทน จำนวนสายการผลิต *ค่าที่ได้ให้ปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็ม

U_{net} แทน จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ชิ้น)

U แทน จำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน (ชิ้น)

ผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 ชิ้นส่วน จากจำนวนวันที่ใช้ในการผลิตสูงสุดของ 2 กระบวนการ พบว่า กระบวนการทุบขึ้นรูปโลหะแบบกึ่งของแข็งใช้เวลาในการผลิตทั้ง 5,000 ชิ้น 126 วัน ซึ่งสูงกว่าการผลิตแบบหล่อฉีดโลหะที่ผลิตทั้ง 4 ชิ้นส่วนจึงใช้เวลา 88 วัน เมื่อผลิตเต็มเวลาตามจำนวนวันที่กำหนด ทำให้ได้ชิ้นส่วนจากการหล่อฉีด 21,120 ชิ้น และการทุบขึ้นรูป 5,544 ชิ้น ซึ่งมากกว่าปริมาณการผลิตสุทธิ จึงนำชิ้นส่วนที่ผลิตเกินมานำไปทดสอบสมบัติทางกลของผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากปริมาณการผลิตที่กำหนดไว้ทำให้ทราบจำนวนการฉีดทั้งหมด เวลามาตรฐานของกระบวนการ เวลาในการผลิตทั้งหมด และจำนวนวันทั้งหมดที่ใช้ผลิตชิ้นส่วน ดังนั้นข้อมูลจำนวนวันในการผลิต เนื่องจากผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการหล่อฉีดทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์มีรอบเวลาที่เป็นลักษณะเดียวกัน ได้แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 จำนวนวันที่ใช้ผลิตของกระบวนการผลิตขาเทียม

การทำงาน	ปริมาณการผลิตต่อปี		หน่วย
	Die casting	Forging	
1. ปริมาณการผลิต	20,000	5,000	หน่วยต่อ 5,000 ชิ้น
2. อัตราการเกิดของเสีย (ข้อมูลตามตารางที่ 3.1 ข้อ 3)	5%	10%	
3. ต้องทำการผลิตผลิตภัณฑ์ (3) = (1) + {(1) x [(2) ÷ 100]}	21,000	5,500	หน่วยต่อ 5,000 ชิ้น
4. เวลามาตรฐาน (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	79.9	436.4	วินาที/shot
5. เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด (5) = [(3) x (4)] ÷ 60	27,965	40,003.33	นาทีต่อ 5,000 ชิ้น
6. ระยะเวลาดำเนินงาน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.4 ข้อ 3)	320	320	นาที/วัน
7. จำนวนวันในการผลิต (7) = (5) ÷ (6)	88	126	วัน/ lot size
8. จำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน (8) = ((6) x 60) ÷ (4)	240	44	shot/วัน
9. จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (9) = (7) x (8)	21,120	5,544	Shot ต่อ 5,000 ชิ้น
รวม จำนวนวันในการผลิต	88	126	วัน/ปี

เมื่อได้จำนวนวันแล้วจึงทำการคำนวณปริมาณความต้องการวัตถุดิบแต่ละชนิดตามปริมาณการผลิต โดยวัตถุดิบ ได้แก่ อะลูมิเนียม ฟลักซ์ น้ำยาพ่นแม่พิมพ์ น้ำมันไฮดรอลิก แก๊สไนโตรเจน แก๊สเชื้อเพลิง และไฟฟ้า

1) ปริมาณอะลูมิเนียมผสม ที่ใช้ในการใช้ทำการผลิตมีสองชนิดโดยแบ่งตามประเภทของกระบวนการผลิต คือ อะลูมิเนียมผสม A356 และอะลูมิเนียมผสม 7075 โดยปริมาณความต้องการอะลูมิเนียมคิดจากน้ำหนักอะลูมิเนียมหลังฉีดที่ใช้ในการผลิตจริง แสดงดังตารางที่ 4.8 การคำนวณปริมาณอะลูมิเนียมผสม สามารถคิดได้จากสมการ 4.9 โดยเริ่มคิดจากน้ำหนักหลังขึ้นรูปรวมกับจำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน ได้ปริมาณอะลูมิเนียมผสม น้ำหนักหลังขึ้นรูป คือ 260 กรัม และจำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน คือ 5,280 ชิ้น ปริมาณอะลูมิเนียมผสมที่ใช้ในการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง คือ 1,372.8 กิโลกรัม ปริมาณอะลูมิเนียมผสมของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงรายละเอียดในดังแสดงตารางที่ 4.8 ข้อ 4

การคำนวณปริมาณอะลูมิเนียมผสมสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.9

$$V_{Al} = (U_{net} \times W_{net}) \div 1{,}000 \qquad (4.9)$$

$$V_{Al} = (5{,}280 \times 260) \div 1{,}000$$

$$V_{Al} = 1{,}372.8$$

โดยที่ V_{Al} แทน ปริมาณอะลูมิเนียมผสม (กิโลกรัม)
U_{net} แทน จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ชิ้น)
W_{net} แทน น้ำหนักหลังขึ้นรูป (กรัม)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณความต้องการแท่งอะลูมิเนียมของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ปริมาณ Al ต่อ 5,000 ชุดต่อปี					หน่วย
	Die casting				Forging	
	Socket Adapter	Tube Clamp	Foot Clamp	Foot Adapter	Tube	
1. น้ำหนักสุทธิ (ข้อมูลตามตารางที่ 3.1 ข้อ 2)	60	40	40	50	100	กรัม/ชิ้น
2. น้ำหนักหลังฉีด (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	260	262	262	234	400	กรัม/ชิ้น
3. จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.5 ข้อ 9)	5,280	5,280	5,280	5,280	5,544	shotต่อ 5,000 ชิ้น
4. ใช้วัตถุดิบทั้งหมด (4) = [(2) x (3)] ÷ 1,000	1,372.8	1,383.36	1,383.36	1,235.52	2,217.6	กก.ต่อ 5,000 ชิ้น
รวม ปริมาณ Al ทั้งหมด	5,375.04				2,217.6	กก.ต่อ 5,000 ชิ้น

2) ฟลักซ์ คือ ส่วนผสมที่ถูกเติมลงไปเพื่อให้มีจุดหลอมเหลวต่ำและแยกสิ่งสกปรกที่ปนอยู่กับเศษอะลูมิเนียมออก สัดส่วนของน้ำอะลูมิเนียม : ฟลักซ์ เท่ากับ 100 : 0.2 การคำนวณหาปริมาณฟลักซ์สามารถคิดได้จากสมการ โดยคิดจากปริมาณอะลูมิเนียมผสมคือ 1,372.8 กิโลกรัม ร่วมกับสัดส่วนของฟลักซ์ คือ 0.2 ผลของปริมาณฟลักซ์ที่ใช้ คือ 2.74 กิโลกรัม ปริมาณฟลักซ์ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงในแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.9

การคำนวณปริมาณฟลักซ์สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.10

$$V_{flux} = (V_{Al} \times flux) \div 100 \qquad (4.10)$$
$$V_{flux} = (1{,}372.8 \times 0.2) \div 100$$
$$V_{flux} = 2.74$$

โดยที่ V_{flux} แทน ปริมาณฟลักซ์ (กิโลกรัม)
V_{Al} แทน ปริมาณอะลูมิเนียมผสม (กิโลกรัม)
flux แทน สัดส่วนของฟลักซ์ (กิโลกรัม)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณฟลักซ์ของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ปริมาณฟลักซ์ 5,000 ชุดต่อปี					หน่วย
	Die casting				Forging	
	Socket Adapter	Tube Clamp	Foot Clamp	Foot Adapter	Tube	
1. สัดส่วนการหลอม Al (Al : Flux)	100:0.2	100:0.2	100:0.2	100:0.2	100:0.2	กก.
2. ปริมาณ Al ทั้งหมด (ข้อมูลตามตารางที่ 4.6 ข้อ 7)	1,372.8	1,383.36	1,383.36	1,235.52	2,217.6	กก./5,000 ชุด
3. ปริมาณฟลักซ์ (3) = [(2) × 0.2] ÷ 100	2.74	2.77	2.77	2.47	4.43	กก./5,000 ชุด
ปริมาณฟลักซ์	**15.18**					**กก./**5,000 ชุด

3) น้ำยาพ่นแม่พิมพ์ เป็นส่วนที่ช่วยยืดอายุการใช้งานแม่พิมพ์ให้ใช้งานได้นานขึ้น โดยใช้สำหรับพ่นลดอุณหภูมิแม่พิมพ์หลังจากการขึ้นรูปโลหะเพื่อขึ้นรูปครั้งต่อไป และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (Reverse Osmosis, RO) เป็นการกำจัดสารละลายในน้ำโดยให้น้ำไหลผ่านเยื่อกรองที่มีความละเอียดสูง สิ่งเจือปนต่างๆ ที่มีอยู่จะถูกขจัดออกจากแม่พิมพ์

คำนวณหาน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสม คิดร่วมกัน 3 ตัวแปร คือ ระยะเวลาพ่นน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสมแล้ว อัตราการไหลของน้ำสเปรย์ และจำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน สามารถคิดได้จากสมการ 4.11 โดยระยะเวลาพ่นน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสมแล้ว คือ 14 วินาทีต่อชิ้น อัตราการไหลของน้ำสเปรย์ คือ 40 มิลลิลิตรต่อวินาที จำนวนที่ทำการผลิตด้วยกระบวนการหล่อฉีดโลหะกึ่งของแข็งทั้งหมด คือ 21,120 ชิ้น ได้ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสมเป็นหน่วยมิลลิลิตร แปลงหน่วยให้เป็นลิตรด้วยการหาร 1,000 ได้ผลปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสมคือ 11827.2 ลิตร

การคำนวณปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสมสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.11

$$V_{Lu} = (t_s \times R_{Lu} \times U_{net}) \div 1{,}000 \qquad (4.11)$$

$$V_{Lu} = (14 \times 40 \times 21{,}120) \div 1000$$

$$V_{Lu} = 1{,}1827.2$$

โดยที่ V_{Lu} แทน ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสม (ลิตร)

t_s แทน ระยะเวลาพ่นน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสมแล้ว (วินาที)

R_{Lu} แทน อัตราการไหลของน้ำสเปรย์ (มิลลิลิตรต่อวินาที)

U_{net} แทน จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ชิ้น)

คำนวณหาปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ คำนวณจากสัดส่วนการผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (น้ำยา : น้ำ RO) สัดส่วน 1:100 ทำให้ได้น้ำยาพ่นแม่พิมพ์ 1 ส่วน กับน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ 100 ส่วน สามารถคิดได้จากสมการ 4.12 โดยคิดจากปริมาณน้ำยาพ่น

แม่พิมพ์ผสม ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ทั้งหมดที่ใช้สำหรับกระบวนการหล่อฉีด คือ 117.08 ลิตร และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ คือ 11,710.12 ลิตร และสำหรับกระบวนการทุบขึ้นรูปคิดในรูปแบบเดียวกัน ปริมาณความต้องการน้ำยาพ่นแม่พิมพ์และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างแสดงในแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.10

การคำนวณปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.12

$$V_{sol} = V_{Lu} \div (100 + 1) \quad (4.12)$$
$$V_{sol} = 11{,}827.2 \div (100 + 1)$$
$$V_{sol} = 117.1$$

โดยที่ V_{sol} แทน ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (ลิตร)
V_{Lu} แทน ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสม (ลิตร)

การคำนวณปริมาณน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.13

$$V_{RO} = V_{Lu} - V_{sol} \quad (4.13)$$
$$V_{RO} = 11{,}827.2 - 117.1$$
$$V_{sol} = 11{,}710.1$$

โดยที่ V_{RO} แทน ปริมาณน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (ลิตร)
V_{Lu} แทน ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสม (ลิตร)
V_{sol} แทน ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (ลิตร)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณความต้องการน้ำยาพ่นแม่พิมพ์และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ของขาเทียม

รายละเอียด	ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ต่อ 5,000 ชุด ต่อปี		หน่วย
	Die casting	Forging	
1. ระยะเวลาพ่นน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสมแล้ว (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	14	77	วินาที/shot
2. อัตราการไหลของน้ำสเปรย์ (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	40	40	มล./วินาที
3. จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.7 ข้อ 9)	21,120	5,544	Shot ต่อ 5,000 ชิ้น

ตารางที่ 4.10 ปริมาณความต้องการน้ำยาพ่นแม่พิมพ์และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ของขาเทียม (ต่อ)

รายละเอียด	ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ต่อ 5,000 ชุด ต่อปี		หน่วย
	Die casting	Forging	
4. น้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสมแล้ว (4) = [(1) x (2) x (3)] ÷ 1,000	11,827.2	17,075.52	ลิตรต่อ 5,000 ชิ้น
5. สัดส่วนการผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (น้ำยา : น้ำ RO)	1:100	1:100	ลิตร:ลิตร
6. น้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (6) = (4) ÷ (100 + 1)	117.10	170	ลิตรต่อ 5,000 ชิ้น
7. น้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (7) = (4) - (6)	11,710.1	16,905.52	ลิตรต่อ 5,000 ชิ้น
ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ **ปริมาณน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์**	**287.1** **28,615.62**		**ลิตรต่อ 5,000 ชิ้น**

4) น้ำมันไฮดรอลิก หน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายทอดกำลังงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในระบบเพื่อเปลี่ยนแปลงกำลังงานของไหลให้เป็นพลังงานกล และช่วยระบายความร้อนของระบบ โดยปริมาณการใช้น้ำมันไฮดรอลิกคิดตามจำนวนวันดำเนินงาน 88 วันและอัตราใช้น้ำมันไฮดรอลิกต่อวัน 1.33 ลิตรต่อวัน ผลปริมาณการใช้น้ำมันไฮดรอลิกที่ได้คือ 117.04 ลิตร ปริมาณการใช้น้ำมันไฮดรอลิกของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.11

การคำนวณปริมาณการใช้น้ำมันไฮดรอลิกสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.14

$$V_h = R_h \times D \qquad (4.14)$$

$$V_h = 1.33 \times 88$$

$$V_{sol} = 117.04$$

โดยที่ V_h แทน ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก (ลิตร)

R_h แทน อัตราใช้น้ำมันไฮดรอลิก (ลิตรต่อวัน)

D แทน จำนวนวันดำเนินงาน (วัน)

ตารางที่ 4.11 ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิกของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก ต่อ 5,000 ชุดต่อปี		หน่วย
	Die casting	Forging	
1. อัตราใช้น้ำมันไฮดรอลิก (ข้อมูลตามตารางที่ 3.3 ข้อ 3)	1.33	1.33	ลิตร/วัน
2. จำนวนวันในการผลิต (ข้อมูลตามตารางที่ 4.7)	88	126	วันต่อ 5,000 ชิ้น
3. ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก (3) = (1) x (2)	117.04	167.58	ลิตรต่อ 5,000 ชิ้น
ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก	**284.62**		**ลิตรต่อ 5,000 ชิ้น**

5) น้ำประปา ที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้ ใช้เพื่อเป็นน้ำหล่อเลี้ยงตัวเครื่องจักรเพื่อลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ เพื่อลดการติดกันของชิ้นงานกับแม่พิมพ์และลดการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงาน การคำนวณการใช้น้ำประปาคำนวณจาก อัตราการไหลของน้ำในท่อจ่ายน้ำเข้าเครื่องจักร 0.000056 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที น้ำเลี้ยงเปิดตลอดเวลาที่เครื่องจักรทำงาน 8 ชั่วโมง คิดเป็น 28,800 วินาทีต่อวัน และจำนวนวันในการผลิต 88 วัน ปริมาณความต้องการน้ำประปาคิดตามจำนวนวันดำเนินงาน ที่ได้คือ 141.93 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณการใช้น้ำประปาของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงรายละเอียดในตารางภาคผนวกที่ ก.2

การคำนวณปริมาณการใช้น้ำประปาสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.15

$$V_{wa} = R_{wa} \times t_{wa} \times D \qquad (4.15)$$

$$V_{wa} = 0.000056 \times 28{,}800 \times 88$$

$$V_{wa} = 141.93$$

โดยที่ V_{wa} แทน ปริมาณน้ำประปา (ลูกบาศก์เมตร)

R_{wa} แทน อัตราการไหลน้ำในท่อจ่ายน้ำเข้าเครื่องจักร (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

t_{wa} แทน เวลาที่เปิดน้ำเลี้ยงเครื่องจักร (วินาทีต่อวัน)

D แทน จำนวนวันดำเนินงาน (วัน)

ตารางที่ 4.12 ปริมาณความต้องการวัตถุดิบแต่ละชนิดของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดต่อ 5,000 ชุดต่อปี		หน่วย
	Die casting	Forging	
1. ปริมาณอะลูมิเนียม (ข้อมูลตามตารางที่ 4.8)	5,375.04	2,217.6	กก./5,000 ชุด
2. ปริมาณฟลักซ์ (ข้อมูลตามตารางที่ 4.9)	10.75	4.43	กก./ 5,000 ชุด
3. ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (ข้อมูลตามตารางที่ 4.10)	117.08	170	ลิตร/5,000 ชุด
4. ปริมาณน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (ข้อมูลตามตารางที่ 4.10)	11,710.1	16,905.52	ลิตร/5,000 ชุด
5. ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก (ข้อมูลตามตารางที่ 4.11)	117.04	167.58	ลิตร/5,000 ชุด
6. ปริมาณการใช้น้ำประปา	141.93	203.21	ลบ.ม./5,000 ชุด

ทำการวิเคราะห์ส่วนของพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตทั้งสองกระบวนการด้วย โดย พลังงานที่ใช้มี 3 ส่วน คือ แก๊สไนโตรเจน แก๊สเชื้อเพลง และไฟฟ้า

6) แก๊สไนโตรเจนการใช้ไนโตรเจนสำหรับการปล่อยฟองแก๊สของเครื่อง GISS ใช้เพื่อสร้างโลหะกึ่งของแข็ง โดยปริมาณความต้องการแก๊สไนโตรเจนของทั้งสองส่วนการคำนวณการใช้ไนโตรเจนคำนวณจาก อัตราใช้แก๊สไนโตรเจน 4 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาปล่อยฟองแก๊ส 5 วินาที และจำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน 21,120 ชิ้น ปริมาณความต้องการน้ำประปาคิดตามจำนวนวันดำเนินงาน ที่ได้คือ 7,040 ลิตร ปริมาณการใช้ไนโตรเจนของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงดังตารางที่ 4.13

การคำนวณปริมาณการไนโตรเจนสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.16

$$V_N = [R_N \div 60] \times t_N \times U_{net} \quad (4.16)$$

$$V_N = [4 \div 60] \times 5 \times 21{,}120$$

$$V_N = 7{,}040$$

โดยที่ V_N แทน ปริมาณแก๊สไนโตรเจน (ลิตร)

R_N แทน อัตราใช้แก๊สไนโตรเจน (ลิตรต่อนาที)

t_N แทน ระยะเวลาปล่อยฟองแก๊ส (วินาที)

U_{net} แทน จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ชิ้น)

ตารางที่ 4.13 ปริมาณแก๊สไนโตรเจนของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ปริมาณแก๊สไนโตรเจนต่อ 5,000 ชุดต่อปี		หน่วย
	Die casting	Forging	
1. อัตราใช้แก๊สไนโตรเจน (ข้อมูลตามตารางที่ 3.3 ข้อ 1)	4	4	ลิตร/นาที
2. ระยะเวลาปล่อยฟองแก๊ส (ข้อมูลตามตารางที่ 4.1)	5	10	วินาที/shot
3. จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.7)	21,120	5,544	shot/ 5,000 ชุด
4. ปริมาณแก๊สไนโตรเจน (4) = [(1) ÷ 60] × (2) × (3)	7,040	3,696	ลิตร/5,000 ชุด
ปริมาณแก๊สไนโตรเจน	**10,736**		**ลิตร/ 5,000 ชุด**

7) แก๊สเชื้อเพลิง ที่ใช้คือ แก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquid Petroleum Gas : LPG) ใช้สำหรับการหลอมเหลวอะลูมิเนียม การใช้แก๊สเชื้อเพลิง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของปริมาณแก๊สที่ใช้ในการหลอมอะลูมิเนียมในเตาหลอมก่อนเริ่มทำการผลิต และส่วนของปริมาณแก๊สที่ใช้ในการรักษาอุณหภูมิภายในเตาหลอม ปริมาณความต้องการแก๊สเชื้อเพลิงของทั้งสองกระบวนการคิดตามจำนวนวันดำเนินงาน แสดงดังดังตารางที่ 4.14 และรายละเอียดของการใช้แก๊สเชื้อเพลิงอย่างละเอียดแสดงตารางภาคผนวกที่ ก.4

การคำนวณปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.17

$$V_{LPG} = [V_{LPG,\,H} + V_{LPG,\,t}] \times D \qquad (4.17)$$

$$V_{LPG} = [15.47 + 17.76] \times 88$$

$$V_{LPG} = 2{,}924.24$$

โดยที่ V_{LPG} แทน ปริมาณแก๊ส LPG (กิโลกรัม)

$V_{LPG,\,H}$ แทน ปริมาณแก๊ส LPG หลอมอะลูมิเนียม (กิโลกรัมต่อวัน)

$V_{LPG,\,t}$ แทน ปริมาณแก๊ส LPG ที่ใช้รักษาอุณหภูมิ (กิโลกรัมต่อวัน)

D แทน จำนวนวันดำเนินงาน (วัน)

ตารางที่ 4.14 ปริมาณแก๊ส LPG ของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง ต่อ 5,000 ชุดต่อปี		หน่วย
	Die casting	Forging	
1. ปริมาณแก๊ส LPG หลอมอะลูมิเนียม	15.47	15.85	กก./วัน
2. ปริมาณแก๊ส LPG ที่ใช้รักษาอุณหภูมิ	17.76	18.48	กก./วัน
3. จำนวนวันในการผลิต	88	126	วัน
4. ปริมาณแก๊ส LPG	2,924.24	4,325.58	กิโลกรัม
ปริมาณแก๊ส LPG	**7,249.82**		**กิโลกรัม**

8) ไฟฟ้า คำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าแบบ Time of Use (TOU) โดยกระบวนการขึ้นรูปโลหะแบบกึ่งของแข็งเครื่องจักรที่ใช้ไฟฟ้ามี 4 เครื่อง ได้แก่ เครื่องหล่อฉีดโลหะ เครื่องทุบขึ้นรูป เตาอุ่นน้ำโลหะ และเครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง เครื่องจักรทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ดังนั้นปริมาณความต้องการไฟฟ้าของเครื่องจักรแต่ละชนิด แสดงตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ปริมาณความต้องการไฟฟ้าต่อเครื่องจักรของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ปริมาณความต้องการไฟฟ้าต่อเครื่องจักร (กิโลวัตต์)	
	Die casting	Forging
1. เครื่องหล่อฉีดโลหะ (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	11	
2. เครื่องทุบขึ้นรูป (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)		45
3. เตาอุ่นน้ำโลหะ (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	15	15
4. เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	3	3
5. เตาอบ ขนาดกว้าง 1 ม. ยาว 2.5 ม. สูง 1.80 ม.	11	11
6. เตาอบ Aging ขนาดกว้าง 1.2 ม. ยาว 1.8 ม. สูง 0.78 ม.	7	7
7. รวม ปริมาณความต้องการไฟฟ้า (7) = (1) + (2) +... + (6)	**47**	**81**

จากแบบจำลองการดำเนินงานที่คิดจากการดำเนินการรูปแบบ 1 กะ ผลิตขาเทียมใต้เข่าจำนวน 5,000 ชุด ทำให้ได้ความต้องการด้านทรัพยากรทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตต่อปริมาณการผลิต 5,000 ชุด ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ความต้องการด้านทรัพยากรทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตของกระบวนการผลิตขาเทียม

ประเภททรัพยากร	ทรัพยากร	จำนวนทรัพยากรต่อ 5,000 ชุดต่อปี
1. สินทรัพย์ถาวร	ที่ดิน	400 ตร.ม.
	อาคารสำนักงาน	50 ตร.ม.
	อาคารโรงงาน	120 ตร.ม.
	ครุภัณฑ์สำนักงาน	1 ชุด
	ยานพาหนะ	1 คัน
	เครื่องจักร	
	- เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	1 เตา
	- เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก.	1 เตา
	- เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง	1 เครื่อง
2. แรงงาน	แรงงาน	4 คน/กะ
	พนักงานระดับบริหาร	7 คน
3. วัตถุดิบ	แท่งอะลูมิเนียม	
	- A356	5,375.04 กก.
	- A7075	2,217.6 กก.
	ฟลักซ์	15.18 กก.
	น้ำยาพ่นแม่พิมพ์	287.08 ลิตร
	น้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์	28,615.4 ลิตร
	น้ำมันไฮดรอลิก	284.08 ลิตร
	น้ำประปา	345.13 ลบ.ม.
4. พลังงาน	ไฟฟ้า	128 กิโลวัตต์
	แก๊สไนโตรเจน	10,736 ลิตร
	ปริมาณแก๊ส LPG	7,249.82 กก.

4.1.1.3 แบบจำลองการคิดต้นทุนกระบวนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า

ผลที่ได้จากแบบจำลองที่ต้องการคือ เงินลงทุนที่ใช้ในการลงทุนในโครงการนี้ และต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นตัวเลือกในการตัดสินใจในการเลือกผลิต

เงินลงทุนโครงการประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร และเงินทุนหมุนเวียน

1) ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตั้งแต่วันแรกของการเริ่มโครงการจนถึงวันที่เริ่มการผลิตแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.17

2) เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรเป็นค่าใช้จ่ายที่ลงทุนไว้เพื่อใช้ในการผลิตสินค้า แสดงดังตารางที่ 4.18

3) เงินทุนหมุนเวียน เป็นจำนวนเงินสำหรับจัดเตรียมวัตถุดิบคงคลังเพื่อให้การผลิตดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง กำหนดให้มีการจัดเก็บวัตถุดิบคงคลัง 6 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียม ฟลักซ์ น้ำยาพ่นแม่พิมพ์ น้ำมันไฮดรอลิก แก๊สไนโตรเจน และแก๊สเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.17 ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงานของกระบวนการผลิตขาเทียม

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

ที่มา : ฝ่ายประเมินราคา บริษัท นีโอซีวิล 2004 จำกัด (2554)

ตารางที่ 4.18 เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	จำนวนเงิน (บาท)
1. ค่าที่ดิน	3,000,000
2. อาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	500,000
3. อาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	840,000
4. งานปรับที่ดิน ขนาด 400 ตร.ม.ค่าปรับที่ดิน ตร.ม.ละ 440 บาท (ที่มา บริษัท นีโอซีวิล 2004 จำกัด จังหวัดสงขลา)	176,000
5. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 80 ตัน	5,000,000
6. เครื่องทุบขึ้นรูป	5,000,000
7. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กิโลกรัม	2,000,000
8. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กิโลกรัม 2 เตา เตาละ 2,500,000 บาท	5,000,000
9. เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (GISS)	3,000,000
10. เตาอบ ขนาดกว้าง 1 ม. ยาว 2.5 ม. สูง 1.80 ม.	465,000

ตารางที่ 4.18 เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรของกระบวนการผลิตขาเทียม (ต่อ)

รายละเอียด	จำนวนเงิน (บาท)
11. เตาอบ Aging ขนาดกว้าง 1.2 ม. ยาว 1.8 ม. สูง 0.78 ม.	100,000
12. ระบบท่อและอุปกรณ์ควบคุมต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสีย	100,000
13. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	400,000
14. Die (Mold)	35,000
15. อุปกรณ์สำนักงาน	100,000
16. ยานพาหนะ	1,000,000
17. เครนสามารถรับน้ำหนักได้ 5 ตัน	800,000
รวม เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร	27,516,000

4.1.1.4 ต้นทุนต่อหน่วยกระบวนการผลิตการขึ้นรูปชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง

จากผลลัพธ์แบบจำลองการดำเนินงาน ทำให้ทราบถึงปริมาณความต้องการของทรัพยากรแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อต้นทุนของผลิตภัณฑ์ และเป็นข้อมูลที่นำไปสู่การคิดต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ ทางทีมวิจัยได้ทำการวิเคราะห์และสรุปพบว่า ต้นทุนต่อหน่วยประกอบไปด้วย 7 ประเภท ได้แก่ ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนพลังงาน ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนค่าเครื่องจักร และต้นทุนค่าอุปกรณ์ โดยสามารถจัดกลุ่มของต้นทุน 7 ประเภท ข้างต้นออกเป็น 2 ชนิด คือ 1.ต้นทุนคงที่ โดยต้นทุนคงที่ ประกอบด้วย ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนค่าเครื่องจักร และต้นทุนค่าอุปกรณ์ 2.ต้นทุนผันแปร ประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน และต้นทุนพลังงาน ดังนั้น ในแบบจำลองต้นทุนสามารถหาค่าต้นทุนของทรัพยากรของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ดังนี้

การคำนวณต้นทุนต่อหน่วยสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.18

$$C_{total} = (FC + VC) \div V \qquad (4.18)$$

โดยที่ C_{total} แทน ต้นทุนต่อหน่วย (บาทต่อชุด)
FC แทน ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย (บาทต่อชุด)
VC แทน ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (บาทต่อชุด)
V แทน ปริมาณการผลิต (ชุด)

ก. ต้นทุนคงที่ของการผลิตขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง

ต้นทุนคงที่ คือ ต้นทุนที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิต ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยก็จะเปลี่ยนแปลงในทางลดลงถ้าปริมาณการผลิตเพิ่มมากขึ้น ต้นทุนคงที่ประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนค่าเครื่องจักร และต้นทุนค่าอุปกรณ์ ทั้ง 4 ส่วน

คำนวณจากความต้องการทางทรัพยากรที่ได้จากผลของแบบจำลองการดำเนินงาน โดยมีรายละเอียดของการคำนวณ ดังนี้

การคำนวณต้นทุนคงที่สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.19

$$FC = C_{overhead} + C_{equipment} + C_{tooling} + C_{building} \quad (4.19)$$

โดยที่ FC แทน ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย (บาทต่อชุด)
$C_{overhead}$ แทน ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน (บาทต่อชุด)
$C_{equipment}$ แทน ต้นทุนค่าเครื่องจักร (บาทต่อชุด)
$C_{tooling}$ แทน ต้นทุนค่าอุปกรณ์ (บาทต่อชุด)
$C_{building}$ แทน ต้นทุนการก่อสร้าง (บาทต่อชุด)

1) ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงานของการผลิตขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง

ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน คือ ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร เป็นค่าใช้จ่ายของพนักงานในระดับบริหารรวมไปถึงการนำเสนอขาย แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหารของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหารต่อปี		
	จำนวน (คน)	เงินเดือน (บาท/คน)	เงินเดือน (บาท/ปี)
1. ผู้จัดการโรงงาน	1	25,000	300,000
2. พนักงานฝ่ายบัญชีและการเงิน	1	10,000	120,000
3. พนักงานฝ่ายการตลาดและจัดซื้อ	1	10,000	120,000
4. พนักงานฝ่ายวางแผน/ควบคุมการผลิต	2	10,000	240,000
5. วิศวกรโรงงาน	2	15,000	360,000
6. รวม พนักงานระดับบริหาร (6) = (1) + (2) +...+ (5)	**7**	**70,000**	1,140,000
7. ค่าส่งเสริมการตลาด 5% ต่อปีของต้นทุนของพนักงานระดับบริหาร (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	-	-	57,000
8. รวม ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร (8) = (6) + (7)			**1,197,000**

2) ต้นทุนค่าเครื่องจักรของการผลิตขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง

ต้นทุนค่าเครื่องจักรคิดจากค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร อุปกรณ์ และระบบสาธารณูปโภคต่างๆ ด้วยระยะเวลาของของการผลิตเท่าๆกัน จึงแบ่งค่าเสื่อมราคาเท่ากันทุกผลิตภัณฑ์ จากค่าเสื่อมราคาลดลงปีละเท่าๆกัน จึงทำการประเมินค่าเสื่อมราคาในลักษณะเส้นตรงทั้งหมด ในการคำนวณกำหนดให้มีอายุการใช้งานเครื่องจักรอุปกรณ์และระบบสาธารณูปโภค 10 ปี และเมื่อหมดอายุโครงการ 10 ปี จึงทำการประเมินมูลค่าซากเพื่อหามูลค่าเงินที่คาดว่าจะได้รับจาก

การขายสินทรัพย์ (อ้างอิงข้อมูลตามตารางที่ 3.4 ข้อ 6) ดังตาราง 4.20 และต้นทุนค่าเครื่องจักรแสดงดังตารางที่ 4.21

การคำนวณต้นทุนเครื่องจักรสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.20

ค่าเสื่อมราคา/ปี = (มูลค่าสินทรัพย์ - ราคาซาก) ÷ อายุการใช้งาน (4.20)

ตารางที่ 4.20 มูลค่าซากของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	% มูลค่าซาก	มูลค่าซาก (บาท)
1. ค่าที่ดิน (คงที่ตามมูลค่าปัจจุบัน)		3,000,000
2. อาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	50%	250,000
3. อาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	50%	420,000
4. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 80 ตัน	40%	2,000,000
5. เครื่องทุบขึ้นรูป	40%	2,000,000
6. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	40%	800,000
7. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก. 2 เตา	40%	2,000,000
8. เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง	40%	1,200,000
9. เตาอบ ขนาดกว้าง 1 ม. ยาว 2.5 ม. สูง 1.80 ม.	40%	186,000
10. เตาอบ Aging ขนาดกว้าง 1.2 ม. ยาว 1.8 ม. สูง 0.78 ม.	40%	40,000
11. Die (Mold)	20%	7,000
12. ระบบท่อและอุปกรณ์ควบคุมต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสีย	0	0
13. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	0	0
14. อุปกรณ์สำนักงาน	0	0
15. ยานพาหนะ	35%	350,000
16. เครนสามารถรับน้ำหนักได้ 5 ตัน	40%	320,000
รวม มูลค่าซาก (1) + (2) +...+ (16)		**12,573,000**

ตารางที่ 4.21 ต้นทุนค่าเครื่องจักรของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	อายุการใช้งาน (ปี)	ค่าเสื่อมราคา (บาทต่อปี)
1. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 80 ตัน	10	300,000
2. เครื่องทุบขึ้นรูป	10	300,000
3. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	10	120,000
4. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก. 2 เตา	10	300,000
5. เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง	10	180,000
6. เตาอบ ขนาดกว้าง 1 ม. ยาว 2.5 ม. สูง 1.80 ม.	10	27,900
7. เตาอบ Aging ขนาดกว้าง 1.2 ม. ยาว 1.8 ม. สูง 0.78 ม.	10	6,000
8. Die (Mold)	10	9,300
9. ระบบท่อและอุปกรณ์ควบคุมต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสีย	10	40,000
10. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	10	3,500
11. อุปกรณ์สำนักงาน	10	10,000
12. ยานพาหนะ	10	65,000
13. เครนสามารถรับน้ำหนักได้ 5 ตัน	10	48,000
รวม ต้นทุนค่าเครื่องจักร (1) + (2) +...+ (13)		**1,409,700**

3) ต้นทุนค่าอุปกรณ์ของการผลิตขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง

ต้นทุนค่าอุปกรณ์ คิดจากค่าการบำรุงรักษาเครื่องจักร ทุกผลิตภัณฑ์กำหนดตามอายุการใช้งาน 10 ปี เป็นเครื่องจักรใหม่ยังไม่มีการใช้งานเครื่องจักร ต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักรเท่ากับ 5% ต่อปี ของราคาเครื่องจักรทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ต้นทุนค่าอุปกรณ์ของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร (บาทต่อปี)
1. เครื่องหล่อฉีดโลหะ ขนาด 80 ตัน	250,000
2. เครื่องทุบขึ้นรูป	250,000
3. เตาหลอมโลหะ ขนาด 450 กก.	100,000
4. เตาอุ่นน้ำโลหะ ขนาด 800 กก. 2 เตา	250,000
5. เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง	150,000
6. เตาอบ ขนาดกว้าง 1 ม. ยาว 2.5 ม. สูง 1.80 ม.	23,250
7. เตาอบ Aging ขนาดกว้าง 1.2 ม. ยาว 1.8 ม. สูง 0.78 ม.	5,000
8. Die (Mold)	1,750
9. ระบบท่อและอุปกรณ์ควบคุมต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสีย	5,000
10. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	20,000

ตารางที่ 4.22 ต้นทุนค่าอุปกรณ์ของกระบวนการผลิตขาเทียม (ต่อ)

รายละเอียด	ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร (บาทต่อปี)
11. อุปกรณ์สำนักงาน	7,500
12. ยานพาหนะ	50,000
13. เครนสามารถรับน้ำหนักได้ 5 ตัน	40,000
รวม ต้นทุนค่าอุปกรณ์	**1,152,500**

4) ต้นทุนการก่อสร้างของการผลิตขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง

คิดจากค่าเสื่อมราคาต่อปีของรายการสิ่งก่อสร้าง ด้วยการประเมินค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรงเพื่อหามูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบันที่ลดลงตามอายุการใช้งานต่อปี ยกเว้นที่ดิน เนื่องจากที่ดินไม่มีการเสื่อมราคา รายละเอียดของราคาสิ่งก่อสร้าง และค่าเสื่อมราคาต่อปี กำหนดให้มีอายุการใช้งานสิ่งก่อสร้าง 10 ปี และเมื่อหมดอายุโครงการ 10 ปี ทำการประเมินมูลค่าซากเพื่อหามูลค่าเงินที่คาดว่าจะได้รับจากการขายสินทรัพย์ (อ้างอิงข้อมูลตามตารางที่ 3.4 ข้อ 6) รายละเอียดดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ต้นทุนการก่อสร้างของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)	อายุการใช้งาน (ปี)	ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)
1. ค่าก่อสร้างอาคารสำนักงาน 50 ตร.ม. 1 ชั้น	500,000	10	25,000
2. ค่าก่อสร้างอาคารโรงงาน 100 ตร.ม.	840,000	10	42,000
3. งานปรับที่ดินและล้อมรั้ว 300 ตร.ม.	132,000	10	13,200
4. ระบบบำบัดน้ำเสีย	300,000	10	30,000
รวม ต้นทุนการก่อสร้าง (1) + (2) + (3) + (4)	**1,772,000**		**110,200**

สรุปรายละเอียดของต้นทุนคงที่ของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่ามีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ต้นทุนคงที่ของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ต้นทุนคงที่ ที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชุดต่อปี (บาทต่อชุด)
1. ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน	1,197,000
2. ต้นทุนค่าเครื่องจักร	1,409,700
3. ต้นทุนค่าอุปกรณ์	1,152,500
4. ต้นทุนการก่อสร้าง	110,200
5. รวมต้นทุนคงที่	3,869,400
6. ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย (6) = (5) ÷ 5,000	**773.88**

ข. ต้นทุนผันแปรของการผลิตขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง

ต้นทุนผันแปรเป็นต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงอย่างเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการปริมาณการผลิต ไม่ว่าจะผลิตมากน้อยแค่ไหน ต้นทุนผันแปรของต้นทุนต่อหน่วยจะเท่าๆกัน ทุกหน่วย ต้นทุนผันแปรประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน และต้นทุนพลังงาน การคิดต้นทุนผันแปรเป็นการนำความต้องการทรัพยากรในส่วนของวัตถุดิบ แรงงาน และพลังงานมาคิดร่วมกับปัจจัยทางการเงินของทรัพยากรนั้นๆ เช่น ราคาวัตถุดิบ ค่าแรงงาน และราคาของเชื้อเพลงต่างๆ ในแบบจำลองต้นทุนสามารถหาค่าต้นทุนของทรัพยากรต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (อ้างอิงราคาวัตถุดิบต่อหน่วยตามตารางที่ 3.5) ดังนี้

การคำนวณต้นทุนผันแปรสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.21

$$VC = C_{material} + C_{labor} + C_{energy} \quad (4.21)$$

โดยที่ VC แทน ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (บาทต่อชุด)
$C_{material}$ แทน ต้นทุนวัตถุดิบ (บาทต่อชุด)
C_{labor} แทน ต้นทุนแรงงาน (บาทต่อชุด)
C_{energy} แทน ต้นทุนพลังงาน (บาทต่อชุด)

1) ต้นทุนวัตถุดิบสามารถคำนวณต้นทุนอะลูมิเนียม เกรด A356 และเกรด 7075 และวัตถุดิบอื่นที่ใช้ในการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบคิดจากปริมาณการใช้วัตถุดิบรวมกับราคาวัตถุดิบแต่ละชนิด แสดงรายละเอียดการคำนวณดังตารางภาคผนวกที่ ก.5 และต้นทุนวัตถุดิบชนิดต่างๆแสดงในตารางที่ 4.25

การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.22

$$C_{material} = C_{Al} + C_{flux} + C_{sol} + C_{RO} + C_{H} + C_{wa} \quad (4.22)$$

โดยที่ $C_{material}$ แทน ต้นทุนวัตถุดิบ (บาทต่อชุด)
C_{Al} แทน ต้นทุนอะลูมิเนียม (บาทต่อชุด)
C_{flux} แทน ต้นทุนฟลักซ์ (บาทต่อชุด)
C_{sol} แทน ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (บาทต่อชุด)
C_{RO} แทน ต้นทุนน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (บาทต่อชุด)
C_{H} แทน ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิก (บาทต่อชุด)
C_{wa} แทน ต้นทุนน้ำประปา (บาทต่อชุด)

การคำนวณต้นทุนอะลูมิเนียมสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.23

$$C_{Al} = V_{Al} \times P_{Al} \quad (4.23)$$
$$C_{Al} = 5{,}375.04 \times 92$$
$$C_{Al} = 494{,}503.68$$

โดยที่ C_{Al} แทน ต้นทุนอะลูมิเนียม (บาทต่อชุด)
V_{Al} แทน ปริมาณอะลูมิเนียม (กิโลกรัม)
P_{Al} แทน ราคาของอะลูมิเนียม (บาทต่อกิโลกรัม)

ตารางที่ 4.25 ต้นทุนวัตถุดิบของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ต้นทุนวัตถุดิบ ที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชุดต่อปี (บาทต่อชิ้น)				
	Die casting				Forging
	Socket Adapter	Tube Clamp	Foot Clamp	Foot Adapter	Tube
1. ต้นทุนอะลูมิเนียม	126,297.6	127,269.12	127,269.12	113,667.84	776,160
2. ต้นทุนฟลักซ์	106.86	108.03	108.03	96.33	172.77
3. ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์	1492.77	1492.77	1492.77	1492.77	8,670
4. ต้นทุนน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์	169.8	169.8	169.8	169.8	980.5
5. ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิก	1,287.44	1,287.44	1,287.44	1,287.44	7,373.52
6. ต้นทุนน้ำประปา	567.68	567.68	567.68	567.68	3,251.36
7. ต้นทุนวัตถุดิบรวม (7) = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6)	129,922.15	130,894.84	130,894.84	117,281.86	796,608.15

2) ต้นทุนแรงงานคิดจากแรงงานซึ่งทำหน้าที่ควบคุมเครื่องจักรโดยตรง แต่ละเครื่องจักรจะมีแรงงานประจำต่อเครื่องตามลักษณะจำเพาะของเครื่องจักร (อ้างอิงลักษณะจำเพาะของเครื่องจักรตามตารางที่ 3.3) เนื่องจากค่าแรงงานคิดเป็นรายวัน จึงสามารถคำนวณหาต้นทุนแรงงานตามรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.26

การคำนวณต้นทุนแรงงานสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.24

$$C_{labor} = P_{labor} \times D \quad (4.24)$$
$$C_{labor} = 300 \times 88$$
$$C_{labor} = 26{,}400$$

โดยที่ C_{labor} แทน ต้นทุนแรงงาน (บาทต่อชุด)
P_{labor} แทน ค่าแรงงานรายวัน (บาทต่อวัน)
D แทน จำนวนวันในการผลิต (วัน)

ตารางที่ 4.26 ต้นทุนแรงงานของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ต้นทุนแรงงานที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชุดต่อปี		หน่วย
	Die casting	Forging	
1. จำนวนแรงงาน (ข้อมูลตามตารางที่ 3.3 ข้อ 4)	1	3	คน/กะ
2. อัตราการทำงาน (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	1	1	กะ/วัน
3. ค่าแรงงาน (ข้อมูลตามตารางที่ 3.7 ข้อ 9)	300	300	บาท/คน/กะ
4. อัตราค่าแรงงาน (4) = (1) x (2) x (3)	300	900	บาท/วัน
5. จำนวนวันในการผลิต (ข้อมูลตามตารางที่ 4.3)	88	126	วันต่อ 5,000 ชิ้น
6. ต้นทุนแรงงาน (6) = (4) x (5)	**26,400**	**113,400**	**บาทต่อ 5,000 ชิ้น**

3) ต้นทุนพลังงาน คือ ปริมาณความต้องการพลังงานแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ กำหนดในแบบจำลองดำเนินงาน ดังแสดงตารางที่ 4.27

การคำนวณต้นทุนพลังงานสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.25

$$C_{energy} = C_N + C_{LPG} + C_{electricity} \quad (4.25)$$

โดยที่ C_{energy} แทน ต้นทุนพลังงาน (บาทต่อชุด)
C_N แทน ต้นทุนแก๊สไนโตรเจน (บาทต่อชุด)
C_{LPG} แทน ต้นทุนแก๊ส LPG (บาทต่อชุด)
$C_{electricity}$ แทน ต้นทุนไฟฟ้า (บาทต่อชุด)

ตารางที่ 4.27 ต้นทุนพลังงานของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียดต้นทุน	ต้นทุนผันแปรที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชุดต่อปี (บาท)				
	Die casting				Forging
	Socket Adapter	Tube Clamp	Foot Clamp	Foot Adapter	Tube
1. ต้นทุนแก๊สไนโตรเจน	704.00	704.00	704.00	704.00	1,478.40
2. ต้นทุนแก๊ส LPG	12,033.25	12,033.25	12,033.25	12,033.25	71,199.05
3. ต้นทุนไฟฟ้า	25,340.01	25,340.01	25,340.01	25,340.01	165,904.43
4. ต้นทุนพลังงาน	38,077.26	38,077.26	38,077.26	38,077.26	238,581.88

สรุปต้นทุนผันแปรของขาเทียมที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชุดต่อปี แสดงดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 ต้นทุนผันแปรของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ต้นทุนผันแปรที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชุดต่อปี (บาทต่อชุด)				
	Die casting				Forging
	Socket Adapter	Tube Clamp	Foot Clamp	Foot Adapter	Tube
1. ต้นทุนวัตถุดิบรวม (ข้อมูลตามตารางที่ 4.25)	129,922.15	130,894.84	130,894.84	117,281.86	796,608.15
2. ต้นทุนแรงงาน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.26)	6,600.00	6,600.00	6,600.00	6,600.00	113,400.00
3. ต้นทุนพลังงาน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.27)	38,077.26	38,077.26	38,077.26	38,077.26	238,581.88
4. รวม ต้นทุนผันแปร	174,599.41	175,572.1	175,572.1	161,959.12	1,148,590.03
5. ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (5) = (4) ÷ 5,000	34.92	35.11	35.11	32.39	229.72
6. รวมต้นทุนผันแปรต่อชุด	**367.25**				

สรุปต้นทุนต่อหน่วยของขาเทียมใต้เข่าประกอบไปด้วย 5 ชิ้นส่วน คือ ชิ้นส่วนฐานรองรับเข่า (Socket Adapter) ชิ้นส่วนจับยึดระหว่างเข่ากับท่อขาเทียม (Tube Clamp) ชิ้นส่วนจับยึดระหว่างท่อขาเทียมกับข้อเท้าเทียม (Foot Clamp) และข้อเท้าเทียม (Foot Adapter) และชิ้นส่วนท่อขาเทียมใต้เข่า (Tube) ที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชิ้น 1 กะ ทำงาน 8 ชั่วโมง โดยต้นทุนต่อหน่วยคิดจากต้นทุนผันแปร ต้นทุนคงที่คิดร่วมกับต้นทุนที่มาจากการจ้างงานภายนอกโรงงาน 1,050 บาทต่อชุด และอะไหล่ที่ใช้สำหรับการประกอบขาเทียมใต้เข่า 166 บาทต่อชุด ผลของต้นทุนต่อหน่วยได้ 2,357.13 บาท แสดงรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 ต้นทุนต่อหน่วยของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	ต้นทุนต่อหน่วย ที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชุด (บาทต่อชุด)
1. ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย (ข้อมูลตามตารางที่ 4.23 ข้อ 6)	773.88
2. ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (ข้อมูลตามตารางที่ 4.27 ข้อ 6)	367.25
3. ราคา Bolt & Nut (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	166.00
4. ต้นทุนจากการจ้างงานภายนอกโรงงาน (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	1,050.00
รวมต้นทุนต่อหน่วย	**2,357.13**

4.1.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการแต่ละขนาดปริมาณการผลิตขึ้นรูปชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า

4.1.2.1 ผลจากการดำเนินงานแต่ละขนาดปริมาณการผลิตการขึ้นรูปชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง

ในการสร้างแบบจำลองการดำเนินงาน ต้องกำหนดจำนวนกะและเวลาการดำเนินงาน เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกจำนวนกะสำหรับการผลิตในแต่ละปริมาณการผลิตที่ต้องการ โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณการผลิต ประกอบด้วยปริมาณ 5,000 ชุด 10,000 ชุด 50,000 ชุด และ100,000 ชุดต่อปี กะการทำงานประกอบด้วย 3 รูปแบบ คือ 1 กะ 2 กะ และ 3 กะต่อวัน ทำให้มีสภาวะการทำงาน 12 รูปแบบที่ใช้ในการจำลองการเปรียบเทียบต้นทุนเพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจทำการผลิตของผู้ประกอบการในการลงทุน ทางผู้วิจัยได้ทำการกำหนดขนาดตั้งแต่ 5,000 ถึง 100,000 ชุดต่อปี เนื่องจากผู้พิการขาขาดในปัจจุบันมีปริมาณเพิ่มขึ้นจำนวนมากส่งผลให้มีการวางแผนการผลิตที่มีปริมาณการผลิตสูง เพื่อรองรับความต้องการในอนาคต โดยที่เลือกปริมาณการผลิต 5,000 ชุดต่อปี เนื่องมาจากเป็นช่วงแนะนำผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตลาดเพื่อดูแนวโน้มความต้องการปริมาณการผลิตที่ 10,000 ถึง 50,000 ชุดต่อปี เป็นการพิจารณาแนวโน้มของต้นทุนที่จะเกิดขึ้นหากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต และปริมาณการผลิต 100,000 ชุดต่อปี เป็นปริมาณการผลิตที่เกินความต้องการในประเทศจำลองขึ้นเพื่อรองรับความต้องการของผู้ผลิตในกรณีที่มีความต้องการส่งออกไปจำหน่ายในต่างประเทศ

เมื่อมีการเปรียบเทียบปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ กำหนดจำนวนวันทำงานสูงสุดต่อปีที่ 300 วัน กำลังการผลิตสูงสุดต่อกะและจำนวนวันทำงานต่อปีเป็นตัวกำหนดจำนวนเครื่องจักรที่ต้องใช้ในการผลิตในปริมาณต่างๆ กำลังการผลิตสูงสุดต่อกะแสดงดังตารางที่ 4.30 สำหรับปริมาณการผลิตต่างๆ และจำนวนกะดังแสดงตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.30 กำลังการผลิตสูงสุดต่อวันของกระบวนการผลิตขาเทียม

กระบวนการผลิต	กำลังการผลิตสูงสุดต่อวัน (Shot)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
หล่อฉีดโลหะ	240	480	720
ทุบขึ้นรูป	43	87	131

ตารางที่ 4.31 จำนวนวันที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	จำนวนวันที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (วัน)					
	1 กะ		2 กะ		3 กะ	
	Die casting	Forging	Die casting	Forging	Die casting	Forging
5,000	88	126	40	58	26	38
10,000	177	252	80	115	52	75
50,000	229	300	200	286	260	186
100,000	219	299	100	273	260	236

จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตขาเทียมใต้เข่า ประกอบไปด้วย เครื่องหล่อฉีดโลหะ เครื่องทุบขึ้นรูป เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (GISS) และแม่พิมพ์ชิ้นงานของผลิตภัณฑ์ 5 ชิ้น ทำให้มีแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับเครื่องหล่อฉีดโลหะ 4 แม่พิมพ์ และแม่พิมพ์สำหรับเครื่องทุบขึ้นรูป 1 แม่พิมพ์ สำหรับปริมาณการผลิต 5,000 และ 10,000 ชุดต่อปี จำนวนแม่พิมพ์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามจำนวนเครื่องจักร และเครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็งสามารถใช้จับคู่กับเครื่องจักรที่ใช้ขึ้นรูปได้แบบเครื่องขึ้นรูป 2 เครื่องต่อเครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง 1 เครื่องได้ จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและแต่ละกะแสดงดังตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุดต่อปี)	จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (เครื่อง)			
	รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	เครื่องหล่อฉีดโลหะ	1	1	1
	เครื่องทุบขึ้นรูป	1	1	1
	เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (GISS)	1	1	1
	แม่พิมพ์ชิ้นงานของเครื่องหล่อฉีดโลหะ	4	4	4
	แม่พิมพ์ชิ้นงานของเครื่องทุบขึ้นรูป	1	1	1
10,000	เครื่องหล่อฉีดโลหะ	1	1	1
	เครื่องทุบขึ้นรูป	1	1	1
	เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (GISS)	1	1	1
	แม่พิมพ์ชิ้นงานของเครื่องหล่อฉีดโลหะ	4	4	4
	แม่พิมพ์ชิ้นงานของเครื่องทุบขึ้นรูป	1	1	1

ตารางที่ 4.32 จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม **(ต่อ)**

ปริมาณการผลิต (ชุดต่อปี)	จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (เครื่อง)			
	รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
50,000	เครื่องหล่อฉีดโลหะ	4	2	1
	เครื่องทุบขึ้นรูป	4	2	2
	เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (GISS)	4	2	2
	แม่พิมพ์ชิ้นงานของเครื่องหล่อฉีดโลหะ	4	4	4
	แม่พิมพ์ชิ้นงานของเครื่องทุบขึ้นรูป	4	2	2
100,000	เครื่องหล่อฉีดโลหะ	8	4	2
	เครื่องทุบขึ้นรูป	8	4	3
	เครื่องผลิตโลหะกึ่งของแข็ง (GISS)	8	4	3
	แม่พิมพ์ชิ้นงานของเครื่องหล่อฉีดโลหะ	8	4	4
	แม่พิมพ์ชิ้นงานของเครื่องทุบขึ้นรูป	8	4	3

จากการกำหนดเครื่องจักรที่ใช้ ส่งผลให้ได้จำนวนแรงงานที่ใช้สำหรับแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ โดยแรงงานที่ใช้ต่อเครื่องจักร คือ เครื่องหล่อฉีดโลหะ เครื่องละ 1 คน ต่อ 1 กะ และเครื่องทุบขึ้นรูป เครื่องละ 3 คน ต่อ 1 กะ ทำให้ได้จำนวนแรงงานที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะแสดงดังตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 จำนวนแรงงานที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	จำนวนแรงงานที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (คนต่อวัน)					
	1 กะ		2 กะ		3 กะ	
	Die casting	Forging	Die casting	Forging	Die casting	Forging
5,000	1	3	2	6	3	9
10,000	1	3	2	6	3	9
50,000	4	12	4	12	3	18
100,000	8	24	8	24	6	27

เมื่อทราบกำลังการผลิตสูงสุดต่อกะ จำนวนวันที่ใช้ผลิตในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณการใช้อะลูมิเนียมดังตารางที่ 4.34 ในส่วนของปริมาณการใช้ของฟลักซ์ น้ำยาพ่นแม่พิมพ์ น้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (น้ำ RO) น้ำมันไฮดรอลิก น้ำประปา และพลังงานมีการผันแปรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการผลิต

ตารางที่ 4.34 ปริมาณอะลูมิเนียมที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ปริมาณอะลูมิเนียมที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (กิโลกรัมต่อปริมาณการผลิต)					
	1 กะ		2 กะ		3 กะ	
	Die casting	Forging	Die casting	Forging	Die casting	Forging
5,000	5,375.04	2,217.6	5,350.36	2,231.04	5,673.75	2,255.24
10,000	10,828.68	4,433.28	10,841.24	4,425.58	10,735.09	4,453.08
50,000	54,223.91	22,029.19	53,537.59	22,020.39	53,584.27	22,012.03
100,000	107,201.4	42,097.94	107,078.97	42,040.74	106,929.36	42,053.94

4.1.2.2 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบต้นทุนแต่ละขนาดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า

ก. เปรียบเทียบต้นทุนคงที่ของการผลิตขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง

ต้นทุนคงที่ คือ ต้นทุนที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิต และต้นทุนคงที่ต่อหน่วยก็จะเปลี่ยนแปลงในทางลดลงถ้าปริมาณการผลิตเพิ่มมากขึ้น ต้นทุนคงที่ประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนค่าเครื่องจักร ต้นทุนค่าอุปกรณ์ ทั้ง 4 ส่วน คิดจากความต้องการทางทรัพยากรที่ได้จากผลของแบบจำลองการดำเนินงาน โดยมีรายละเอียดของการคำนวณแสดงได้ดังนี้

อ้างอิงการคำนวณต้นทุนคงที่สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.19

$$FC = C_{overhead} + C_{equipment} + C_{tooling} + C_{building}$$

โดยที่ FC แทน ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย (บาทต่อชุด)
$C_{overhead}$ แทน ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน (บาทต่อชุด)
$C_{equipment}$ แทน ต้นทุนค่าเครื่องจักร (บาทต่อชุด)
$C_{tooling}$ แทน ต้นทุนค่าอุปกรณ์ (บาทต่อชุด)
$C_{building}$ แทน ต้นทุนการก่อสร้าง (บาทต่อชุด)

1) เปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงานแต่ละขนาดปริมาณของการผลิตขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง

ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน คือ ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร เป็นค่าใช้จ่ายของพนักงานในระดับบริหารและรวมไปถึงการนำเสนอขาย ซึ่งในการบริหารงานหากมีการเพิ่มกะที่ใช้ทำการผลิตต้องเพิ่มพนักงานที่ดูแลการผลิตในแต่ละกะ จำนวนพนักงานในระดับบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.35 และค่าใช้จ่ายในการบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปีอ้างอิงการคำนวณตามตารางที่ 4.19 ผลของค่าใช้จ่ายในการบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปีแสดงดังตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.35 จำนวนพนักงานในระดับบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

จำนวนพนักงานในระดับบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ			
รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
1. ผู้จัดการโรงงาน	1	1	1
2. พนักงานฝ่ายบัญชีและการเงิน	1	1	1
3. พนักงานฝ่ายการตลาดและจัดซื้อ	1	1	1
4. พนักงานฝ่ายวางแผน/ควบคุมการผลิต	2	4	6
5. วิศวกรโรงงาน	2	4	6
6. รวม พนักงานระดับบริหาร	**7**	**11**	**15**

ตารางที่ 4.36 ค่าใช้จ่ายในการบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปีของกระบวนการผลิตขาเทียม

รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
ค่าใช้จ่ายในการบริหารต่อปี (บาทต่อปี)	1,197,000	1,827,000	2,457,000

2) เปรียบเทียบต้นทุนค่าเครื่องจักรแต่ละปริมาณการผลิต

ต้นทุนค่าเครื่องจักรแต่ละปริมาณการผลิตสามารถคิดจากค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร อุปกรณ์ และระบบสาธารณูปโภคต่างๆ ในระยะเวลาของของการผลิตเท่าๆกัน จึงแบ่งค่าเสื่อมราคาเท่ากันทุกผลิตภัณฑ์จากค่าเสื่อมราคาลดลงปีละเท่าๆกัน จึงทำการประเมินค่าเสื่อมราคาในลักษณะเส้นตรงทั้งหมด กำหนดให้มีอายุการใช้งานเครื่องจักรอุปกรณ์และระบบสาธารณูปโภค 10 ปี และเมื่อหมดอายุโครงการ 10 ปี ทำการประเมินมูลค่าซากเพื่อหามูลค่าเงินที่คาดว่าจะได้รับจากการขายสินทรัพย์ และเพิ่มการคิดส่วนที่เพิ่มจำนวนเครื่องจักรแต่ละปริมาณการผลิตตามจำนวนเครื่องจักรของแต่ละขนาดปริมาณจากข้อมูลในตารางที่ 4.32 ที่แสดงจำนวนเครื่องจักรที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิต สามารถและผลของต้นทุนค่าเครื่องจักรแต่ละปริมาณการผลิต พบว่าที่ปริมาณการผลิต 5,000 และ 10,000 ชุดต่อปีให้ต้นทุนที่เท่ากันเนื่องจากจำนวนเครื่องจักรเท่ากัน ส่วนของต้นทุนค่าเครื่องจักรสูงที่สุดคือ ที่ปริมาณการผลิต 100,000 ชุดต่อปี ที่ผลิตแบบ 1 กะ เนื่องจากรูปแบบการผลิตแบบ 1 กะ มีเวลาในการดำเนินงานสั้นกว่ารูปแบบ 2 กะ และ 3 กะ จึงต้องใช้เครื่องจักรจำนวนมากกว่า

ตารางที่ 4.37 ต้นทุนค่าเครื่องจักรใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปีของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุดต่อปี)	ต้นทุนค่าเครื่องจักรใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปี (บาทต่อปี)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	1,409,700	1,409,700	1,409,700
10,000	1,409,700	1,409,700	1,409,700
50,000	3,964,800	2,386,200	2,086,200
100,000	7,159,200	3,964,800	2,875,500

3) เปรียบเทียบต้นทุนค่าอุปกรณ์ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปี ต้นทุนค่าอุปกรณ์ คิดจากค่าการบำรุงรักษาเครื่องจักร ทุกผลิตภัณฑ์กำหนดตามอายุการใช้งาน เป็นเครื่องจักรใหม่ยังไม่มีการใช้งานเครื่องจักร ต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักรเท่ากับ 5% ต่อปี ของราคาเครื่องจักรทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.38 ต้นทุนค่าอุปกรณ์ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปีของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุดต่อปี)	ต้นทุนค่าอุปกรณ์ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปี (บาทต่อปี)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	1,152,500	1,152,500	1,152,500
10,000	1,152,500	1,152,500	1,152,500
50,000	3,135,000	1,825,000	1,575,000
100,000	5,775,000	3,135,000	2,230,000

4) เปรียบเทียบต้นทุนการก่อสร้าง ทั้ง 12 สภาวะการดำเนินงานมีต้นทุนการก่อสร้าง 110,200 บาทต่อปี เนื่องจากสามารถแม้มีการเปลี่ยนจำนวนเครื่องจักรแล้วพื้นที่โรงงานยังเพียงพอไม่จำเป็นต้องสร้างโรงงานใหม่เพิ่มเติม

ผลของต้นทุนคงที่ต่อหน่วยของปริมาณการผลิต 5,000 ชุดต่อปีแสดงดังตารางที่ 4.39 ทั้ง 3 กะ ให้ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ 773.88 บาทต่อชุด เท่ากันทั้ง 3 กะ ที่ปริมาณการผลิต 10,000 ชุดต่อปี ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย 386.94 บาทต่อชุด เท่ากันทั้ง 3 กะ แสดงดังตารางที่ 4.40 ที่ปริมาณการผลิต 50,000 และ 100,000 ชุดต่อปี ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ผลิตรูปแบบ 3 กะ ให้ต้นทุน

ต่ำที่สุด เนื่องจากใช้ต้นทุนเครื่องจักรต่ำกว่ารูปแบบ 1 กะ และ2 กะ ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ปริมาณการผลิต 50,000 และ 100,000 ชุดต่อปี แสดงดังตารางที่ 4.41 และ 4.42

ตารางที่ 4.39 ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชุดต่อปีของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุดต่อปี)	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ			
	รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	1. ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน	1,197,000	1,827,000	2,457,000
	2. ต้นทุนค่าเครื่องจักร	1,409,700	1,409,700	1,409,700
	3. ต้นทุนค่าอุปกรณ์	1,152,500	1,152,500	1,152,500
	4. ต้นทุนการก่อสร้าง	110,200	110,200	110,200
	รวมต้นทุนคงที่	3,869,400	3,869,400	3,869,400
	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย	**773.88**	**773.88**	**773.88**

ตารางที่ 4.40 ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ปริมาณการผลิต 10,000 ชุดต่อปีของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุดต่อปี)	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ			
	รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
10,000	1. ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน	1,197,000	1,827,000	2,457,000
	2. ต้นทุนค่าเครื่องจักร	1,409,700	1,409,700	1,409,700
	3. ต้นทุนค่าอุปกรณ์	1,152,500	1,152,500	1,152,500
	4. ต้นทุนการก่อสร้าง	110,200	110,200	110,200
	รวมต้นทุนคงที่	3,591,900	3,591,900	3,591,900
	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย	**386.94**	**386.94**	**386.94**

ตารางที่ 4.41 ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ปริมาณการผลิต 50,000 ชุดของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุดต่อปี)	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ			
	รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
50,000	1. ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน	1,197,000	1,827,000	2,457,000
	2. ต้นทุนค่าเครื่องจักร	3,964,800	2,386,200	2,086,200
	3. ต้นทุนค่าอุปกรณ์	3,135,000	1,825,000	1,575,000
	4. ต้นทุนการก่อสร้าง	110,200	110,200	110,200
	รวมต้นทุนคงที่	8,407,000	6,148,400	6,228,400
	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย	**168.14**	**122.97**	**124.57**

ตารางที่ 4.42 ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ปริมาณการผลิต 100,000 ชุดของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุดต่อปี)	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ			
	รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
100,000	1. ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน	1,197,000	1,827,000	2,457,000
	2. ต้นทุนค่าเครื่องจักร	7,159,200	3,964,800	2,875,500
	3. ต้นทุนค่าอุปกรณ์	5,775,000	3,135,000	2,230,000
	4. ต้นทุนการก่อสร้าง	110,200	110,200	110,200
	รวมต้นทุนคงที่	14,241,400	9,037,000	7,672,700
	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย	**142.41**	**90.37**	**76.73**

ข. เปรียบเทียบต้นทุนผันแปรของการผลิตขาเทียมใต้เข่าแบบกึ่งของแข็ง

ต้นทุนผันแปรเป็นต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงอย่างเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการปริมาณการผลิต ไม่ว่าจะผลิตมากน้อยแค่ไหน ต้นทุนผันแปรของต้นทุนต่อหน่วยจะเท่าๆกัน ทุกหน่วย ต้นทุนผันแปรประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนพลังงาน การคิดต้นทุนผันแปรเป็นนำความต้องการทรัพยากรในส่วนของวัตถุดิบ แรงงาน และพลังงานมาคิดร่วมกับปัจจัยทางการเงินของทรัพยากรนั้นๆ เช่น ราคาวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ราคาของเชื้อเพลิงต่างๆ ในแบบจำลองต้นทุนสามารถหาค่าต้นทุนของทรัพยากรต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (อ้างอิงราคาวัตถุดิบต่อหน่วยตามตารางที่ 3.5) ดังนี้

อ้างอิงการคำนวณต้นทุนผันแปรสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.21

$$VC = C_{material} + C_{labor} + C_{energy}$$

โดยที่ VC แทน ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (บาทต่อชุด)
$C_{material}$ แทน ต้นทุนวัตถุดิบ (บาทต่อชุด)
C_{labor} แทน ต้นทุนแรงงาน (บาทต่อชุด)
C_{energy} แทน ต้นทุนพลังงาน (บาทต่อชุด)

1) เปรียบเทียบต้นทุนวัตถุดิบสามารถคำนวณต้นทุนอะลูมิเนียม เกรด A356 7075 และวัตถุดิบอื่นที่ใช้ในการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบคิดจากปริมาณการใช้วัตถุดิบรวมกับราคาวัตถุดิบแต่ละชนิด แสดงรายละเอียดการคำนวณดังตารางภาคผนวกที่ ก. และต้นทุนวัตถุดิบชนิดต่างๆแสดงในตารางที่ 4.43

อ้างอิงการคำนวณต้นทุนวัตถุดิบสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.22

$$C_{material} = C_{Al} + C_{flux} + C_{sol} + C_{RO} + C_{H} + C_{wa}$$

โดยที่ $C_{material}$ แทน ต้นทุนวัตถุดิบ (บาทต่อชุด)
C_{Al} แทน ต้นทุนอะลูมิเนียม (บาทต่อชุด)
C_{flux} แทน ต้นทุนฟลักซ์ (บาทต่อชุด)
C_{sol} แทน ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (บาทต่อชุด)
C_{RO} แทน ต้นทุนน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (บาทต่อชุด)
C_{H} แทน ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิก (บาทต่อชุด)
C_{wa} แทน ต้นทุนน้ำประปา (บาทต่อชุด)

จากผลของแบบจำลองการดำเนินงานในข้างต้นที่ได้กล่าวมา ได้ผลของความต้องการทรัพยากรทั้งหมดที่ใช้ และนำมาคิดหาต้นทุนต่อหน่วย โดยหาค่าต้นทุนของทรัพยากรต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (อ้างอิงราคาวัตถุดิบต่อหน่วยตามตารางที่ 3.5) ผลจากปริมาณอะลูมิเนียมที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะได้จากตารางที่ 4.34 ปริมาณอะลูมิเนียมต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ ต้นทุนอะลูมิเนียม ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.43 และแผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนอะลูมิเนียมต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะแสดงดังภาพประกอบที่ 4.2 รายละเอียดของต้นทุนอะลูมิเนียมแต่ละแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะแสดงที่ตารางภาคผนวกที่ ข. 1

การคำนวณต้นทุนอะลูมิเนียมรวมสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.26

$$C_{Al\ total} = (V_{Al,\ A356} \times P_{Al,\ A356}) + (V_{Al,\ 7075} \times P_{Al,\ 7075}) \quad (4.26)$$

$$C_{Al\ total} = (5{,}375.04 \times 92) + (2{,}217.6 \times 350)$$

$$C_{Al\ total} = 494{,}503.68 + 776{,}160$$

$$C_{Al\ total} = 1{,}270{,}663.68$$

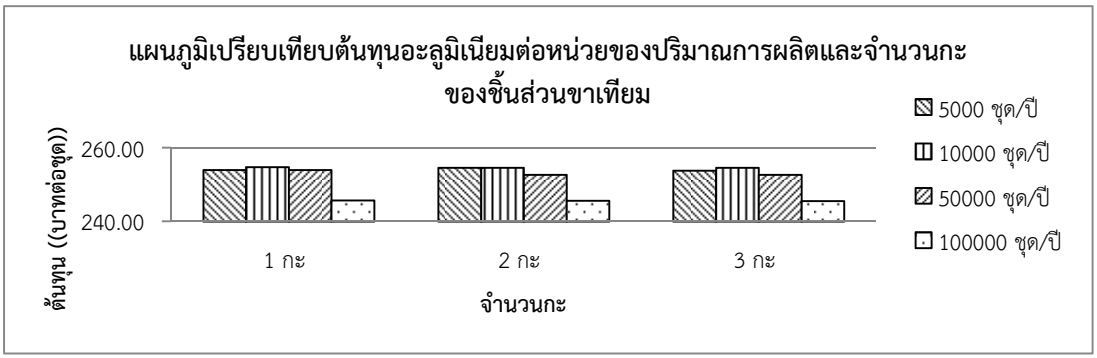
โดยที่ $C_{Al\ total}$ แทน ต้นทุนอะลูมิเนียม (บาทต่อชุด)

V_{Al} แทน ปริมาณอะลูมิเนียมแต่ละชนิด (กิโลกรัม)

P_{Al} แทน ราคาอะลูมิเนียมแต่ละชนิด (บาทต่อกิโลกรัม)

ตารางที่ 4.43 ต้นทุนอะลูมิเนียมต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนอะลูมิเนียมต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อชุด)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	254.02	254.62	253.82
10,000	254.79	254.63	254.62
50,000	253.98	252.65	252.68
100,000	245.74	245.66	245.56



ภาพประกอบที่ 4.2 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนอะลูมิเนียมต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ต้นทุนฟลักซ์ของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะแสดงดังตารางที่ 4.44 คิดจากจำนวนฟลักซ์ที่ใช้สำหรับทำความสะอาดอะลูมิเนียมในขณะหลอม สัดส่วนการใส่ อะลูมิเนียม : ฟลักซ์ ที่ 100 : 0.2 การคำนวณปริมาณฟลักซ์สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.10 รายละเอียดต้นทุนฟลักซ์ของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะแสดงที่ตารางภาคผนวกที่ ข.2

ตารางที่ 4.44 ต้นทุนฟลักซ์ต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนฟลักซ์ต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อชุด)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	0.12	0.12	0.12
10,000	0.12	0.12	0.12
50,000	0.12	0.12	0.11
100,000	0.12	0.12	0.12

ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ เป็นส่วนที่ช่วยยืดอายุการใช้งานแม่พิมพ์ให้ใช้งานได้นานขึ้น โดยใช้สำหรับพ่นลดอุณหภูมิแม่พิมพ์หลังจากการขึ้นรูปโลหะเพื่อขึ้นรูปครั้งต่อไป และน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (Reverse Osmosis, RO) ใช้สำหรับกำจัดสารละลายในน้ำโดยให้น้ำไหลผ่านเยื่อกรองที่มีความละเอียดสูง สิ่งเจือปนต่างๆ ที่มีอยู่จะถูกขจัดออกจากแม่พิมพ์ ผลของต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์แสดงดังตารางที่ 4.45 ต้นทุนน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์แสดงดังตารางที่ 4.46 อ้างอิงการคำนวณปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ผสมสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.11 ถึง 4.13 รายละเอียดต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์และต้นทุนน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์แสดงที่ตารางภาคผนวกที่ ข.3 และ ข.4

ตารางที่ 4.45 ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์รวมต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์รวมต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อชุด)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	2.93	2.94	2.92
10,000	2.97	2.99	2.94
50,000	2.92	2.92	2.92
100,000	2.84	2.84	2.84

ตารางที่ 4.46 ต้นทุนน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อชุด)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	0.33	0.33	0.33
10,000	0.33	0.34	0.33
50,000	0.33	0.33	0.33
100,000	0.32	0.32	0.32

ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิกคิดตามการใช้งานจากจำนวนวันดำเนินงานและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ อ้างอิงการคำนวณปริมาณการใช้น้ำมันไฮดรอลิกสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.14 ผลของต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิกต่อหน่วยดังตารางที่ 4.47 และรายละเอียดต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิกแสดงดังที่ตารางภาคผนวกที่ ข.5

ตารางที่ 4.47 ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิกต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิกต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อชุด)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	2.50	2.30	2.22
10,000	2.79	2.29	2.24
50,000	2.44	2.28	2.22
100,000	2.43	2.22	2.16

ต้นทุนน้ำประปาคำนวณตามการใช้งานจากเวลาที่เปิดน้ำหล่อเลี้ยงเครื่องตามจำนวนวันดำเนินงานและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตร่วมกับจำนวนกะ การคำนวณปริมาณการใช้น้ำประปาสามารถคำนวณจากสมการ 4.15 และต้นทุนน้ำประปาต่อหน่วยดังตารางที่ 4.48 รายละเอียดต้นทุนต้นทุนน้ำประปาแสดงที่ตารางที่ ข.6

ตารางที่ 4.48 ต้นทุนน้ำประปาต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนน้ำประปาต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อชุด)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	1.10	1.01	0.98
10,000	1.10	1.01	0.98
50,000	1.07	1.00	0.98
100,000	1.07	0.98	0.97

2) เปรียบเทียบต้นทุนค่าแรงงานในการผลิตแบบ 2 กะ และ 3 กะ ต้องใช้แรงงานเพิ่มจาก 1 กะ เนื่องจากเป็นการผลิตในเวลาเย็นและกลางคืน ทำให้จำเป็นต้องเพิ่มค่าเข้ากะให้กับแรงงาน โดยกะเย็นให้ค่าเข้ากะ 50 บาทต่อคน และกะดึกให้ค่าเข้ากะ 100 บาทต่อคน อ้างอิงจากเว็บจัดหางาน www.jobth.com เดือน พฤษภาคม ปี 2558 คิดต้นทุนแรงงานแต่ละปริมาณการผลิตจากจำนวนแรงงานจากตารางที่ 4.33 ได้ผลของต้นทุนค่าแรงงานแต่ละปริมาณการผลิตแสดงดังตารางที่ 4.49 และตารางที่ ข.7

อ้างอิงการคำนวณต้นทุนแรงงานสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.24

$$C_{labor} = (n)(P_{labor} \times D) \quad (4.24)$$

$$C_{labor} = ((1)(300 + 50 + 100) \times 88)$$

$$C_{labor} = 39{,}600$$

โดยที่ C_{labor} แทน ต้นทุนแรงงาน (บาทต่อชุด)

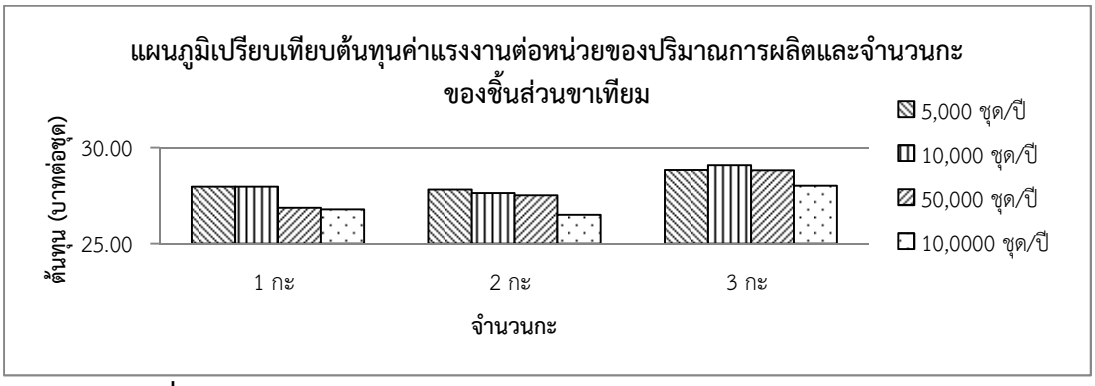
P_{labor} แทน ค่าแรงงานรายวัน (บาทต่อวัน)

n แทน จำนวนแรงงานต่อกะ

D แทน จำนวนวันในการผลิต (วัน)

ตารางที่ 4.49 ต้นทุนค่าแรงงานของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนค่าแรงงานต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อชุด)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	27.96	27.82	28.83
10,000	27.96	27.63	29.09
50,000	26.86	27.51	28.81
100,000	26.77	26.49	28.01

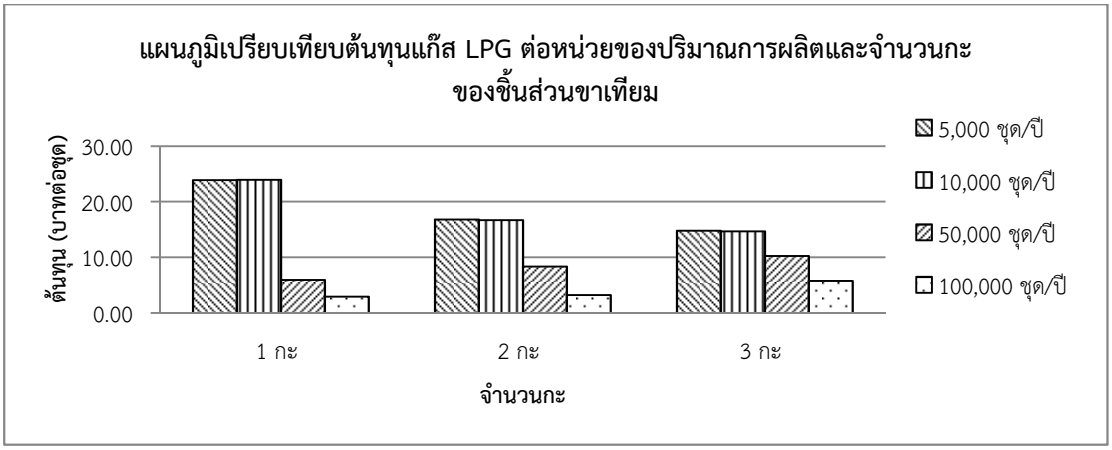


ภาพประกอบที่ 4.3 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนค่าแรงงานต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

3) เปรียบเทียบต้นทุนพลังงานแต่ละปริมาณการผลิตคิดจาก 3 ส่วน คือ ต้นทุนแก๊ส LPG ต้นทุนไนโตรเจน และต้นทุนไฟฟ้า ต้นทุนแก๊ส LPG ใช้สำหรับหลอมอะลูมิเนียมและรักษาอุณหภูมิของอะลูมิเนียมหลอมคำนวณจากเวลาและจำนวนวันที่ดำเนินการผลิต ผลของต้นทุนแก๊ส LPG แสดงดังตารางที่ 4.50 รายละเอียดต้นทุนแก๊ส LPG แสดงที่ตารางภาคผนวกที่ ข.8

ตารางที่ 4.50 ต้นทุนแก๊ส LPG ต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนแก๊ส LPG ต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อชุด)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	23.87	16.80	14.80
10,000	23.92	16.71	14.69
50,000	5.90	8.33	10.25
100,000	2.89	3.21	5.71



ภาพประกอบที่ 4.4 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนแก๊ส LPG ต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ต้นทุนไนโตรเจนคิดผันแปรตามจำนวนการขึ้นรูปอะลูมิเนียมและเวลาที่ปล่อยเป็นฟองแก๊สให้อะลูมิเนียมหลอมกลายเป็นอะลูมิเนียมกึ่งของแข็ง ผลของต้นทุนไนโตรเจนแสดงดังตารางที่ 4.51 และรายละเอียดต้นทุนไนโตรเจนแสดงที่ตารางภาคผนวกที่ ข.9

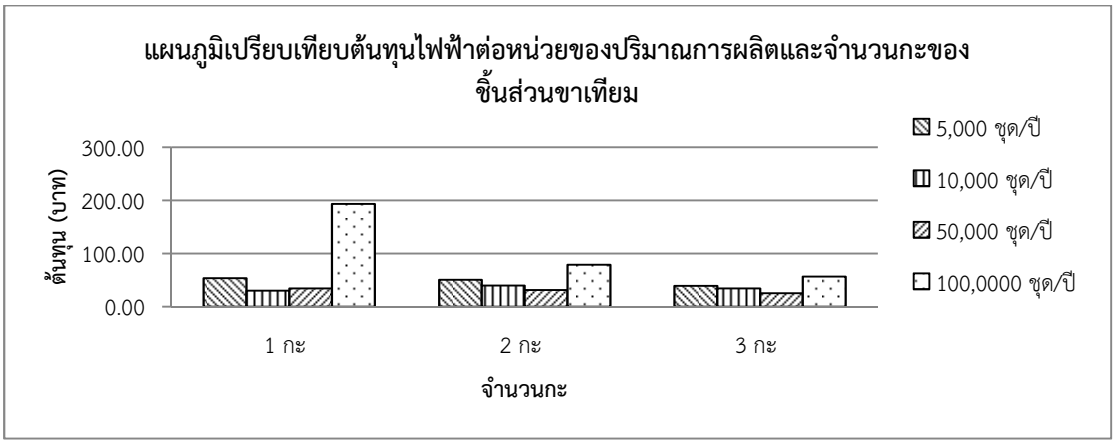
ตารางที่ 4.51 ต้นทุนไนโตรเจนต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนไนโตรเจนต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อชุด)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	0.86	0.86	0.86
10,000	0.86	0.86	0.86
50,000	0.86	0.85	0.86
100,000	0.84	0.84	0.84

ต้นทุนไฟฟ้าคิดตามกำลังไฟฟ้าของแต่ละเครื่องจักร จำนวนเครื่องจักร และจำนวนวัน ผลของต้นทุนไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 4.52 และรายละเอียดต้นทุนไฟฟ้าแสดงที่ตารางภาคผนวกที่ ข.10

ตารางที่ 4.52 ต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อชุด)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	53.45	50.66	39.11
10,000	29.73	39.36	33.86
50,000	34.03	30.95	25.39
100,000	193.07	78.45	56.51



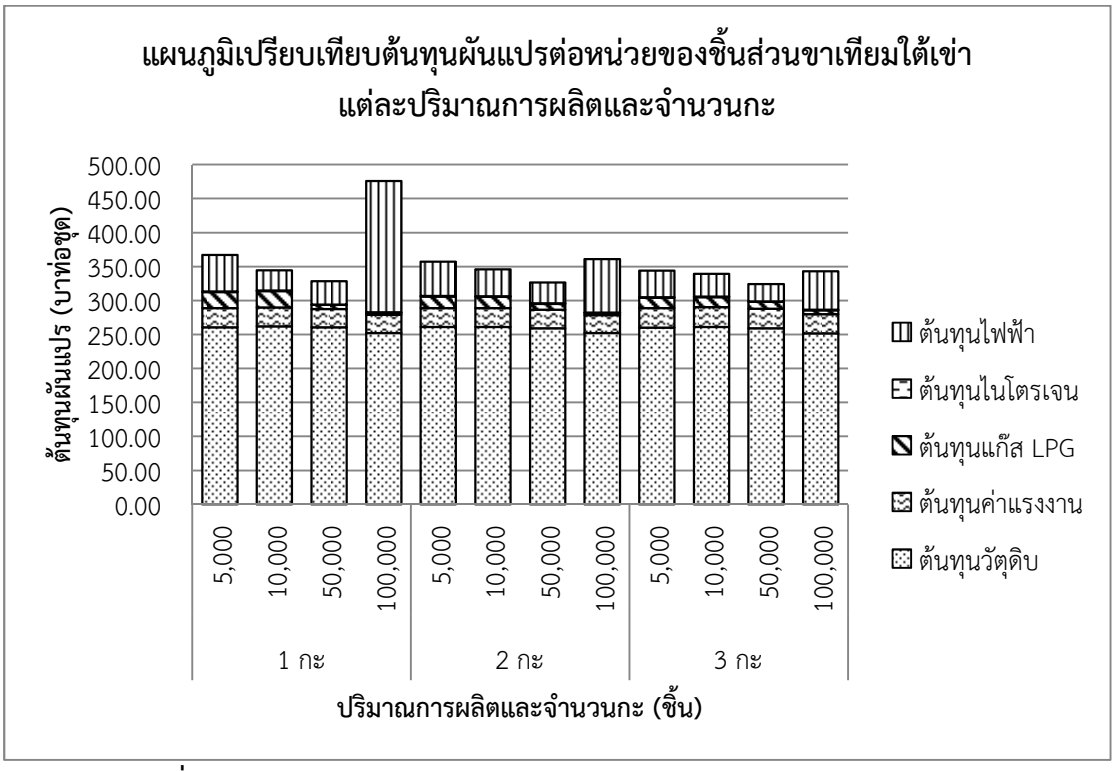
ภาพประกอบที่ 4.5 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ผลรวมของต้นทุนผันแปรที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ คิดจากต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน และต้นทุนพลังงาน ต้นทุนผันแปรต่อหน่วยที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะดังตารางที่ 4.53 รายละเอียดต้นทุนผันแปรแสดงที่ตารางภาคผนวกที่ ข.11

ตารางที่ 4.53 ต้นทุนผันแปรต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนผันแปรต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อชุด)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	367.25	357.46	343.99
10,000	344.58	345.92	339.72
50,000	328.48	326.95	324.54
100,000	476.09	361.13	343.05

จากตารางที่ 4.53 พบว่าต้นทุนผันแปรมีแนวโน้มลดลงเมื่อยิ่งผลิตมากขึ้น จาก 5,000 – 50,000 ชุดต่อปี แต่มีต้นทุนเพิ่มขึ้นเมื่อผลิตที่ 100,000 ชุดต่อปี โดยสาเหตุที่ทำให้แนวโน้มของต้นทุนผันแปรมีลักษณะดังกล่าว เนื่องมาจากต้นทุนค่าไฟฟ้าของ 100,000 ชุดต่อปี ใช้จำนวนวันในการดำเนินงานและจำนวนเครื่องจักรเพิ่มมากกว่า โดยรายละเอียดของต้นทุนผันแปรแสดงดังภาพประกอบที่ 4.12

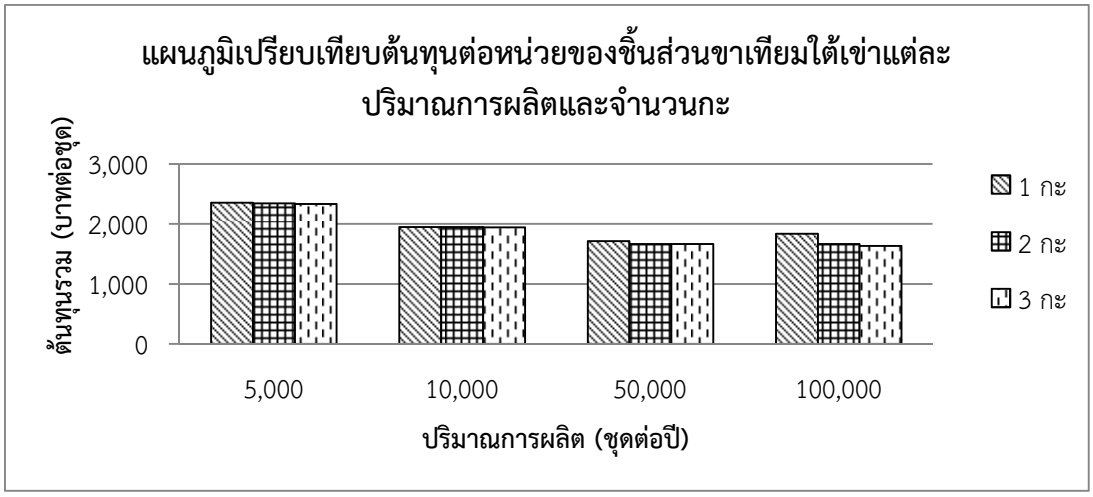


ภาพประกอบที่ 4.6 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนผันแปรต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของกระบวนการผลิตขาเทียม

ทำการเปรียบเทียบต่อทุนต่อหน่วยในแต่ละปริมาณการผลิต เริ่มจาก 5,000 และ 10,000 ชุดต่อปี พบว่าการการผลิตแบบ 3 กะ ให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำที่สุดเนื่องจากใช้จำนวนวันในการผลิตน้อยที่สุด และต้นทุนสูงที่สุดที่การผลิตแบบ 1 กะ เนื่องมาจากใช้จำนวนวันผลิตมากกว่าการผลิตแบบ 2 กะ และ 3 กะ เนื่องจากเป็นคิดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงเวลา On Peak - Off Peak ซึ่งส่งผลต่อปัจจัยการคำนวณค่าไฟฟ้า แต่ที่ระดับปริมาณการผลิตที่ 50,000 ชุดต่อปี และ 100,000 ชุดต่อปี การผลิตแบบ 1 กะ จะให้ต้นทุนที่สูงกว่าเนื่องจากจะต้องมีการลงทุนเครื่องจักรมากขึ้น ดังตารางที่ 4.54 และภาพประกอบที่ 4.13 แต่ส่วนที่ทำให้ต้นทุนที่ปริมาณการผลิต 50,000 ชุดต่อปี และ 100,000 ชุดต่อปีลดลงกว่า ปริมาณการผลิต 5,000 ชุดต่อปี และ 10,000 ชุดต่อปี คือต้นทุนคงที่เนื่องจากมีปริมาณการผลิตที่เยอะกว่ามากๆทำให้สัดส่วนของต้นทุนคงที่มีการลดลง

ตารางที่ 4.54 ต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าแต่ละปริมาณการผลิต

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าแต่ละปริมาณการผลิต (บาทต่อชุด)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	2,357	2,347	2,334
10,000	1,948	1,949	1,943
50,000	1,713	1,666	1,665
100,000	1,835	1,668	1,636

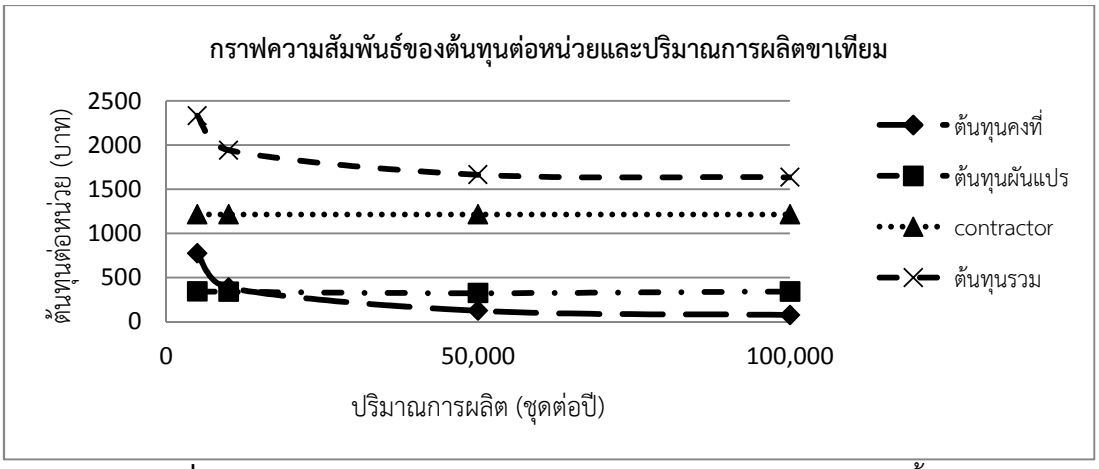


ภาพประกอบที่ 4.7 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ

จากผลการเปรียบเทียบต้นทุนแต่ละปริมาณการผลิตพบว่าการผลิตแบบ 3 กะ ให้ต้นทุนต่ำกว่า รูปแบบ 1 กะ และ 2 กะ จึงนำมาพิจารณากราฟเชิงเส้นพบว่าลักษณะของต้นทุนทั้งสองประเภท คือ ต้นทุนคงที่ต่อชุดและต้นทุนผันแปรต่อชุด โดยต้นทุนคงที่ต่อหน่วยมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณการผลิต ส่วนต้นทุนผันแปรต่อหน่วยมีลักษณะเป็นค่าคงที่เท่าๆกันในทุกปริมาณการผลิต ต้นทุนต่อหน่วยลดลงเมื่อมีปริมาณการผลิตที่สูงขึ้น รายละเอียดของต้นทุนต่อหน่วยผลิตแบบ 3 กะ แสดงดังตารางที่ 4.55 และกราฟเชิงเส้นแสดงดังภาพประกอบที่ 4.14

ตารางที่ 4.55 รายละเอียดของต้นทุนชิ้นส่วนขาเทียมต่อหน่วยผลิตแบบ 3 กะ

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย	ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย	จ้างงานภายนอกต่อหน่วย	ต้นทุนรวม
5,000	773.88	343.99	1,216	2,334
10,000	386.94	339.72	1,216	1,943
50,000	124.57	324.54	1,216	1,665
100,000	76.73	343.08	1,216	1,636



ภาพประกอบที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อหน่วยและปริมาณการผลิตชิ้นส่วนขาเทียม

จากการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องกับขาทียมใต้เข่าทั้งในและต่างประเทศแล้ว พบว่าขาเทียมที่ดีต้องมีคุณสมบัติ ทนทาน สวมใส่สบายและมีน้ำหนักเบา โดยส่วนใหญ่เป็นขาเทียมที่นำเข้าต่างประเทศ ก่อให้เกิดราคาที่สูง ผู้พิการในประเทศไทยซึ่งมีรายได้น้อยไม่สามารถซื้อมาสวมใส่ได้ และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลที่ให้การสนับสนุนเกี่ยวกับผู้พิการส่วนใหญ่ พบว่าขาเทียมที่ผลิตภายในประเทศซึ่งผลิตจากจากสแตนเลสมีน้ำหนักที่สูงกว่าขาเทียมอะลูมิเนียมจากกระบวนการขึ้นรูปโลหะแบบกึ่งของแข็งประมาณ 300 กรัม และมีน้ำหนักสูงกว่าขาเทียมที่นำเข้าจากต่างประเทศประมาณ 30 กรัม จึงได้มีการกำหนดราคาขายขาเทียมจากกระบวนการขึ้นรูปโลหะแบบกึ่งของแข็ง 50 % จากต้นทุนการผลิต คิดเป็นมูลค่าประมาณ 3,500 บาทต่อชุด และทำการเปรียบเทียบราคา พบว่าขาเทียมจากกระบวนการขึ้นรูปโลหะแบบกึ่งของแข็งมีราคาต่ำกว่าขาเทียมนำเข้าจากต่างประเทศ แต่สูงกว่าขาเทียมของมูลนิธิขาเทียมในสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี เมื่อเปรียบเทียบปัจจัยด้านน้ำหนักและราคาร่วมกัน พบว่าขาเทียมจากกระบวนการขึ้นรูปโลหะแบบกึ่งของแข็งเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด รายละเอียดของการเปรียบเทียบชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าจากภายในและต่างประเทศแสดงดังตารางที่ 4.56

ตารางที่ 4.56 เปรียบเทียบชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าจากภายในและต่างประเทศ

ผู้ผลิต	น้ำหนักรวม (กรัม)	ราคา	วัสดุ
มูลนิธิขาเทียมในสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี	634.62	1,500	สแตนเลส
ต่างประเทศ (บริษัท Ottobock จำกัด)	369.09	24,900	อะลูมิเนียม
ขาเทียมจากกระบวนการขึ้นรูปโลหะแบบกึ่งของแข็ง	338	3,5000	อะลูมิเนียม

4.2 ชิ้นส่วนเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

ในหัวข้อที่ 4.2 กล่าวถึงผลจากการดำเนินการวิจัยเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ ซึ่งมีกระบวนการผลิต 3 ขั้นตอน คือการผลิตแกนภายใน การผลิตเนื้อเท้าเทียม และการผลิตผิวเท้าเทียม ผลที่ได้จากการดำเนินการวิจัยประกอบไปด้วย 2 หัวข้อย่อย หัวข้อย่อยที่ 1 ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ และหัวข้อย่อยที่ 2 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการแต่ละขนาดปริมาณการผลิต

4.2.1 แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ แบบจำลองกระบวนการผลิต แบบจำลองการดำเนินงาน และแบบจำลองการคิดต้นทุน โดยทั้งสามแบบจำลองจะรับข้อมูลป้อนเข้าเพื่อประมวลผล ผลลัพธ์ในแต่ละแบบจำลองแสดงในรูปต้นทุนต่อหน่วย โดยจะกล่าวถึงกระบวนการผลิต 3 ขั้นตอน คือการผลิตแกนภายใน การผลิตเนื้อเท้าเทียม และการผลิตผิวเท้าเทียม ตามลำดับ

4.2.1.1 แบบจำลองกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

ก. รอบเวลาการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

รอบเวลาการผลิตของโรงงานศึกษาจากการจับเวลาโดยตรงจากการทำงานจริงของพนักงาน พนักงานทำงานเสมือนจริง ผู้บันทึกเวลาจะบันทึกแต่ละขั้นตอนย่อยที่ต่อเนื่องกันและจับเวลาไปตามวัฏจักรการทำงานสำหรับรอบเวลาผลิตเฉลี่ยจากโรงงานกรณีศึกษาของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง รอบเวลาที่ใช้ในการผลิตทั้ง 3 ขั้นตอน แต่ละขั้นตอนมีรอบเวลาการผลิตเฉลี่ย 30 นาทีต่อชิ้น

จากการเก็บข้อมูลโรงงานกรณีศึกษา แบ่งประเภทการขึ้นรูปเป็น 3 รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ 1 การจัดเรียงผืนทอเส้นใยแก้วกับผืนทอคาร์บอนและกระบวนการขึ้นรูปของแกนภายใน โดยใช้พื้นที่สำหรับไว้โต๊ะและอุปกรณ์สำหรับการขึ้นรูป พื้นที่สำหรับรอให้ชิ้นงานแข็งตัว

รูปแบบที่ 2 การผสมสารเคมี 2 ชนิด คือ โพลิออลและไอโซไซยาเนต ให้เป็นโพลียูรีเทนโฟมเพื่อนำมาหุ้มแกนภายในเป็นเนื้อเท้าเทียม พื้นที่ที่ใช้ในส่วนนี้ คือพื้นที่สำหรับผสมสารเคมี พื้นที่สำหรับขึ้นรูปโพลียูรีเทนโฟมสำหรับหุ้มแกนภายใน

รูปแบบที่ 3 การผสมยางแท่งกับสารเคมีโดยใช้เครื่องบดผสม 2 ลูกกลิ้ง ให้ได้เป็นยางคอมปาวนด์และการขึ้นรูปยางคอมปาวนด์ที่หุ้มเนื้อเท้าเทียมให้ได้เป็นเท้าเทียมที่มีผิวสมบูรณ์โดยใช้เครื่องอัดร้อนแม่พิมพ์ยาง ทำให้พื้นที่ที่ใช้ คือพื้นที่สำหรับวางเครื่องบดผสม 2 ลูกกลิ้ง เครื่องอัดร้อนแม่พิมพ์ยาง โต๊ะสำหรับการหุ้มยางคอมปาวนด์รอบเนื้อเท้าเทียม

ข. ชนิดของทรัพยากรการผลิตชิ้นส่วนเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตทำให้ทราบชนิดของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ ชนิดของสินทรัพย์ถาวร ชนิดของแรงงาน ชนิดของวัตถุดิบ และชนิดของพลังงาน แสดงดังตารางที่ 4.57

ตารางที่ 4.57 ชนิดของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตของเท้าเทียม 5,000 ชิ้นต่อปี

ประเภททรัพยากร	ทรัพยากรทั้งหมดที่ใช้ผลิตเท้าเทียม 5,000 ชิ้นต่อปี
1. สินทรัพย์ถาวร	ที่ดิน อาคารสำนักงาน อาคารโรงงาน ครุภัณฑ์สำนักงาน ยานพาหนะ เครื่องจักร - เครื่องเจียรนัย - เครื่องบดผสม 2 ลูกกลิ้ง - เครื่องอัดแม่พิมพ์ยางไฮดรอลิก - เครื่องชั่งสารเคมี
2. แรงงาน	แรงงาน
3. วัตถุดิบ	แกนภายใน - ผืนทอใยแก้ว - ผืนทอคาร์บอน ผิวเท้าเทียม - ยางแท่ง เกรด STR 5L - น้ำมันไฮดรอลิก
4. สารเคมี	แกนภายใน - อีพ็อกซี เรซิน เกรด 850 - ฮาร์ทเดนเนอร์ เกรด 982 - ทินเนอร์ อีพ็อกซี เนื้อเท้าเทียม - โพลิออล - ไอโซไซยาเนต

ตารางที่ 4.57 ชนิดของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตของเท้าเทียม 5,000 ชิ้นต่อปี (ต่อ)

ประเภททรัพยากร	ทรัพยากรทั้งหมดที่ใช้ผลิตเท้าเทียม 5,000 ชิ้นต่อปี
4. สารเคมี (ต่อ)	ผิวเท้าเทียม - ซิงค์ออกไซด์ - เขม่าดำ - กรดสเตียริค - วิงสเตย์ แอล - เมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล - เอ็กซ์ตอน เค วัน - น้ำมัน กำมะถัน
5. พลังงาน	ไฟฟ้า

4.2.1.2 แบบจำลองการดำเนินงานการผลิตชิ้นส่วนเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตแกนภายในอย่างละเอียด ทำให้ทราบขั้นตอนการผลิตอย่างละเอียดและความต้องการด้านทรัพยากรที่ใช้ทั้งหมด

พื้นที่ใช้สอยนอกเหนือจากส่วนที่ทำการผลิต เช่น พื้นที่สินค้าคงคลัง พื้นที่วางผลิตภัณฑ์เพื่อส่งมอบ เป็นต้น เท่ากับ 100 ตร.ม. ดังนั้น อาคารโรงงานใช้พื้นที่ 120 ตร.ม. สำหรับอาคารสำนักงานของกิจการขนาดเล็กตามเอกสารการอบรมใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรมด้านความปลอดภัย กำหนดให้มีพื้นที่ขั้นต่ำในการดำเนินกิจกรรมสำนักงาน 50 ตร.ม. และพื้นที่เผื่อสำหรับขยายกิจการในอนาคต ประเมินโดยบริษัท นีโอ ซีวิล 2004 จำกัด เท่ากับ 400 ตร.ม.

การกำหนดจำนวนแรงงาน แบ่งเป็น 2 ประเภท โดยแรงงานแรงงานกำหนดตามลักษณะจำเพาะของเครื่องจักร (อ้างอิงตามตารางที่ 3.9) ส่วนพนักงานระดับบริหารเป็นบุคคลสำหรับติดต่อประสานงานเพื่ออำนวยความสะดวกในการผลิตจึงกำหนดเท่าที่จำเป็น ซึ่งมีจำนวน 7 คน ประกอบด้วย ผู้จัดการโรงงาน 1 คน พนักงานฝ่ายบัญชีและการเงิน 1 คน พนักงานฝ่ายการตลาดและจัดซื้อ 1 คน วิศวกรโรงงาน 2 คนและพนักงานฝ่ายวางแผน/ควบคุมการผลิต 2 คน สำหรับวิศวกรโรงงานและพนักงานฝ่ายวางแผน/ควบคุมการผลิต จะมีการเปลี่ยนแปลงตามจำนวนกะที่ใช้ในการผลิตเนื่องจากเป็นผู้ควบคุมการดำเนินงานของพนักงาน จึงจำเป็นที่จะต้องมีวิศวกรโรงงาน และพนักงานฝ่ายวางแผน/ควบคุมการผลิตเพื่อคอยควบคุมและช่วยเหลือ หากเกิดปัญหาระหว่างทำการผลิต ทั้งนี้กำหนดให้ตลอดอายุโครงการมีเครื่องจักรหนึ่งชุด แสดงรายละเอียดของขนาดสินทรัพย์ถาวรและจำนวนแรงงาน

ปริมาณการใช้วัตถุดิบและพลังงานขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการดำเนินงานที่กำหนดให้แปรผันตามปริมาณการผลิตที่ต้องการ โดยจะมีการวิเคราะห์เกี่ยวกับจำนวนกะต่อวันกำหนดให้ผลิตแบบ 1 กะ โดยทำงานกะละ 8 ชั่วโมง คิดเป็น 480 นาทีต่อกะเนื่องจากเป็นเวลาการ

ทำงานเวลาปกติและกำหนดเวลาสูญเสียต่อกะ 160 นาทีต่อกะ ทำให้ระยะเวลาดำเนินงานต่อวันเหลือ 320 นาทีต่อกะ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.58

ตารางที่ 4.58 ระยะเวลาดำเนินงานต่อวันของเท้าเทียม

รายละเอียด	ระยะเวลาดำเนินงาน
1. เวลาทำงานต่อวัน	
1.1 จำนวนกะต่อวัน (กะ/วัน)	1
1.2 จำนวนชั่วโมงต่อกะ (ชม./กะ)	8
2. เวลาสูญเสียต่อกะ (นาที/กะ) (ข้อมูลตามตารางที่ 3.2 ข้อ 2)	120
3. ระยะเวลาดำเนินงานต่อวัน (นาที/กะ) (3) = {[(1.2) × 60] — (2)} × (1.1)	360

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของทีมวิจัยอยู่ในช่วงแนะนำสินค้าสู่ตลาด ซึ่งเป็นช่วงแรกของการเข้าสู่ตลาดเพื่อขายผลิตภัณฑ์ ในช่วงของการแนะนำสินค้าสู่ตลาด ผลิตภัณฑ์จะยังไม่เป็นที่รู้จักของลูกค้า ทางทีมวิจัยจึงกำหนดปริมาณการผลิต 5,000 ชิ้น เพื่อเป็นการแนะนำผลิตภัณฑ์ จากปริมาณการผลิตที่กำหนดไว้ทำให้ทราบปริมาณการผลิตสุทธิ จำนวนการขึ้นรูปทั้งหมด เวลาในการผลิตทั้งหมด และจำนวนวันทั้งหมดที่ใช้ผลิตชิ้นส่วน โดยการคำนวณหาจำนวนวันในการผลิต เริ่มคิดจากปริมาณการผลิตที่กำหนดคูณกับอัตราส่วนของเสียในการผลิต ปริมาณการผลิต กำหนด 5,000 ชิ้น และอัตราส่วนของเสียในการผลิต 5% ผลปริมาณการผลิตสุทธิ ที่ได้ คือ 5,250 ชิ้น ปริมาณการผลิตสุทธิของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงในแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.59 ข้อ 3

ปริมาณการผลิตสุทธิสามารถอ้างอิงการคำนวณได้จากสมการ 4.3

$$V_{net} = V \times rej$$
$$V_{net} = 5{,}000 \times [1 + (5 \div 100)]$$
$$V_{net} = 5{,}250$$

โดยที่ V_{net} แทน ปริมาณการผลิตสุทธิ (ชิ้น)
V แทน ปริมาณการผลิต (ชิ้น)
rej แทน อัตราส่วนของเสียในการผลิต

นำปริมาณการผลิตสุทธิ คิดรวมกับเวลามาตรฐาน ได้เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด ปริมาณการผลิตสุทธิ คือ 5,250 ชิ้น และเวลามาตรฐาน คือ 30 นาที ผลของเวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด 157,500 นาที เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงในแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.59 ข้อ 5

เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดสามารถอ้างอิงการคำนวณได้จากสมการ 4.4

$$T_{net} = V_{net} \times ST$$
$$T_{net} = 5,250 \times 30$$
$$T_{net} = 157,500$$

โดยที่ T_{net} แทน เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด (นาที)
V_{net} แทน ปริมาณการผลิตสุทธิ (ชิ้น)
ST แทน เวลามาตรฐาน (นาที)

นำเวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดมาหารกับระยะเวลาดำเนินงานแต่ละวัน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.36 ข้อ 3) ทำให้ได้จำนวนวันในการผลิต เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดคือ 157,500 นาที และระยะเวลาดำเนินงานแต่ละวัน 360 นาทีต่อวัน ผลของจำนวนวันในการผลิต 437.5 วัน จำนวนวันในการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงในแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.59 ข้อ 7

ผลของจำนวนวันในการผลิตสามารถอ้างอิงการคำนวณได้จากสมการ 4.5

$$D = T_{net} \div OPT$$
$$D = 157,500 \div 360$$
$$D = 437.5$$

โดยที่ D แทน จำนวนวันในการผลิต (วัน) *ค่าที่ได้ให้ปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็ม
T_{net} แทน เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด (นาที)
OPT แทน ระยะเวลาดำเนินงาน (นาที)

หาจำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน โดยนำระยะเวลาดำเนินงานแต่ละวัน 360 นาทีต่อวัน และเวลามาตรฐาน คือ 30 นาที ผลของจำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน คือ ชิ้นต่อวัน จำนวนที่ผลิตได้ต่อวันของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงในแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.59 ข้อ 8

จำนวนที่ผลิตได้ต่อวันสามารถอ้างอิงการคำนวณได้จากสมการ 4.6

$$U = OPT \div ST$$
$$U = 360 \div 30$$
$$U = 12$$

โดยที่ U แทน จำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน (ชิ้น) *ค่าที่ได้ให้ปัดลงเป็นจำนวนเต็ม
OPT แทน ระยะเวลาดำเนินงาน (นาที)
ST แทน เวลามาตรฐาน (นาที)

หาจำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน คิดจากจำนวนที่ผลิตได้ต่อวันคูณจำนวนวันในการผลิต จำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน 12 ชิ้น จำนวนวันในการผลิตคือ 437.5 วัน ผลจำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน คือ 5,250 ชิ้น จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวันของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างชิ้นส่วนอื่นแสดงในแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.59 ข้อ 9

จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวันสามารถอ้างอิงการคำนวณได้จากสมการ 4.7

$$U_{net} = U \times D$$
$$U_{net} = 12 \times 437.5$$
$$U_{net} = 5,250$$

โดยที่ U_{net} แทน จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ชิ้น)
U แทน จำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน (ชิ้น)
D แทน จำนวนวันในการผลิต (วัน)

การหาจำนวนสายการผลิต จากจำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวันต่อจำนวนที่ผลิตได้ต่อวันทำให้ทราบจำนวนวันในการผลิต คิดจากเงื่อนไขการทำงาน 300 วันต่อปี หากจำนวนวันในการผลิตเกิน 300 วัน จึงต้องเพิ่มสายการผลิต จากปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ทั้ง 5,000 ชิ้น ในเวลา 437.5 วันต่อแรงงาน 1 คน และได้กำหนดให้แต่ละกระบวนการมีจำนวนแรงงาน 2 คน ทำให้จำนวนวันที่ใช้ในการผลิตลดลงเหลือ 219 วัน

อ้างอิงการหาจำนวนสายการผลิตคำนวณได้จากสมการ 4.8

$$L = (U_{net} \div U) \div 300$$
$$L = (5,250 \div 12) \div 300$$
$$L = 2$$

โดยที่ L แทน จำนวนสายการผลิต *ค่าที่ได้ให้ปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็ม
U_{net} แทน จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ชิ้น)
U แทน จำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน (ชิ้น)

ดังนั้นเมื่อได้ข้อมูลจำนวนวันในการผลิตผลิตภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.59 เมื่อได้จำนวนวันแล้วจึงทำการคำนวณปริมาณความต้องการวัตถุดิบแต่ละชนิดตามปริมาณการผลิต

ตารางที่ 4.59 จำนวนวันในการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

การทำงาน	ปริมาณการผลิตต่อปี			หน่วย
	แกนภายใน	เนื้อเท้าเทียม	ผิวเท้าเทียม	
1. ปริมาณการผลิต	5,000	5,000	5,000	หน่วยต่อ 5,000 ชิ้น
2. อัตราการเกิดของเสีย (ข้อมูลตามตารางที่ 3.9 ข้อ 2)	5%	5%	5%	
3. ปริมาณการผลิตสรุป (3) = (1) + {(1) x [(2) ÷ 100]}	5,250	5,250	5,250	หน่วยต่อ 5,000 ชิ้น
4. เวลามาตรฐาน (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	30	30	60* *อัดขึ้นรูปครั้งละสองข้าง	นาทีต่อชิ้น
5. เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด (5) = [(3) x (4)]	157,500	157,500	157,500	นาทีต่อ 5,000 ชิ้น
6. ระยะเวลาดำเนินงาน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.36 ข้อ 3)	360	360	360	นาทีต่อวัน
7. จำนวนวันในการผลิต (7) = (5) ÷ (6)	437.5	437.5	437.5	วันต่อคน
8. จำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน (10) = (6) ÷ (4)	12	12	12* *อัดขึ้นรูปครั้งละสองข้าง	ชิ้นต่อวัน
9. จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (9) = (7) x (8)	5,250	5,250	5,250	ชิ้นต่อ 5,000 ชิ้น
10. จำนวนแรงงาน (10) = [(9) ÷ (8)] ÷ 300 *ค่าที่ได้ให้ปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็ม	2	2	2	คน
11. จำนวนวันที่ใช้ผลิตจริง (11) = (7) ÷ (10) *ค่าที่ได้ให้ปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็ม	219	219	219	วัน
รวม จำนวนวันในการผลิต	**219**			**วันต่อ 5,000 ชิ้น**

1) ปริมาณวัตถุดิบและสารเคมีสำหรับกระบวนการผลิตแกนภายใน

วัตถุดิบที่ใช้ในการใช้ทำการผลิตมีสองชนิดโดยแบ่งตามประเภทของเส้นใย คือผืนทอใยแก้วและผืนทอคาร์บอน โดยปริมาณความต้องการผืนทอใยแก้ว และผืนทอคาร์บอนคิดจากขนาดที่ใช้ในการผลิตจริง สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.27 โดยการผลิตผืนทอใยแก้วใช้จำนวน 7 ชั้น และผืนทอคาร์บอนใช้จำนวน 2 ชั้น ดังตารางที่ 4.60

การคำนวณหาปริมาณผืนทอเส้นใยแก้วทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.27

$$V_f = (\text{Length X Width}) \times \text{Layer} \qquad (4.27)$$

$$V_f = (3.5 \times 13) \times 7$$

$$V_f = 1{,}672{,}125$$

โดยที่ V_f แทน ขนาดของผืนทอเส้นใยแก้วที่ใช้ทั้งหมด (ตารางเซนติเมตร)
Length แทน ความกว้างของผืนทอเส้นใยแก้วต่อชั้น (เซนติเมตร)
Width แทน ความยาวของผืนทอเส้นใยแก้วต่อชั้น (เซนติเมตร)
Layer แทน จำนวนชั้นเส้นใยแก้ว (ชั้น)

ตารางที่ 4.60 ปริมาณความต้องการวัตถุดิบของกระบวนการผลิตแกนภายใน

รายละเอียด	ปริมาณวัตถุดิบต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี	หน่วย
	แกนภายใน	
1. ขนาดของผืนทอเส้นใยแก้ว	3.5 x 13	ซม.
2. จำนวนชั้นของผืนทอเส้นใยแก้ว	7	ชั้น
3. ขนาดของผืนทอคาร์บอน	3.5 x 13	ซม.
4. จำนวนชั้นผืนทอคาร์บอน	2	ชั้น
5. ปริมาณการผลิตต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี	5,000	ชิ้น
6. อัตราการเกิดของเสีย (ข้อมูลตามตารางที่ 3.9 ข้อ 2)	5%	
7. ต้องผลิตผลิตภัณฑ์ (5) = (3)+{(3)×[(4)÷100]}	5,250	ชิ้น
8. จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ข้อมูลตามตารางที่ 5.4 ข้อ 11)	5,250	ชิ้นต่อ 5,000 ชิ้น
9. ใช้ผืนทอเส้นใยแก้วทั้งหมด (9) = (1) x (2) x (8)	1,672,125	ตร.ซม.
10. ใช้ผืนทอคาร์บอนทั้งหมด (10) = (3) x (4) x (8)	477,750	ตร.ซม.
ปริมาณผืนทอเส้นใยแก้ว	1,672,125	ตร.ซม.
ปริมาณผืนทอคาร์บอน	477,750	ตร.ซม.

สารเคมีที่ใช้ในการใช้ทำการผลิตมีสามชนิด คือ อีพ็อกซีเรซิน เกรด 850 ฮาร์ทเดนเนอร์ เกรด 982 และทินเนอร์ อีพ็อกซี คิดจากน้ำหนักที่ใช้ในการผลิตรวมกับจำนวนที่ทำการผลิตได้

ตามจำนวนวัน ได้ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิต น้ำหนักของสารเคมีแต่ละชนิด ยกตัวอย่าง สารเคมีชนิด อีพ็อกซีเรซิน เกรด 850 ใช้ 100 ซีซี และจำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน คือ 5,250 ชิ้น ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง คือ 525 ลิตร ดังตารางที่ 4.61

การคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.28

$$V_{Epoxy} = (U_{net} \times W_{Epoxy}) \div 1{,}000 \qquad (4.28)$$

$$V_{Epoxy} = (5{,}250 \times 100) \div 1{,}000$$

$$V_{Epoxy} = 525$$

โดยที่ V_{Epoxy} แทน ปริมาณสารเคมี (ลิตร)

W_{Epoxy} แทน น้ำหนักสารเคมีต่อชิ้น (ซีซี)

U_{net} แทน จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ชิ้น)

ตารางที่ 4.61 ปริมาณสารเคมีของกระบวนการผลิตแกนภายใน

รายละเอียด	ปริมาณสารเคมีสำหรับแกนภายในต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี			หน่วย
	อีพ็อกซี 850	ฮาร์ทเดนเนอร์ 982	ทินเนอร์ อีพ็อกซี	
1. ปริมาณสารเคมี	100	100	15	ซีซี/ชิ้น
2. จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.37 ข้อ 11)	5,250	5,250	5,250	ชิ้นต่อ 5,000 ชิ้น
3. ปริมาณสารเคมีทั้งหมด (3)= [(1) x (2)] ÷ 1,000	525	525	78.75	ลิตรต่อ 5,000 ชิ้น
ปริมาณอีพ็อกซี 850	**525**			**ลิตรต่อ 5,000 ชิ้น**
ปริมาณฮาร์ทเดนเนอร์ 982	**525**			**ลิตรต่อ 5,000 ชิ้น**
ปริมาณทินเนอร์ อีพ็อกซี	**78.75**			**ลิตรต่อ 5,000 ชิ้น**

2) ปริมาณสารเคมีสำหรับกระบวนการผลิตเนื้อเท้าเทียม

สารเคมีที่ใช้ในการใช้ทำการผลิตมีสองชนิด คือ โพลิออล และไอโซไซยาเนต ปริมาณสารเคมีที่ต้องการคิดจากน้ำหนักที่ใช้ในการผลิต คิดโดยใช้สมการ 4.26 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.62

ตารางที่ 4.62 ปริมาณความต้องการสารเคมีสำหรับกระบวนการผลิตเนื้อเท้าเทียม

รายละเอียด	ปริมาณสารเคมีสำหรับเนื้อเท้าเทียมต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี		หน่วย
	โพลิออล	ไอโซไซยาเนต	
1. ปริมาณสารเคมี	45.5	65	กรัม/ชิ้น
2. จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.37 ข้อ 11)	5,250	5,250	ชิ้นต่อ 5,000 ชิ้น
3. ปริมาณสารเคมีทั้งหมด (3)= [(1) x (2)] ÷ 1,000	238.88	341.25	กิโลกรัมต่อ 5,000 ชิ้น
ปริมาณโพลิออล	**238.88**		**กิโลกรัมต่อ 5,000 ชิ้น**
ปริมาณไอโซไซยาเนต	**341.25**		**กิโลกรัมต่อ 5,000 ชิ้น**

3) ปริมาณวัตถุดิบและสารเคมีสำหรับกระบวนการผลิตผิวเท้าเทียม

วัตถุดิบที่ใช้ในการใช้ทำการผลิต คือ ยางแท่ง STR 5L มาบดผสมกับสารเคมีตามสูตรที่กำหนด การขึ้นรูปเท้าเทียม คือการนำเนื้อเท้าเทียมมาหุ้มด้วยยางคอมปาวนด์ โดยยางคอมปาวนด์จะมีด้วยกันสองชนิด คือ ยางคอมปาวนด์สูตรนิ่มและยางคอมปาวนด์สูตรแข็ง สาเหตุที่ต้องใช้ยางคอมปาวนด์สองสูตรเนื่องจากบริเวณข้อเท้ามีการรับแรงมากกว่าส่วนอื่นจึงได้มีการเสริมการรับแรงด้วยยางคอมปาวนด์สูตรแข็งซึ่งยางสูตรแข็งจะช่วยให้ไม่เกิดการยุบตัวของผิวบริเวณนั้น สูตรของยางทั้งสองชนิดแสดงดังตารางที่ 4.63 ปริมาณยางแท่งที่ใช้คิดจากน้ำหนักที่ใช้ในการผลิตจริง ดังตารางที่ 4.64 สารเคมีที่ใช้ในการใช้ทำการผลิตมี 7 ชนิด คือ ซิงค์ออกไซด์ เขม่าดำ กรดสเตียริค วิงสเตย์ แอล เมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล น้ำมัน และกำมะถัน ดังตารางที่ 4.65

ตารางที่ 4.63 ปริมาณยางแท่งสำหรับเนื้อเท้าเทียม

ยางคอมปาวนด์สูตรนิ่ม		ยางคอมปาวนด์สูตรแข็ง	
ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr*)	ยางและสารเคมี	ปริมาณ (phr*)
ยาง STR 5L	100	ยาง STR 5L	100
ซิงค์ออกไซด์	4	ซิงค์ออกไซด์	5
กรดสเตียริค	2	กรดสเตียริค	3
วิงสเตย์ แอล	1	วิงสเตย์ แอล	1
เมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล	2	เมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล	1.5
น้ำมัน	20	เขม่าดำ	50
กำมะถัน	2.5	กำมะถัน	2

* phr (parts per hundred of rubber) หน่วยการผสมยางโดยคิดสัดส่วนปริมาณสารต่างๆ เมื่อเทียบกับยาง 100 ส่วน (โดยน้ำหนัก)

ตารางที่ 4.64 ปริมาณยางแท่งสำหรับผิวเท้าเทียม

รายละเอียด	ปริมาณยางแท่งสำหรับเนื้อเท้าเทียม ต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี		หน่วย
	ยางคอมปาวนด์ สูตรนิ่ม	ยางคอมปาวนด์ สูตรแข็ง	
1. ปริมาณยางแท่ง	400	30	กรัม/ชิ้น
2. จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.59 ข้อ 9)	5,250	5,250	ชิ้นต่อ 5,000 ชิ้น
3. ปริมาณยางแท่งทั้งหมด (3)= [(1) x (2)] ÷ 1,000	2,100	157.5	กิโลกรัมต่อ 5,000 ชิ้น
ปริมาณยางแท่ง	**2,257.5**		**กิโลกรัมต่อ 5,000 ชิ้น**

ตารางที่ 4.65 ปริมาณสารเคมีสำหรับผิวเท้าเทียม

รายละเอียด	ปริมาณสารเคมีสำหรับผิวเท้าเทียม ต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี			หน่วย
	ยางคอมปาวนด์ สูตรนิ่ม	ยางคอมปาวนด์ สูตรแข็ง	รวม	
1. ปริมาณซิงค์ออกไซด์	20	2	22	กรัม/ชิ้น
2. ปริมาณเขม่าดำ	-	20	20	กรัม/ชิ้น
3. ปริมาณกรดสเตียริค	10	1.2	11.2	กรัม/ชิ้น
4. ปริมาณวิงสเตย์ แอล	5	0.4	5.4	กรัม/ชิ้น
5. ปริมาณเมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล	10	0.6	10.6	กรัม/ชิ้น
6. ปริมาณน้ำมัน	100	-	100	ซีซี/ชิ้น
7. ปริมาณกำมะถัน	12.5	0.8	13.3	กรัม/ชิ้น
8. จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน	5,250	5,250	5,250	ชิ้นต่อ 5,000 ชิ้น
9. ปริมาณซิงค์ออกไซด์ (9) = [(1) x (8)] ÷ 1,000	**115.5**			**กิโลกรัมต่อ 5,000 ชิ้น**
10. ปริมาณเขม่าดำ (10) = [(2) x (8)] ÷ 1,000	**105**			**กิโลกรัมต่อ 5,000 ชิ้น**
11. ปริมาณกรดสเตียริค (11) = [(3) x (8)] ÷ 1,000	**58.8**			**กิโลกรัมต่อ 5,000 ชิ้น**
12. ปริมาณวิงสเตย์ แอล (12) = [(4) x (8)] ÷ 1,000	**28.35**			**กิโลกรัมต่อ 5,000 ชิ้น**

ตารางที่ 4.65 ปริมาณสารเคมีสำหรับผิวเท้าเทียม (ต่อ)

รายละเอียด	ปริมาณสารเคมีสำหรับผิวเท้าเทียม ต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี			หน่วย
	ยางคอมปาวนด์ สูตรนิ่ม	ยางคอมปาวนด์ สูตรแข็ง	รวม	
13. ปริมาณเมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล (13) = [(5) x (8)] ÷ 1,000	**55.65**			**กิโลกรัมต่อ 5,000 ชิ้น**
14. ปริมาณน้ำมัน (14) = [(6) x (8)] ÷ 1,000	**525**			**ลิตรต่อ 5,000 ชิ้น**
15. ปริมาณกำมะถัน (15) = [(7) x (8)] ÷ 1,000	**69.825**			**กิโลกรัมต่อ 5,000 ชิ้น**

4) น้ำมันไฮดรอลิก หน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายทอดกำลังงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในระบบเพื่อเปลี่ยนแปลงกำลังงานของไหลให้เป็นพลังงานกล ใช้ในการให้แรงอัดแก่แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป โดยปริมาณการใช้น้ำมันไฮดรอลิกคิดตามจำนวนวันดำเนินงานและจำนวนเครื่องที่ใช้ รายละเอียดของน้ำมันไฮดรอลิกดังตารางที่ 4.66

ตารางที่ 4.66 ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิกของเท้าเทียม

รายละเอียด	ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก ต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี ผิวเท้าเทียม	หน่วย
1. อัตราใช้น้ำมันไฮดรอลิก	1.5	ลิตร/วัน/เครื่อง
2. จำนวนวันในการผลิต (ข้อมูลตามตารางที่ 4. 59)	219	วัน
3. ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก (3) = (1) x (2)	328.5	ลิตร/เครื่อง
4. ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก (4) = (3) x 2	657	ลิตร

หลังจากได้ผลปริมาณความต้องการวัตถุดิบแต่ละชนิด จะต้องทำการวิเคราะห์ส่วนของพลังงานควบคู่ไปกับกระบวนการผลิตทั้งสามกระบวนการ โดยพลังงานที่ใช้ คือ ไฟฟ้า

5) ไฟฟ้า ค่าไฟฟ้าคำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าแบบ Time of Use (TOU) โดยกระบวนการขึ้นรูปเนื้อเท้าเทียมที่ใช้ไฟฟ้ามี 1 เครื่อง ได้แก่ เครื่องผสมสาร โดยกระบวนการผลิตผิว

เท้าเทียมขั้นตอนการผสมยางแท่งกับสารเคมี เครื่องบดผสม 2 ลูกกลิ้ง และเครื่องอัดร้อนแม่พิมพ์ยางใช้เครื่องขึ้นรูป ดังนั้น ปริมาณความต้องการไฟฟ้าของเครื่องจักรแต่ละชนิด แสดงตารางที่ 4.67

ตารางที่ 4.67 ปริมาณความต้องการไฟฟ้าต่อเครื่องจักรของเท้าเทียม

รายละเอียด	ปริมาณความต้องการไฟฟ้าต่อเครื่องจักร		หน่วย
	เนื้อเท้าเทียม	ผิวเท้าเทียม	
1. เครื่องผสมสาร(ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	0.3		กิโลวัตต์
2. เครื่องบดผสม 2 ลูกกลิ้ง (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)		5.5	กิโลวัตต์
3. เครื่องอัดร้อนแม่พิมพ์ยางไฮดรอลิค (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)		30.6	กิโลวัตต์
4. มอเตอร์หินเจียร 14" (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	1.75		กิโลวัตต์
รวม ปริมาณความต้องการไฟฟ้า (5) = (1) + (2) + (3) + (4)	**2.05**	**36.1**	**กิโลวัตต์**

ตารางที่ 4.68 ความต้องการด้านทรัพยากรทั้งหมดที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนเท้าเทียมต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี

ประเภททรัพยากร	ทรัพยากร	จำนวนทรัพยากร
1. สินทรัพย์ถาวร	ที่ดิน	400 ตร.ม.
	อาคารสำนักงาน	50 ตร.ม.
	อาคารโรงงาน	120 ตร.ม.
	ครุภัณฑ์สำนักงาน	1 ชุด
	ยานพาหนะ	1 คัน
2. แรงงาน	แรงงาน	6 คน/กะ
	พนักงานระดับบริหาร	7 คน
3. วัตถุดิบ	แกนภายใน	
	- ผืนทอใยแก้ว	1,672,125 ตร.ซม.
	- ผืนทอคาร์บอน	477,750 ตร.ซม.
	ผิวเท้าเทียม	
	- ยางแท่ง เกรด STR 5L	2,257.5 กิโลกรัม
	- น้ำมันไฮดรอลิก	657 ลิตร
4. สารเคมี	แกนภายใน	
	- อีพ็อกซี เรซิน เกรด 850	525 ลิตร
	- ฮาร์ทเดนเนอร์ เกรด 982	525 ลิตร
	- ทินเนอร์ อีพ็อกซี	78.75 ลิตร

ตารางที่ 4.68 ความต้องการด้านทรัพยากรทั้งหมดที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนเท้าเทียมต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี (ต่อ)

ประเภททรัพยากร	ทรัพยากร	จำนวนทรัพยากร
4. สารเคมี (ต่อ)	เนื้อเท้าเทียม	
	- โพลิออล	238.88 กิโลกรัม
	- ไอโซไซยาเนต	341.25 กิโลกรัม
	ผิวเท้าเทียม	
	- ซิงค์ออกไซด์	115.5 กิโลกรัม
	- เขม่าดำ	105 กิโลกรัม
	- กรดสเตียริค	58.8 กิโลกรัม
	- วิงสเตย์ แอล	28.35 กิโลกรัม
	- เมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล	55.65 กิโลกรัม
	- น้ำมัน	525 ลิตร
	- กำมะถัน	69.82 กิโลกรัม
5. พลังงาน	ไฟฟ้า	38.15 กิโลวัตต์

4.2.1.3 แบบจำลองการคิดต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

ผลที่ได้จากแบบจำลองที่ต้องการคือ เงินลงทุนที่ใช้ในการลงทุนในโครงการนี้ และต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นตัวเลือกในการตัดสินใจในการเลือกผลิต

เงินลงทุนโครงการประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร และเงินทุนหมุนเวียน

1) ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตั้งแต่วันแรกของการเริ่มโครงการจนถึงวันที่เริ่มการผลิตแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.69

2) เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรเป็นค่าใช้จ่ายที่ลงทุนไว้เพื่อใช้ในการผลิตสินค้า แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.70

3) เงินทุนหมุนเวียน เป็นจำนวนเงินสำหรับจัดเตรียมวัตถุดิบคงคลังเพื่อให้การผลิตดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง กำหนดให้มีการจัดเก็บวัตถุดิบคงคลัง ได้แก่ ผืนทอเส้นใยแก้ว ผืนทอคาร์บอน ยางแท่ง STR 5L โพลิออล ไอโซไซยาเนต น้ำมันไฮดรอลิก สารเคมีสำหรับแกนภายใน และสารเคมีสำหรับยางคอมปาวนด์

ตารางที่ 4.69 ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงานของเท้าเทียม

รายละเอียด	จำนวนเงิน (บาท)
1. ค่าใช้จ่ายในการศึกษาความเป็นไปได้	
ค่าคำนวณพื้นที่อาคาร	20,000
ค่าคำนวณต้นทุนการก่อสร้าง	20,000
ค่าคำนวณต้นทุนการดำเนินการ	20,000
ค่าคำนวณผลตอบแทนที่จะได้รับ	20,000

ตารางที่ 4.69 ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงานของเท้าเทียม (ต่อ)

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

ที่มา : ฝ่ายประเมินราคา บริษัท นีโอซีวิล 2004 จำกัด (2554)

ตารางที่ 4.70 เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรของเท้าเทียม

รายละเอียด	จำนวนเงิน (บาท)
1. ค่าที่ดิน	3,000,000
2. อาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	500,000
3. อาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	840,000
4. งานปรับที่ดิน ขนาด 400 ตร.ม. (ที่มา บริษัท นีโอซีวิล 2004 จำกัด จังหวัดสงขลา)	176,000
5. เครื่องอัดขึ้นรูป	2,000,000
6. เครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill)	200,000
7. Die (Mold)	200,000
8. อุปกรณ์ผสมยาง	100,000
9. Die (Mold) โพลียูรีเทนโฟม	700
10. เครื่องผสมโพลียูรีเทนโฟม	10,000
11. อุปกรณ์ผสมโพลียูรีเทนโฟม	10,000
12. อุปกรณ์ผสมสารเคมี	10,000
13. อุปกรณ์สำนักงาน	150,000
14. ระบบท่อและอุปกรณ์ควบคุมต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสีย	100,000
16. ยานพาหนะ	1,000,000
17. มอเตอร์หินเจียร 14"	19,500
รวม เงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวร	8,716,200

4.2.1.4 ต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

จากผลลัพธ์แบบจำลองการดำเนินงาน ทำให้ทราบถึงปริมาณความต้องการของทรัพยากรแต่ละชนิดที่ส่งผลเป็นต้นทุนของผลิตภัณฑ์ และเป็นข้อมูลที่นำไปสู่การคิดต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ ทางทีมวิจัยได้ทำการวิเคราะห์และสรุปได้ว่า ต้นทุนต่อหน่วยประกอบไปด้วย 7 ประเภท ได้แก่ ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนพลังงาน ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนค่าเครื่องจักร ต้นทุนค่าอุปกรณ์ โดยสามารถจัดกลุ่มของต้นทุน 7 ประเภทข้างต้น ออกเป็น 2 ชนิด คือ 1. ต้นทุนคงที่ โดยต้นทุนคงที่ประกอบด้วย ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนค่าเครื่องจักร ต้นทุนค่าอุปกรณ์ 2. ต้นทุนผันแปรประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนพลังงาน การคำนวณต้นทุนต่อหน่วยสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.18 ดังนั้น ในแบบจำลองต้นทุนสามารถหาค่าต้นทุนของทรัพยากรต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ดังนี้

อ้างอิงการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.18

$$C_{total} = (FC + VC) \div V$$

โดยที่ C_{total} แทน ต้นทุนต่อหน่วย (บาทต่อชิ้น)
FC แทน ต้นทุนคงที่ (บาทต่อชิ้น)
VC แทน ต้นทุนผันแปร (บาทต่อชิ้น)
V แทน ปริมาณการผลิต (ชิ้น)

ก. ต้นทุนคงที่ของเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

ต้นทุนคงที่ คือ ต้นทุนที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิต และต้นทุนคงที่ต่อหน่วยก็จะเปลี่ยนแปลงในทางลดลงถ้าปริมาณการผลิตเพิ่มมากขึ้น ต้นทุนคงที่ประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนค่าเครื่องจักร ต้นทุนค่าอุปกรณ์ ทั้ง 4 ส่วน คิดจากความต้องการทางทรัพยากรที่ได้จากผลของแบบจำลองการดำเนินงาน การคำนวณต้นทุนคงที่สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.19

อ้างอิงการคำนวณต้นทุนคงที่สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.19

$$FC = C_{overhead} + C_{equipment} + C_{tooling} + C_{building}$$

โดยที่ FC แทน ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย (บาทต่อชิ้น)
$C_{overhead}$ แทน ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน (บาทต่อชิ้น)
$C_{equipment}$ แทน ต้นทุนค่าเครื่องจักร (บาทต่อชิ้น)
$C_{tooling}$ แทน ต้นทุนค่าอุปกรณ์ (บาทต่อชิ้น)
$C_{building}$ แทน ต้นทุนการก่อสร้าง (บาทต่อชิ้น)

โดยมีรายละเอียดของการคิด ดังนี้

1) ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน คือ ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร เป็นค่าใช้จ่ายของพนักงานในระดับบริหารและรวมไปถึงการนำเสนอขาย แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.71

ตารางที่ 4.71 ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหารการผลิตของเท้าเทียม

รายละเอียด	ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหารต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี		
	จำนวน (คน)	เงินเดือน (บาท/คน)	เงินเดือน (บาท/ปี)
1. ผู้จัดการโรงงาน	1	25,000	300,000
2. พนักงานฝ่ายบัญชีและการเงิน	1	10,000	120,000
3. พนักงานฝ่ายการตลาดและจัดซื้อ	1	10,000	120,000
4. พนักงานฝ่ายวางแผน/ควบคุมการผลิต	2	10,000	240,000
5. วิศวกรโรงงาน	2	15,000	360,000
6. รวม พนักงานระดับบริหาร (1) + (2) + ... + (5)	**7**	**70,000**	1,140,000
7. ค่าส่งเสริมการตลาด 5% ต่อปีของต้นทุนของพนักงานระดับบริหาร (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	-	-	57,000
8. รวม ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร (8) = (6) + (7)			**1,197,000**

2) ต้นทุนค่าเครื่องจักร คิดจากค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร อุปกรณ์ และระบบสาธารณูปโภคต่างๆ หลังจากทำการหักมูลค่าซากแสดงดังตารางที่ 4.72 แบ่งค่าเสื่อมราคาเท่ากันทุกผลิตภัณฑ์จากค่าเสื่อมราคาลดลงปีละเท่าๆกัน จึงทำการประเมินค่าเสื่อมราคาในลักษณะเส้นตรงทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4.73

ตารางที่ 4.72 มูลค่าซากของเครื่องจักรของเท้าเทียม

รายละเอียด	% มูลค่าซาก	มูลค่าซาก (บาท)
1. ค่าที่ดิน (คงที่ตามมูลค่าปัจจุบัน)		3,000,000
2. อาคารสำนักงาน ขนาด 50 ตร.ม.	50%	250,000
3. อาคารโรงงาน ขนาด 120 ตร.ม.	50%	420,000
4. เครื่องอัดขึ้นรูป	40%	1,600,000
5. เครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill)	40%	80,000
6. Die (Mold)	20%	160,000
7. อุปกรณ์ผสมยาง	40%	40,000
8. Die (Mold) โพลียูรีเทนโฟม	20%	1,680

ตารางที่ 4.72 มูลค่าซากของเครื่องจักรของเท้าเทียม (ต่อ)

รายละเอียด	% มูลค่าซาก	มูลค่าซาก (บาท)
9. เครื่องผสมโพลียูรีเทนโฟม	40%	8,000
10. อุปกรณ์ผสมโพลียูรีเทนโฟม	20%	2,000
11. อุปกรณ์ผสมสารเคมี	20%	2,000
12. อุปกรณ์สำนักงาน	0	0
13. ระบบท่อและอุปกรณ์ควบคุมต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสีย	0	0
14. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	0	0
15. มอเตอร์หินเจียร 14"	40%	7,800
16. ยานพาหนะ	35%	350,000
รวม มูลค่าซาก (1) + (2) +...+ (16)		**5,921,480**

ตารางที่ 4.73 ต้นทุนค่าเครื่องจักรผลิตเท้าเทียมที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชิ้นต่อปี

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)	ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)	จำนวนเครื่อง
1. เครื่องอัดขึ้นรูป	2,000,000	240,000	2
2. เครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง	200,000	12,000	1
3. Die (Mold)	200,000	32,000	2
4. อุปกรณ์ผสมยาง	100,000	6,000	1
5. Die (Mold) โพลียูรีเทนโฟม	700	672	12
6. เครื่องผสมโพลียูรีเทนโฟม	10,000	1,200	2
7. อุปกรณ์ผสมโพลียูรีเทนโฟม	10,000	800	1
8. อุปกรณ์ผสมสารเคมี	10,000	800	1
9. อุปกรณ์สำนักงาน	150,000	15,000	1
10. ระบบท่อและอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย	100,000	10,000	1
11. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	400,000	40,000	1
12. มอเตอร์หินเจียร 14"	19,500	1,170	1
13. ยานพาหนะ	1,000,000	65,000	1
รวม	**424,642**		

3) ต้นทุนค่าอุปกรณ์ คิดจากการบำรุงรักษาเครื่องจักร ทุกผลิตภัณฑ์กำหนดตามอายุการใช้งาน เป็นเครื่องจักรใหม่ยังไม่มีการใช้งานเครื่องจักร ต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักรเท่ากับ 5% ของราคาเครื่องจักรทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4.74

ตารางที่ 4.74 ต้นทุนค่าอุปกรณ์การผลิตของเท้าเทียม

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	จำนวนเครื่อง
1. เครื่องอัดขึ้นรูป	2,000,000	200,000	2
2. เครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง	200,000	10,000	1
3. Die (Mold)	200,000	20,000	2
4. อุปกรณ์ผสมยาง	100,000	5,000	1
5. Die (Mold) โพลียูรีเทนโฟม	700	420	12
6. เครื่องผสมโพลียูรีเทนโฟม	10,000	1,000	2
7. อุปกรณ์ผสมโพลียูรีเทนโฟม	10,000	500	1
8. อุปกรณ์ผสมสารเคมี	10,000	500	1
9. อุปกรณ์สำนักงาน	150,000	7,500	1
10. ระบบท่อและอุปกรณ์ควบคุมต่างๆของระบบบำบัดน้ำเสีย	100,000	5,000	1
11. ระบบน้ำประปาในโรงงาน	400,000	20,000	1
12. มอเตอร์หินเจียร 14 นิ้ว	19,500	975	1
13. ยานพาหนะ	1,000,000	50,000	1
รวม	**320,895**		

4) ต้นทุนการก่อสร้างคิดจากค่าเสื่อมราคาของรายการสิ่งก่อสร้าง ด้วยการประเมินค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรงเพื่อหามูลค่าสินทรัพย์ปัจจุบันที่ลดลงตามอายุการใช้งานต่อปี ยกเว้น ที่ดิน เนื่องจากที่ดินไม่มีการเสื่อมราคา รายละเอียดของราคาสิ่งก่อสร้าง และค่าเสื่อมราคาต่อปีดังแสดงในตารางที่ 4.75

ตารางที่ 4.75 ราคาสิ่งก่อสร้าง และค่าเสื่อมราคาต่อปีของเท้าเทียม

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)	อายุการใช้งาน (ปี)	ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)
1. ค่าก่อสร้างอาคารสำนักงาน 50 ตร.ม. 1 ชั้น	500,000	10	25,000
2. ค่าก่อสร้างอาคารโรงงาน 100 ตร.ม.	840,000	10	42,000
3. งานปรับที่ดินและล้อมรั้ว 300 ตร.ม.	132,000	10	13,200
4. ระบบบำบัดน้ำเสีย	300,000	10	30,000
รวม ต้นทุนการก่อสร้าง	**1,772,000**		**110,200**

สรุปรายละเอียดของต้นทุนคงที่ของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเท้าเทียมมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.76

ตารางที่ 4.76 ต้นทุนคงที่ของเท้าเทียม

รายละเอียด	ต้นทุนคงที่ ที่ 5,000 ชิ้นต่อปี(บาท)
1. ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน	1,197,000
2. ต้นทุนค่าเครื่องจักร	424,642
3. ต้นทุนค่าอุปกรณ์	320,895
4. ต้นทุนการก่อสร้าง	110,200
5. รวมต้นทุนคงที่	2,052,737
6. ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย (6) = (5) ÷ 5,000	**410.55**

ข. ต้นทุนผันแปรของเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

ต้นทุนผันแปรเป็นต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงอย่างเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการปริมาณการผลิต ไม่ว่าจะผลิตมากน้อยแค่ไหน ต้นทุนผันแปรของต้นทุนต่อหน่วยจะเท่าๆกัน ทุกหน่วย ต้นทุนผันแปรประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนพลังงาน การคิดต้นทุนผันแปรเป็นนำความต้องการทรัพยากรในส่วนของวัตถุดิบ แรงงาน และพลังงานมาคิดร่วมกับปัจจัยทางการเงินของทรัพยากรนั้นๆ เช่น ราคาวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ราคาของเชื้อเพลงต่างๆ ในแบบจำลองต้นทุนสามารถหาค่าต้นทุนของทรัพยากรต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง โดยการคำนวณต้นทุนผันแปรสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.20 (อ้างอิงราคาวัตถุดิบต่อหน่วยตามตารางที่ 3.11) ดังนี้

การคำนวณต้นทุนผันแปรสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.20

$$VC = C_{material} + C_{labor} + C_{energy}$$

โดยที่ VC แทน ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (บาทต่อชิ้น)

$C_{material}$ แทน ต้นทุนวัตถุดิบ (บาทต่อชิ้น)

C_{labor} แทน ต้นทุนแรงงาน (บาทต่อชิ้น)

C_{energy} แทน ต้นทุนพลังงาน (บาทต่อชิ้น)

1) ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีสามารถคำนวณต้นทุนผืนทอเส้นใยแก้ว ผืนทอคาร์บอนยางแท่ง STR 5L โพลิออล ไอโซไซยาเนต สารเคมีสำหรับแกนภายใน และสารเคมีสำหรับยางคอมปาวนด์และวัตถุดิบอื่นที่ใช้ในการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีรวมทั้ง 3 กระบวนการแสดงดังตารางที่ 4.77

ตารางที่ 4.77 ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีรวม

รายละเอียด	ต้นทุนวัตถุดิบต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี (บาท)
1. ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีของแกนภายใน	490,561.32
2. ต้นทุนวัตถุดิบสารเคมีของเนื้อเท้าเทียม	145,032.50
3. ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีของผิวเท้าเทียม	372,323.10
4. รวมต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมี	**1,007,916.92**

2) ต้นทุนแรงงาน แรงงานซึ่งทำหน้าที่ควบคุมเครื่องจักรโดยตรง แต่ละเครื่องจักรจะมีแรงงานประจำต่อเครื่องตามลักษณะจำเพาะของเครื่องจักร (อ้างอิงลักษณะจำเพาะของเครื่องจักรตามตารางที่ 3.9) เนื่องจากค่าแรงงานคิดเป็นรายวัน จึงสามารถคำนวณหาต้นทุนแรงงานตามรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.78

ตารางที่ 4.78 ต้นทุนแรงงานการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

รายละเอียด	ต้นทุนแรงงานต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี			หน่วย
	แกนภายใน	เนื้อเท้าเทียม	ผิวเท้าเทียม	
1. จำนวนแรงงาน (ข้อมูลตามตารางที่ 3.9 ข้อ 1)	2	2	2	คน/กะ
2. อัตราการทำงาน (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	1	1	1	กะ/วัน
3. ค่าแรงงาน (ข้อมูลตามตารางที่ 3.11 ข้อ 16)	300	300	300	บาท/คน/กะ
4. อัตราค่าแรงงาน (4) = (1) x (2) x (3)	600	600	600	บาท/วัน

ตารางที่ 4.78 ต้นทุนแรงงานการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

รายละเอียด	ต้นทุนแรงงานต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี			หน่วย
	แกนภายใน	เนื้อเท้าเทียม	ผิวเท้าเทียม	
5. จำนวนวันในการผลิต (ข้อมูลตามตารางที่ 4.37)	219	219	219	วันต่อ 5,000 ชิ้น
6. ต้นทุนแรงงาน (6) = (4) x (5)	**131,400**	**131,400**	**131,400**	**บาทต่อ 5,000 ชิ้น**
ต้นทุนแรงงาน	**394,200**			**บาทต่อ 5,000 ชิ้น**

3) ต้นทุนพลังงาน คือ ปริมาณความต้องการพลังงานแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ กำหนดในแบบจำลองดำเนินงาน ดังแสดงตารางที่ 4.79

ตารางที่ 4.79 ต้นทุนพลังงานการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

รายละเอียด	ต้นทุนไฟฟ้าต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี		หน่วย
	เนื้อเท้าเทียม	ผิวเท้าเทียม	
1. ปริมาณไฟฟ้า	2.05	36.1	กิโลวัตต์
2. ต้นทุนไฟฟ้า	**56,792.21**	**131,922.02**	**บาทต่อ 5,000 ชิ้น**
ต้นทุนไฟฟ้า	**188,714.23**		**บาทต่อ 5,000 ชิ้น**

สรุปต้นทุนผันแปรที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเท้าเทียม แสดงดังตารางที่ 4.80

ตารางที่ 4.80 ต้นทุนผันแปรการผลิตเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

รายละเอียด	ต้นทุนผันแปรต่อ 5,000 ชิ้นต่อปี	หน่วย
1. ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมี	1,007,916.92	บาท
2. ต้นทุนแรงงาน	394,200	บาท
3. ต้นทุนพลังงาน	188,714.23	บาท
4. ต้นทุนผันแปรรวม	1,590,831.15	บาท
5. ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (5) = (4) ÷ 5000	**318.17**	บาท/ชิ้น

สรุปต้นทุนต่อหน่วยของเท้าเทียมประกอบไปด้วย 3 ชิ้นส่วน คือ ชิ้นส่วนแกนภายในชิ้นส่วนเนื้อเท้าเทียม และชิ้นส่วนผิวเท้าที่ปริมาณการผลิตที่ 5,000 ชิ้น 1 กะ ทำงาน 8 ชั่วโมง และต้นทุนต่อหน่วยคิดจากต้นทุนผันแปร ต้นทุนคงที่ ผลของต้นทุนต่อหน่วยได้ 728.72 บาท แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.81

ตารางที่ 4.81 ต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนเท้าเทียม

รายละเอียด	ต้นทุนต่อหน่วย ที่ 5,000 ชิ้น	หน่วย
1. ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย	410.55	บาท
2. ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย	318.17	บาท
รวมต้นทุนต่อหน่วย	**728.72**	**บาท**

4.2.2 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการชิ้นส่วนเท้าเทียมแต่ละขนาดปริมาณการผลิต

4.2.2.1 ผลจากการดำเนินงานกระบวนการผลิตเท้าเทียมแต่ละขนาดปริมาณการผลิต

โดยการสร้างแบบจำลองการดำเนินงาน ต้องกำหนดให้จำนวนกะและเวลาดำเนินงาน เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการเลือกจำนวนกะในการผลิตแต่ละปริมาณการผลิตตามที่ต้องการ โดยกำหนดให้มีทำงานวันละ 3 รูปแบบ คือ 1 กะ 8 ชั่วโมง 2 กะ 16 ชั่วโมง 3 กะ 24 ชั่วโมง และจำนวนวันทำงานได้จำนวนสูงสุดต่อปีคือ 300 วัน และทำการเปรียบเทียบแต่ละปริมาณการผลิต ในปริมาณ 5,000 ชิ้น 10,000 ชิ้น 50,000 ชิ้น 100,000 ชิ้น ต่อปี เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจทำการผลิตของผู้ประกอบการในการลงทุน ทางผู้วิจัยได้ทำการกำหนดขนาดตั้งแต่ 5,000 ถึง 100,000 ชิ้น เนื่องจากผู้พิการขาขาดในทุกวันนี้มีเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องวางแผนสำหรับการเพิ่มปริมาณการผลิตในอนาคต

เมื่อมีการเปรียบเทียบปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ กำลังการผลิตสูงสุดต่อกะเป็นตัวกำหนดจำนวนเครื่องจักรที่ต้องใช้ในการผลิตในปริมาณต่างๆ และได้แสดงจำนวนกำลังการผลิตสูงสุดต่อกะดังตารางที่ 4.82 และแสดงจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและแต่ละกะไว้ดังตารางที่ 4.83

ตารางที่ 4.82 กำลังการผลิตสูงสุดต่อวันของการผลิตเท้าเทียม

กระบวนการผลิต	กำลังการผลิตสูงสุดต่อกะ (ชิ้น)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
เท้าเทียม	12	24	36

ตารางที่ 4.83 จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของการผลิตเท้าเทียม

ปริมาณการผลิต (ชิ้น/ปี)	จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (เครื่อง)			
	รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	เครื่องผสมสาร	2	1	1
	เครื่องบดผสม 2 ลูกกลิ้ง	1	1	1
	เครื่องอัดร้อนแม่พิมพ์ยาง	2	1	1
	แม่พิมพ์ชิ้นงานยาง	2	1	1
	แม่พิพม์ชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม	12	12	12

ตารางที่ 4.83 จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของการผลิตเท้าเทียม (ต่อ)

ปริมาณการผลิต (ชิ้น/ปี)	จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (เครื่อง)			
	รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
10,000	เครื่องผสมสาร	3	2	1
	เครื่องบดผสม 2 ลูกกลิ้ง	1	1	1
	เครื่องอัดร้อนแม่พิมพ์ยาง	3	2	1
	แม่พิมพ์ชิ้นงานยาง	6	4	2
	แม่พิพม์ชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม	12	12	12
50,000	เครื่องผสมสาร	15	8	5
	เครื่องบดผสม 2 ลูกกลิ้ง	3	3	2
	เครื่องอัดร้อนแม่พิมพ์ยาง	15	8	5
	แม่พิมพ์ชิ้นงานยาง	30	16	10
	แม่พิพม์ชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม	180	96	60
100,000	เครื่องผสมสาร	30	15	11
	เครื่องบดผสม 2 ลูกกลิ้ง	10	5	3
	เครื่องอัดร้อนแม่พิมพ์ยาง	30	15	11
	แม่พิมพ์ชิ้นงานยาง	60	30	22
	แม่พิพม์ชิ้นงานโพลียูรีเทนโฟม	360	180	132

จากการกำหนดเครื่องจักรที่ใช้แล้ว ทำให้ได้ผลของจำนวนแรงงานที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะแสดงดังตารางที่ 4.84

ตารางที่ 4.84 จำนวนแรงงานที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม

ปริมาณการผลิต (ชิ้น/ปี)	จำนวนแรงงานที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (คน)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	6	6	9
10,000	9	12	9
50,000	45	48	54
100,000	90	96	90

เมื่อทราบกำลังการผลิตสูงสุดต่อกะ และจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ ทำให้สามารถหาจำนวนวันที่ใช้ผลิตในแต่ละปริมาณการผลิต จำนวนวันที่ใช้ผลิตตามตามดังตารางที่ 4.85

ตารางที่ 4.85 จำนวนวันที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม

ปริมาณการผลิต (ชิ้น/ปี)	จำนวนวันที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (วัน)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	219	220	146
10,000	286	219	292
50,000	292	274	292
100,000	292	292	292

4.2.2.2 แบบจำลองการคิดต้นทุนกระบวนการผลิตเท้าเทียมแต่ละขนาดปริมาณการผลิต

ก. เปรียบเทียบต้นทุนคงที่ของการผลิตเท้าเทียม

ต้นทุนคงที่ คือ ต้นทุนที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิต และต้นทุนคงที่ต่อหน่วยก็จะเปลี่ยนแปลงในทางลดลงถ้าปริมาณการผลิตเพิ่มมากขึ้น ต้นทุนคงที่ประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนค่าเครื่องจักร ต้นทุนค่าอุปกรณ์ ทั้ง 4 ส่วน คิดจากความต้องการทางทรัพยากรที่ได้จากผลของแบบจำลองการดำเนินงาน โดยมีรายละเอียดของการคำนวณ ดังนี้

อ้างอิงการคำนวณต้นทุนคงที่สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.19

$$FC = C_{overhead} + C_{equipment} + C_{tooling} + C_{building}$$

โดยที่ FC แทน ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย (บาทต่อชิ้น)

$C_{overhead}$ แทน ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน (บาทต่อชิ้น)

$C_{equipment}$ แทน ต้นทุนค่าเครื่องจักร (บาทต่อชิ้น)

$C_{tooling}$ แทน ต้นทุนค่าอุปกรณ์ (บาทต่อชิ้น)

$C_{building}$ แทน ต้นทุนการก่อสร้าง (บาทต่อชิ้น)

1) เปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงานแต่ละขนาดปริมาณของการผลิตเท้าเทียม

ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน คือ ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร เป็นค่าใช้จ่ายของพนักงานในระดับบริหารและรวมไปถึงการนำเสนอขาย ซึ่งในการบริหารงานหากมีการเพิ่มกะที่ใช้ทำการผลิตต้องเพิ่มพนักงานที่ดูแลการผลิตในแต่ละกะ จำนวนพนักงานในระดับบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.86 ค่าใช้จ่ายในการบริหารที่ใช้ในแต่

ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปีอ้างอิงการคำนวณตามตารางที่ 4.71 และค่าใช้จ่ายในการบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปีแสดงดังตารางที่ 4.87

ตารางที่ 4.86 จำนวนพนักงานในระดับบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม

จำนวนพนักงานในระดับบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ			
รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
1. ผู้จัดการโรงงาน	1	1	1
2. พนักงานฝ่ายบัญชีและการเงิน	1	1	1
3. พนักงานฝ่ายการตลาดและจัดซื้อ	1	1	1
4. พนักงานฝ่ายวางแผน/ควบคุมการผลิต	2	4	6
5. วิศวกรโรงงาน	2	4	6
6. รวม พนักงานระดับบริหาร	7	11	15

ตารางที่ 4.87 ค่าใช้จ่ายในการบริหารที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปีของเท้าเทียม

รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
ค่าใช้จ่ายในการบริหารต่อปี	1,197,000	1,827,000	2,457,000

2) เปรียบเทียบต้นทุนค่าเครื่องจักรของเท้าเทียมใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปี อ้างอิงการคิดจากการคำนวณต้นทุนเครื่องจักรอ้างอิงการคำนวณได้จากสมการ 4.20 และผลของต้นทุนเครื่องจักรแสดงดังตารางที่ 4.88

ค่าเสื่อมราคา/ปี = (มูลค่าสินทรัพย์ - ราคาซาก) ÷ อายุการใช้งาน (4.20)

ตารางที่ 4.88 ต้นทุนค่าเครื่องจักรของเท้าเทียมใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปี

ปริมาณการผลิต (ชิ้นต่อปี)	ต้นทุนค่าเครื่องจักรของเท้าเทียมใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปี (บาทต่อปี)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	424,642	288,042	288,042
10,000	624,442	458,242	304,042
50,000	2,504,250	1,423,746	951,930
100,000	5,077,330	2,316,230	1,775,890

3) เปรียบเทียบต้นทุนค่าอุปกรณ์ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปี ต้นทุนค่าอุปกรณ์ คิดจากค่าการบำรุงรักษาเครื่องจักร ทุกผลิตภัณฑ์กำหนดตามอายุการใช้งาน เป็นเครื่องจักรใหม่ยังไม่มีการใช้งานเครื่องจักร ต้นทุนบำรุงรักษาเครื่องจักรเท่ากับ 5% ต่อปี ของราคาเครื่องจักรทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4.89

ตารางที่ 4.89 ต้นทุนค่าอุปกรณ์ของเท้าเทียมใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปี

ปริมาณการผลิต (ชิ้นต่อปี)	ต้นทุนค่าอุปกรณ์ของเท้าเทียมใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะต่อปี (บาทต่อปี)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	320,895	210,395	210,395
10,000	473,395	341,895	220,395
50,000	1,957,275	1,104,835	732,075
100,000	3,991,075	2,037,275	1,382,675

4) เปรียบเทียบต้นทุนการก่อสร้างทั้ง 12 สภาวะการดำเนินงานมีต้นทุนการก่อสร้าง 110,200 บาทต่อปี เนื่องจากสามารถแม้มีการเปลี่ยนจำนวนเครื่องจักรแล้วพื้นที่โรงงานยังเพียงพอไม่จำเป็นต้องสร้างโรงงานใหม่เพิ่มเติม

ผลของต้นทุนคงที่ต่อหน่วยของปริมาณการผลิต 5,000 ชิ้นต่อปี แสดงดังตารางที่ 4.90 ที่ปริมาณการผลิต 10,000 ชิ้นต่อปี แสดงดังตารางที่ 4.91 ที่ปริมาณการผลิต 50,000 และ 100,000 ชิ้นต่อปี ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ผลิตรูปแบบ 3 กะ ให้ต้นทุนต่ำที่สุด เนื่องจากใช้ต้นทุนเครื่องจักรต่ำกว่ารูปแบบ 1 กะ และ2 กะ ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ปริมาณการผลิต 50,000 และ 100,000 ชิ้นต่อปี แสดงดังตารางที่ 4.92 และ 4.93

ตารางที่ 4.90 ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยของเท้าเทียมที่ปริมาณการผลิต 5,000 ชิ้นต่อปี

ปริมาณการผลิต (ชิ้นต่อปี)	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อปี)			
	รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	1. ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน	1,197,000	1,827,000	2,457,000
	2. ต้นทุนค่าเครื่องจักร	424,642	288,042	288,042
	3. ต้นทุนค่าอุปกรณ์	320,895	210,395	210,395
	4. ต้นทุนการก่อสร้าง	110,200	110,200	110,200
	รวมต้นทุนคงที่	2,052,737	2,435,637	3,065,637
	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย	410.55	487.13	613.13

ตารางที่ 4.91 ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยของเท้าเทียมที่ปริมาณการผลิต 10,000 ชิ้นต่อปี

ปริมาณการผลิต (ชิ้นต่อปี)	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อปี)			
	รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
10,000	1. ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน	1,197,000	1,827,000	2,457,000
	2. ต้นทุนค่าเครื่องจักร	624,442	458,242	304,042
	3. ต้นทุนค่าอุปกรณ์	473,395	341,895	220,395
	4. ต้นทุนการก่อสร้าง	110,200	110,200	110,200
	รวมต้นทุนคงที่	2,405,037	2,737,337	3,091,637
	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย	240.50	273.73	309.16

ตารางที่ 4.92 ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยของเท้าเทียมที่ปริมาณการผลิต 50,000 ชิ้นต่อปี

ปริมาณการผลิต (ชิ้นต่อปี)	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อปี)			
	รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
50,000	1. ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน	1,197,000	1,827,000	2,457,000
	2. ต้นทุนค่าเครื่องจักร	2,504,250	1,423,746	951,930
	3. ต้นทุนค่าอุปกรณ์	1,957,275	1,104,835	732,075
	4. ต้นทุนการก่อสร้าง	110,200	110,200	110,200
	รวมต้นทุนคงที่	5,768,725	4,465,781	4,525,397
	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย	115.37	89.32	85.02

ตารางที่ 4.93 ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยของเท้าเทียมที่ปริมาณการผลิต 100,000 ชิ้นต่อปี

ปริมาณการผลิต (ชิ้นต่อปี)	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยที่ใช้ในแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อปี)			
	รายละเอียด	1 กะ	2 กะ	3 กะ
100,000	1. ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน	1,197,000	1,827,000	2,457,000
	2. ต้นทุนค่าเครื่องจักร	5,077,330	2,316,230	1,775,890
	3. ต้นทุนค่าอุปกรณ์	3,991,075	2,037,275	1,382,675
	4. ต้นทุนการก่อสร้าง	110,200	110,200	110,200
	รวมต้นทุนคงที่	10,375,605	6,290,705	5,725,765
	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย	103.76	62.91	57.26

ข. ต้นทุนผันแปรของการผลิตของเท้าเทียม

ต้นทุนผันแปรประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนพลังงาน การคิดต้นทุนผันแปรเป็นนำความต้องการทรัพยากรในส่วนของวัตถุดิบ แรงงาน และพลังงานมาคิดร่วมกับปัจจัยทางการเงินของทรัพยากรนั้นๆ เช่น ราคาวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ราคาของเชื้อเพลงต่างๆ ในแบบจำลองต้นทุนสามารถหาค่าต้นทุนของทรัพยากรต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

อ้างอิงการคำนวณต้นทุนผันแปรสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.21

$$VC = C_{material} + C_{labor} + C_{energy}$$

โดยที่ VC แทน ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (บาทต่อชิ้น)
$C_{material}$ แทน ต้นทุนวัตถุดิบ (บาทต่อชิ้น)
C_{labor} แทน ต้นทุนแรงงาน (บาทต่อชิ้น)
C_{energy} แทน ต้นทุนพลังงาน (บาทต่อชิ้น)

1) ต้นทุนวัตถุดิบของการผลิตเท้าเทียมประกอบไปด้วย ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีของแกนภายใน ต้นทุนวัตถุดิบสารเคมีของเนื้อเท้าเทียมและต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีของผิวเท้าเทียมผลของต้นทุนวัตถุดิบผลิตเท้าเทียมแสดงดังตารางที่ 4.94

ตารางที่ 4.94 ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตเท้าเทียม

รายละเอียด	ปริมาณการผลิต (ชิ้นต่อปี)			
	5,000	10,000	50,000	100,000
1. ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีของแกนภายใน	490,561.32	981,122.63	4,905,613.13	9,811,226.25
2. ต้นทุนวัตถุดิบสารเคมีของเนื้อเท้าเทียม	145,032.50	290,062.50	1,450,312.50	2,900,625.00
3. ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีของผิวเท้าเทียม	372,323.10	744,646.20	3,723,231.00	7,446,462.00
4. รวมต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมี	1,007,916.92	2,015,831.33	10,079,156.63	20,158,313.25
ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีต่อหน่วย (บาทต่อชิ้น)	**201.58**	**201.58**	**201.58**	**201.58**

2) เปรียบเทียบต้นทุนค่าแรงงานในการผลิตแบบ 2 กะ และ 3 กะ ต้องใช้แรงงานเพิ่มจาก 1 กะ และเป็นการผลิตในเวลาเย็นและกลางคืน ทำให้จำเป็นต้องเพิ่มค่าเข้ากะให้กับแรงงาน โดยกะเย็นให้ค่าเข้ากะ 50 บาทต่อคน และกะดึกให้ค่าเข้ากะ 100 บาทต่อคน อ้างอิงจากเว็บจัดหางาน www.jobth.com เดือน พฤษภาคม ปี 2558 คิดต้นทุนแรงงานแต่ละปริมาณการผลิตจากจำนวนแรงงานจากตารางที่ 4.84 ได้ผลของต้นทุนค่าแรงงานแต่ละปริมาณการผลิตแสดงดังตารางที่ 4.95 และ

การคำนวณต้นทุนแรงงานสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.23

$$C_{labor} = (n)\ (P_{labor} \times D) \quad (4.23)$$

$$C_{labor} = ((1)(300 + 50 + 100) \times 88)$$

$$C_{labor} = 39{,}600$$

โดยที่ C_{labor} แทน ต้นทุนแรงงาน (บาทต่อชิ้น)

P_{labor} แทน ค่าแรงงานรายวัน (บาทต่อวัน)

n แทน จำนวนแรงงานต่อกะ (คน)

D แทน จำนวนวันในการผลิต (วัน)

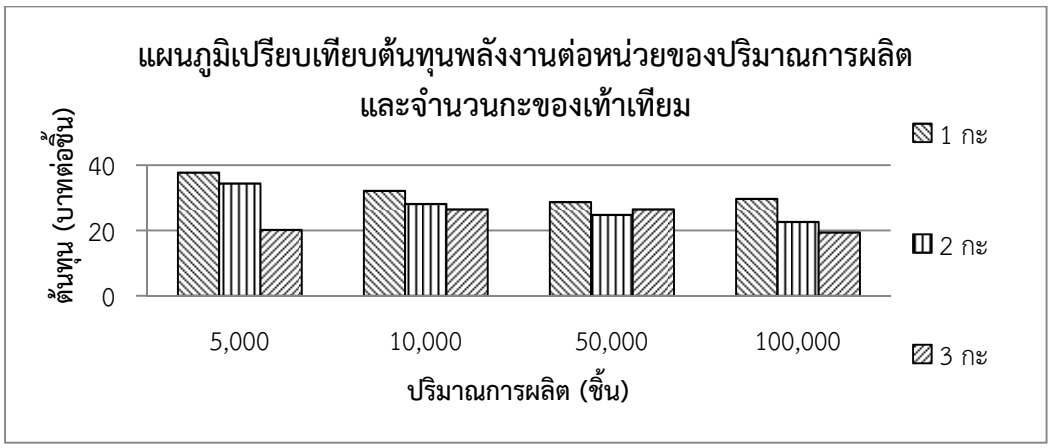
ตารางที่ 4.95 ต้นทุนค่าแรงงานต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม

ปริมาณการผลิต (ชิ้น/ปี)	ต้นทุนค่าแรงงานต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อชิ้น)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	78.84	85.41	91.98
10,000	78.84	85.41	91.98
50,000	78.84	85.49	91.98
100,000	78.84	85.41	91.98

3) เปรียบเทียบต้นทุนไฟฟ้าคิดตามกำลังไฟฟ้าของแต่ละเครื่องจักร จำนวนเครื่องจักร และจำนวนวัน ผลของต้นทุนไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 4.96 และแผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะแสดงดังภาพประกอบที่ 4.9

ตารางที่ 4.96 ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม

ปริมาณการผลิต (ชิ้น/ปี)	ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อชิ้น)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	37.74	34.43	20.17
10,000	32.19	28.15	26.46
50,000	28.71	24.82	26.46
100,000	29.71	22.61	19.43



ภาพประกอบที่ 4.9 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม

ผลรวมของต้นทุนผันแปรต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะแสดงดังตารางที่ 4.97

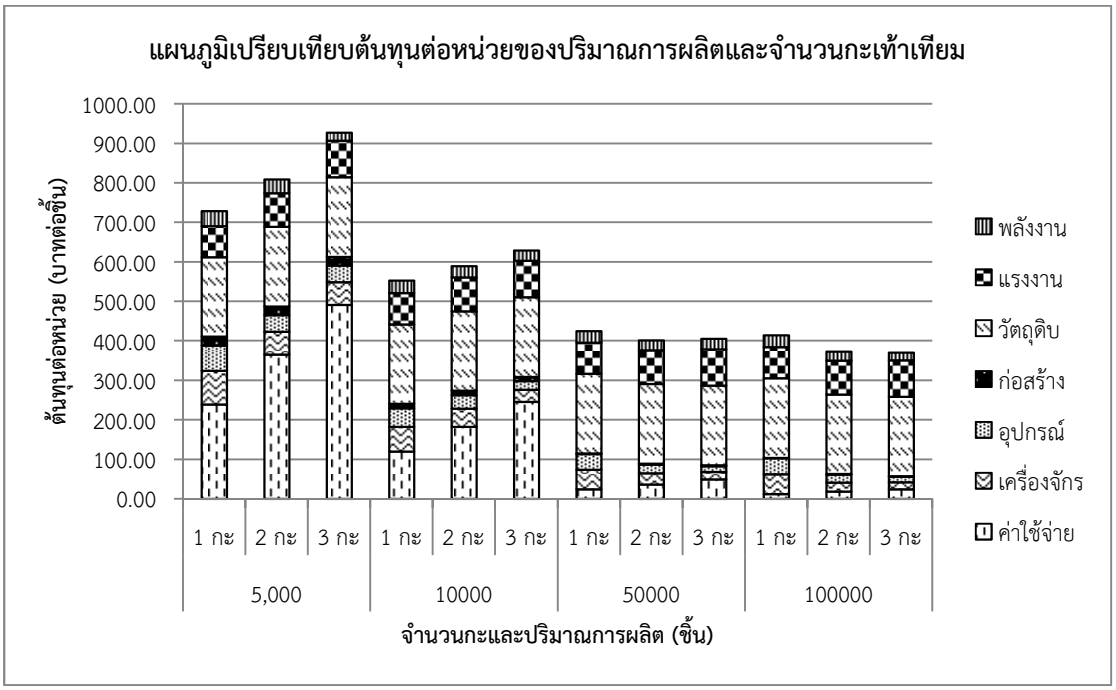
ตารางที่ 4.97 ต้นทุนผันแปรต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม

ปริมาณการผลิต (ชิ้น/ปี)	ต้นทุนผันแปรต่อหน่วยต่อหน่วยของแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาทต่อชิ้น)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	318.16	321.42	313.73
10,000	311.45	315.02	319.90
50,000	309.13	311.89	319.93
100,000	310.13	309.60	312.90

ต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนเท้าเทียมของปริมาณการผลิต 5,000 ชิ้นต่อปี ต้นทุนต่ำที่สุดที่รูปแบบการผลิต 1 กะ 728.71 บาทต่อชิ้น ที่ปริมาณการผลิต 10,000 ชิ้นต่อปี ที่รูปแบบการผลิต 1 กะ 551.95 บาทต่อชิ้น ปริมาณการผลิต 50,000 ชิ้นต่อปี ที่รูปแบบการผลิต 2 กะ 401.21 บาทต่อชิ้น และปริมาณการผลิต 100,000 ชิ้นต่อปี ที่รูปแบบการผลิต 3 กะ 370.16 บาทต่อชิ้น ผลของต้นทุนต่อหน่วยแสดงดังตารางที่ 4.98 และภาพประกอบที่ 4.10 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะ

ตารางที่ 4.98 ต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนเท้าเทียมแต่ละปริมาณการผลิตเท้าเทียม

ปริมาณการผลิต (ชิ้น/ปี)	ต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนเท้าเทียม (บาทต่อชิ้น)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	728.71	808.55	926.86
10,000	551.95	588.75	629.06
50,000	424.50	401.21	404.95
100,000	413.89	372.51	370.16

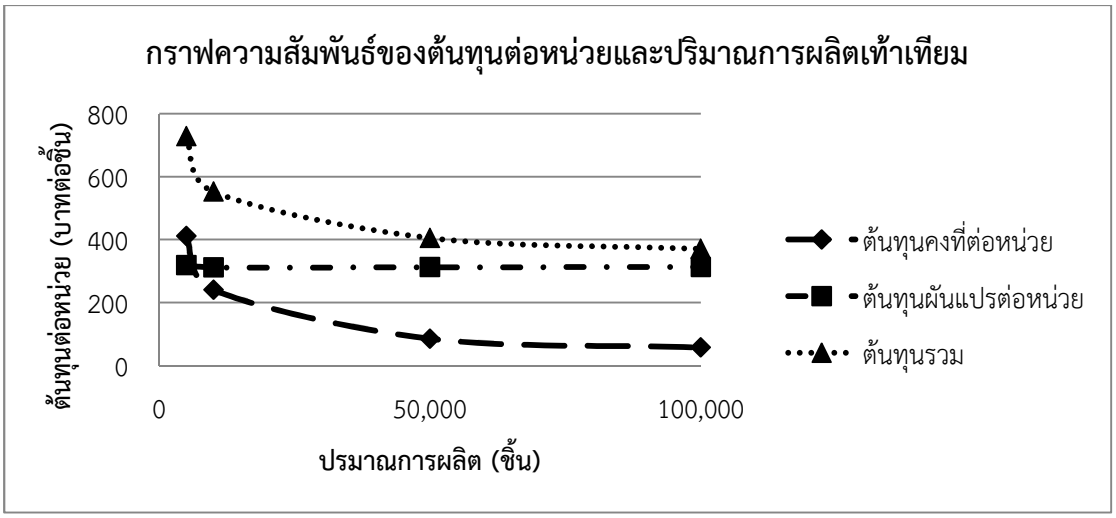


ภาพประกอบที่ 4.10 แผนภูมิเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยของปริมาณการผลิตและจำนวนกะของเท้าเทียม

เลือกต้นทุนที่ต่ำที่สุดของแต่ละปริมาณการผลิตมาดูแนวโน้มของต้นทุนการผลิต แสดงดังตารางที่ 4.99 และภาพประกอบที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อหน่วยและปริมาณการผลิต แนวโน้มจากปริมาณการผลิต 5,000 ถึง 100,000 ชิ้นต่อปี พบว่ายิ่งผลิตมากขึ้นจะทำให้ต้นทุนต่ำลงมีผลมาจากต้นทุนคงที่ลดลงเนื่องจากมีการปันส่วนเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.99 ต้นทุนต่อหน่วยของเท้าเทียมที่ต่ำที่สุดของแต่ละปริมาณการผลิตเท้าเทียม

ปริมาณการผลิต (ชิ้น/ปี)	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย (บาทต่อชิ้น)	ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (บาทต่อชิ้น)	ต้นทุนรวม (บาทต่อชิ้น)
5,000	410.55	318.16	728.71
10,000	240.5	311.45	551.95
50,000	89.32	311.89	401.21
100,000	57.26	312.9	370.16



ภาพประกอบที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อหน่วยและปริมาณการผลิตเท้าเทียม

จากการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเท้าเทียมทั้งในประเทศและต่างประเทศแล้ว พบว่าเท้าเทียมที่ดีต้องมีคุณสมบัติ ทนทาน สวมใส่สบายและมีน้ำหนักเบา พบว่าโดยส่วนใหญ่เป็นเท้าเทียมนำเข้าต่างประเทศ ก่อให้เกิดราคาที่สูง ผู้พิการในประเทศไทยซึ่งมีรายได้น้อยไม่สามารถซื้อมาสวมใส่ได้ และเมื่อพิจารณาจากข้อมูลที่ให้การสนับสนุนเกี่ยวกับผู้พิการส่วนใหญ่ พบว่าเท้าเทียมที่ผลิตภายในประเทศซึ่งผลิตจากจากพลาสติกมีน้ำหนักที่สูงกว่าเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ 30 กรัม และเท้าเทียมนำเข้าจากต่างประเทศมีน้ำหนักเบาที่สุด จึงได้มีการกำหนดราคาขายของเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ 50 % จากต้นทุนการผลิต ราคาขายของเท้าเทียมจากยางธรรมชาติคือ 1,100 บาท บาทต่อชิ้น เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านราคาพบว่าเท้าเทียมจากยางธรรมชาติต่ำที่สุดในการเปรียบเทียบจาก 3 ผู้ผลิต พบว่าเท้าเทียมจากยางธรรมชาติเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด รายละเอียดของการเปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นส่วนเท้าเทียมจากยางธรรมชาติจากภายในและต่างประเทศแสดงดังตารางที่ 4.100

ตารางที่ 4.100 เปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นส่วนเท้าเทียมจากภายในและภายนอกประเทศ

ผู้ผลิต	น้ำหนักรวม (กรัม)	วัสดุ	ราคา (บาท)
มูลนิธิขาเทียมในสมเด็จพระศรีนครินทรา-บรมราชชนนี	550	พลาสติก	1,500
ต่างประเทศ (Ottobock)	450	ไม้สัก	5,000
เท้าเทียมจากยางธรรมชาติ	520	คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใย	1,100

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยการวิเคราะห์และเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าและเท้าเทียม โดยขาเทียมผลิตด้วยกระบวนการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งและกระบวนการทุบขึ้นรูป เท้าเทียมผลิตด้วยการขึ้นรูปยางธรรมชาติ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยกระบวนการขึ้นรูปแบบกึ่งของแข็งและการขึ้นรูปเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ มีขอบเขตของการวิจัยคือ ศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่าโดยเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะกึ่งของแข็งและเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ พร้อมทั้งศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับปริมาณการผลิตเพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าในแต่ละขนาดปริมาณและเปรียบเทียบกับการผลิตเพื่อหาต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำที่สุด

5.1. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการผลิตเป็นตัวเลือกอย่างหนึ่งในการตัดสินใจเพื่อทำการลงทุนหรือการตั้งราคาขายของผลิตภัณฑ์ การใช้แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยและแบบจำลองยังสามารถหาค่าเปรียบเทียบว่าต้นทุนในแต่ละปริมาณการผลิตรูปแบบใดให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด และแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการ มี 3 แบบจำลองย่อย คือ 1. แบบจำลองกระบวนการ 2. แบบจำลองการดำเนินงาน และ 3. แบบจำลองต้นทุน ทำให้แบบจำลองมีระบบการทำงานอย่างเป็นขั้นเป็นตอน ส่งผลให้การประมวลผลเกิดข้อผิดพลาดได้ยากเพราะแบบจำลองจะมีการทวนสอบขั้นตอนการผลิตอยู่ตลอดจนกว่าจะประมวลผลครบทั้ง 3 แบบจำลองย่อย ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เลือกผลิตภัณฑ์ต้นแบบ คือ ขาเทียมใต้เข่าและเท้าเทียม ขาเทียมใต้เข่ามีชิ้นส่วน 5 ชิ้น คือ Socket Adapter, Tube Clamp Adapter, Foot Adapter, Foot Clamp ทั้ง 4 ชิ้นนี้ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อฉีด (Die Casting) และ Tube ขึ้นรูปด้วยกระบวนการทุบขึ้นรูป (Forging) และเท้าเทียมมีกระบวนการผลิต 3 ขั้นตอนย่อย คือ แกนภายใน เนื้อเท้าเทียมและผิวเท้าเทียม สรุปผลในงานวิจัยนี้ได้แบ่งเป็น 4 หัวข้อใหญ่ คือ

5.1.1 ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการของชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า

แบบจำลองกระบวนการผลิตเป็นต้องอธิบายขั้นตอนการผลิตอย่างละเอียด ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้ คือ รอบเวลาการผลิต ชนิดของแรงงาน ชนิดของวัตถุดิบ และชนิดของพลังงาน จำนวนเครื่องจักร จำนวนวันที่ใช้ จำนวนคนงานที่ใช้ในหนึ่งกะ จำนวนวัตถุดิบที่ใช้ต่อชิ้น

แบบจำลองการดำเนินงาน ต้องกำหนดให้จำนวนกะและเวลาดำเนินงาน เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการเลือกจำนวนกะในการผลิตแต่ละปริมาณการผลิตตามที่ต้องการ โดย

กำหนดให้มีทำงานวันละ 3 รูปแบบ คือ 1 กะ 8 ชั่วโมง 2 กะ 16 ชั่วโมง 3 กะ 24 ชั่วโมง และจำนวนวันทำงานได้จำนวนสูงสุดต่อปีคือ 300 วัน ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้ คือ ปริมาณวัตถุดิบที่ต้องการ ปริมาณของพลังงานที่ใช้ของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง จำนวนคนที่งานทั้งหมด หรือความต้องการด้านทรัพยากรต่างๆที่จำเป็นต่อการผลิต

แบบจำลองการดำเนินงานต้องกำหนดสมมติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงิน เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนทางด้านการเงินของธุรกิจเพื่อให้การลงทุนมีศักยภาพ การดำเนินธุรกิจมีประสิทธิภาพและการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วย ประกอบด้วยต้นทุน 7 ส่วน ได้แก่ ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนพลังงาน ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนค่าเครื่องจักร ต้นทุนค่าอุปกรณ์ โดยสามารถจัดกลุ่มของต้นทุน 7 ส่วน ข้างต้น ออกเป็น 2 ประเภท คือ ต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร โดยต้นทุนคงที่ประกอบด้วย ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงาน ต้นทุนการก่อสร้าง ต้นทุนค่าเครื่องจักร ต้นทุนค่าอุปกรณ์ และในส่วนของต้นทุนผันแปรประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนพลังงาน จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตและจำลองการดำเนินงานได้ต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า 2,357.13 บาทต่อ 1 ชุด มี 5 ชิ้น แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนขาเทียมใต้เข่า

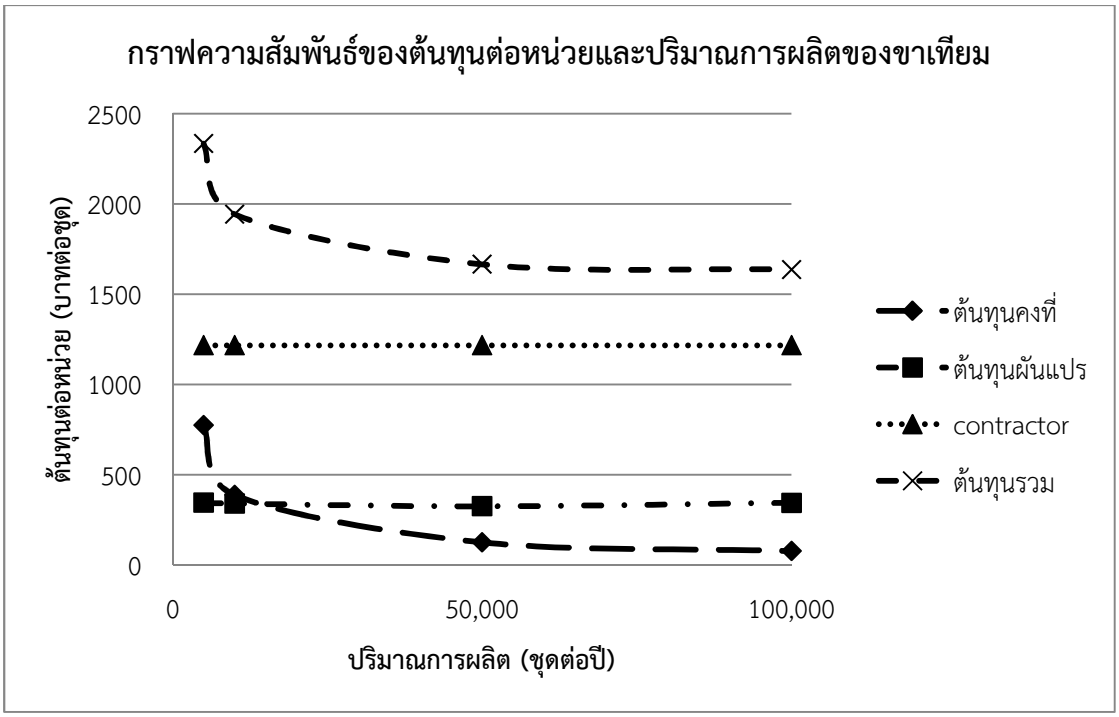
รายละเอียด	ต้นทุนต่อหน่วย ที่ 5,000 ชุด	หน่วย
1. ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย (ข้อมูลตามตารางที่ 4.22 ข้อ 5)	773.88	บาท
2. ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (ข้อมูลตามตารางที่ 4.26 ข้อ 10)	367.25	บาท
3. ราคา Bolt & Nut (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	166	บาท
4. ต้นทุนจากการจ้างงานภายนอกโรงงาน (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	1,050	บาท
รวมต้นทุนต่อหน่วย	**2,357.13**	**บาท**

5.1.2 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการแต่ละขนาดปริมาณการผลิต

ผลของการเปรียบเทียบต้นทุนแต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะที่ได้คือผลของต้นทุนต่อหน่วยในการการผลิตแบบ 3 กะ ให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำที่สุดเนื่องจากใช้จำนวนวันในการผลิตน้อยที่สุด ดูแนวโน้มของปริมาณการผลิตพบว่าเมื่อผลิตมากขึ้น ต้นทุนคงที่มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการผลิตที่มากขึ้น ส่วนของต้นทุนผันแปรที่ปริมาณการผลิต 5,000 ถึง 50,000 ชุดต่อปี ต้นทุนผันแปรมีแนวโน้มลดลง ต้นทุนเพิ่มขึ้นเมื่อผลิตที่ 100,000 ชุดต่อปี เนื่องมาจากต้นทุนไฟฟ้าของเครื่องทุบขึ้นรูปที่ 50,000 ชุดต่อปี ใช้จำนวนเครื่องจักรและจำนวนวันดำเนินงานน้อยกว่าที่ 100,000 ชุดต่อปี และผลที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการแต่ละขนาดปริมาณการผลิตแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดของต้นทุนต่อหน่วยผลิตแบบ 3 กะของขาเทียม

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย	ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย	จ้างงานภายนอกต่อหน่วย	ต้นทุนรวม
5,000	773.88	343.99	1,216	2,334
10,000	386.94	339.72	1,216	1,943
50,000	124.57	324.54	1,216	1,665
100,000	76.73	343.08	1,216	1,636



ภาพประกอบที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อหน่วยและปริมาณการผลิตของขาเทียม

5.1.3 ผลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการของชิ้นส่วนเท้าเทียมจากยางธรรมชาติ

ต้นทุนต่อหน่วยของเท้าเทียมประกอบไปด้วย 3 ชิ้นส่วน คือ ชิ้นส่วนแกนภายใน ชิ้นส่วนเนื้อเท้าเทียม และชิ้นส่วนผิวเท้าที่ปริมาณการผลิตที่ 5,000 ชิ้น 1 กะ ทำงาน 8 ชั่วโมง และต้นทุนต่อหน่วยคิดจากต้นทุนผันแปร ต้นทุนคงที่ ผลของต้นทุนต่อหน่วยได้ 766.75 บาท แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ต้นทุนต่อหน่วยกระบวนการผลิตของเท้าเทียม

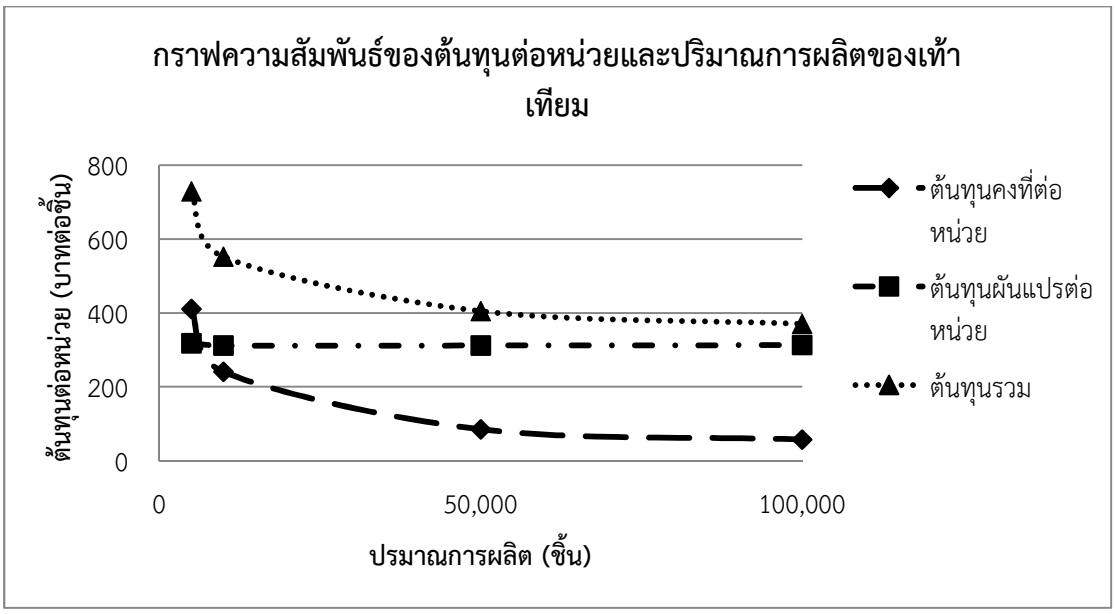
รายละเอียด	ต้นทุนต่อหน่วย ที่ 5,000 ชิ้น	หน่วย
1. ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย	410.55	บาท
2. ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย	318.17	บาท
รวมต้นทุนต่อหน่วย	**728.72**	**บาท**

5.1.4 ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการเท้าเทียมแต่ละขนาดปริมาณการผลิต

ผลจากการเปรียบเทียบของต้นทุนต่อหน่วย ที่ปริมาณการผลิต 5,000 และ 10,000 ชิ้นต่อปี พบว่าการการผลิตแบบ 1 กะ ให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำกว่า 1 กะ และจะมีต้นทุนสูงมากที่สุดที่ 3 กะ เนื่องมาจากต้นุทนค่าใช้จ่ายและค่าแรงงานในช่วงกะที่ 2 และ 3 มีต้นทุนที่สูงกว่าค่าแรงงานในช่วงเวลากะที่ 1 แต่ระดับปริมาณการผลิตที่ 50,000 และ 100,000 ชิ้นต่อปี การผลิตแบบ 1 กะ ให้ต้นทุนที่สูงกว่าเนื่องจากจะต้องมีการลงทุนเครื่องจักรมากขึ้นและต้นทุนคงที่ลดลงเนื่องจากมีการปันส่วนเพิ่มมากขึ้นทำให้กะที่ 3 ต้นทุนต่ำที่สุด และผลที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการเท้าเทียมแต่ละขนาดปริมาณการผลิตแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ต้นทุนต่อหน่วยของชิ้นส่วนเท้าเทียมแต่ละปริมาณการผลิตของเท้าเทียม

ปริมาณการผลิต (ชิ้น/ปี)	จำนวนกะ	ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย	ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย	ต้นทุนรวม
5,000	1	410.55	318.16	728.71
10,000	1	240.5	311.45	551.95
50,000	3	89.32	311.89	401.21
100,000	3	57.26	312.9	370.16



ภาพประกอบที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ของต้นทุนต่อหน่วยและปริมาณการผลิตของเท้าเทียม

5.2. ข้อเสนอแนะ

1. แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการจะเน้นเฉพาะการวิเคราะห์ของกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์เท่านั้น ไม่ได้คิดร่วมกับต้นทุนของการขนส่ง แบบจำลองต้นทุนตามกระบวนการจึงเป็นปัจจัยพื้นฐานหลักๆของการตั้งราคาสินค้า เนื่องจากต้นทุนหลักของผลิตภัณฑ์คือต้นทุนต่อหน่วย

บรรณานุกรม

[1] นวพรรษ บุญชาญ, "ขาเทียม" เดลินิวส์-*x-ray*-สุขภาพ, กรุงเทพฯ: เดลินิวส์ออนไลน์, 2011.

[2] ศาสตรา มูสิกะ ""“สิ่งที่คนพิการอยากได้มากที่สุดไม่ใช่ขาเทียม แต่คือ ‘โอกาส’” เสียงสะท้อนจากมหกรรมการจัดทำขาเทียมพระราชทาน ณ ท้องสนามหลวง," สารคดี vol. 259: บริษัทวิริยะธุรกิจ จำกัด 2549, pp. 27-32.

[3] จักรพงศ์ พิพิธภักดี, "เทคโนโลยีขาเทียมและสถานการณ์การวิจัยพัฒนาขาเทียมในประเทศไทย," สาร*NECTEC* vol. ฉบับเดือน มีนาคม-เมษายน, 2551.

[4] ชมรมนักพัฒนาอุตสาหกรรมไทย. ข้อเปรียบเทียบของขาเทียมที่ประดิษฐ์คิดค้น (ออนไลน์). สืบค้นจาก http://www.thailegs.com/l5compai.htm (6 กุมภาพันธ์ 2555).

[5] R. Glabiszewski, "Adjustable link for prosthetic limb," in *United States Patent*. vol. Publication No.4,969,911 1970.

[6] K. Becker, C. Hiemisch, R. Schaarschuch, and H. Zenner, "Below-knee prosthesis having an adapter displaceable on a spherical segment surface,," in *United States Patent*. vol. Publication No. 5,755,812, 1998.

[7] D. H. Littig, "Shuttle lock," in *United States Patent*. vol. Publication No. 5,888,234 United States, 1999.

[8] V. L. Phillips, "Prosthetic foot," in *United States Patent*. vol. Publication No.: 5,037,444 1991.

[9] U. Wellershaus, "Jointless Prosthetic foot," in *United States Patent*. vol. Publication No. 5,156,632 1992.

[10] M. Naeder, "Prosthetic Foot Having Z Shaped Insert," in *United States Patent*. vol. Publication No. 5,062,859 1991.

[11] ดวงสุดา เตโชติรส, "มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครกับการวิชาการแก่สังคม: การผลิตอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการ," *RMUTP Research Journal,* vol. 3 No.2 2552.

[12] มาณวิกา คงพ่วง, "การพัฒนากระบวนการผลิตชิ้นส่วนขาเทียมโลหะโดยการทุบโลหะกึ่งของแข็ง," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2555.

[13] เรืองศักดิ์ แก้วธรรมชัย, เทคนิคการขึ้นรูปวัสดุและแม่พิมพ์ -ต้นกำเนิดของผลิตภัณฑ์. ชลบุรี: อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิ สถาบันไทย - เยอรมัน, 2550.

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

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

[16] J. Wannasin, R. A. Martinez, and M. C. Flemings, "Grain refinement of an aluminum alloy by introducing gas bubbles during solidification," *Scripta Materialia,* vol. 55, pp. 115-118, 2006.

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

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

[19] R. Burapa and J. Wannasin, "Development of the Gas Induced Semi-Solid Metal Processing System," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ *6*, 2008.

[20] S. Thanabumrungkul, S. Janudom, R. Burapa, P. Dulyapraphant, and J. Wannasin, "Industrial development of gas induced semi-solid process," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition),* vol. 20, pp. s1016-s1021, 2010.

[21] C. Bloch and R. Ranganathan, "Process based cost modeling," in *IEEE/CHMT European International Electronic Manufacturing Technology Symposium*, 1991, pp. 406-412.

[22] M. D. Johnson and R. Kirchain, "Developing and assessing commonality metrics for product families: A process-based cost-modeling approach," *IEEE Transactions on Engineering Management,* vol. 57, pp. 634-648, 2010.

[23] 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.

[24] M. Sievanen and K. Tornberg, "Process-based costing: The best of activity-based costing," in *AACE International. Transactions of the Annual Meeting*, 2002, pp. CSC151-CSC156.

[25] K. Tornberg, M. Jamsen, and J. Paranko, "Activity-based costing and process modeling for cost-conscious product design: A case study in a manufacturing company," *International Journal of Production Economics,* vol. 79, pp. 75-82, 2002.

[26] M. Koslowske, "A process based cost model for multi-layer ceramic manufacturing of solid oxide fuel cells," in *Department of Materials Science*. vol. Master of Science Worcester: Worcester Polytechnic Institute 2003.

[27] 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.

[28] S. Akamphon, S. Sukkasi, and Y. Boonyongmaneerat, "Reduction of zinc consumption with enhanced corrosion protection in hot-dip galvanized coatings: A process-based cost analysis," *Resources, Conservation and Recycling,* vol. 58, pp. 1-7, 2011.

[29] กิตติ อนุชาผัด ดร.ดวงดาว อาจองค์ ดร.รัตนวรรณ มกรพันธ์ สมชาย พินิจอุดมการณ์ และพิทักษ์ วราฤทธิชัย, คอมโพสิท. กรุงเทพฯ: สมาคมไทยคอมโพสิท, 2548.

[30] ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย, "กระบวนการผลิต," 2554, นครปฐม: ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย, 2554.

[31] วราภรณ์ ขจรไชยกูล, ผลิตภัณฑ์ยาง: กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2554.

[32] พงษ์ธร แซ่อุย และ ชาคริต สิริสิงห, ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550.

[33] ไชยา วรสิงห์ วิชัย รุ่งเรืองอนันต์ และ เสาวนิตย์ จันทนโรจน์, "การเพิ่มผลิตภาพการผลิตโดยการศึกษาการทำงาน กรณีศึกษา: โรงงานผลิตชิ้นส่วนและอะไหล่เครื่องจักร," นำเสนอที่ การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 คะแนนองค์ประกอบในการวิเคราะห์อัตราความเร็วตามวิธีของ Westinghouse

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

ตารางที่ ก.2 ปริมาณน้ำประปา

รายละเอียด	ปริมาณน้ำประปาต่อ lot size		หน่วย
	Die casting Al A356	Forging Al 7075	
1. น้ำเลี้ยงเปิดตลอดเวลาที่เครื่องจักรทำงาน 8 ชม.	28,800	28,800	วินาที/วัน
2. ท่อจ่ายน้ำหลัก ขนาด 3 นิ้ว (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	0.0762	0.0762	เมตร
3. ท่อจ่ายน้ำเข้าเครื่องจักร 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 4.3)	88	126	วัน/lot size
10.ปริมาณการใช้น้ำประปา (10) = (1) x (8) x (9)	141.93	203.21	ลบ.ม./lot size
ปริมาณการใช้น้ำประปา	**141.93**	**203.21**	**ลบ.ม./lot size**

ตารางที่ ก.3 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 (2556)

ตารางที่ ก.4 ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง

รายละเอียด	ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง		หน่วย
	Die casting	Forging	
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 (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	700	750	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	133,200	กิโลแคลอรี่/วัน
1.7 ปริมาณความร้อนในการหลอม (เต็มประสิทธิภาพ)	544	557.3	เมกกะจูล/วัน
โดยที่ 1 kcal = 4.184 kJ (1.7) = [(1.6) x 4.184] ÷ 1000			
1.8 ประสิทธิภาพการทำงานของเตาหลอม (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	70%	70%	
1.9 ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการหลอมจริง (1.9) = (1.7) ÷ (1.8)	777	796	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	15.85	กก./วัน
2. ปริมาณแก๊สที่ใช้รักษาอุณหภูมิ			
2.1 เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดเตาหลอม (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	0.60	0.60	เมตร
2.2 พื้นที่หน้าตัดของช่องเปิดเตาหลอม (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	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 ก.4)	384	398.85	กิโลจูล/ลบ.ม.
2.6 อัตราการสูญเสียความร้อนต่อชั่วโมง (2.6) = [(2.4) x (2.5)] ÷ 1,000	78.17	81.2	เมกกะจูล/ชม.
2.7 ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการรักษาอุณหภูมิ (2.7) = (2.6) ÷ (1.8)	111.67	116	เมกกะจูล/ชม.
2.8 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (2.8) = (2.6) ÷ (1.10)	2.22	2.31	กก./ชม.
2.9 ระยะเวลารักษาอุณหภูมิ (ระยะเวลาดำเนินงานต่อวัน)	8	8	ชม./วัน
2.10 ปริมาณแก๊ส LPG ที่ใช้รักษาอุณหภูมิ (2.10) = (2.9) x (2.8)	17.76	18.48	กก./วัน

ตารางที่ ก.4 ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง (ต่อ)

2.11 จำนวนวันในการผลิต (ข้อมูลตามตารางที่ 4.5 ข้อ 7)	Socket adapter	22		วัน/lot
	Tube clamp	22		วัน/lot
	Foot clamp	22		วัน/lot
	Foot Adapter	22		วัน/lot
	Tube		126	วัน/lot
2.12 ปริมาณแก๊ส LPG (2.12) = [(1.9) + (2.10)] × (2.11)	Socket adapter	731.06		กก./lot size
	Tube clamp	731.06		กก./lot size
	Foot clamp	731.06		กก./lot size
	Foot Adapter	731.06		กก./lot size
	Tube		4,325.58	กก./lot size
ปริมาณแก๊ส LPG		7,249.82		กก./lot size

ตารางที่ ก.5 ต้นทุนวัตถุดิบ

รายละเอียด	ต้นทุนวัตถุดิบ					หน่วย
	Die casting Al A356				Forging Al 7075	
	Socket adapter	Tube clamp	Foot clamp	Foot Adapter	Tube	
1.ปริมาณ Al ทั้งหมด (ข้อมูลตามตารางที่ 4.6 ข้อ 7)	1,372.8	1,383.36	1,383.36	1,235.52	2,217.6	กก./lot size
2. ราคา Al	92	92	92	92	350	บาท/กก.
3. ต้นทุน Al (3) = (1) × (2)	**126,297.6**	**127,269.12**	**127,269.12**	**113,667.84**	**776,160**	**บาท/lot size**
4. ปริมาณฟลักซ์ (ข้อมูลตามตารางที่ 4.7 ข้อ 3)	2.74	2.77	2.77	2.47	4.43	กก./lot size
5. ราคาฟลักซ์	39	39	39	39	39	บาท/กก.
6. ต้นทุนฟลักซ์ (6) = (3) × (4)	**106.86**	**108.03**	**108.03**	**96.33**	**172.77**	**บาท/lot size**
7. ปริมาณน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (ข้อมูลตามตารางที่ 4.8 ข้อ 8)	29.27	29.27	29.27	29.27	170	ลิตร/lot size
8.ราคาน้ำยาพ่นแม่พิมพ์	51	51	51	51	51	บาท/ลิตร
9.ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (9) = (7) × (8)	**1492.77**	**1492.77**	**1492.77**	**1492.77**	**8,670**	**บาท/lot size**
10. ปริมาณน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (น้ำ RO) (ข้อมูลตามตารางที่ 4.8 ข้อ 9)	2,927.53	2,927.53	2,927.53	2,927.53	16,905.52	ลิตร/lot size
11.ราคาผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (น้ำ RO)	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	บาท/ลิตร
12.ต้นทุนน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ (น้ำ RO) (12) = (10) × (11)	**169.8**	**169.8**	**169.8**	**169.8**	**980.5**	**บาท/lot size**
13. ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก (ข้อมูลตามตารางที่ 4.9 ข้อ 3)	29.26	29.26	29.26	29.26	167.58	ลิตร/lot size
14. ราคาน้ำมันไฮดรอลิก	44	44	44	44	44	บาท/ลิตร

ตารางที่ ก.5 ต้นทุนวัตถุดิบ (ต่อ)

รายละเอียด	ต้นทุนวัตถุดิบ					หน่วย
	Die casting Al A356				Forging Al 7075	
	Socket adapter	Tube clamp	Foot clamp	Foot Adapter	Tube	
15. ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิก (15) = (13) × (14)	**1,287.44**	**1,287.44**	**1,287.44**	**1,287.44**	**7,373.52**	**บาท/lot size**
16.ปริมาณการใช้น้ำประปา (ข้อมูลตามตารางที่ 4.10 ข้อ 10)	35.48	35.48	35.48	35.48	203.21	ลบ.ม./lot size
17. ราคาน้ำประปา	16	16	16	16	16	บาท/ลบ.ม.
18. ต้นทุนน้ำประปา (18) = (16) × (17)	**567.68**	**567.68**	**567.68**	**567.68**	**3,251.36**	**บาท/lot size**
19. ต้นทุนวัตถุดิบรวม (19) = (3) + (6) + (9) + (12) + (15) + (18)	**129,922.15**	**130,894.84**	**130,894.84**	**117,281.86**	**796,608.15**	**บาท/lot size**

ตารางที่ ก.6 ต้นทุนพลังงาน

รายละเอียด	ต้นทุนพลังงาน					หน่วย
	Die casting Al A356				Forging Al 7075	
	Socket adapter	Tube clamp	Foot clamp	Foot Adapter	Tube	
1. ปริมาณแก๊สไนโตรเจน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.12 ข้อ 4)	1,760	1,760	1,760	1,760	3,693	ลิตร/lot size
2. ราคาแก๊สไนโตรเจน	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	บาท/ลิตร
3. ต้นทุนแก๊สไนโตรเจน	704	704	704	704	1,477.2	บาท/lot size
4. ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง (LPG)	731.06	731.06	731.06	731.06	4,325.58	กก./lot size
5. ราคาแก๊สเชื้อเพลิง	23	23	23	23	23	บาท/กก.
6. ต้นทุนแก๊สเชื้อเพลิง	16,814.38	16,814.38	16,814.38	16,814.38	99,488.34	บาท/lot size
7. ปริมาณไฟฟ้า	47	47	47	47	81	กิโลวัตต์
8. ต้นทุนไฟฟ้า	17,754.85	17,754.85	17,754.85	17,754.85	179,991,15	บาท/lot size
9. ต้นทุนพลังงาน	35,273.23	35,273.23	35,273.23	35,273.23	280,956.69	บาท/lot size

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 ต้นทุนอะลูมิเนียมที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนอะลูมิเนียมที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ					
	1 กะ		2 กะ		3 กะ	
	Die casting Al A356	Forging Al 7075	Die casting Al A356	Forging Al 7075	Die casting Al A356	Forging Al 7075
5,000	494,503.68	775,600	492,233.12	780,864	493,640.26	775,473.58
รวม	1,270,663.68		1,273,097.12		1,269,113.84	
10,000	996,238.56	1,551,648	997,394.08	1,548,953	987,628.28	1,558,578
รวม	2,547,886.56		2,546,347.08		2,546,206.28	
50,000	4,988,599.72	7,710,217	4,925,458.28	7,707,137	4,929,752.71	7,704,208.84
รวม	12,698,816.72		12,632,595.28		12,633,961.55	
100,000	9,840,006.16	14,734,277.86	9,851,265.24	14,714,259	9,837,501.63	14,718,879
รวม	24,574,284.02		24,565,524.24		24,556,380.63	

ตารางที่ ข.2 ต้นทุนฟลักซ์ที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนฟลักซ์ที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ					
	1 กะ		2 กะ		3 กะ	
	Die casting	Forging	Die casting	Forging	Die casting	Forging
5,000	419.25	172.77	416.42	174.02	418.53	171.74
รวม	592.02		590.44		590.27	
10,000	844.64	345.8	832.95	345.2	837.24	347.34
รวม	1,190.44		1,178.15		1,184.58	
50,000	4,180.7	1,718.28	4,175.94	1,717.59	3,909.58	1,716.94
รวม	5,898.98		5,893.53		5,626.52	
100,000	8,342.61	3,283.64	8,352.16	3,279.18	8,340.49	3,280.21
รวม	11,626.25		11,631.34		11,620.70	

ตารางที่ ข.3 ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์รวมที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์รวมที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ					
	1 กะ		2 กะ		3 กะ	
	Die casting	Forging	Die casting	Forging	Die casting	Forging
5,000	5,971.08	8,670	6,002.72	8,704.40	6,021.3	8,590.24
รวม	14,641.08		14,707.12		14,611.54	
10,000	12,439.8	17,296.43	12,611.96	17,266.39	12,045.44	17,373.68
รวม	29,736.23		29,878.35		29,419.12	

ตารางที่ ข.3 ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์รวมที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (ต่อ)

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนน้ำยาพ่นแม่พิมพ์รวมที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ					
	1 กะ		2 กะ		3 กะ	
	Die casting	Forging	Die casting	Forging	Die casting	Forging
50,000	60,148.54	85,946.87	60,078.44	85,912.53	60,135.67	85,879.92
รวม		146,095.41		145,990.97		146,015.59
100,000	120,026.68	164,245.10	120,162.6	164,021.93	119,997.51	164,073.43
รวม		284,271.78		284,184.53		284,070.94

ตารางที่ ข.4 ต้นทุนน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนน้ำผสมน้ำยาพ่นแม่พิมพ์ที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ					
	1 กะ		2 กะ		3 กะ	
	Die casting	Forging	Die casting	Forging	Die casting	Forging
5,000	679.20	980.5	675.84	980.01	677.92	967.16
รวม		1,659.70		1,655.85		1,645.08
10,000	1,360.04	1,947.37	1,419.96	1,943.99	1,356.16	1,956.07
รวม		3,307.41		3,363.95		3,312.23
50,000	6,772.01	9,676.61	6,764.12	9,672.74	6,770.56	9,669.07
รวม		16,448.62		16,436.86		16,439.63
100,000	13,513.60	18,492.07	13,528.88	18,466.94	13,510.30	18,472.74
รวม		32,005.67		31,995.82		31,983.04

ตารางที่ ข.5 ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิกที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิกที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ					
	1 กะ		2 กะ		3 กะ	
	Die casting	Forging	Die casting	Forging	Die casting	Forging
5,000	5,149.76	7,373.52	4,693.32	6,805.33	4,576	6,529.60
รวม		12,523.28		11,498.65		11,105.60
10,000	10,325.32	17,600	9,386.68	13,493	9,152	13,200
รวม		27,925.32		22,879.68		22,352.00
50,000	51,392	70,400	46,932	67,115	45,760	65,226
รวม		121,792		114,047		110,986
100,000	102,549.33	140,330.67	93,868	128,128	91,132.80	124,608
รวม		242,880		221,996		215,741

ตารางที่ ข.6 ต้นทุนน้ำประปาที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนน้ำประปาที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ					
	1 กะ		2 กะ		3 กะ	
	Die casting	Forging	Die casting	Forging	Die casting	Forging
5,000	2,270.72	3,251.36	2,064.38	2,993.35	2,012.77	2,872.07
รวม		5,522.08		5,057.73		4,884.84
10,000	4,541.64	6,502.81	4,128.77	5,935.10	4,025.55	5,806.08
รวม		11,044.45		10,063.87		9,831.63
50,000	22,605	30,965.76	20,643.84	29,520.69	20,127.74	28,689.78
รวม		53,570.76		50,164.53		48,817.52
100,000	45,106.79	61,725.08	41,287.68	56,357.68	42,113.43	54,809.39
รวม		106,831.87		97,645.36		96,922.82

ตารางที่ ข.7 ต้นทุนค่าแรงงานที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนค่าแรงงานที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ					
	1 กะ		2 กะ		3 กะ	
	Die casting	Forging	Die casting	Forging	Die casting	Forging
5,000	26,400	113,400	26,000	113,100	27,300	116,865
รวม		139,800		139,100		144,165
10,000	52,800	226,800	52,000	224,250	54,600	236,250
รวม		279,600		276,250		290,850
50,000	262,800	1,080,000	260,000	1,115,400	273,000	1,167,390
รวม		1,342,800		1,375,400		1,440,390
100,000	524,400	2,152,800	520,000	2,129,400	571,200	2,230,200
รวม		2,677,200		2,649,400		2,801,400

ตารางที่ ข. 8 ต้นทุนแก๊ส LPG ที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนแก๊ส LPG ที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ					
	1 กะ		2 กะ		3 กะ	
	Die casting	Forging	Die casting	Forging	Die casting	Forging
5,000	48,133	71,199.05	33,571.82	50,416.65	29,422.25	44,590.47
รวม		119,332.05		83,988.47		74,012.72
10,000	96,812.95	142,398.09	67,143.63	99,964.05	58,844.5	88,007.51
รวม		239,211.04		167,107.68		146,852.01

ตารางที่ ข. 9 ต้นทุนแก๊ส LPG ที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (ต่อ)

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนแก๊ส LPG ที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ					
	1 กะ		2 กะ		3 กะ	
	Die casting	Forging	Die casting	Forging	Die casting	Forging
50,000	125,255.17	169,521.54	167,859.08	248,606.24	294,222.5	218,258.61
รวม	294,776.71		416,465.32		512,481.11	
100,000	119,785.51	168,956.47	83,929.54	23,7305.96	294,222.5	276,930.28
รวม	288,741.98		321,235.50		571,152.78	

ตารางที่ ข. 10 ต้นทุนไนโตรเจนที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนไนโตรเจนที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ					
	1 กะ		2 กะ		3 กะ	
	Die casting	Forging	Die casting	Forging	Die casting	Forging
5,000	2,816	1,478.4	2,802.4	1,487.36	2,811.07	1,467.85
รวม	4,294.40		4,289.76		4,278.92	
10,000	5,639.48	2,955.52	5,607.44	2,950.38	5,623.48	2,968.72
รวม	8,595		8,557.82		8,592.20	
50,000	28,079.88	14,686.12	28,047.84	14,680.26	28,127.96	14,674.68
รวม	42,766.00		42,728.10		42,802.64	
100,000	56,034.2	28,065.29	56,098.32	28,027.16	56,042.2	28,035.96
รวม	84,099.49		84,125.48		84,078.16	

ตารางที่ ข. 11 ต้นทุนไฟฟ้าที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนไฟฟ้าที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	267,264.45	253,308.01	195,528.53
10,000	297,333.11	393,611.40	338,572.94
50,000	1,701,258.29	1,547,595.34	1,269,479.63
100,000	19,307,374.28	7,845,031.12	5,651,216.15

ตารางที่ ข. 12 ต้นทุนผันแปรที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ

ปริมาณการผลิต (ชุด/ปี)	ต้นทุนผันแปรที่ใช้แต่ละปริมาณการผลิตและจำนวนกะ (บาท)		
	1 กะ	2 กะ	3 กะ
5,000	1,835,732.74	1,787,293.15	1,719,936.34
10,000	3,445,829.56	3,459,237.98	3,397,172.99
50,000	16,424,223.49	16,347,316.93	16,227,000.19
100,000	47,609,315.34	36,112,769.39	34,304,988.35

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค.1 จำนวนวันในการผลิต

การทำงาน	ปริมาณการผลิตต่อปี			หน่วย
	แกนภายใน	เนื้อเท้าเทียม	ผิวเท้าเทียม	
1. ปริมาณการผลิต	5,000	5,000	5,000	หน่วย/lot size
2. อัตราการเกิดของเสีย (ข้อมูลตามตาราง 3.9 ข้อ 2)	5%	5%	5%	
3. ต้องทำการผลิตผลิตภัณฑ์ (3) = (1) + {(1) x [(2) ÷ 100]}	5,250	5,250	5,250	หน่วย/lot size
4. อัตราการผลิต	1	1	1	ชิ้น/ครั้ง
5. ต้องทำการผลิต (5) = (3) ÷ (4)	5,250	5,250	5,250	ชิ้น/lot size
6. เวลามาตรฐาน (ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา)	30	30	60* *อัดขึ้นรูปครั้งละสองข้าง	นาที/ชิ้น
7. เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด (7) = [(5) x (6)]	157,500	157,500	157,500	นาที/lot size
8. ระยะเวลาดำเนินงาน (ข้อมูลตามตาราง 4.36 ข้อ 3)	360	360	360	นาที/วัน
9. จำนวนวันในการผลิต (9) = (7) ÷ (8)	437.5	437.5	437.5	วัน/คน
10. จำนวนที่ผลิตได้ต่อวัน (10) = (8) ÷ (6)	12	12	12* *อัดขึ้นรูปครั้งละสองข้าง	ชิ้น/วัน
11. จำนวนที่ทำการผลิตได้ตามจำนวนวัน (11) = (9) x (10)	5,250	5,250	5,250	ชิ้น/lot size
12. จำนวนแรงงาน	2	2	2	คน
13. จำนวนวันที่ใช้ผลิตจริง (13) = (9) ÷ (12)	219	219	219	วัน
รวม จำนวนวันในการผลิต	**219**			**วัน/lot size**

ตารางที่ ค.2 ปริมาณความต้องการวัตถุดิบแต่ละชนิด

รายละเอียด	ปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดต่อ lot size			หน่วย
	แกนภายใน	เนื้อเท้าเทียม	ผิวเท้าเทียม	
1. ปริมาณผืนทอเส้นใยแก้ว (ข้อมูลตามตารางที่ 4.38)	1,672,125	-	-	ตร.ซม.
2. ปริมาณผืนทอคาร์บอน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.38)	477,750	-	-	ตร.ซม.
3. ปริมาณยางแท่งสำหรับคอมปาวนด์สูตรนิ่ม (ข้อมูลตามตารางที่ 4.42)	-	-	2,100	กิโลกรัม
4. ปริมาณยางแท่งสำหรับยางคอมปาวนด์สูตรแข็ง (ข้อมูลตามตารางที่ 4.42)	-	-	157.5	กิโลกรัม

ตารางที่ ค. 3 ปริมาณความต้องการสารเคมีแต่ละชนิด

รายละเอียด	ปริมาณสารเคมีแต่ละชนิดต่อ lot size			หน่วย
	แกนภายใน	เนื้อเท้าเทียม	ผิวเท้าเทียม	
1. ปริมาณอีพ็อกซี 850 (ข้อมูลตามตารางที่ 4.39)	525	-	-	ลิตร
2. ปริมาณฮาร์ทเดนเนอร์ 982 (ข้อมูลตามตารางที่ 4.39)	525	-	-	ลิตร
3. ปริมาณทินเนอร์ อีพ็อกซี (ข้อมูลตามตารางที่ 4.39)	78.75	-	-	ลิตร
4. ปริมาณโพลิออล (ข้อมูลตามตารางที่ 4.40)	-	238.88	-	กิโลกรัม
5. ปริมาณไอโซไซยาเนต (ข้อมูลตามตารางที่ 4.40)	-	341.25	-	กิโลกรัม
6. ปริมาณซิงค์ออกไซด์ต่อชิ้น (ข้อมูลตามตารางที่ 4.43)	-	-	115.5	กิโลกรัม
8. ปริมาณเขม่าดำ (ข้อมูลตามตารางที่ 4.43)	-	-	105	กิโลกรัม
9. ปริมาณกรดสเตียริค (ข้อมูลตามตารางที่ 4.43)	-	-	58.8	กิโลกรัม
10. ปริมาณวิงสเตย์ แอล (ข้อมูลตามตารางที่ 4.43)	-	-	28.35	กิโลกรัม
11. ปริมาณเมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล (ข้อมูลตามตารางที่ 4.43)	-	-	55.65	กิโลกรัม
12. ปริมาณน้ำมัน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.43)	-	-	525	ลิตร
13. ปริมาณกำมะถัน (ข้อมูลตามตารางที่ 4.43)	-	-	69.825	กิโลกรัม

ตารางที่ ค. 4 ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีของแกนภายใน

รายละเอียด	ต้นทุนวัตถุดิบของแกนภายในต่อ lot size	หน่วย
1. ขนาดของผืนทอเส้นใยแก้ว	1,672,125	ตร.ซม.
2. ราคาผืนทอเส้นใยแก้ว	0.0065	บาท/ตร. ซม.
3. ต้นทุนผืนทอเส้นใยแก้ว (3) = (1) × (2)	10,868.82	บาท
4. ขนาดของผืนทอคาร์บอน	477,750	ตร.ซม.
5. ราคาผืนทอคาร์บอน	0.32	บาท/ตร. ซม.
6. ต้นทุนผืนทอคาร์บอน (6) = (4) × (5)	152,880	บาท
7. ปริมาณอีพ็อกซี 850	525	ลิตร
8. ราคาอีพ็อกซี 850	300	บาท/ลิตร
9. ต้นทุนอีพ็อกซี 850 (9) = (7) × (8)	157,500	บาท
10. ปริมาณฮาร์ทเดนเนอร์ 982	525	ลิตร
11. ราคาฮาร์ทเดนเนอร์ 982	300	บาท/ลิตร
12. ต้นทุนฮาร์ทเดนเนอร์ 982	157,500	บาท
13. ปริมาณทินเนอร์ อีพ็อกซี	78.75	ลิตร
14. ราคาทินเนอร์ อีพ็อกซี	150	บาท/ลิตร
15. ต้นทุนทินเนอร์ อีพ็อกซี	11,812.5	บาท
16. ต้นทุนวัตถุดิบรวม (16) = (3) + (6) + (9) + (12) + (15)	**490,561.32**	**บาท**

ตารางที่ ค. 5 ต้นทุนวัตถุดิบสารเคมีของเนื้อเท้าเทียม

รายละเอียด	ต้นทุนวัตถุดิบของเนื้อเท้าเทียมต่อ lot size	หน่วย
1. ปริมาณโพลิออล	238.88	กิโลกรัม
2. ราคาโพลิออล	250	บาท/กิโลกรัม
3. ต้นทุนโพลิออล (3) = (1) × (2)	**59,720**	**บาท**
4. ปริมาณไอโซไซยาเนต	341.25	กิโลกรัม
5. ราคาไอโซไซยาเนต	250	บาท/กิโลกรัม
6. ต้นทุนไอโซไซยาเนต (6) = (4) × (5)	**85,312.50**	**บาท**
7. ต้นทุนวัตถุดิบรวม (7) = (3) + (6)	**145,032.50**	**บาท**

ตารางที่ ค. 6 ต้นทุนวัตถุดิบและสารเคมีของผิวเท้าเทียม

รายละเอียด	ต้นทุนวัตถุดิบของผิวเท้าเทียมต่อ lot size	หน่วย
1. ปริมาณยางแท่ง STR 5L	2,257.5	กิโลกรัม
2. ราคายางแท่ง STR 5L	99.13	บาท/กิโลกรัม
3. ต้นทุนยางแท่ง STR 5L	**223,785.98**	บาท
4. ปริมาณซิงค์ออกไซด์	115.5	กิโลกรัม
5. ราคาซิงค์ออกไซด์	125	บาท/กิโลกรัม
6. ต้นทุนซิงค์ออกไซด์	**14,437.5**	บาท
7. ปริมาณกรดสเตียริค	58.8	กิโลกรัม
8. ราคากรดสเตียริค	120	บาท/กิโลกรัม
9. ต้นทุนกรดสเตียริค	**7,056**	บาท
10. ปริมาณวิงสเตย์ แอล	28.35	กิโลกรัม
11. ราคาวิงสเตย์ แอล	350	บาท/กิโลกรัม
17. ราคาน้ำมัน	120	บาท/ลิตร
18. ต้นทุนน้ำมัน	**63,000**	บาท
19. ปริมาณกำมะถัน	69.83	กิโลกรัม
20. ราคากำมะถัน	85	บาท/กิโลกรัม
21. ต้นทุนกำมะถัน	**5,935.55**	บาท
22. ปริมาณเขม่าดำ	105	กิโลกรัม
23. ราคาเขม่าดำ	120	บาท/กิโลกรัม
24. ต้นทุนเขม่าดำ	**12,600**	บาท
25. ปริมาณน้ำมันไฮดรอลิก	657	ลิตร
26. ราคาน้ำมันไฮดรอลิก	44	บาท/ลิตร
27. ต้นทุนน้ำมันไฮดรอลิก	**28,908**	บาท
28. ต้นทุนวัตถุดิบรวม (16) = (3) + (6) + (9) + (12) + (15) + (18) + (21) + (24) + (27)	**359,723.53**	**บาท**