การวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในอุตสาหกรรมยานยนต์

นายธนศักดิ์ สุวรรณบู

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

INJECTION MOLD REPLACEMENT ANALYSIS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

MR.TANASAK SUWANNABOOL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2012
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในอุตสาหกรรมยานยนต์
โดย	นายธนศักดิ์ สุวรรณบูล
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.นันทชัย กานตานันทะ)

ธนศักดิ์ สุวรรณบูย์. การวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในอุตสาหกรรมยานยนต์ (INJECTION MOLD REPLACEMENT ANALYSIS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.ดาริชา สุธีวงศ์, 51 หน้า.

การตัดสินใจการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในอุตสาหกรรมยานยนต์มักถูกอ้างอิงกับประสบการณ์เดิมโดยไม่มีการวิเคราะห์ที่เป็นระบบ ส่งผลให้การตัดสินใจการทดแทนแม่พิมพ์อาจไม่เกิดขึ้ นในเวลาที่คุ้มค่าที่สุดและส่วนใหญ่จะต้องทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเมื่อแม่พิมพ์ปัจจุบันเสื่อมสภาพจนถึงที่สุดก่อน งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในอุตสาหกรรมยานยนต์ด้วยแบบจำลองกำหนดการพลวัต ซึ่งแบบจำลองกำหนดการพลวัตในงานวิจัยนี้ ได้วิเคราะห์บนพื้ นฐานข้อมูลความต้องการของตลาด ต้นทุนการทดแทน ต้นทุนการดำเนินการและต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาที่ผ่านมา 8 ปี โดยวิเคราะห์หายอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนที่ทำให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุดภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด ผู้วิจัยได้นำกรณีศึกษามาวิเคราะห์ภายใต้ระยะเวลาโครงการ 8 ปี และ 30 ปี ซึ่งพบว่ายอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมสุดต่อการทดแทนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 729,278 และ 707,374 หน่วยตามลำดับ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้เสนอแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจเพื่อสามารถนำมาใช้ในการตัดสินใจการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกได้สะดวกและเข้าใจง่าย และได้นำเสนอสมการถดถอยเพื่อใช้ในการต่อยอดหายอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมสำหรับค่าตัวแปรอื่น

ภาควิชา...วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา..วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2555.....

5371415121 : INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS : INJECTION MOLD, REPLACEMENT, DYNAMIC PROGRAMMING, MAINTENANCE, DECISION CHART

TANASAK SUWANNABOOL : INJECTION MOLD REPLACEMENT ANALYSIS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY. ADVISOR : ASSOC. PROF. DARICHA SUTIVONG, Ph.D., 51 pp.

Injection mold replacement decisions in the automotive industry are usually made by managers and engineers, who based primarily on their own experience. This paper presents an injection mold replacement analysis through the use of dynamic programming and provides benchmark solutions from the case study. The algorithm determines an optimal production volume that gives the minimum expected cost under time constraint. A case study is presented through the analysis of 8 and 30 years time period, where the optimal production volumes were found to be 729,278 units and 707,374 units on average, respectively. In addition, a decision chart is created from the optimal solutions for easy application and interpretation. Moreover, in order to accomodate other input values, a regression analysis is utilized to construct a function to find an optimal production volume to replace an injection mold.

Department : Engineering Student's Signature .....
Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year : 2012

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์ ที่ให้คำแนะนำในการทำวิจัย การเขียนรายงานวิจัย วิทยานิพนธ์ บทความวิจัย ข้อเสนองานวิจัย และการนำเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ ฯลฯ และนอกจากนี้ ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดาริชา สุธีวงศ์ อีกครั้งที่ช่วยอ่าน ร่างวิทยานิพนธ์ แก้ไขข้อผิดพลาดและให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนมีความครบถ้วนสมบูรณ์

ขอขอบคุณประธานกรรมการรองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน และคณะกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์ ที่ให้ข้อคิดและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการปรับปรุงเนื้อความในงานวิจัยให้มีความกระจ่างมากขึ้น ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐ อัครประถมพงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดรวิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ที่เป็นผู้ให้ที่มาและแนวความคิดของวิจัยนี้

ขอขอบคุณบริษัท มิตซูบิชิ มอเตอร์ส (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้โอกาสทำงานหาประสบการณ์และความรู้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ขอขอบคุณบริษัท แอมพาส อินดัสทรีย์ จำกัดที่ได้ให้การสนับสนุนทั้งความรู้และข้อมูลต่างๆ ในการดำเนินการงานวิจัย

ในระหว่างการศึกษาปริญญาโทตลอดสองปีครึ่ง ขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวทุกคนและนางสาวพุทธิดา เลิศสุทธิรักษ์ ที่ให้ทั้งแรงบันดาลใจ การสนับสนุนและกำลังสำคัญทุกๆด้านอย่างเสมอมาเพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จได้

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ และหากวิทยานิพยนธ์ฉบับนี้ มีคุณประโยชน์อยู่บ้าง ผู้เขียนขอยกความดีนั้นให้แก่ท่านผู้ที่มีรายนามข้างต้น แต่หากมีความผิดพลาดประการใดผู้เขียนยินดีน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียวและขออภัยมา ณ ที่นี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญรูป..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 6
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย..... 6
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 7

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 8
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 8
2.1.1 การวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก..... 8
2.1.2 การซ่อมบำรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์..... 10
2.1.3 การวิเคราะห์การชำรุด..... 12
2.1.4 ผลผลิตและผลิตภาพของผลิตภัณฑ์..... 15
2.1.5 กำหนดการพลวัต..... 16
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 17
2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักร..... 17

หน้า

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจ.....19
2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 22

บทที่ 3 แนวความคิดของงานวิจัย.....27
3.1 แนวความคิดงานวิจัย.....27
3.2 แบบจำลองกำหนดการพลวัต.....27
3.2.1 ต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วย.....28
3.2.2 ต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาต่อหน่วย.....29
3.2.3 ต้นทุนการดำเนินการและการซ่อมบำรุง.....30
3.2.4 แบบจำลองกำหนดการพลวัต.....30
3.3 กรณีศึกษา.....31

บทที่ 4 แผนภูมิช่วยในการตัดสินใจ.....36
4.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจการทดแทน....36
4.1.1 ช่วงของตัวแปรต่างๆ ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์.....36
4.1.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปี.37
4.1.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่.....37
4.1.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วย.....38
4.1.5 ผลของการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการแก้ไขต่อหน่วย.....39
4.1.6 ผลของการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันต่อหน่วย.....40
4.1.7 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข 40
4.1.8 ผลของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาของโครงการ 41

หน้า

4.2 แผนภูมิช่วยในการตัดสินใจจากการหายอดการผลิตที่เหมาะสมจากกรณีศึกษา.....42
4.3 แผนภูมิช่วยในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองสมการถดถอย.....45

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 48

รายการอ้างอิง.....49
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....51

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1 ยอดการผลิต อัตราของเสียและอัตราการแก้ไขตั้งแต่เดือนมิถุนายนปี 2553 ถึงเดือนเมษายนปี 2554 3
ตารางที่ 1-2 รอบเวลาการฉีดพลาสติกและรอบเวลาการดำเนินการหลังฉีดพลาสติก..... 3

ตารางที่ 2-1 รูปแบบการชำรุดของชิ้นส่วนทางวิศวกรรม[19 และ 21]..... 13

ตารางที่ 3-1 สัดส่วนของเสีย สัดส่วนของเสียที่สามารถแก้ไข และยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบ 29
ตารางที่ 3-2 การตัดสินใจที่เหมาะสมสุดในแต่ละปีเมื่อระยะเวลาโครงการเท่ากับ 8 ปี 32
ตารางที่ 3-3 ต้นทุนรวมต่อหน่วยเมื่อระยะเวลาโครงการเท่ากับ 8 ปี..... 33
ตารางที่ 3-4 ต้นทุนรวมต่อหน่วยเมื่อระยะเวลาโครงการเท่ากับ 30 ปี 33
ตารางที่ 3-5 การตัดสินใจที่เหมาะสมสุดในแต่ละปีเมื่อระยะเวลาโครงการเท่ากับ 30 ปี 34

ตารางที่ 4-1 ยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน..... 44

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1-1 ยอดการผลิตสะสมและค่าบำรุงรักษาของกรณีศึกษาตั้งแต่ปี 2549 ถึงปี 2556 2

รูปที่ 2-1 แผนภูมิของมูลค่าต้นทุนรวมต่อปีเพื่อหาอายุการใช้งานที่คุ้นค่า [4] 9
รูปที่ 2-2 ระดับขั้นตอนการตัดสินใจแบบย้อนหลังของกำหนดการพลวัต 16
รูปที่ 2-3 แผนภูมิแสดงสถานะแต่ละสถานะของกำหนดการพลวัต [8] 19
รูปที่ 2-4 แผนภูมิการตัดสินใจระหว่างลงทุนเครื่องจักรใหม่กับซ่อมบำรุงเครื่องจักรเดิม 20
รูปที่ 2-5 แผนภูมิสำหรับการตัดสินใจลงทุนระหว่างเครื่องจักรใหม่กับเครื่องจักรมือสอง 21
รูปที่ 2-6 แผนภูมิช่วยในการการตัดสินใจระหว่างทดแทนหรือเก็บรักษาเครื่องจักร [8] 21
รูปที่ 2-7 ตัวอย่างของฟังก์ชันความหนาแน่นของไวย์บูล (Weibull density function) [11] .. 24
รูปที่ 2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและต้นทุนต่อหน่วยเวลา 25

รูปที่ 3-1 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนต่อหน่วยกับยอดการผลิตสะสมเมื่อ $C_p = 1$ 30

รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปีกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน 37
รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่กับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน 38
รูปที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วยกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนต่อหน่วย 38
รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการแก้ไขต่อหน่วยกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน 39
รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน 40
รูปที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไขกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน 41

หน้า

รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของโครงการกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน 41
รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของโครงการ มูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่ ความน่าจะเป็นของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปีและยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน 43
รูปที่ 4-9 ผลที่ได้จากวิเคราะห์สมการถดถอยภายใต้การเปลี่ยนแปลงยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนเมื่อราคาของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ระยะเวลาโครงการและความน่าจะเป็นยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปี 45
รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของโครงการ มูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่ ความน่าจะเป็นของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปีและยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนของสมการที่ 4-1 46
รูปที่ 4-11 ผลที่ได้จากวิเคราะห์สมการถดถอยภายใต้การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทุกตัว 47

บทที่ 1
บทนำ

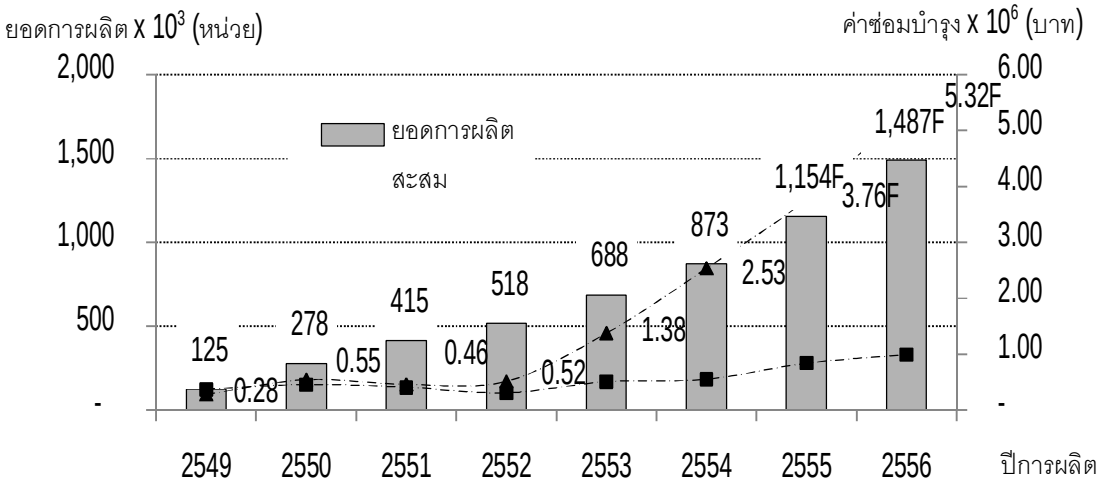
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในยุคปัจจุบันของอุตสาหกรรมยานยนต์ที่มีการแข่งขันสูง บริษัททุกบริษัทจะต้องรักษาประสิทธิภาพในทุกๆ ด้านของธุรกิจ ตั้งแต่ฝ่ายการผลิตจนถึงฝ่ายการตลาดและการขาย เพื่อให้บริษัทอยู่รอด ซึ่งทุกๆ บริษัทไม่ว่าจะมีขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ต่างก็มีทรัพยากรที่จำกัด และการที่บริษัทจะบรรลุให้เกิดประสิทธิภาพของการดำเนินการให้สูงสุดนั้น ทรัพยากรเหล่านี้ ต้องได้รับการจัดการดูแลเป็นอย่างดี การจัดการทรัพยากรจึงได้กลายเป็นส่วนที่สำคัญโดยเฉพาะในบริบทของการทดแทนอุปกรณ์โรงงานอย่างเช่น แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เป็นต้น ซึ่งเป็นทรัพย์สินที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากอย่างหนึ่งของอุตสาหกรรมยานยนต์ เนื่องจากแม่พิมพ์ๆ หนึ่งสามารถผลิตและขึ้นรูปชิ้นงานได้เกือบล้านชิ้น หรือสามารถที่จะขึ้นรูปชิ้นงานหนึ่งเพื่อไปประกอบเป็นชิ้นส่วนหนึ่งรถยนต์คันหนึ่งๆ ได้หลายคัน

ในขณะที่แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกนั้นได้กลายเป็นทรัพย์สินส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญของบริษัทและการเพิ่มขึ้นของราคาของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกตามกาลเวลา ด้วยเหตุนี้ บริษัททุกๆ บริษัทจึงได้ให้ความสนใจที่จะใช้แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งหมายความว่าบริษัทจะต้องเก็บรักษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกให้ดำเนินการอย่างต่อเนื่องสูงสุดและทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดตลอดโครงการ ดังนั้นบริษัทหลายบริษัทได้นำกลยุทธ์การบำรุงรักษา เช่น การวางแผนการบำรุงรักษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เป็นต้น แต่ถึงแม้ว่าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกทุกแม่พิมพ์จะได้รับการรักษาและบำรุงอย่างดี แต่ท้ายที่สุดแล้วในระยะหนึ่งจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนทดแทนเนื่องจากการเสื่อมสภาพของแม่พิมพ์ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลงหรือแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีสภาพที่เสื่อมมากจนไม่อาจสามารถดำเนินการต่อไปได้อีก ซึ่งอาการจากการเสื่อมสภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถเห็นได้จากชิ้นงานที่ขึ้นรูปมีลักษณะตำหนิ เช่น มีครีบตามชิ้นงาน ขึ้นรูปไม่ได้ตามขนาดหรือเวลาที่ใช้ในการตกแต่งชิ้นงานหลังจากขึ้นรูปนานกว่าการฉีดชิ้นงานขึ้นรูป ฯลฯ ซึ่งผู้บริหารของบริษัทมักเกิดคำถามบ่อยครั้งว่า “เมื่อไรที่จะถึงจุดที่ต้นทุนต่ำที่สุดเพื่อแทนที่แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกนี้?” แต่หากบริษัทวางแผนใช้แม่พิมพ์นี้ต่อไปอีกเพียงสองถึงสามปีเท่านั้น ซึ่งอาจเกิดคำถามต่อไปว่า “ถ้าทดแทนแม่พิมพ์ตอนนี้ จะเกิดคุ้มทุนกับเงินที่ลงทุนไปหรือไม่?” หรืออาจเกิดคำถามว่า “ถ้าสามารถทดแทนแม่พิมพ์ก่อนหน้านี้ ควรจะ

ทดแทนเมื่อไรเพื่อให้เกิดต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดตลอดโครงการ?" ซึ่งคำถามเหล่านี้ ล้วนเป็นคำถามที่วิศวกรผู้ประเมินและระดับผู้บริหารต้องตัดสินใจตอบปัญหาและยากที่จะตัดสินใจปัญหา

กรณีศึกษาจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่ง พบว่าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (ชิ้นส่วนชื่อCase cooler) ที่ถูกใช้งานนานถึง 6 ปี ตั้งแต่ปี2549 ถึงปัจจุบันปี 2555 มีการผลิตชิ้นส่วนนี้ เพื่อประกอบกับรถยนต์เฉลี่ย15,500 ชิ้นต่อเดือนและสิ้นสุดโครงการ ณ ปี2556 แม้ว่าแม่พิมพ์นี้จะได้รับการซ่อมแซมส่วนสึกหรอและรักษามานาน แต่พบว่าปัจจุบันไม่สามารถซ่อมแซมและใช้งานต่อไปได้อีก เมื่อเก็บข้อมูลยอดการผลิตและค่าซ่อมบำรุงดังรูปที่ 1-1 พบว่าค่าซ่อมบำรุงเมื่อปี 2553 อยู่ที่ 1.38 ล้านบาทเนื่องจากแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกชำรุดเสียหายอย่างหนักเมื่อเดือนตุลาคม 2553 จากนั้นในปี2554 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเกิดการชำรุดเสียหายอีก 2 ครั้งในเดือนมีนาคมและกรกฎาคม ซึ่งพบว่าค่าซ่อมบำรังรักษาที่บริษัทต้องเสียสูงถึง 2.53 ล้านบาท



รูปที่ 1-1 ยอดการผลิตสะสมและค่าบำรุงรักษาของกรณีศึกษาตั้งแต่ปี2549 ถึงปี 2556

หากแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกไม่ได้รับการทดแทน พบว่าแนวโน้มอีก 2 ปีข้างหน้า ณ ปี 2555 และ 2556 จะมีค่าซ่อมบำรุงอยู่ที่ 3.76 และ 5.32 ล้านบาทตามลำดับหรือคิดเป็น 47.04% และ 66.55% ของราคาตั้งต้นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกตามลำดับ ในงานวิจัยของ Eti และคณะ [7] ได้กล่าวว่าโดยปกติบริษัทที่มีการบริหารการจัดการแผนการซ่อมบำรุงในระดับที่ดีถึงปานกลางมักมีค่าซ่อมบำรุงอยู่ระหว่าง 1.8% ถึง 5.0% ของมูลค่าสินทรัพย์ หากบริษัทใดมีค่าซ่อมบำรุงมากกว่า 5% บ่งบอกถึงบริษัทที่มีการจัดการด้านการซ่อมบำรุงที่ไม่ดีและบริษัทอาจมีปัญหาทางการเงิน ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นต้องตัดสินใจลงทุนทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกนี้ขึ้นใหม่ แต่การลงทุน

แม่พิมพ์ใหม่นี้ จะไม่เกิดความคุ้มค่าต่อการใช้งานเนื่องจากแม่พิมพ์แรกถูกผลิตตั้งแต่ปี 2549 ได้ถูกนำมาใช้แล้ว 6 ปี แต่แม่พิมพ์ใหม่ที่ลงทุน ณ ปี 2554 จะถูกใช้งานเพียง 2 ปีเท่านั้น

นอกจากค่าซ่อมบำรุงที่สูงเนื่องจากความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์แล้ว งานวิจัยนี้เก็บข้อมูลอัตราของเสียและอัตราของเสียที่สามารถนำมาแก้ไขที่เกิดขึ้นจริงจากการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกตั้งแต่ปี 2549 ถึงปี 2554 ดังตารางที่ 1-1 พบว่าอัตราของเสียมีแนวโน้มสูงขึ้นจาก 2.14% ในปี 2549 เพิ่มขึ้นเป็น 100.00% ในปี 2554 แต่ของเสียที่เพิ่มสูงขึ้นสามารถนำของเสียเหล่านี้ไปแก้ไขได้โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 90% – 99%

ตารางที่ 1-1 ยอดการผลิต อัตราของเสียและอัตราการแก้ไขตั้งแต่เดือนมิถุนายนปี 2553 ถึงเดือนเมษายนปี 2554

ปีที่	ยอดการผลิต	อัตราของเสีย	อัตราการแก้ไข	ยอดการผลิตจริง	ต้นทุนการผลิตจริง	ต้นทุนการแก้ไข	ต้นทุนการผลิตรวม
2549	125,118	2.14%	99.06%	125,143.17	4,988,206.91	1,141.91	4,989,348.82
2550	152,701	7.65%	96.18%	153,148.55	6,104,501.04	3,974.21	6,108,475.26
2551	136,701	18.35%	90.25%	139,191.31	5,548,165.48	9,081.50	5,557,246.98
2552	103,120	36.09%	99.33%	103,369.95	4,120,326.27	19,353.20	4,139,679.47
2553	170,366	62.69%	99.36%	171,052.29	6,818,144.25	33,681.38	6,851,825.63
2554	184,610	100.00%	94.17%	196,039.08	7,814,117.66	53,856.00	7,867,973.66

ตารางที่ 1-2 รอบเวลาการฉีดพลาสติกและรอบเวลาการดำเนินการหลังฉีดพลาสติก

ชื่อชิ้นส่วน		**Case cooler**
รอบเวลาการฉีดพลาสติก (Injection cycle time)		80 วินาที
รอบเวลาการดำเนินการหลังฉีด (Operation cycle time)	**ตัดเกท** (gate)	4 วินาที
	ตกแต่ง	75 วินาที
	ตรวจสอบ	5 วินาที
	จัดเก็บ	8 วินาที
รอบเวลาการดำเนินการหลังฉีดทั้งหมด		92 วินาที
ผลต่างของเวลา		**- 12 วินาที**

ซึ่งเมื่อพิจารณารอบเวลาการนำของเสียมาแก้ไขดังตารางที่ 1-2 พบว่ารอบเวลาการผลิตของ Case cooler ณ ปี 2554 รอบเวลาการฉีดพลาสติกและรอบเวลาการดำเนินการหลังฉีดพลาสติกเหลื่อมล้ำกันอยู่ประมาณ 12 วินาที หรือกล่าวว่ารอบเวลาการฉีดพลาสติกของเครื่องฉีดเร็วกว่ารอบเวลาการดำเนินการหลังฉีดประมาณ 12 วินาที ซึ่งทำให้พนักงานที่ทำหน้าที่รับ

ชิ้นงานตกแต่ง ตรวจสอบ และบรรจุเข้ากล่องไม่สามารถทำงานทัน เกิดปัญหาขอขวดที่พนักงานซึ่งปัจจุบันได้มีการเพิ่มพนักงานอีก 1 คนเพื่อแบ่งเบาภาระหน้าที่

ดังนั้น เมื่อคำนวนต้นทุนที่เกิดขึ้นตลอดโครงการตั้งแต่ 2549 ถึงปี 2556 พบว่าสูงถึง 79,727,525.31 บาทหรือ 12,838,997.19 บาทต่อปี แต่ถ้าลงทุนซื้อแม่พิมพ์ริ่มแรก ณ ต้นปี 2549 และนำไปทดแทนลงทุนซื้อแม่พิมพ์ใหม่อีกที ณต้นปี 2553 และใช้แม่พิมพ์ไปจนถึง ณ ปี 2556 พบว่าต้นทุนที่เกิดขึ้นสามารถลดลงเหลือ75,190,235.47 บาทหรือ 12,108,330.45 บาทต่อปีหรือคิดเป็น 0.92% ซึ่งโดยปกติบริษัทหนึ่งๆ ที่อยู่ในธุรกิจของชิ้นส่วนพลาสติกมักมีแม่พิมพ์ที่เป็นทรัพย์สินของบริษัทอยู่มากกว่า 50 แม่พิมพ์ขึ้นไปโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ต้องใช้แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ประมาณกว่า1,000 แม่พิมพ์ ดังนั้นการทดแทนแม่พิมพ์ในระยะเวลาที่เหมาะสมสามารถที่จะลดต้นทุนของบริษัทได้อย่างเห็นได้ชัด

แต่อย่างไรก็ตาม โดยปกติแล้วการตัดสินใจการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกนี้มักเป็นหน้าที่ของฝ่ายผู้บริหารระดับสูงหรือระดับวิศวกรที่ได้รับข้อมูลมาจากฝ่ายปฏิบัติการที่รับผิดชอบส่วนนั้นๆ ซึ่งปัญหาที่มักพบเสมอคือ ฝ่ายผู้บริหารหรือฝ่ายระดับวิศวกรมักทำการตัดสินใจการทดแทนโดยใช้ประสบการณ์เดิมที่มีมาก่อนในอดีต เช่น เคยใช้ เคยเห็นมาก่อน เป็นต้น หรือใช้ความพึงพอใจและความต้องการของตนเองในการตัดสินใจเป็นหลัก โดยไม่มีระบบการวิเคราะห์ที่เป็นมาตรฐานและไม่ค่อยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบ ปัญหานี้ย่อมทำให้มีโอกาสที่จะตัดสินใจผิดพลาดได้ง่าย ผลกระทบของการตัดสินใจผิดพลาดนี้มักมองไม่ค่อยชัดเจนในระยะสั้น แต่สามารถรับรู้ได้หลังจากที่มีการลงทุนไปแล้ว

ในศาสตร์ของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม [4, 19, 21, 25] ได้วิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์โดยมองปัญหาในระยะยาวและพยายามคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบเพื่อช่วยในการตัดสินใจทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ในแต่ละครั้ง นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการทดแทนทรัพย์สินของบริษัท อาทิเช่น Kobbacy และคณะ [13] ได้ทำแบบจำลองทางสถิติและวิเคราะห์ความไวเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องหรือส่งผลต่อระยะเวลาทดแทนของรถบรรทุก โดยพยากรณ์อัตราดอกเบี้ยและอัตราเงินเฟ้อในอนาคตด้วยห่วงโซ่มาร์คอฟ และ Chand [5] ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาแผนการที่เหมาะสมในการลงทุนซื้อเครื่องจักรอุปกรณ์เพื่อทดแทนเครื่องจักรเดิมและเพื่อรองรับกับกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นในอนาคต Hartman [9] ได้วิเคราะห์หาระยะเวลาทดแทนทรัพย์สินของบริษัทภายใต้รูปแบบต้นทุนและความต้องการของลูกค้าที่แตกต่างโดยใช้กำหนดการพลวัต ในการวิเคราะห์ Hsu และคณะ [10] ได้นำ

และพัฒนาแบบจำลองกำหนดการพลวัตแบบเฟ้นสุ่มตามกาลเวลาเพื่อตัดสินใจให้กับสายการบินระหว่างการลงทุนซื้อ เช่าซื้อและทดแทนเครื่องบินตามกาลเวลา โดยใช้ควบคู่ไปกับแบบจำลองเกรย์ โทโปโลจิคอล (Grey topological model) และห่วงโซ่มาร์คอฟเพื่อพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าของแต่ละเที่ยวสายการบิน

แต่ถึงแม้ว่าในอดีตจะมีผู้เขียนและนักวิจัยหลายท่านที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไว้มากมาย แต่ศาสตร์ทางด้านนี้ยังไม่ค่อยแพร่หลายไปในระดับผู้บริหารหรือระดับองค์กรเท่าใดนัก มักใช้วิเคราะห์กันแต่ในกลุ่มของวิศวกรที่เคยได้ศึกษามาก่อนเท่านั้น ซึ่งทั้งนี้ก็อาจเป็นเพราะทฤษฎีและการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อาจเข้าใจได้ยากและซับซ้อนเกินความจำเป็นต้องต่อการศึกษาการวิเคราะห์ปัญหาในชีวิตประจำวัน จึงทำให้งานวิจัยเหล่านั้นไม่น่าสนใจเท่าที่ควรหรืออาจเนื่องมาจากนักบริหารไม่ค่อยให้ความสำคัญกับการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมากนัก มักมีความคิดและความเชื่อเดิมๆ ว่าจะต้องทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเมื่อแม่พิมพ์เสื่อมสภาพจนถึงที่สุดก่อน ซึ่ง Senju [16] ได้กล่าวว่าการวิเคราะห์ด้วยสมการหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนและสามารถครอบคลุมทุกปัจจัยในการวิเคราะห์ซึ่งสามารถหาผลลัพธ์ได้ละเอียดแม่นยำนั้นไม่ได้มีความจำเป็นต่อการวิเคราะห์การลงทุนในโครงการที่มีระยะยาวหรือโครงการที่มีระยะเวลามากกว่า 2 หรือ 3 ปีขึ้นไป เนื่องจากทุกสิ่งทุกอย่างในอนาคตมักไม่เป็นไปตามที่วิเคราะห์ไว้ ซึ่งในความเป็นจริงสามารถนำแผนภูมิอย่างง่ายต่อการเข้าใจเพื่อวิเคราะห์หาผลลัพธ์โดยประมาณ หรือสามารถนำตัวแปรนำเข้าที่เปลี่ยนแปลงไปมาวิเคราะห์การตัดสินใจได้อีกทีหนึ่ง

งานวิจัยนี้ได้เล็งเห็นความสำคัญของวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในอุตสาหกรรมยานยนต์เพื่อหายอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อให้เกิดต้นทุนรวมตลอดโครงการต่ำที่สุด ช่วงที่สองนำเสนอแนวความคิดของงานวิจัยและแบบจำลองกำหนดพลวัต นอกจากนี้งานวิจัยได้นำกรณีศึกษาเพื่อวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในอุตสาหกรรมยานยนต์โดยวิเคราะห์ภายใต้ระยะเวลาโครงการที่จำกัดและอนันต์ ส่วนที่สามนำเสนอการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละตัวกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนแม่พิมพ์ว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใดและในส่วนสุดท้ายนำเสนอข้อสรุป ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจการทดแทน โดยวิเคราะห์หายอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนที่ทำให้เกิดต้นทุนที่ต่ำสุดตลอดโครงการ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- งานวิจัยได้นำกำหนดการพลวัตวิเคราะห์หายอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
- งานวิจัยนี้ นำผลของกำหนดการพลวัตมาสร้างแผนภูมิเพื่อใช้ในการตัดสินใจลงทุนซื้อแม่พิมพ์ใหม่เพื่อทดแทนแม่พิมพ์เก่า
- งานวิจัยนี้ นำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ใช้เหล็กชุบแข็งเกรดP20 (Mild steel P20) ในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นเหล็กที่ชุบแข็งมาแล้วที่ไม่ต้องชุบแข็งเพิ่มเติม ขัดเงาได้ดี ความแข็งแรงสูง กลึงง่าย ไม่เปราะ สามารถทำพิมพ์ลวดลายได้ สามารถรับ แรงดึงสูงเหมาะทำแม่พิมพ์อัดพลาสติก และราคาถูก นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมยานยนต์
- ในงานวิจัยนี้ สมมุติให้ขนาดของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแต่ละแม่พิมพ์ มีคุณสมบัติที่เหมือนกัน เช่น ผลผลิต, คุณภาพ, อัตราการชำรุดเสียหาย ฯลฯ
- งานวิจัยนี้ กำหนดให้แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่มีพร้อมใช้งานเมื่อต้องการทดแทนหรือกล่าวคือสมมุติให้เวลานำในการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่เป็นศูนย์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

สามารถนำผลการวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ได้จากกำหนดการพลวัตมาออกแบบและสร้างแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจในงานวิจัยนี้ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อใช้ในการตัดสินใจการลงทุนซื้อแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่ทดแทนแม่พิมพ์เก่าได้สะดวกและเข้าใจง่ายต่อการตัดสินใจสำหรับระดับวิศวกรไปจนถึงระดับผู้บริหาร การตัดสินใจการลงทุนด้วยแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจนี้สามารถหลีกเลี่ยงการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนและยากต่อการเข้าใจอย่างเช่นในอดีตที่ผ่านมา

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. เก็บข้อมูลและศึกษาโครงสร้างต้นทุนที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานและยอดการผลิตต่อการทดแทนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
2. ศึกษาทฤษฎีพื้ นฐานและงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์
3. ศึกษาทฤษฎีพื้ นฐานกำหนดการพลวัตและวิธีการนำไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์
4. ศึกษาทฤษฎีพื้ นฐานและงานวิจัยในอดีตต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจ
5. สร้างแบบจำลองกำหนดการพลวัตเพื่อหายอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน
6. ทดสอบสมมุติฐานของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อหาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน แล้วจึงเลือกตัวแปรเพื่อออกแบบแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจ
7. สรุปผลทั้ งหมดและเรียบเรียงจัดทำวิทยานิพนธ์

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ คือ ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์การซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์การวิเคราะห์การชำรุด (Failure analysis) ผลผลิตและผลิตภาพของผลิตภัณฑ์ (Product yield and productivity) และกำหนดการพลวัตโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 การวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

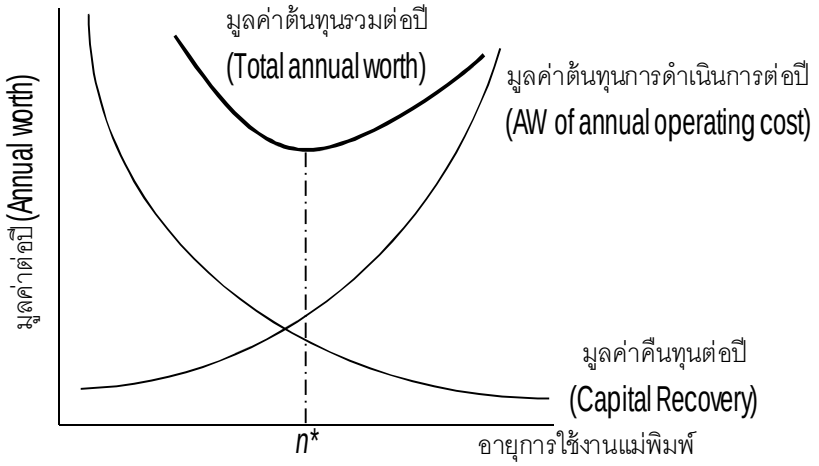
โดยปกติการวิเคราะห์ปัญหาและการตัดสินใจว่าเมื่อไรที่แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเดิมที่มีอยู่ต้องทำการทดแทนอุปกรณ์เครื่องจักรใหม่ตลอดโครงการนั้น ซึ่งในความเป็นจริงจะไม่สามารถวิเคราะห์หาช่วงเวลาที่ต้องทดแทนแม่พิมพ์ใหม่ในตอนต้นหรือช่วงเริ่มต้นของโครงการได้ แต่เมื่อไรที่ต้องวิเคราะห์การทดแทนระหว่างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเดิมกับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่ การหาอายุการใช้งานที่คุ้มค่าที่สุด(Economic service Life) หรือค่า n^* จำเป็นต้องถูกวิเคราะห์ด้วยการประมาณการต้นทุนจริงที่เกิดขึ้น ซึ่งอายุการใช้งานที่คุ้มค่าที่สุด นั้นคือระยะเวลาที่สามารถเกิดมูลค่าของต้นทุนรวมต่อปี (Annual worth of cost) ต่ำที่สุด โดยพิจารณาต้นทุนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในปัจจุบันในแต่ละปี

การคำนวณการหาอายุการใช้งานที่คุ้มค่าที่สุดสามารถคำนวณต้นทุนที่เกิดขึ้นถ้ามีการดำเนินการในปีที่ 1, ปีที่ 2, ปีที่ 3 ไปเรื่อยๆ จนถึงปีที่ n ว่า ณ ปีใดเกิดมูลค่าต้นทุนรวมต่อปีต่ำที่สุด มูลค่าต้นทุนรวมต่อปี (Total annual worth) เป็นมูลค่าต้นทุนการดำเนินการต่อปี (Annual worth of annual operating cost) รวมกับมูลค่าคืนทุน(Capital Recovery) ซึ่งมูลค่าคืนทุนเป็นการรวมกันระหว่างมูลค่าต้นทุนต่อปีของเงินลงทุนแม่พิมพ์ใหม่ (Annual worth of initial investment) กับมูลค่าซากนั้นคือ

มูลค่าต้นทุนรวมต่อปี = - ต้นทุนคืนทุนต่อปี – มูลค่าต้นทุนการดำเนินการ

จากรูปที่ 2-1 แสดงลักษณะของมูลค่าต้นทุนรวมต่อปี (Total annual worth) เป็นเส้นโค้งหงาย คือ มูลค่าคืนทุนต่อปี จะเห็นว่ามีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อระยะเวลามากขึ้น ในขณะที่มูลค่าการดำเนินการต่อปี (Annual worth of annual operating cost) จะเห็นว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ตามระยะเวลา ดังนั้น มูลค่าต้นทุนรวมต่อปีจึงเกิดเป็นรูปเส้นโค้งหงาย ซึ่งสามารถแบ่งการวิเคราะห์ของมูลค่าต้นทุนรวมต่อปีออกเป็นสองส่วน ดังนี้



รูปที่ 2-1 แผนภูมิของมูลค่าต้นทุนรวมต่อปีเพื่อหาอายุการใช้งานที่คุ้มค่า[4]

การลดลงของมูลค่าคืนทุนต่อปีเนื่องจากมูลค่าคืนทุนต่อปีขึ้นกับอายุการใช้งานแม่พิมพ์ใหม่ ซึ่งเมื่ออายุการใช้งานแม่พิมพ์เพิ่มขึ้น มูลค่าต้นทุนต่อปีของเงินลงทุนแม่พิมพ์ใหม่ (P) จะลดลง นอกจากนั้นมูลค่าคืนทุนต่อปียังขึ้นกับมูลค่าซากของแม่พิมพ์ (S) โดยปกติจะลดลงตามอายุการใช้งานเช่นกัน ซึ่งสามารถหาได้จากมูลค่าที่สามารถขายได้หรือมูลค่าตลาด ณ ปีนั้น ซึ่งมูลค่าทั้งสองนี้สามารถเขียนเป็นสมการที่ 2-1 ได้ดังนี้

$$\text{มูลค่าคืนทุนต่อปี} = -P(A/P,i,n)+S_n(A/P,i,n) \quad \text{.....} \quad (2\text{-}1)$$

การเพิ่มขึ้นของมูลค่าต้นทุนการดำเนินการต่อปี โดยปกติต้นทุนการดำเนินการต่อปีจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกๆ ปีตามอายุการใช้งาน จึงทำให้มูลค่าต้นทุนการดำเนินการต่อปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสามารถคำนวณได้จากคำนวณหาค่าปัจจุบันของต้นทุนการดำเนินการของแต่ละปี แล้วจึงค่อยกระจายค่าปัจจุบันเป็นมูลค่าต้นทุนการดำเนินการต่อปีตามอายุการใช้งาน (AOC) ดังนั้นสามารถเขียนสมการมูลค่าต้นทุนรวมต่อปีได้ดังสมการที่ 2-2

$$A(n) = -P(A/P,i,n)+S_n(A/P,i,n)-\left[\sum_{j=1}^{n} AOC_j(P/F,i,j)\right](A/P,i,n) \quad (2\text{-}2)$$

โดยที่ P : เงินลงทุนซื้อแม่พิมพ์ใหม่ หรือ มูลค่าตลาด ณ ปีนั้น

S_n : มูลค่าซากหรือมูลค่าตลาดหลังจากใช้งานไป k ปี

AOC_j : ต้นทุนการดำเนินการของปี j (j = 1 ถึง n)

n : อายุการใช้งานแม่พิมพ์

2.1.2 การซ่อมบำรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์

ความเสียหายของเครื่องจักรมีผลกระทบต่อกำไรขององค์กรเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้น การซ่อมแซมเครื่องจักรและอุปกรณ์จึงเป็นสิ่งสำคัญในการประสบความสำเร็จทางธุรกิจ ปัจจุบันการลงทุนในเครื่องจักรที่สูงขึ้น จึงจำเป็นต้องทำการบำรุงรักษาเครื่องจักรให้มีความพร้อมในการใช้งานอยู่เสมอและมีอายุการใช้งานของเครื่องจักรนานที่สุด เพื่อตอบสนองต่อความต้องการในการผลิตให้ได้ จำเป็นต้องเข้าใจถึงกลยุทธ์ในงานบำรุงรักษาเพื่อเลือกใช้ให้เหมาะสมกับเครื่องจักรแต่ละประเภท สามารถแบ่งประเภทการบำรุงรักษาได้ออกเป็น 4 ประเภท [21] ดังนี้

ก. การบำรุงรักษาเมื่อเครื่องจักรเสียหาย (Breakdown maintenance)

การบำรุงรักษาโดยการซ่อมเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกิดเสียหายอย่างรุนแรงในระหว่างการใช้งาโดยไม่คาดการณ์มาก่อนว่าจะเกิดการเสียหายขึ้น จนไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ให้กลับมาใช้งานได้ดังเดิม ซึ่งเป็นวิธีการซ่อมบำรุงที่ทุกๆ อุตสาหกรรมยังมีการใช้กลยุทธ์การบำรุงรักษาแบบนี้ อยู่ ส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ไม่มีผลกระทบกับสายการผลิตถ้าหากเกิดการเสียหายขึ้น ซึ่งข้อดีของการบำรุงรักษาเมื่อเครื่องจักรเสียหายคือ ได้ใช้ประโยชน์จากอายุการใช้งานของเครื่องจักรอย่างคุ้มค่า ไม่ต้องเสียกำลังคนและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา แต่ไม่สามารถวางแผนและกำหนดเวลาในการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนชิ้นส่วนได้ บางครั้งจำเป็นต้องรีบทำจึงทำให้คุณภาพของงานออกมาไม่ค่อยดี

ข. การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective maintenance)

การทำงานบำรุงรักษาภายหลังที่เครื่องจักรและอุปกรณ์เริ่มมีอาการผิดปกติ เกิดการขัดข้องชำรุดเสียหายให้กลับคืนสู่สภาพที่สามารถใช้งานต่อไปได้ตามปกติ นอกจากนี้ การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขเป็นการบำรุงรักษาเพื่อดัดแปลง, ปรับปรุงแก้ไขเครื่องจักรเพื่อขจัดเหตุขัดข้องเรื้อรังของเครื่องจักรให้หมดไปโดยสิ้นเชิงและปรับปรุงสมรรถภาพของเครื่องจักรให้สามารถผลิตได้ด้วยคุณภาพและหรือยอดที่สูงขึ้น เพื่อลดความเสียหายจากการเสื่อมสภาพและค่าใช้จ่ายของการบำรุงรักษาลง ดังนั้น การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขมีเป้าหมายที่จะลดการสูญเสีย, ลดต้นทุนในการซ่อมบำรุง, ลดเวลาในการซ่อมบำรุง, ยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักร ซึ่งการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขเป็นการซ่อมบำรุงที่สำคัญมากเทียบกับกิจกรรมซ่อมบำรุงในลักษณะอื่นๆ

ค. การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance)

งานบำรุงรักษาที่มีการวางแผนและกำหนดการทำงานไว้ล่วงหน้า โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะป้องกันและลดปัญหาข้อขัดข้องการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรและอุปกรณ์ให้น้อยลงหรือหมดสิ้นไป และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาจากการเกิดการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข โดยกำหนดและวางแผนระยะเวลาการตรวจสอบการบำรุงรักษา เพื่อป้องกันล่วงหน้าเพื่อไม่ให้ขบวนการผลิตต้องหยุดฉุกเฉิน ประโยชน์ของการบำรุงรักษาแบบวิธีนี้ คือ สามารถกำหนดระยะเวลาในการบำรุงรักษาได้ สามารถวางแผนกำลังคนได้เตรียมชิ้นส่วนเครื่องจักรได้และลดการเสียหายของเครื่องจักรลง แต่ข้อเสียคือ ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บชิ้นส่วนเครื่องจักร แต่อย่างไรก็ตาม ผลการบำรุงรักษาเชิงป้องกันก็ยังไม่เป็นที่รับประกันแน่นอนว่าอุปกรณ์เครื่องจักรจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพถึงแม้ว่าจะปฏิบัติตามแผนการบำรุงรักษาแล้ว ซึ่งการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การบำรุงรักษาตามระยะเวลา (Time-based maintenance) และการบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition-based maintenance) ดังนี้

- การบำรุงรักษาตามระยะเวลา (Time-based maintenance)

  กลยุทธ์การบำรุงรักษาโดยกำหนดเวลาและกิจกรรมที่ต้องทำไว้ล่วงหน้าอย่างตายตัว มักมีตารางแผนงานที่มีกำหนดการทำงานเป็นประจำ ถือเป็นกิจกรรมพื้นฐานของการบำรุงรักษาตามแผนงาน (โดยทั่วไป หมายถึง กิจกรรมการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่รู้ว่าต้องทำอย่างแน่นอนตามธรรมชาติ) และเวลาที่กำหนดในการทำกิจกรรมดังกล่าวจะกำหนดไว้เป็นคาบเวลาคงที่ แน่นอน เช่น ทุกเดือน ทุกหกเดือน เป็นต้น

- การบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition-based maintenance)

  การทำงานบำรุงรักษาโดยกำหนดให้มีกิจกรรมการตรวจสภาพการทำงานหรือวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรและอุปกรณ์ด้วยเครื่องมือตรวจจับหรือเครื่องมือทดสอบที่สามารถวิเคราะห์สภาพความรุนแรงของความผิดปกติได้เพื่อใช้ประเมินถึงความเสียหายที่จะรุนแรงมากขึ้นได้ล่วงหน้า ทำให้สามารถคาดการณ์ถึงอายุการใช้งานและวางแผนแก้ไขก่อนที่จะเกิดการชำรุดเสียหายที่รุนแรงได้ทันกาล ซึ่งกลยุทธ์การบำรุงรักษาตามสภาพจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยมีพื้นฐานอยู่ที่ข้อมูลปัจจุบันและอดีตย้อนหลังเพื่อที่จะกำหนดความสำคัญในการบำรุงรักษาให้ดีที่สุด โดยอาศัยสัญญาณเตือนจากเครื่องจักรซึ่งโดยทั่วไปเครื่องจักรจะให้สัญญาณเตือนก่อนที่เครื่องจักรจะเสียหาย เช่น ความร้อน, เสียง, การสั่นสะเทือน, เศษผงโลหะต่างๆ ถ้าหากสามารถ

ตรวจสอบสัญญาณเตือนจากเครื่องจักรได้ ก็สามารถกำหนดการบำรุงรักษาที่จำเป็นก่อนที่เครื่องจักรจะเกิดความเสียหายได้ ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงได้

ง. การบำรุงรักษาเชิงรุก (Proactive Maintenance)

การเพิ่มกิจกรรมของการบำรุงรักษาที่คาดการณ์ได้ล่วงหน้า (Predictive maintenance) ของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีความสำคัญสูงโดยแก้ปัญหาสาเหตุหลักล่วงหน้าที่ทำให้เครื่องจักรเสียหาย เพื่อลดโอกาสการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรและเพื่อลดปัญหาค่าใช้จ่ายที่เกิดจากงานบำรุงรักษานอกแผนงานลง ซึ่งจะทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์มีความพร้อมและความมั่นคงน่าเชื่อถือในการใช้งานได้สูงสุดด้วยค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมและมีอายุยาวนาน ซึ่งการบำรุงรักษาที่กล่าวมาข้างต้นทั้งสามวิธีไม่สามารถทำให้อายุการใช้งานของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นเพียงแต่หามาตรการมาใช้เพื่อให้เครื่องจักรใช้งานได้นานที่สุดตามที่ผู้ผลิตได้ออกแบบไว้ ข้อดีของการบำรุงรักษาแบบเชิงรุก คือ ทำให้อายุการใช้งานของเครื่องจักรเพิ่มขึ้น, สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงลดการเสียหายของเครื่องจักร แต่ต้องเสียกำลังคนในการรวบรวมข้อมูลและทำการแก้ไข ส่วนใหญ่จะเป็นผู้ผลิตที่เก็บข้อมูลจากลูกค้าและทำการปรับปรุงตัวผลิตภัณฑ์ ปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาในการตัดสินใจเลือกกลยุทธ์การบำรุงรักษา คือ ค่าเสียหายที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งเมื่อเครื่องจักรหยุด, การที่ไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ให้แก่ลูกค้าทันเวลาได้, ระยะเวลาที่ต้องสูญเสียไปในการซ่อมแซม, และเวลารอคอยชิ้นส่วนที่จะใช้เป็นต้น

2.1.3 การวิเคราะห์การชำรุด

การวิเคราะห์การชำรุดเป็นการพิจารณาหาหนทางแก้ไขป้องกันการเกิดลักษณะการชำรุด ซึ่งทั่วไปแล้วสามารถเกิดโอกาสการชำรุดได้ 3 แบบดังตารางที่ 2-1 ซึ่งในลักษณะการชำรุดทั้ง3 แบบในส่วนนี้ จะมุ่งเน้นไปที่การชำรุดในรูปแบบแรก ซึ่งสามารถนำเทคนิคการวิเคราะห์การชำรุดมาประยุกต์ใช้ได้ใน 2 ลักษณะ

2.1.3.1 การวิเคราะห์ลักษณะการชำรุดทางกายภาพ (Physical failure analysis)

อาทิเช่น การวิเคราะห์สภาพชิ้นงานหลังการแตกหัก การวิเคราะห์สภาพผิวหยาบชิ้นงานหลักการแตกหัก, การศึกษาวิเคราะห์ความแข็ง (Hardness) ความแข็งแรง (Strength) การวิเคราะห์เศษโลหะในไส้กรองน้ำมันไฮดรอลิก เป็นต้น

ตารางที่ 2-1 รูปแบบการชำรุดของชิ้นส่วนทางวิศวกรรม [19 และ 21]

ลักษณะการชำรุด ซึ่งทำให้หยุดการใช้งานอุปกรณ์	ตัวอย่างอุปกรณ์ที่สิ้นอายุการทำงานในลักษณะดังกล่าว
1. ชำรุดแบบ	
▪ ค่อยเป็นค่อยไป	ซีลค่อยๆ รั่วมากขึ้น
▪ ทันทีทันใด	หลอดไฟฟ้าขาด
2. ล้าสมัย	ตะเกียงแก๊ส, รถจักรไอน้ำ
3. ภารกิจใช้งานเสร็จสิ้นโดยสมบูรณ์	กระสุนปืน, ระเบิด, กล่องบรรจุภัณฑ์

2.1.3.2 <u>การวิเคราะห์ลักษณะการชำรุดทางด้านสถิติ</u> (Statistical failure analysis)

ซึ่งโดยปกติแล้วจะเป็นการนำเอาประวัติการซ่อมบำรุงของเครื่องจักรมาทำการวิเคราะห์เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไปในแง่ของการวางแผนการบำรุงรักษา และวิเคราะห์หาสาเหตุของการชำรุดว่าเกิดขึ้นในช่วงระยะใดของวงจรชีวิตเครื่องจักร เช่น อยู่ในช่วงระยะเริ่มต้น (Run-in) ช่วงใช้งานปกติ (Useful life) หรือช่วงระยะสึกหรอ (Wear out) และได้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น หากนำไปใช้ประกอบเข้ากับการวิเคราะห์การชำรุดทางกายภาพ และตัวอย่างง่ายที่สุดของการใช้ประโยชน์จากการวิเคราะห์การชำรุดของเครื่องจักรโดยทางสถิติที่นิยมนำมาใช้สองส่วนใหญ่ คือ

- ค่าอายุเฉลี่ยระหว่างแต่ละครั้งของการชำรุด(Mean time between failure: MTBF) เป็นส่วนสำคัญในการนำไปดำเนินการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Prevention of failures) นั่นคือ หากทราบว่าโดยเฉลี่ยค่าMTBF อยู่ที่เท่าใด ก็ควรจะดำเนินการบำรุงรักษาหรือถอดเปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่ก่อนค่า MTBF ที่คำนวนได้นั่นเอง

- ค่า L_{10} ซึ่งจะนิยมกล่าวถึงและพบเห็นโดยทั่วไปในคู่มือการเลือกใช้และบำรุงรักษาหรือการออกแบบตลับลูกปืนชนิดกลิ้งตัว(Rolling bearing design) โดยความหมายของ L_{10} คือ อายุขัยของอุปกรณ์ต่างๆ หรืออายุขัยของตลับลูกปืน 10% (ตลับลูกปืน 10 ตัวใน 100 ตัว) จะมีอายุขัย (ระยะเวลา) ในการใช้งานน้อยกว่าหรือเท่ากับ L_{10} นี้ หรืออีกนัยหนึ่งคือ ตลับลูกปืน 90% (90 ตัวใน 100 ตัว) จะมีอายุขัยสูงกว่า ค่า L_{10} นี้ และมีนัยในแง่ของคำว่า ตลับลูกปืนมีความน่าเชื่อถือ 90% จะใช้งานได้นานกว่าค่า L_{10} นั่นเอง ในส่วนของวิศวกรรมการบำรุงรักษาที่ได้ศึกษามาตั้งแต่ต้นนั้นได้มีการจัดแบ่งรูปแบบหรือลักษณะของการชำรุด (Failure patterns) ตามลักษณะของเส้นโค้งรูปอ่างน้ำ (Bath curve) คือ

- การชำรุดในช่วงระยะเริ่มต้นใช้งาน ซึ่งปกติแล้วมีสาเหตุมาจากข้อบกพร่องที่เกิดจากผู้ผลิตเครื่องจักร เช่น การออกแบบ การเลือกวัสดุหรือการประกอบที่ไม่ถูกต้อง การติดตั้งเครื่องจักรไม่ถูกต้องตามขั้นตอน เป็นต้น
- การชำรุดในช่วงระยะเวลาของการใช้งานปกติ โดยทั่วไปแล้วก็จะเป็นการเกิดการชำรุดตามระยะเวลา (เสื่อมสภาพตามปกติของการใช้งาน) การเกิดอุบัติเหตุ หรือ การใช้ภาระสูงเกินไป
- การชำรุดในระยะสึกหรอ การชำรุดในลักษณะนี้ มักเกิดขึ้นจากการที่เครื่องจักรผ่านการใช้งานไปเป็นเวลานานๆ มีผลทำให้เกิดการล้าตัวของวัสดุ (Fatigue wear) การกัดกร่อน (Corrosion) การสึกหรอแบบอื่นๆ ก็เป็นได้

หากสามารถวิเคราะห์เพื่อระบุถึงการชำรุดที่เกิดขึ้นว่าอยู่ในช่วงใดของเส้นโค้งรูปอ่างน้ำ ก็จะทำให้ค้นหาสาเหตุของการชำรุดดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการกระจายทางสถิติที่ได้รับการยอมรับ และนิยมนำมาใช้การวิเคราะห์การชำรุดของเครื่องจักรอุปกรณ์ทางสถิติ คือ การกระจายแบบไวบูลล์ (Weibull distribution) โดยการกระจายแบบนี้ มีจุดเด่น คือ

- ใช้ข้อมูลจากประวัติการชำรุดที่ได้รับการบันทึกการชำรุดของช่วงเวลาก่อนถึงการชำรุดของชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องจักรระบบย่อย เพียง 5 ค่าก็สามารถนำมาวิเคราะห์ได้
- หาค่า MTBF ได้จากการกระจายแบบไวบูลล์
- หาค่า L_{10} ได้จากการกระจายแบบไวบูลล์
- วิเคราะห์หารูปแบบการชำรุดได้ว่า อยู่ในช่วงระยะใดของวงจรชีวิตเครื่องจักรว่าอยู่ในระยะเริ่มต้น (Run-in) ระยะใช้งานปกติ (Useful life) หรือระยะสึกหรอ (Wear out)

สมการเบื้องต้นของการกระจายควรน่าจะเป็นทางสถิติแบบไวบูลล์ดังสมการที่ 2-3

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_o}{\alpha}\right)^{\beta}} \qquad \text{..... (2-3)}$$

เมื่อ $F(t)$ คือ เปอร์เซนต์การชำรุดสะสมของชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ทำการวิเคราะห์

α คือ พารามิเตอร์ที่เรียกว่า “Scale parameter”

β คือ พารามิเตอร์ที่เรียกว่า “Shape parameter”

t_0 คือ พารามิเตอร์ที่เรียกว่า “Location parameter”

t คือ เวลาที่ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนที่เกิดการชำรุด

หมายเหตุ

- โดยปกติค่า t_0 มักจะกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์ หมายถึง ชิ้ นส่วนใดๆ อาจมีโอกาสเป็นไปได้ที่จะมีการชำรุดหรือใช้งานไม่ได้ตั้ งแต่เวลาเริ่มต้นใช้งาน($t = 0$)
- ค่า α หรือค่า Scale parameter เมื่อเปรียบเทียบกับการกระจายแบบปกติ (Normal distributionจะหมายถึง (ค่า MTBF (Mean time between failure)
- ค่า β หรือ Shape parameter จะเป็นตัวกำหนดระยะการชำรุดที่เกิดขึ้ นที่เกี่ยวกับระยะเริ่มต้น, ระยะใช้งานปกติ, และระยะการสึกหรอ

กรณีที่ $\beta = 1$ หากกำหนด α = MTBF และ $t_0 = 0$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)}$$

$$1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)}$$

เพราะฉะนั้ น $R(t) = 1 - F(t)$

เมื่อ $R(t)$ คือ ค่าความน่าเชื่อถือที่เวลา t ใดๆ

$$R(t) = e^{-t/MTBF}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{..... (2-4)}$$

เมื่อ $\lambda = \frac{1}{MTBF}$ คือ อัตราการชำรุด

2.1.4 ผลผลิตและผลิตภาพของผลิตภัณฑ์

ผลิตภาพ (Productivity) [15] หมายถึง ความสามารถในการผลิตผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบกับปัจจัยเข้าทางการผลิตหรือกล่าวคือตัวชี้ วัดประสิทธิภาพในการนำทรัพยากรที่มีอยู่เพื่อให้ได้ผลผลิตหรืออัตราส่วนระหว่างปัจจัยนำเข้ากับผลผลิตซึ่งสามารถหาผลิตภาพหลักๆ 2 ตัวชี้ วัด คือ ผลิตภาพด้านแรงงาน(ผลผลิตที่เกิดจากการทำงานต่อชั่วโมงการทำงาน) และผลิตภาพด้านเครื่องจักรและอุปกรณ์ (ผลิตภาพที่เกิดจากการทำงานต่อชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร)

ผลผลิตของผลิตภัณฑ์ (Product yield) คือ ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าต้องการหรือกล่าวคือตัวชี้ วัดผลผลิตของผลิตภาพซึ่งสามารถนำตัวชี้ วัดนี้ เป็นตัวชี้ วัดตลอดกระบวนการผลิตได้ ดังสมการ 2-5

$$Y = (I)(\%G)+(I)(1-\%G)(\%R) \quad \text{..... (2-5)}$$

โดยที่ Y : ผลผลิตของผลิตภัณฑ์

I : จำนวนผลผลิตที่วางแผนที่จะผลิต

$\%G$: เปอร์เซนต์ของดีที่ผลิตได้

$\%R$: เปอร์เซนต์ของเสียที่สามารถนำมาแก้ไข

ดังนั้น สมการที่2-5 เป็นสมการที่แสดงอัตราส่วนระหว่างผลผลิตที่เป็นของดี ผลผลิตที่เป็นของเสียและผลผลิตที่เป็นของเสียที่สามารถนำมาแก้ไข ซึ่งพบว่าการปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้ได้ของดีเพิ่มขึ้น สามารถทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ สามารถคำนวนหาต้นทุนการผลิตต่อหน่วยที่เป็นของดี [15] โดยสามารถคำนวนได้จากการหาผลรวมของต้นทุนการผลิตโดยตรงกับต้นทุนรวมที่ต้องนำของเสียมาแก้ไขแล้วหารด้วยผลผลิตดังสมการที่ 2-6

$$\text{ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย} = \frac{(K_d)(I)+(K_r)(R)}{Y} \quad \text{..... (2-6)}$$

โดยที่ K_d : ต้นทุนการผลิตโดยตรงต่อหน่วย

I : จำนวนผลผลิตที่วางแผนที่จะผลิต

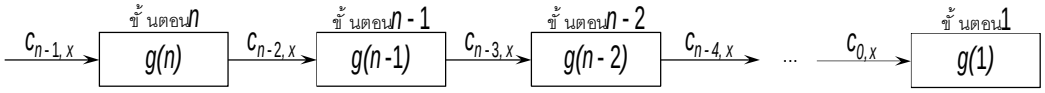
K_r : ต้นทุนการผลิตที่ต้องนำของเสียมาแก้ไข

R : จำนวนของเสียที่ต้องนำมาแก้ไข

Y : ผลผลิตของผลิตภัณฑ์

2.1.5 กำหนดการพลวัต

กำหนดการพลวัตเป็นเทคนิคที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาที่สามารถจัดลำดับขั้นตอน(Stages) ของการตัดสินใจ [20] โดยเริ่มต้นด้วยวิเคราะห์จากขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการที่มี n ขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะตัดสินใจหาค่าของตัวแปร (คำนวณหาค่าของตัวแปร) ที่ดีที่สุดภายใต้สถานะของระบบ โดยการตัดสินใจในแต่ละขั้นตอนจะมีผลต่อสถานะของระบบสำหรับการตัดสินใจในขั้นตอนถัดไปจนถึงขั้นตอนแรก



รูปที่ 2-2 ระดับขั้นตอนการตัดสินใจแบบย้อนหลังของกำหนดการพลวัต

กำหนดให้ $g(t)$ แทนตัวแปรที่ต้องการหาค่าที่ดีที่สุด และให้ $c_{t,x}$ แทนสถานะของระบบเมื่อเริ่มต้น ณ ขั้นตอน t และสิ้นสุด ณ ขั้นตอนที่ x เมื่อ $\forall t = 0, 1, \ldots, n-1$ และ $\forall x = 1, 2, \ldots, n$ ซึ่งแนวคิดการแก้ปัญหาของวิธีการกำหนดการพลวัตเบื้องต้นดังรูปที่ 2-2 โดยเริ่มจากขั้นตอนสุดท้าย คือ แทน $c_{n-1,x}$ ด้วยสถานะสุดท้ายและตัดสินใจหาค่าตัวแปร $g(n)$ ที่ดีที่สุดภายใต้สถานะ $c_{n-1,x}$ เมื่อตัดสินใจค่าของ $g(n)$ ภายใต้สถานะ $c_{n-1,x}$ แล้วจะทำให้สถานะเปลี่ยนไป ให้แทนด้วย $c_{n-2,x}$ สำหรับการตัดสินใจในขั้นตอนที่ $n-1$ ซึ่งขั้นตอนที่ $n-1$ จะตัดสินใจหาค่าของตัวแปร $g(n-1)$ ที่ดีที่สุดภายใต้สถานะ $c_{n-2,x}$ เมื่อตัดสินใจค่าของ $g(n-1)$ แล้ว สถานะจะเปลี่ยนไปเป็นสถานะ $c_{n-3,x}$ สำหรับการตัดสินใจในขั้นตอนที่ $n-3$ ไปเรื่อยๆ จนถึงขั้นตอนแรก ซึ่งกระบวนการตัดสินใจหรือกระบวนการคำนวณหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของกำหนดการพลวัต จะเป็นขั้นตอนแรกขั้นตอนที่ 1 สำหรับค่าของตัวแปร $g(1)$ ภายใต้สถานะ $c_{0,x}$ สามารถเขียนออกเป็นสมการทั่วไปได้สมการที่ 2-7, [18]

$$g(t) = \max \underset{1 \le x \le n}{or} \min \{c_{tx} + g(x)\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}7)$$

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีสามส่วนใหญ่ ๆ คือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักร งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

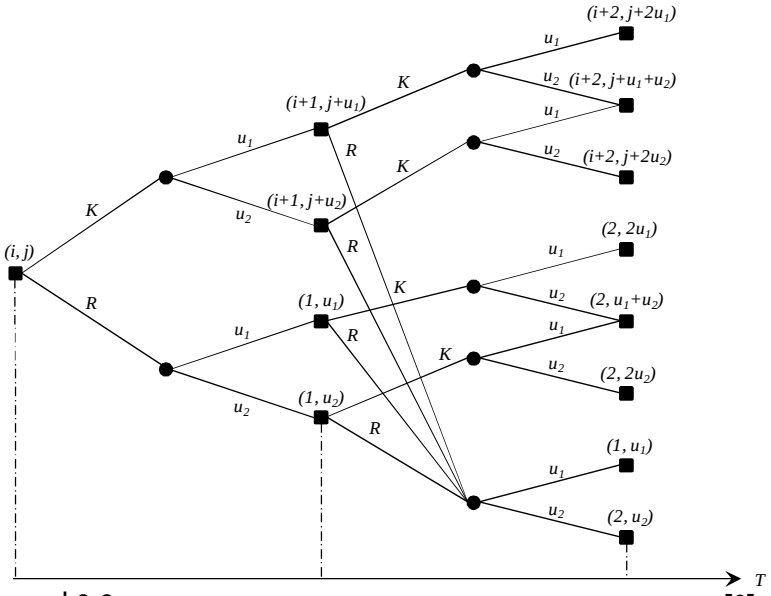
2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักร

ปัญหาการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าสูงของสินทรัพย์ได้มีการวิเคราะห์ในศาสตร์ของวิศวกรรมอุตสาหการและงานวิจัยการดำเนินการไว้มากมาย ซึ่งการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ได้รับความสนใจอย่างมากมายจากนักวิจัยเป็นระยะเวลานาน Bellman [3] เป็นนักวิจัยท่านแรกที่ได้นำเสนอการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักรด้วยกำหนดการพลวัตภายใต้ระยะเวลาที่จำกัด โดยวิเคราะห์ต้นทุนหลักๆ ที่เกิดขึ้นทั่วไป โดยอายุการใช้งานของเครื่องจักรบ่งบอกถึงสถานะว่าจะต้องใช้งานต่อไปหรือทดแทนเครื่องจักรเก่าในแต่ละช่วงเวลา Wagner [17] นำเสนอการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ด้วยกำหนดการพลวัตซึ่ง Wagner ไม่ได้ตัดสินใจระหว่างการใช้งานเครื่องจักรเดิมต่อไปหรือการทดแทน แต่ตัดสินใจจำนวนช่วงเวลาที่ต้องรักษาเครื่องจักรเดิมซึ่งได้มีงานวิจัยอีกหลาย

งานวิจัยที่ได้นำแบบจำลองนี้ ไปประยุกต์และต่อยอดให้สามารถใช้กับปัญหาจริงในอุตสาหกรรม อาทิเช่น Oakford และคณะ [14] และ Bean และคณะ [2] ต่างได้เพิ่มสมการข้อจำกัดเช่น ความต้องการของตลาด เงินทุนงบประมาณ การเสื่อมสภาพและความล้าสมัยของเทคโนโลยีของเครื่องจักร ฯลฯ มาวิเคราะห์ในแบบจำลอง

แต่อย่างไรก็ตาม พบว่างานวิจัยที่ผ่านมามักกำหนดปัจจัยต่างๆ เป็นค่าคงที่หรือค่าที่แปรไปตามเวลา ซึ่งในความเป็นจริงการใช้งานเครื่องจักรและอุปกรณ์เป็นสิ่งที่ไม่แน่นอน ไม่สามารถคาดการณ์และมักเกิดขึ้นแบบสุ่ม เช่น ความต้องการของลูกค้า ต้นทุนการดำเนินการ ต้นทุนการซ่อมบำรุงและค่าซากของทรัพย์สิน พบว่าปัจจัยเหล่านี้ มักขึ้นอยู่กับยอดการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงกับอายุการใช้งานที่เหมาะสม ในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักรและอุปกรณ์ภายใต้ความไม่แน่นอนของปัจจัยต่างๆ โดยนำเสนอการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความต้องการด้วยห่วงโซ่มาร์คอฟ Hartman [9] ได้วิเคราะห์หาระยะเวลาทดแทนทรัพย์สินของบริษัทภายใต้รูปแบบต้นทุนและความต้องการของลูกค้าที่แตกต่างโดยใช้กำหนดการพลวัตร่วมกับห่วงโซ่มาร์คอฟในการวิเคราะห์ Hsu และคณะ [10] ได้พัฒนาแบบจำลองแบบเฟ้นสุ่มตามกาลเวลาเพื่อตัดสินใจให้กับสายการบินระหว่างการลงทุนซื้อเช่าซื้อและทดแทนเครื่องบินตามกาลเวลาโดยใช้ควบคู่ไปกับแบบจำลองเกรย์โทโปโลจิคอลและห่วงโซ่มาร์คอฟเพื่อพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าของแต่ละเที่ยวสายการบิน ซึ่งพบว่าข้อดีของห่วงโซ่มาร์คอฟ คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลในอนาคตจะคำนวณความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่งขึ้นกับสถานะปัจจุบันเท่านั้น ไม่ขึ้นต่อสถานะในอดีต

นอกจากนี้ Hartman [8] ได้เสนอแบบจำลองการทดแทนด้วยกำหนดการพลวัตดังสมการที่ 2-8 โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นของระดับการใช้งานของทรัพย์สินดังรูปที่ 2-3 ซึ่งงานวิจัยของ Hartman กำหนดให้สถานะแต่ละสถานะคือ อายุการใช้งานของทรัพย์สินและประสิทธิภาพการใช้งานสะสมในแต่ละช่วงเวลา อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่า Hartman จะวิเคราะห์การทดแทนภายใต้ความไม่แน่นอนของตลาด แต่แบบจำลองนี้ ยังจำเป็นต้องกำหนดสมการของต้นทุนการดำเนินการและต้นทุนซ่อมบำรุงที่แน่นอนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การทดแทน ซึ่งในความเป็นจริงอาจเป็นสิ่งที่กำหนดได้ยาก



รูปที่ 2-3 แผนภูมิแสดงสถานะแต่ละสถานะของกำหนดการพลวัต[8]

$$f_t(i,j) = \min\left\{\begin{array}{l} K: \alpha \cdot \sum_{u=1}^{m} p_t(u) \cdot \left[C(u)_t(i,j) + f_{t+1}(i+1, j+u)\right] \\ R: P_t - S_t(i,j) + \alpha \cdot \sum_{u=1}^{m} p_t(u) \cdot \left[C(u)_t(0,0) + f_{t+1}(1,u)\right] \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots (2\text{-}8)$$

โดยที่

P_t : ต้นทุนการลงทุนทรัพย์สิน ณ เวลา t

$S_t(i,j)$: ค่าซากของทรัพย์สินที่มีอายุการใช้งาน i และระดับการใช้งานสะสม j ณ เวลา t

$C(u)_t(i,j)$: ต้นทุนการดำเนินการและการซ่อมบำรุงของทรัพย์สินที่มีอายุการใช้งาน i และระดับการใช้งานสะสม j ที่มีระดับการใช้งาน u ณ เวลา t

$p_t(u)$: ความน่าจะเป็นของระดับการใช้งาน u ณ เวลา t

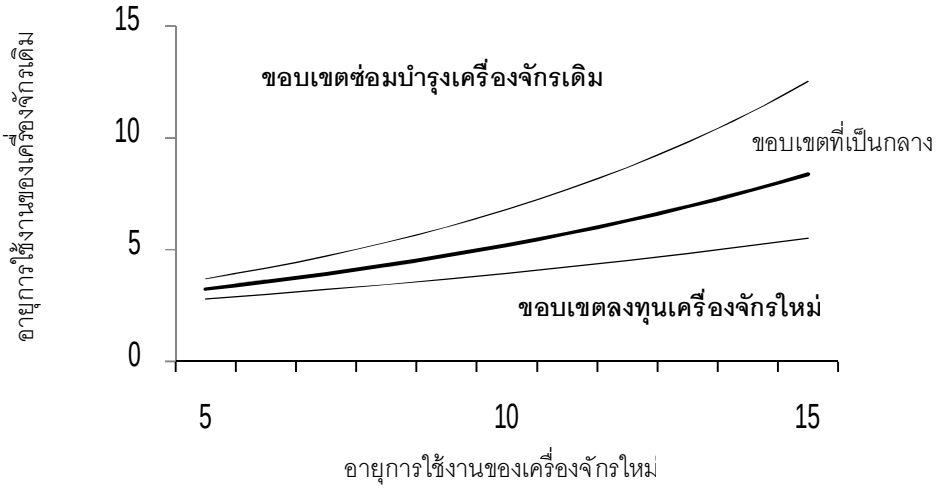
m : จำนวนระดับการใช้งาน

α : มูลค่าส่วนลดในแต่ละช่วงเวลา

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจ

ความรู้พื้นฐานในการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักรในศาสตร์ของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม [4, 19, 21 และ 25] มักนำแผนภูมิพื้นฐานอย่างง่ายเพื่อการศึกษา เช่น แผนภูมิที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าต่อปีของเงินลงทุนและมูลค่าต่อปีของต้นทุนหรือแผนภูมิที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าต่อปีของต้นทุนกับอายุการใช้งานเป็นต้น Senju [16] เสนอแผนภูมิ

ช่วยในการตัดสินใจ โดยแบ่งขอบเขตระหว่างซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรเดิมเพื่อยืดอายุการใช้งาน หรือลงทุนซื้ อเครื่องจักรใหม่ซึ่งขณะเดียวกันได้แสดงขอบเขตที่เป็นกลาง (Neutral zone) ซึ่งมีความน่าจะเป็นของค่าที่ได้จะต้องตกอยู่ในขอบเขต ดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 แผนภูมิการตัดสินใจระหว่างลงทุนเครื่องจักรใหม่กับซ่อมบำรุงเครื่องจักรเดิม

นอกจากนี้ Senju ได้เสนอแผนภูมิการตัดสินใจระหว่างการลงทุนเครื่องจักรใหม่หรือเครื่องจักรมือสองดังรูปที่ 2-5 โดยตั้ งสมมุติฐานว่า 1) เมื่อปัจจัยด้านผลผลิต, คุณภาพ ฯลฯ ระหว่างเครื่องจักรใหม่และมือสองไม่ได้มีความแตกต่างกัน 2) อายุการใช้งานของเครื่องจักรใหม่ต้องมากกว่า 5 ปีและ 3) มูลค่าส่วนลดเท่ากับ 15% ต่อปี ซึ่งแผนภูมิในรูปที่ 2-5 สามารถหาจากสมการที่ 2-9 โดยวาดกราฟระหว่าง $\frac{x_o + L}{X_N}$ กับ n/m

$$\frac{(A/P,15\%,n)}{(A/P,15\%,m)} = \frac{x_o + L}{X_N} + \frac{\Delta y}{X_N}(P/A,15\%,m) \quad \text{..... (2-9)}$$

โดยที่ n อายุการใช้งานของเครื่องจักรใหม่

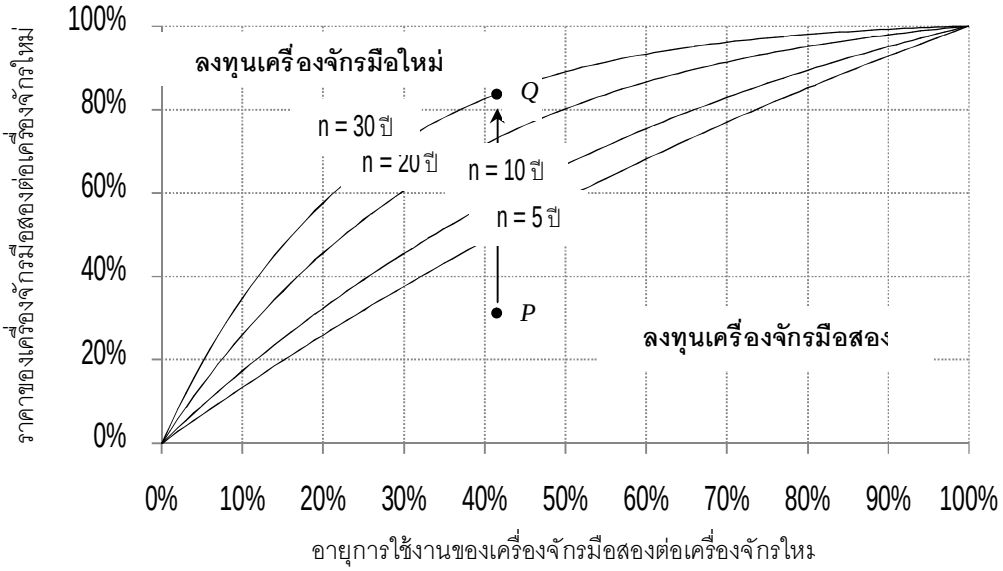
m อายุการใช้งานของเครื่องจักรมือสอง: โดยที่มูลค่าซากมีค่าเท่ากับศูนย์ ณ ปีที่ m

X_N ราคาซื้ อเครื่องจักรใหม่

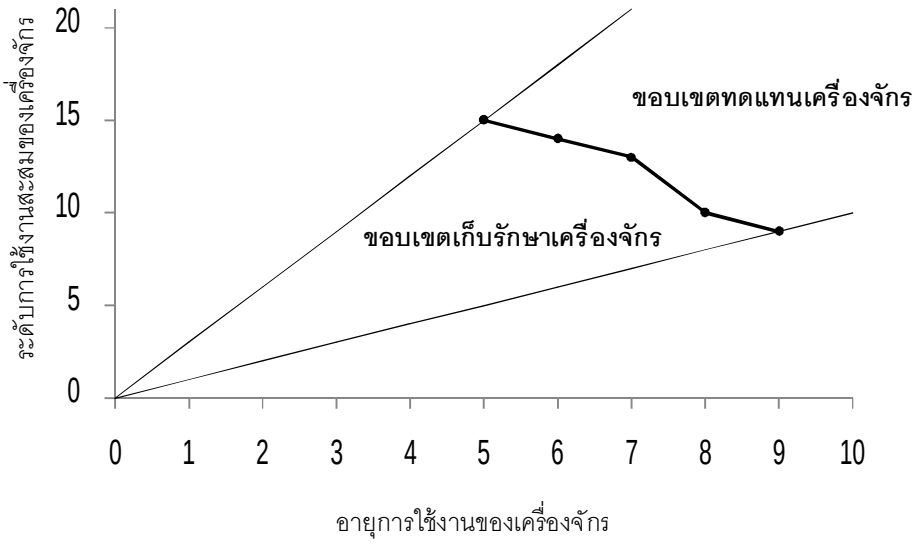
x_o ราคาซื้ อเครื่องจักรมือสอง

L ราคาขายเครื่องจักรที่ใช้งานอยู่ ณ ปัจจุบัน

Δy ผลต่างระหว่างค่าดำเนินการของเครื่องจักรใหม่กับเครื่องจักรมือสอง



รูปที่ 2-5 แผนภูมิสำหรับการตัดสินใจลงทุนระหว่างเครื่องจักรใหม่กับเครื่องจักรมือสอง



รูปที่ 2-6 แผนภูมิช่วยในการการตัดสินใจระหว่างทดแทนหรือเก็บรักษาเครื่องจักร[8]

ตัวอย่างการใช้งานแผนภูมิ

1. หาตำแหน่งพิกัดของ P ระหว่างอัตราส่วนอายุการใช้งานระหว่างเครื่องจักรใหม่และเครื่องจักรมือสองกับอัตราส่วนราคาขายระหว่างเครื่องจักรใหม่และเครื่องจักรมือสองในแผนภูมิ

2. หาค่าของ $\frac{\Delta y}{X_N}(P/A,15\%,m)$ แล้วบวกเพิ่มกับอัตราส่วนราคาขายระหว่างเครื่องจักรใหม่และเครื่องจักรมือสองที่ได้บนตำแหน่ง P เพื่อหาตำแหน่ง Q
3. หากตำแหน่ง Q ที่ได้อยู่เหนือตำแหน่งเส้นของอายุการใช้งานของเครื่องจักรใหม่ให้ตัดสินใจลงทุนซื้อเครื่องจักรใหม่ แต่หากตำแหน่ง Q ที่ได้อยู่ใต้ตำแหน่งเส้นของอายุการใช้งานของเครื่องจักรใหม่ให้ตัดสินใจลงทุนซื้อเครื่องจักรมือสอง

จากแผนภูมิของ Senju และคณะ พบว่าเป็นการวิเคราะห์การตัดสินใจระหว่างการดำเนินการเครื่องจักรเดิมหรือลงทุนเครื่องจักรใหม่ ณ เวลานั้นๆ โดยพิจารณาระยะเวลาของโครงการที่มีลักษณะอนันต์ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้งานได้ในโครงการที่มีระยะเวลาจำกัดเช่น 7 หรือ 8 ปีได้ นอกจากนั้นยังพบว่าแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจไม่สามารถคำนวนต้นทุนการดำเนินการและต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาได้อย่างถูกวิธี เนื่องจากอายุการใช้งานและยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมจะขึ้นกับความต้องการและต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นฯลฯ แต่อย่างไรก็ตาม Hartman [8] นำเสนอแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจดังรูปที่ 2-6 ซึ่งหลักการการสร้างแผนภูมิเป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์กำหนดการพลวัตด้วยความน่าจะเป็นของระดับการใช้งานต่างๆ มาวาดกราฟดังรูปที่ 2-6 ซึ่งพบว่าแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจการทดแทนของ Hartman สามารถกำหนดระยะเวลาของโครงการได้ เช่น 6, 7, 8 หรือ 9 ปีแล้วแต่ผู้วิเคราะห์กำหนด และยังสามารถเลือกตัดสินใจการทดแทนโดยคำนึงและพิจารณาถึงยอดการผลิตสะสมและอายุการใช้งานซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการวิเคราะห์การทดแทน

2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

ปัจจัยพื้นฐานสำคัญ [4, 19, 21 และ 25] อาทิเช่น ราคาของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่ ค่าซากของแม่พิมพ์เดิมหรือราคาตลาด การดำเนินการและซ่อมบำรุงรักษา เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามตัวแปรหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องไม่ได้มีเพียงเท่านี้ Karsak และคณะ [12] ได้นำกำหนดการพลวัตวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักรภายใต้การเปลี่ยนแปลงของอัตราเงินเฟ้อและอัตราดอกเบี้ย โดยหยิบยกการวิเคราะห์อัตราเงินเฟ้อและอัตราดอกเบี้ยในงานวิจัยของ Kobbacy และคณะ [13] ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พยากรณ์อัตราดอกเบี้ยและอัตราเงินเฟ้อในอนาคตด้วยห่วงโซ่มาร์คอฟ โดยกำหนดให้ r_k เท่ากับมูลค่าส่วนลด ณ ปีที่ k ดังสมการที่ 2-10

$$r_k = \frac{(100 + j_k)}{(100 + i_k)} \quad \text{.....} \quad (2\text{-}10)$$

โดยที่ j_k และ i_k เป็นอัตราเงินเฟ้อและอัตราดอกเบี้ ย ณ ปีที่ k ตามลำดับ มูลค่าส่วนลด R_n จากสิ้ น ปีที่ 1 จนถึงสิ้ นปีที่ n ดังสมการที่ 2-11 และมูลค่าส่วนลด H_n จากสิ้ นปีที่ 1 จนถึงกลางปีที่ n ดัง สมการที่ 2-12

$$R_n = \prod_{k=1}^{n} r_k \quad \text{..... (2-11)}$$

$$H_n = \prod_{k=1}^{n-1} r_k \cdot \sqrt{r_n} \quad \text{..... (2-12)}$$

โดยนำส่วนลดในสมการที่ 2-11 และ 2-12 คำนวณวิเคราะห์สมการพื้ นฐานการทดแทนเครื่องจักร ดังสมการที่ 2-13

$$Cost = \frac{\sum_{k=1}^{m} Q_k \cdot H_k + (C - S_m) \cdot R_m}{\sum_{k=1}^{m} H_k} \quad \text{..... (2-13)}$$

โดยที่ m ระยะเวลาการทดแทนเครื่องจักรอุปกรณ์

Q_k ต้นทุนการดำเนินการของเครื่องจักรอุปกรณ์ ณ ปี k

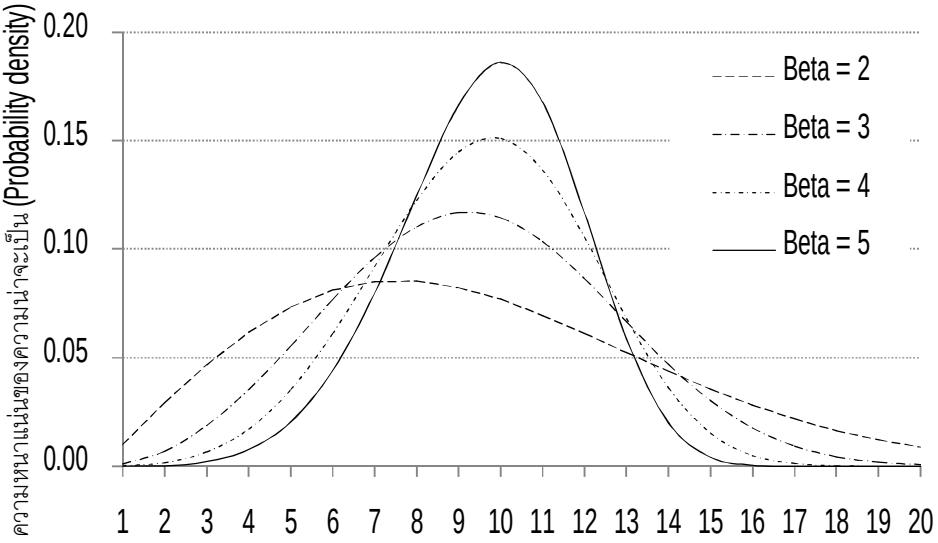
C ต้นทุนการลงทุนในการทดแทนเครื่องจักรอุปกรณ์

S_m มูลค่าซากของเครื่องจักรเดิม ณ ปี m

นอกจากนี้ ในแบบจำลองของ Karsak และคณะได้นำต้นทุนการซ่อมบำรุง เครื่องจักรเมื่อเกิดชำรุดเสียหายเป็นปัจจัยหลักของการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักร เนื่องจาก การซ่อมบำรุงเป็นปัจจัยหนึ่งและปัจจัยหลักที่สามารถยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรได้ ซึ่ง ต้นทุนการซ่อมบำรุงจะมากหรือน้อยมักแปรไปตามอายุของเครื่องจักรและระยะเวลาการซ่อมบำรุง เครื่องจักร

Chitra [6] ได้กล่าวว่าการซ่อมบำรุงสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การซ่อม บำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance) เป็นการซ่อมบำรุงรักษาเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา จากการหยุดเครื่องจักรเพื่อการซ่อมบำรุงใหญ่ โดยวางแผนหรือกำหนดระยะเวลาการตรวจสอบ และการบำรุงรักษาเครื่องจักรรวมทั้ งอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อป้องกันความเสียหาย ซึ่งถ้ามีการ บำรุงรักษาเชิงป้องกันบ่อยครั้ งเกินไปต้นทุนการบำรุงรักษาก็จะสูงตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้ จึงมี งานวิจัยหลายวิจัยที่วิจัยหาความถี่ที่เหมาะสมในการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน สำหรับการซ่อม บำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective maintenance) เป็นการซ่อมบำรุงรักษาที่ทุกๆ อุตสาหกรรมยังใช้

กลยุทธ์การบำรุงรักษาแบบนี้ อยู่ โดยจะดำเนินการซ่อมบำรุงก็ต่อเมื่ออุปกรณ์ของเครื่องจักรเสียหายจนทำให้หยุดเครื่องหรือหยุดทำการผลิตในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงานอยู่โดยไม่ได้คาดการณ์มาก่อนว่าจะเกิดการเสียหายขึ้ น ซึ่งโดยปกติต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงแก้ไขจะสูงกว่าต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 3 ถึง 4 เท่าโดยประมาณและต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันตลอดอายุการใช้งานมักมีมูลค่าระหว่าง1.8% ถึง 5% ของมูลค่าสินทรัพย์ ซึ่งจากการสำรวจในงานวิจัยของ Amari [1] พบว่า 3 – 4% ของสาเหตุการเสียหายของเครื่องจักรมักอธิบายได้ด้วยกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายและอายุการใช้งาน15 – 20% ของสาเหตุการเสียหายของเครื่องจักรมักเกิดจากอายุของเครื่องจักรเอง แต่สาเหตุการเสียหายของเครื่องจักรประมาณ 80 – 85% มักเกิดจากเหตุการณ์ที่ไม่คาดการณ์มาก่อน ดังนั้ นมีงานวิจัยบางงานวิจัย [1, 11] นำเสนอแบบจำลองอัตราการเสียหายหรือพฤติกรรมการเสียหายของเครื่องจักรที่มีการกระจายตัวแบบไวย์บูล (Weibull distribution) หรือแบบแกมมา (Gamma distribution) ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับเหตุการณ์จริงดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 ตัวอย่างของฟังก์ชันความหนาแน่นของไวย์บูล(Weibull density function) [11]

แต่อย่างไรในช่วง 30 ปีที่ผ่านมาของงานวิจัยต่างๆ ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน พบว่าการซ่อมบำรุงหลักของทุกโรงงานอุตสาหกรรมในทุกวันนี้มักใช้การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขเป็นหลัก อาจเนื่องจากแบบจำลองของการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันมีความซับซ้อนซึ่งอยู่ในรูปแบบของสมการที่ไม่เป็นเส้นตรงหรือบางครั้ งอาจพบในรูปแบบของมาร์คอว์เวียน (Markovian) ซึ่งการใช้งานของแบบจำลองเหล่านี้ จำเป็นต้องมีอัลกอริธึมที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับการหาผลลัพธ์ซึ่งมีความซับซ้อนเหนือความรู้และ

ความเข้าใจสำหรับวิศวกรซ่อมบำรุง ในงานวิจัยของ Huang และคณะ [11] ได้นำเสนอวิธีการและแผนภูมิอย่างง่ายต่อการเข้าใจเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุงโดยพิสูจน์จากสมการที่ 2-14

$$\min : Z(T) = C_p \cdot \left(\frac{\rho\left(1 - e^{-\left(\frac{T}{10}\right)^{\beta}}\right) + e^{-\left(\frac{T}{10}\right)^{\beta}}}{\int_0^T e^{-\left(\frac{T}{10}\right)^{\beta}} dt} \right) \quad \text{..... (2-14)}$$

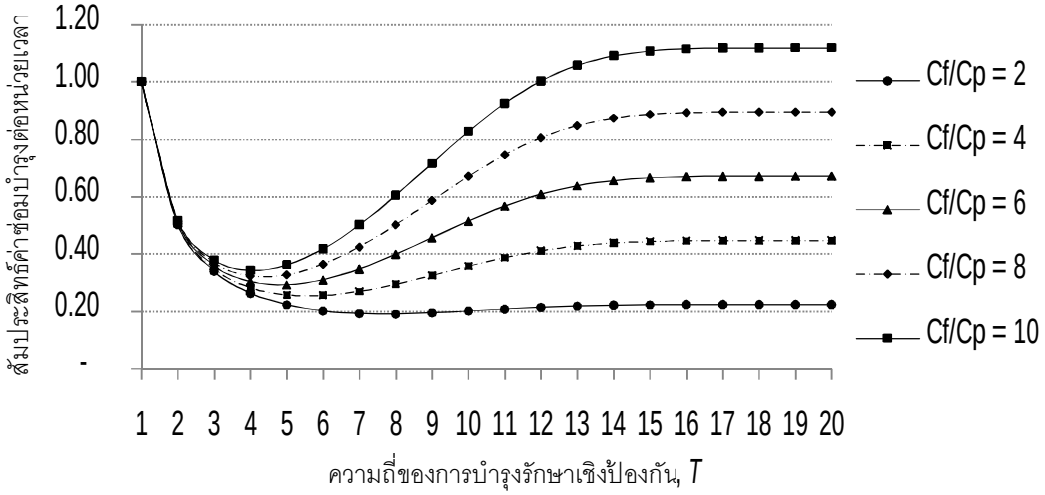
โดยที่ $Z(T)$ ค่าใช้จ่ายในการทดแทนโดยเฉลี่ยต่อหน่วยเวลา

C_f ค่าบำรุงรักษาเชิงแก้ไข

C_p ค่าบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

ρ อัตราส่วนระหว่าง C_f กับ C_p

β ตัวแปรลักษณะรูปร่างของการกระจายตัวแบบไวย์บูล



รูปที่ 2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและต้นทุนต่อหน่วยเวลา

จากรูปที่ 2-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายต่อหน่วย***Z(T)*** กับความถี่ของการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน***T*** จะเห็นว่า ถ้าความถี่ของของการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป จะมีแนวโน้มที่จะเกิดค่าใช้จ่ายต่อหน่วยเวลาสูง และที่ความถี่ ณ จุดๆ หนึ่งหรือที่มีความถี่ที่เหมาะสมจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายต่อหน่วยเวลาต่ำที่สุด นอกจากนี้เมื่อความถี่ของการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันที่น้อยมากหรือเสมือนกับการไม่มีนโยบายการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน พบว่า

ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยเวลามีแนวโน้มที่จะคงที่ ซึ่ง $Z(T \to \infty)$ เป็นค่าใช้จ่ายที่สอดคล้องกับนโยบายที่มีเพียงการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขหรือกล่าวคือ การทดแทนเครื่องจักรจะเกิดขึ้นเฉพาะเมื่อเครื่องจักรเสียหายชำรุดเท่านั้น

จากสมการที่ 2-14 ตัวแปร ρ ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง C_f กับ C_p พบว่าการที่มีค่า ρ สูงๆ จะส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูงและการเลือกวางแผนให้มีความถี่ในการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันที่เหมาะสมสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในทางกลับกันการที่มีค่า ρ น้อยๆ จะไม่ส่งผลประโยชน์ใดๆ เมื่อมีความถี่ในการซ่อมบำรุงที่สูง ซึ่งความถี่ในการซ่อมบำรุงน้อยมีแนวโน้มที่จะส่งผลที่ดีกว่า

ดังนั้นจากงานวิจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวงานวิจัยนี้ได้กำหนดปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ดังนี้

- ราคาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่
- ค่าซากของแม่พิมพ์เดิม
- ต้นทุนการผลิต
- ต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
- ต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงแก้ไข
- อัตราเงินเฟ้อและอัตราดอกเบี้ย
- ยอดการผลิตสะสม
- ระยะเวลาของโครงการ

ซึ่งการวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกนี้เป็นรูปแบบการวิเคราะห์ที่จะช่วยให้การตัดสินใจมีระบบและเป็นแบบแผนมากขึ้น ช่วยพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมาวิเคราะห์ซึ่งสามารถลดความผิดพลาดให้น้อยลงได้ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการวิเคราะห์นี้ยังไม่แพร่หลายเท่าไรนัก อาจเนื่องมาจากความซับซ้อนในการคำนวณและการทำความเข้าใจ ซึ่งถ้ามีแผนภูมิสำเร็จช่วยในการตัดสินใจและลดเวลาก็น่าจะสามารถก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการทำงานได้ไม่มากก็น้อย

บทที่ 3
แนวความคิดของงานวิจัย

3.1 แนวความคิดงานวิจัย

งานวิจัยนี้จึงได้ต่อยอดแบบจำลองกำหนดการพลวัตของ Hartman [8] โดยนำแบบจำลองการซ่อมบำรุงของ Huang และคณะ [11] ที่มีพฤติกรรมการกระจายตัวของต้นทุนการซ่อมบำรุงในลักษณะไวย์บูลมาบูรณาการเข้าด้วยกันเพื่อนำเสนอแบบจำลองกำหนดการพลวัตและผลศึกษาจากกรณีศึกษาของการวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ทำให้เกิดการทดแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยงานวิจัยนี้ ในช่วงแรกจะนำเสนอการสร้างแบบจำลองกำหนดการพลวัตเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินการและการซ่อมบำรุงรักษา โดยปรับปรุงจากงานวิจัยของ Huang และคณะ [11] ที่วิเคราะห์ต้นทุนการซ่อมบำรุงเป็นฟังก์ชันของหน่วยเวลามาเป็นฟังก์ชันของยอดการผลิตสะสม ซึ่งจะสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงของการเสื่อมสภาพของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมากกว่า ช่วงที่สองนำเสนอกรณีศึกษาจริงเพื่อวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในอุตสาหกรรมยานยนต์โดยวิเคราะห์หายอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนภายใต้ระยะเวลาโครงการที่จำกัด (8 ปี) และระยะเวลาโครงการอนันต์ (30 ปี) ส่วนที่สามนำเสนอการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละตัวกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนแม่พิมพ์ว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้งานวิจัยได้นำเสนอแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจเพื่อสามารถนำมาใช้ในการตัดสินใจการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกได้สะดวกและเข้าใจง่ายและนำเสนอสมการถดถอยเพื่อใช้ในการต่อยอดหายอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมอื่นๆ ที่นอกเหนือจากตัวแปรนำเข้าที่งานวิจัยนี้ กำหนดขอบเขตเอาไว้

3.2 แบบจำลองกำหนดการพลวัต

งานวิจัยนี้ได้กำหนดตัวแปรและสมมุติฐานให้กับตัวแปรต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

$O_{t,x}(j)$: ต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วยของแม่พิมพ์ที่มียอดการผลิตสะสม j เมื่อเริ่มใช้แม่พิมพ์ ณ สิ้นปีที่ t และเปลี่ยนแม่พิมพ์ ณ สิ้นปีที่ x

$Z_{t,x}(j)$: ต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาต่อหน่วยของแม่พิมพ์ที่มียอดการผลิตสะสม j เมื่อเริ่มใช้แม่พิมพ์ ณ สิ้นปีที่ t และเปลี่ยนแม่พิมพ์ ณ สิ้นปีที่ x

$C_{t,x}(j)$: ต้นทุนการดำเนินการและซ่อมบำรุงรักษาของแม่พิมพ์ที่มียอดการผลิตสะสม j เมื่อเริ่มใช้แม่พิมพ์ ณ สิ้นปีที่ t และเปลี่ยนแม่พิมพ์ ณ สิ้นปีที่ x

K_d : ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย

K_r : ต้นทุนการแก้ไข (Rework cost) ต่อหน่วย

j : ยอดการผลิตสะสมเมื่อเริ่มใช้แม่พิมพ์ ณ สิ้นปีที่ t และเปลี่ยน ณ สิ้นปีที่ x

D_i : ยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบ ณ สิ้นปีที่ i

d : สัดส่วนของเสีย

r : สัดส่วนของเสียที่สามารถนำมาแก้ไข

C_f : ต้นทุนซ่อมบำรุงเชิงแก้ไขต่อหน่วยการผลิต

C_p : ต้นทุนซ่อมบำรุงเชิงป้องกันต่อหน่วยการผลิต

ρ : อัตราส่วนระหว่าง C_f กับ C_p

P_t : ราคาของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่

T : ระยะเวลาของโครงการ

3.2.1 ต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วย

ต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วย ($O_{t,x}(j)$) คือ ผลรวมของต้นทุนการผลิต $(K_d \cdot j)$ และต้นทุนการแก้ไขของเสีย $(K_r \cdot j)$ ที่นำไปคิดเป็นต่อหน่วยการผลิตโดยหารด้วยผลรวมของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบทั้งหมดตั้งแต่ปีที่ $t+1$ ถึง x ดังสมการที่ (3-1)

$$O_{t,x}(j) = \frac{(K_d)(j)+(K_r)(d)(r)(j)}{\sum_{i=t+1}^{x} D_i} \qquad \text{..... (3-1)}$$

ซึ่งยอดการผลิตสะสมที่เกิดขึ้นจริง(j) สามารถหาได้จากการนำผลรวมของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปี (D_i) หารด้วยผลรวมของร้อยละที่เป็นของดี ($1-d$) กับร้อยละที่เป็นของเสียที่สามารถนำมาแก้ไข (d)(r) ดังสมการที่ (3-2)

$$j = \frac{1}{(1-d)+(d)(r)} \cdot \sum_{i=t+1}^{x} D_i \qquad \text{..... (3-2)}$$

ดังนั้นเมื่อยอดการผลิตเพิ่มขึ้นต่อปีหรือความต้องการเพิ่มขึ้นต่อปีโดยที่สัดส่วนของเสียมีอัตราสูงขึ้นและสัดส่วนของเสียที่สามารถมาแก้ไขคงที่ดังตารางที่ 3-1 แสดงผลลัพธ์ที่ได้

จากสมการที่ 3-2 หากยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปีเท่ากับ 100,000, 120,000, 140,000, 160,000, 180,000, และ 200,000 หน่วยต่อปี

ตารางที่ 3-1 สัดส่วนของเสีย สัดส่วนของเสียที่สามารถแก้ไข และยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบ

	ปีที่ 1	**ปีที่ 2**	**ปีที่ 3**	**ปีที่ 4**	**ปีที่ 5**	**ปีที่ 6**	**ปีที่ 7**	**ปีที่ 8**
d	2.14%	7.65%	18.35%	36.09%	62.69%	100.0%	100.0%	100.0%
r	96.0%	96.0%	96.0%	96.0%	96.0%	96.0%	96.0%	96.0%
100,000	100,086	200,393	301,132	402,597	505,169	609,336	713,502	817,669
120,000	120,103	240,471	361,358	483,116	606,203	731,203	856,203	981,203
140,000	140,120	280,550	421,585	563,635	707,236	853,070	998,903	1,144,736
160,000	160,137	320,628	481,811	644,155	808,270	974,937	1,141,604	1,308,270
180,000	180,154	360,707	542,038	724,674	909,304	1,096,804	1,284,304	1,471,804
200,000	200,171	400,785	602,264	805,194	1,010,338	1,218,671	1,427,004	1,635,338

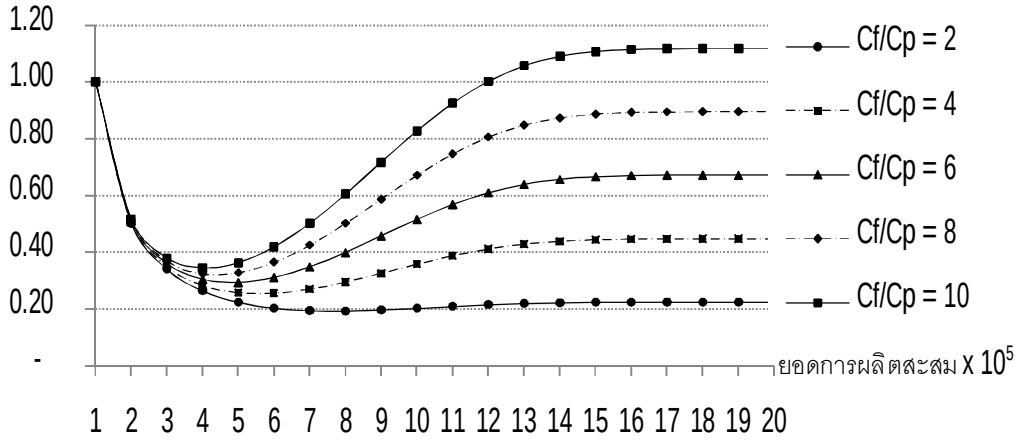
3.2.2 ต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาต่อหน่วย

ต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญและส่งผลเป็นอย่างมากต่อการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก งานวิจัยนี้ ได้ประยุกต์แบบจำลองต้นทุนการซ่อมบำรุงต่อหน่วยเวลาของ Huang และคณะ [11] โดยพิจารณาว่าในสภาพความเป็นจริง อายุการใช้งานของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขึ้ นอยู่กับยอดการผลิต ดังนั้ นจึงปรับเปลี่ยนเวลา(T) ในการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันในแบบจำลองให้เป็นหน่วยการผลิตหรือยอดการผลิตสะสม j แทน ดังนั้ นแบบจำลองต้นทุนการซ่อมบำรุงต่อหน่วยที่มียอดการผลิตสะสม j จะเป็นดังสมการที่ 3-3

$$Z_{t,x}(j) = C_p \cdot \frac{\rho\left(1-e^{-\left(\frac{j}{\theta}\right)^{\beta}}\right)+e^{-\left(\frac{j}{\theta}\right)^{\beta}}}{\int_0^j e^{-\left(\frac{j}{\theta}\right)^{\beta}} dj} \quad \text{..... (3-3)}$$

โดยที่ β คือลักษณะการกระจายตัวของไวย์บูล ซึ่งปกติแล้ว β มีค่าระหว่าง 2 ถึง 6 แต่เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ งานวิจัยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3.5 ซึ่งมีลักษณะการกระจายตัวใกล้เคียงกับปกติ (Normal distribution) และงานวิจัยนี้ กำหนดให้ θ มีค่าเท่ากับ 1,000,000 เนื่องจากเป็นค่าๆ หนึ่งโดยเฉลี่ยในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่กำหนดให้เป็นยอดการผลิตสะสมสูงสุดที่แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกหนึ่งๆ สามารถดำเนินการได้ สำหรับอัตราส่วนระหว่างต้นทุนซ่อมบำรุงเชิงแก้ไขและต้นทุนซ่อมบำรุงเชิงป้องกันหรือค่า ρ สำหรับกรณีศึกษานี้ กำหนดให้เท่ากับ 4 โดยอ้างอิง

จากงานวิจัยของ Citra [6] ซึ่งกล่าวว่า โดยปกติแล้วค่าบำรุงรักษาเชิงแก้ไขมักมีค่ามากกว่าค่าบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 3 ถึง 4 เท่าโดยประมาณ



รูปที่ 3-1 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนต่อหน่วยกับยอดการผลิตสะสมเมื่อ $C_p = 1$

ดังนั้น หากนำสมการที่ 3-3 มาวาดกราฟด้วยสมมุติฐานของตัวแปรที่ได้กำหนดไว้ รูปที่ 3-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการซ่อมบำรุงต่อหน่วยกับยอดการผลิตสะสมเมื่อ $C_p = 1$ ดังนั้น หากทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเมื่อมียอดการผลิตสะสมมากเกินไปหรือน้อยเกินไปจะมีแนวโน้มที่จะเกิดต้นทุนการซ่อมบำรุงต่อหน่วยสูงมากและหากทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ณ จุดๆ หนึ่งหรือจุดที่มียอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมจะทำให้เกิดต้นทุนการซ่อมบำรุงต่ำ

3.2.3 ต้นทุนการดำเนินการและการซ่อมบำรุง

ต้นทุนการดำเนินการและการซ่อมบำรุงสามารถหาจากผลรวมของต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วย ($O_{t,x}(j)$) และต้นทุนการซ่อมบำรุงต่อหน่วย ($Z_{t,x}(j)$) แล้วจึงนำไปคูณกับยอดการผลิตสะสม (j) ดังสมการที่ 3-4

$$C_{t,x}(j) = [O_{t,x}(j) + Z_{t,x}(j)] \cdot j \quad \text{..... (3-4)}$$

3.2.4 แบบจำลองกำหนดการพลวัต

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ช่วงเวลาแต่ละช่วงเวลาในกำหนดการพลวัตเป็นช่วงเวลาที่ต้องทำการตัดสินใจระหว่างทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเดิมหรือเก็บรักษาเครื่องจักรเดิมไว้โดยที่ $t = 1, 2, \ldots, T-1$ แทนช่วงเวลาที่ทำการตัดสินใจซึ่งช่วงเริ่มต้นของโครงการหรือ ณ สิ้นปีที่ 0 กำหนดให้ลงทุนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่ทันทีและขายซากแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเดิม ณ มูลค่าซาก

ในสิ้นปีสุดท้ายของโครงการหรือสิ้นปีที่ T โดยกำหนดให้การซื้อขายซากแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและต้นทุนการผลิตจะต้องเกิดขึ้นณ สิ้นปีของแต่ละปี แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากยอดการผลิตที่ต้องส่งมอบต่อปี (D_i) ขึ้นกับความไม่แน่นอนของความต้องการของตลาด ดังนั้นงานวิจัยนี้สมมุติให้ยอดการผลิตที่ต้องส่งมอบต่อปีมีอยู่ 2 ระดับ คือ ยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบ ณ สิ้นปีที่ i เมื่อความต้องการของตลาดอยู่ในขาขึ้น (D_i^{high}) และเมื่อความต้องการของตลาดอยู่ในขาลง (D_i^{low}) โดยกำหนดให้ $p(D_i^k)$ แทนความน่าจะเป็นของยอดการผลิตที่ต้องส่งมอบซึ่งต้องมีค่ามากกว่าศูนย์ $p(D_i^k) \geq 0$ และ $\sum_k p\left(D_i^k\right)=1$

การวิเคราะห์หาอายุการใช้งานและยอดการผลิตที่เหมาะสมของกำหนดการพลวัตสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิเคราะห์หาผลลัพธ์จากหน้าไปหลังและวิเคราะห์หาผลลัพธ์ย้อนกลับหรือจากหลังไปหน้า แต่ไม่ว่าจะวิเคราะห์หาผลลัพธ์โดยเริ่มจากหน้าไปหลังหรือการวิเคราะห์ย้อนกลับก็จะได้ผลลัพธ์ที่เท่ากัน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ตัดสินใจเลือกวิธีหาผลลัพธ์จากหลังไปหน้า ดังนั้นการวิเคราะห์จะเริ่มจากสิ้นปีที่ T และคำนวนต้นทุนของทุกสถานะที่มีโอกาสเกิดขึ้นในอนาคตจากสิ้นปีที่ T ย้อนกลับไปจนถึงสิ้นปีที่ 0 โดยที่การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อสถานะแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกถึงอายุการใช้งานและยอดการผลิตที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุด ดังนั้นกำหนดให้ $f(t)$ เท่ากับค่าคาดหวังของมูลค่าสุทธิ ณ ปัจจุบันของต้นทุนรวมต่ำที่สุดตลอดระยะเวลาโครงการเมื่อลงทุนแม่พิมพ์ใหม่ ณ สิ้นปีที่ t และใช้งานถึงสิ้นปีที่ x ดังนั้นสามารถคำนวนหาต้นทุนการผลิตรวมดังสมการที่ 3-5 โดยที่ $g(T) = 0$

$$f(t)=\min_x\left\{NPV(P_t)+E\left[NPV\left(C_{t,x}(j)\right)\middle|D_{t+1},D_{t+2},...,D_x\right]+g(x)\right\} \quad \text{..... (3-5)}$$

โดยที่ $NPV(P_t)$: มูลค่าสุทธิ ณ ปัจจุบันของราคาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

$E[NPV(C_{t,x}(j))| D_{t+1}, D_{t+2}, \ldots, D_x]$: ค่าคาดหวังของมูลค่าสุทธิ ณ ปัจจุบันของต้นทุนการดำเนินการและการซ่อมบำรุงเมื่อยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบทั้งหมดตั้งแต่ปีที่ $t+1$ ถึง x เท่ากับ $D_{t+1}, D_{t+2}, \ldots, D_x$

3.3 กรณีศึกษา

กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ได้หยิบยกกรณีศึกษาจริงของบริษัท มิตซูบิชิ มอเตอร์ส (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทประกอบรถยนต์ที่ต้องการศึกษาอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่มีมูลค่าเท่ากับ 8,000,000 บาทซึ่งใช้ในการผลิตปีกขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์ โดยมียอดการ

ผลิตของชิ้นส่วนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 180,000 หน่วยต่อปี ซึ่งสามารถขึ้นลงอยู่ระหว่าง 100,000 ถึง 200,000 หน่วยต่อปี โดยที่ $p(D_i^{low})$ = 20% และ $p(D_i^{high})$ = 80%

ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย (K_d) และต้นทุนการนำของเสียมาแก้ไขต่อหน่วย (K_r) เท่ากับ 39.86 บาท ต้นทุนการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันโดยเฉลี่ยเท่ากับ 18 บาทต่อหน่วย โดยที่ต้นทุนการซ่อมบำรุงเชิงแก้ไขโดยเฉลี่ยเท่ากับ 75 บาทต่อหน่วย ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างต้นทุนการซ่อมบำรุงเชิงแก้ไขกับเชิงป้องกันเท่ากับ 4 นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้กำหนดสัดส่วนของเสีย (d) และสัดส่วนของเสียที่สามารถนำมาแก้ไข (r) สำหรับกรณีศึกษานี้ให้เป็นไปตามตารางที่ 3-1 หรือกล่าวคือสัดส่วนของเสียจะเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกโดยที่สัดส่วนของเสียที่สามารถนำมาแก้ไขมีอัตราคงที่ งานวิจัยนี้กำหนดให้ระยะเวลาโครงการของกรณีศึกษานี้เท่ากับ 8 ปีตั้งแต่ปี พ.ศ.2548 ถึงปี พ.ศ.2556 โดยที่อัตราส่วนลดเท่ากับ 13% ต่อปี นอกจากนี้งานวิจัยนี้กำหนดให้แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสามารถใช้ผลิตชิ้นงานได้สูงสุด 1,000,000 หน่วย

ตารางที่ 3-2 แสดงผลลัพธ์การตัดสินใจของแต่ละสถานะในแต่ละช่วงเวลา โดยกำหนดให้ $(i, x-t, j)$ แสดงสถานะของปีที่ i ซึ่งมีอายุการใช้งานเท่ากับ $x-t$ ปีและมียอดการผลิตสะสม j เมื่อวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกตลอด 8 ปีของโครงการเมื่อ $p(D_i^{low})$ = 20% และ $p(D_i^{high})$ = 80% จะได้ผลดังตารางที่ 3-2 ซึ่งพบว่าต้องทำการทดแทนแม่พิมพ์ทั้งหมด 2 ครั้ง ทำให้เกิดต้นทุนตลอดโครงการทั้งหมดเท่ากับ 55,541,559.29 บาท หรือปีละ 11,574,123.35 บาท ซึ่งการทดแทนครั้งแรกและครั้งที่สองจะทำการทดแทน ณ สิ้นปี 2552 (ปีที่ 4) และ 2556 (ปีที่ 8) ตามลำดับ โดยการทดแทนแม่พิมพ์ทั้งสองครั้งมียอดการผลิตสะสมเท่ากับ 716,595 หน่วยและ 741,961 หน่วยตามลำดับ หรือโดยเฉลี่ยเท่ากับ 729,278 หน่วย

ตารางที่ 3-2 การตัดสินใจที่เหมาะสมสุดในแต่ละปีเมื่อระยะเวลาโครงการเท่ากับ 8 ปี

สถานะ (t,i,j)	การตัดสินใจ	สถานะ (t,i,j)	การตัดสินใจ
(2549, 1, 1.81)	เก็บรักษา	(2553, 1, 1.88)	เก็บรักษา
(2550, 2, 3.54)	เก็บรักษา	(2554, 2, 3.70)	เก็บรักษา
(2551, 3, 5.38)	เก็บรักษา	(2555, 3, 5.57)	เก็บรักษา
(2552, 4, 7.17)	**ทดแทน**	**(2556, 4, 7.42)**	**ทดแทน**

ดังนั้น หากคำนวนต้นทุนรวมต่อหน่วยโดยแบ่งต้นทุนรวมต่อหน่วยออกเป็นราคาของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกต่อหน่วย(หน่วยการผลิต) กับต้นทุนการดำเนินการและการซ่อมบำรุงต่อหน่วยดังตารางที่ 3-3 จะพบว่าต้นทุนรวมต่อหน่วยมีค่าต่ำสุดที่ 38.08 บาทเมื่อเริ่มการลงทุน ณ ปี 2548 โดยทำการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกรอบแรก ณ ปี 2552 และทำการทดแทนรอบที่สอง

ณ ปี 2556 ซึ่งหากเปรียบเทียบกับเหตุการณ์จริงที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน คือ เริ่มการลงทุน ณ ปี 2548 โดยทำการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกรอบแรก ณ ปี 2554 และทำการทดแทนรอบที่สอง ณ ปี 2556 จะพบว่าต้นทุนรวมต่อหน่วยจะสูงถึง 44.46 บาทต่อหน่วยหรือเพิ่มขึ้น 16.75% ดังนั้นหากนำกำหนดการพลวัตในการวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกจะทำให้ต้นทุนต่อหน่วยลดลง 14.35%

ตารางที่ 3-3 ต้นทุนรวมต่อหน่วยเมื่อระยะเวลาโครงการเท่ากับ 8 ปี

ปีที่ทดแทน	ยอดการผลิตสะสมเฉลี่ย	ต้นทุนการดำเนินการและการซ่อมบำรุงต่อหน่วย	ราคาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกต่อหน่วย	ต้นทุนรวมต่อหน่วย
0, 1, 4, 8	484,083	28.59	13.76	42.35
0, 2, 5, 8	482,201	27.24	12.86	40.10
0, 3, 6, 8	482,187	27.28	12.02	39.30
0, 4, 8	729,278	29.23	8.85	38.08
0, 5, 8	732,254	31.51	8.43	39.94
0, 6, 8	741,702	36.47	7.98	44.46

นอกจากนี้ เพื่อศึกษารูปแบบการการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในระยะยาว งานวิจัยนี้ จึงกำหนดระยะเวลาโครงการเท่ากับ 30 ปีโดยที่ $p(D_i^{low}) = 20\%$ และ $p(D_i^{high}) = 80\%$ ดังนั้น นหากคิดเป็นต้นทุนรวมต่อหน่วยดังตารางที่ 3-4 จะพบว่าการทำการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกครั้งแรก ณ ปีที่ 4 จะทำให้เกิดต้นทุนต่อหน่วยต่ำสุดที่ 15.38 บาท ซึ่งหากพิจารณาการตัดสินในที่เกิดขึ้นในแต่ละปี จะพบว่าต้องทำการทดแทนแม่พิมพ์ทั้งหมด 8 ครั้งดังตารางที่ 3-5 เพื่อทำให้เกิดต้นทุนต่ำสุดตลอดระยะเวลา 30 ปีเท่ากับ 87,027,431.54 บาทหรือคิดเป็นปีละ 11,610,386.24 บาท

ตารางที่ 3-4 ต้นทุนรวมต่อหน่วยเมื่อระยะเวลาโครงการเท่ากับ 30 ปี

ปีที่เริ่มทดแทน	ยอดการผลิตสะสมเฉลี่ย	ต้นทุนการดำเนินการและการซ่อมบำรุงต่อหน่วย	ราคาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกต่อหน่วย	ต้นทุนรวมต่อหน่วย
1	608,238	12.10	4.87	16.97
2	627,438	11.26	4.58	15.83
3	685,090	11.89	4.03	15.91
4	707,374	11.59	3.79	15.38
5	661,592	13.29	3.70	16.99

ตารางที่ 3-5 การตัดสินใจที่เหมาะสมสุดในแต่ละปีเมื่อระยะเวลาโครงการเท่ากับ 30 ปี

สถานะ (t, i, j)	การตัดสินใจ	สถานะ (t, i, j)	การตัดสินใจ
(2527, 1, 1.81)	เก็บรักษา	(2542, 2, 1.81)	เก็บรักษา
(2528, 2, 3.54)	เก็บรักษา	(2543, 3, 3.67)	เก็บรักษา
(2529, 3, 5.38)	เก็บรักษา	**(2544, 1, 5.57)**	**ทดแทน**
(2530, 4, 7.17)	**ทดแทน**	(2545, 1, 1.85)	เก็บรักษา
(2531, 5, 1.88)	เก็บรักษา	(2546, 2, 3.60)	เก็บรักษา
(2532, 1, 3.70)	เก็บรักษา	(2547, 3, 5.38)	เก็บรักษา
(2533, 2, 5.57)	**ทดแทน**	**(2548, 4, 7.23)**	**ทดแทน**
(2534, 3, 1.78)	เก็บรักษา	(2549, 5, 1.72)	เก็บรักษา
(2535, 1, 3.51)	เก็บรักษา	(2550, 1, 3.54)	เก็บรักษา
(2536, 1, 5.38)	เก็บรักษา	(2551, 2, 5.41)	เก็บรักษา
(2537, 2, 7.23)	**ทดแทน**	**(2552, 3, 7.26)**	**ทดแทน**
(2538, 3, 1.88)	เก็บรักษา	(2553, 4, 1.84)	เก็บรักษา
(2539, 4, 3.73)	เก็บรักษา	(2554, 1, 3.63)	เก็บรักษา
(2540, 1, 5.57)	เก็บรักษา	(2555, 2, 5.48)	เก็บรักษา
(2541, 1, 7.45)	**ทดแทน**	**(2556, 3, 7.32)**	**ทดแทน**

โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การทดแทนครั้งแรก ทำการทดแทน ณ สิ้นปีที่ 2530 โดยมีอายุการใช้แม่พิมพ์และยอดการผลิตสะสมอยู่ที่ 4 ปีและ 716,595 หน่วยตามลำดับ
- การทดแทนครั้งที่สอง ทำการทดแทน ณ สิ้นปีที่ 2533 โดยมีอายุการใช้งานแม่พิมพ์และยอดการผลิตสะสมอยู่ที่ 3 ปีและ 557,215 หน่วยตามลำดับ
- การทดแทนครั้งที่สาม ทำการทดแทน ณ สิ้นปีที่ 2537 โดยมีอายุการใช้งานแม่พิมพ์และยอดการผลิตสะสมอยู่ที่ 4 ปีและ 722,936 หน่วยตามลำดับ
- การทดแทนครั้งที่สี่ ทำการทดแทน ณ สิ้นปีที่ 2541 โดยมีอายุการใช้งานแม่พิมพ์และยอดการผลิตสะสมอยู่ที่ 4 ปีและ 745,132 หน่วยตามลำดับ
- การทดแทนครั้งที่ห้า ทำการทดแทน ณ สิ้นปีที่ 2544 โดยมีอายุการใช้งานแม่พิมพ์และยอดการผลิตสะสมอยู่ที่ 3 ปีและ 557,215 หน่วยตามลำดับ
- การทดแทนครั้งที่หก ทำการทดแทน ณ สิ้นปีที่ 2548 โดยมีอายุการใช้งานแม่พิมพ์และยอดการผลิตสะสมอยู่ที่ 4 ปีและ 722,936 หน่วยตามลำดับ

- การทดแทนครั้งที่เจ็ด ทำการทดแทน ณ สิ้นปีที่2552 โดยมีอายุการใช้งานแม่พิมพ์และยอดการผลิตสะสมอยู่ที่ 4 ปีและ 726,107 หน่วยตามลำดับ
- การทดแทนครั้งที่แปดทำการทดแทน ณ สิ้นปีที่2556 โดยมีอายุการใช้งานแม่พิมพ์และยอดการผลิตสะสมอยู่ที่ 4 ปีและ 732,449 หน่วยตามลำดับ

ดังนั้นในระยะยาวพบว่าควรทำการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเมื่อแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีอายุการใช้งาน 3 หรือ 4 ปี ซึ่งถ้าเฉลี่ยยอดการผลิตสะสมของ 3 ปีจะอยู่ที่ 557,215 หน่วยและถ้าเฉลี่ยยอดการผลิตสะสมของ 4 ปีจะอยู่ที่ 727,692 หน่วย ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 3-4 ปี และในขณะเดียวกันสามารถผลิตชิ้นงานได้ออกมาทั้งหมดโดยเฉลี่ยอยู่ที่707,374 หน่วยต่อการใช้งานหนึ่งแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อให้เกิดต้นทุนต่ำสุด

บทที่ 4
แผนภูมิช่วยในการตัดสินใจ

4.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจการทดแทน

ในบทนี้ เป็นการนำเสนอแผนภูมิช่วยในการตัดสินในการทดแทนโดยวิเคราะห์หาตัวแปรที่ส่งผลต่อยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนอย่างมีนัยสำคัญซึ่งในส่วนแรกจะกำหนดช่วงให้กับตัวแปรต่างๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ซึ่งช่วงที่กำหนดให้กับตัวแปรแต่ละตัวเป็นช่วงที่มักพบได้ในอุตสาหกรรมยานยนต์เท่านั้นและในส่วนที่สองจะวิเคราะห์หาตัวแปรที่ส่งผลต่อยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน ดังนั้นเมื่อสามารถหาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์หรือส่งผลต่อยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนได้แล้วในส่วนสุดท้ายสามารถนำตัวแปรเหล่านั้นมาสร้างแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจได้ นอกจากนั้นบทนี้ยังได้นำเสนอสมการถดถอยเพื่อคำนวนหายอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนสำหรับค่าตัวแปรอื่น

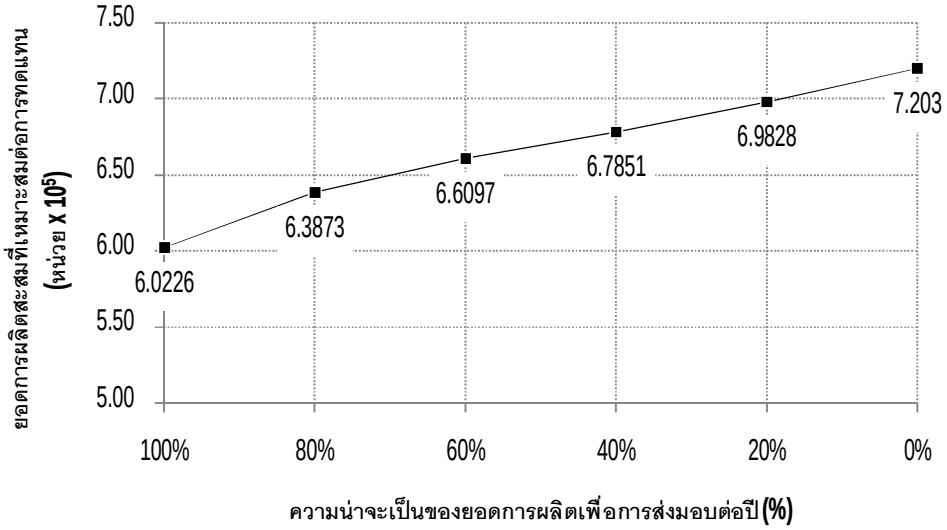
4.1.1 ช่วงของตัวแปรต่างๆ ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์

งานวิจัยนี้กำหนดช่วงของค่าต่างของตัวแปรแต่ละตัว เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้นๆกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนแม่พิมพ์ว่ามีความสัมพันธ์หรือไม่ดังนี้

1. ความน่าจะเป็นของแต่ละยอดการผลิตเพื่อส่งมอบต่อปีสามาถเปลี่ยนแปลงได้ทั้งหมด 6 ความน่าจะเป็น คือ 100%, 80%, 60%, 40%, 20%, และ 0%
2. ราคาของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทั้งหมด 6 ค่า โดยมีค่าตั้งแต่ 2, 4, 6, 8, 10, และ 12 ล้านบาท
3. ต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วย ต้นทุนการแก้ไขต่อหน่วยและต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาต่อหน่วยมีมูลค่าระหว่าง 20, 40, 60, และ 80 บาทต่อหน่วย
4. อัตราส่วนระหว่างต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไขสามารถเปลี่ยนแปลงได้ทั้งหมด 4 ค่า โดยมีค่าตั้งแต่ 2, 4, 6, และ 8
5. ระยะเวลาของโครงการจะวิเคราะห์ทั้งหมด 4 ช่วงเวลา คือ 6, 7, 8, และ 9 ปี

4.1.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปี

จากกรณีศึกษาในบทที่ 3 ได้วิเคราะห์การทดแทนเมื่อโอกาสที่ยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปีอยู่ในระดับต่ำ 20% หรือ $p(D_i^{low})$ = 20% และโอกาสที่ยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปีอยู่ในระดับสูง 80% หรือ $p(D_i^{high})$ = 80% งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปีจาก 100% ถึง 0% ดังรูปที่ 4-1 พบว่าการเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปีส่งผลให้ยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแม่พิมพ์เฉลี่ยเพิ่มขึ้ นจาก 602,263 หน่วยเป็น 720,300 หน่วย (เพิ่มขึ้ น 19.60%)

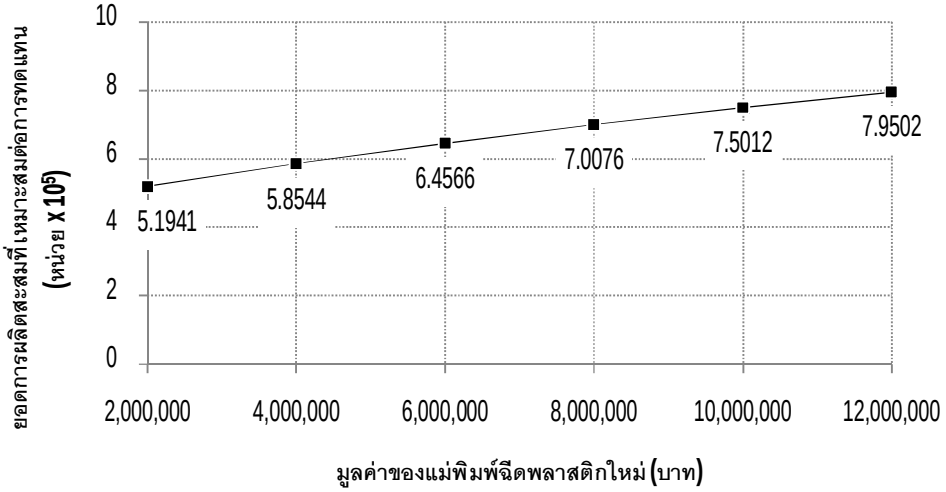


รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปีกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน

4.1.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่

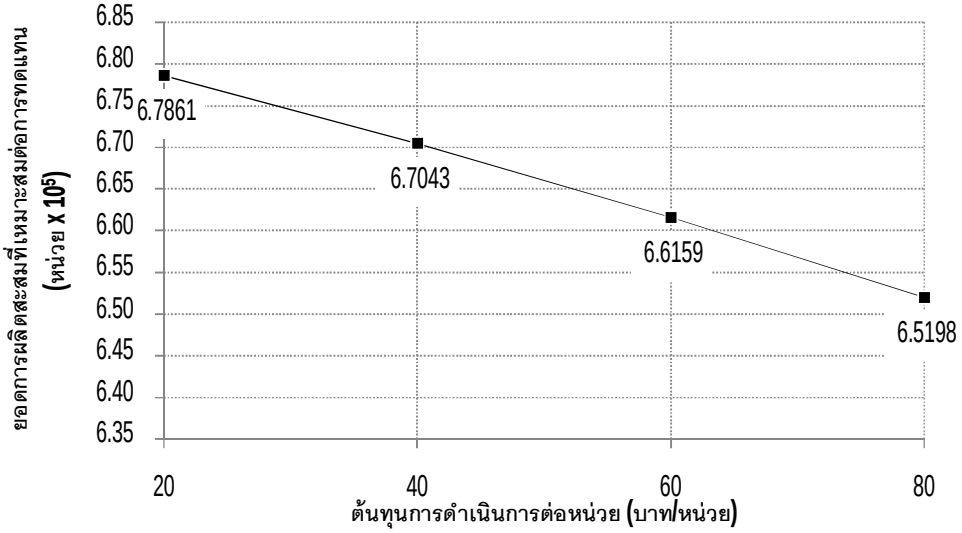
โดยปกติต้นทุนของการลงทุนในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่จะอยู่ระหว่าง 2,000,000 ถึง 12,000,000 บาท งานวิจัยจึงได้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงมูลค่าต้นทุนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่เมื่อมูลค่าต้นทุนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่ตั้ งแต่ 2, 4, 6, 8, 10, และ 12 ล้านบาทขึ้ นไปเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน ดังรูปที่ 4-2 พบว่าการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่จะส่งผลให้ยอดการผลิต

สะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนแม่พิมพ์เฉลี่ยเพิ่มขึ้ นจาก519,410 หน่วยเป็น 795,022 หน่วย (เพิ่มขึ้ น53.06%)



รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่กับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน

4.1.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วย

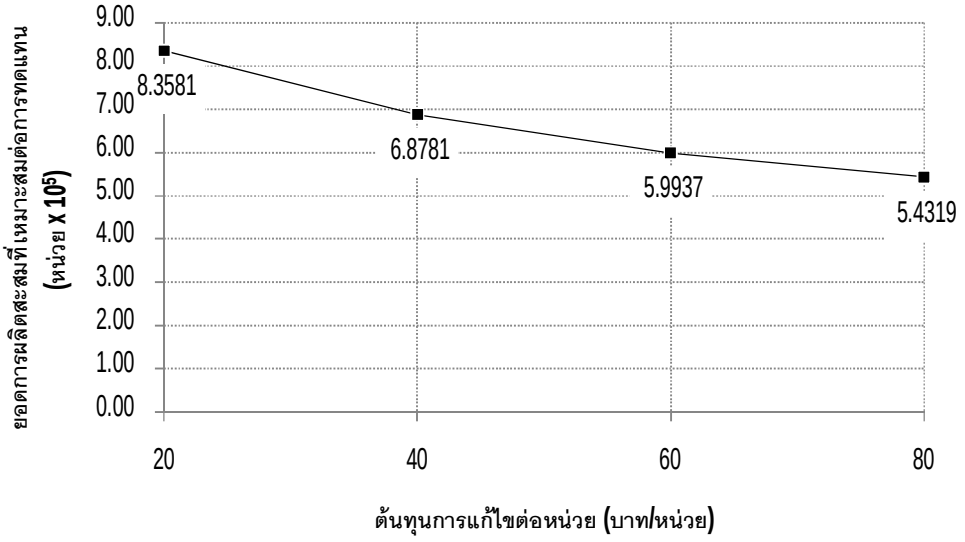


รูปที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วยกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนต่อหน่วย

โดยปกติต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วยอยู่ระหว่าง20 บาท ถึง 80 บาทต่อหน่วย งานวิจัยจึงได้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเมื่อต้นทุนการผลิตตั้ งแต่20, 40, 60, และ 80 บาทต่อหน่วยเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนดังรูปที่4-3 พบว่าการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วยส่งผลให้ยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแม่พิมพ์เฉลี่ยลดลงจาก 678,614 หน่วยเหลือ 651,982 หน่วย (ลดลง 3.92%)

4.1.5 ผลของการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการแก้ไขต่อหน่วย

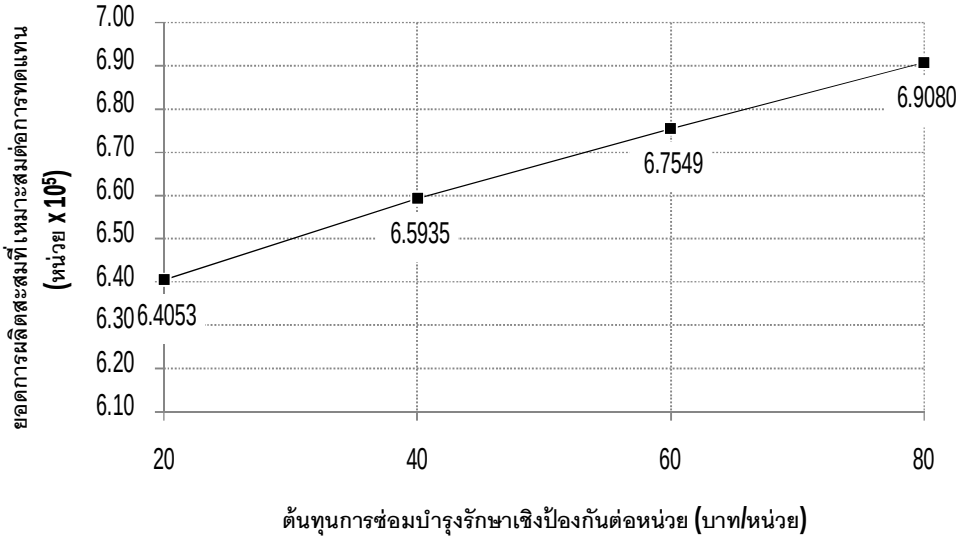
โดยปกติต้นทุนการแก้ไขต่อหน่วยอยู่ระหว่าง 20 บาท ถึง 80 บาทต่อหน่วย งานวิจัยจึงได้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของต้นทุนการแก้ไขต่อหน่วยเมื่อเปลี่ยนแปลงตั้ งแต่20, 40, 60, และ 80 บาทต่อหน่วยเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนดังรูปที่ 4-4 พบว่าการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการแก้ไขต่อหน่วยส่งผลให้ยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแม่พิมพ์เฉลี่ยลดลงจาก 835,812 หน่วยเหลือ 543,186 หน่วย (ลดลง 35.01%)



รูปที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการแก้ไขต่อหน่วยกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน

4.1.6 ผลของการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันต่อหน่วย

โดยปกติต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันต่อหน่วยอยู่ระหว่าง 20 บาท ถึง 80 บาทต่อหน่วย งานวิจัยจึงได้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตั้ งแต่20, 40, 60, และ 80 บาทต่อหน่วยเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนดังรูปที่ 4-5 พบว่าการเปลี่ยนแปลงต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันต่อหน่วยส่งผลให้ยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแม่พิมพ์เฉลี่ยเพิ่มขึ้ นจาก640,528 หน่วยเป็น 690,802 หน่วย (เพิ่มขึ้ น7.85%)

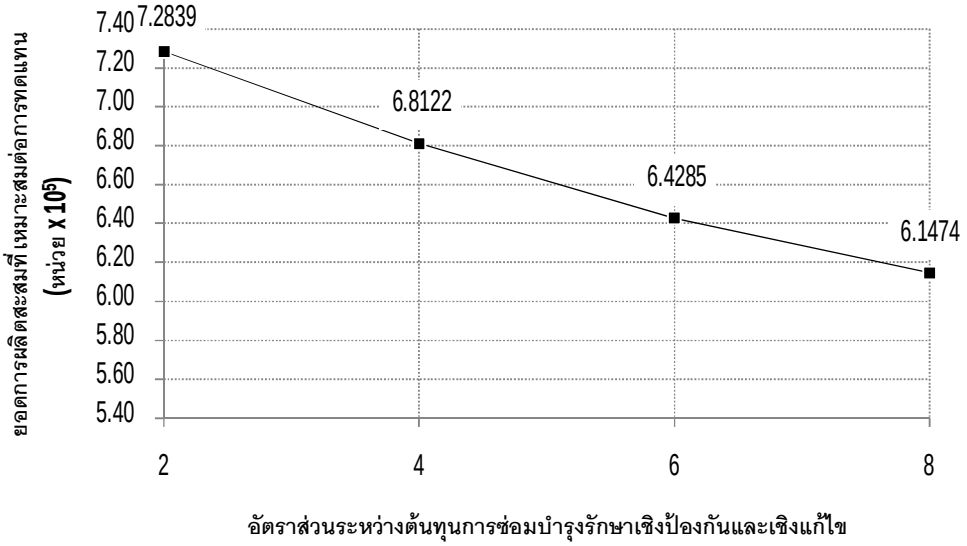


รูปที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน

4.1.7 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไข

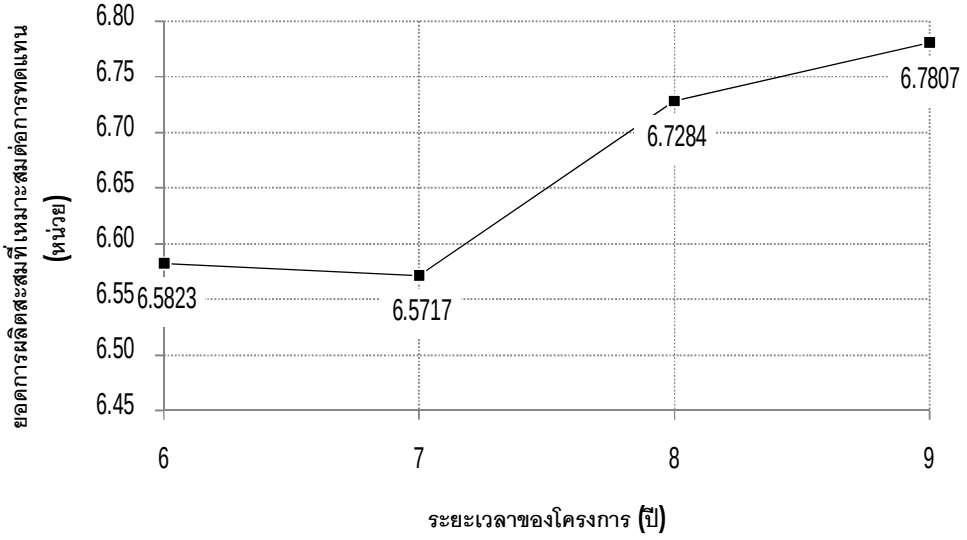
โดยปกติอัตราส่วนระหว่างต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไขอยู่ระหว่าง 2 ถึง 8 ปี งานวิจัยจึงได้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไขเมื่อเปลี่ยนแปลงตั้ งแต่2, 4, 6, และ 8 เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสม ต่อการทดแทนดังรูปที่ 4-6 พบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไขส่งผลให้ยอดการ

ผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแม่พิมพ์เฉลี่ยลดลงจาก 728,391 หน่วยเหลือ 614,737 หน่วย (ลดลง 15.60%)



รูปที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไขกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน

4.1.8 ผลของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาของโครงการ



รูปที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของโครงการกับยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน

โดยปกติระยะเวลาของโครงการอยู่ระหว่าง 6 ถึง 9 ปี งานวิจัยจึงได้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาของโครงการเมื่อเปลี่ยนแปลงตั้ งแต่6, 7, 8, และ 9 ปีเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนดังรูปที่ 4-7 พบว่าการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาของโครงการส่งผลให้ยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแม่พิมพ์เฉลี่ยเพิ่มขึ้ นจาก658,229 หน่วยเป็น 678,066 หน่วย (เพิ่มขึ้ น3.18%) แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าว่าเมื่อระยะเวลาโครงการเท่ากับ7 ปี ยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนเฉลี่ยจะลดลงมาเมื่อเทียบกับระยะเวลาโครงการเท่ากับ6 ปี เนื่องมาจากรูปแบบการทดแทนที่แตกต่างกัน เช่น มักมีรูปแบบการทดแทนทุกๆ 3 – 4 ปีเมื่อระยะเวลาโครงการเท่ากับ 7 ปี ซึ่งในขณะเดียวกันเมื่อระยะเวลาโครงการเท่ากับ 6 ปี มักมีรูปแบบการทดแทนทุกๆ 3 ปีหรือ 6 ปี ทำให้ค่าเฉลี่ยของยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนเมื่อระยะเวลาโครงการเท่ากับ 7 ปีต่ำกว่าระยะเวลาโครงการเท่ากับ 6 ปี

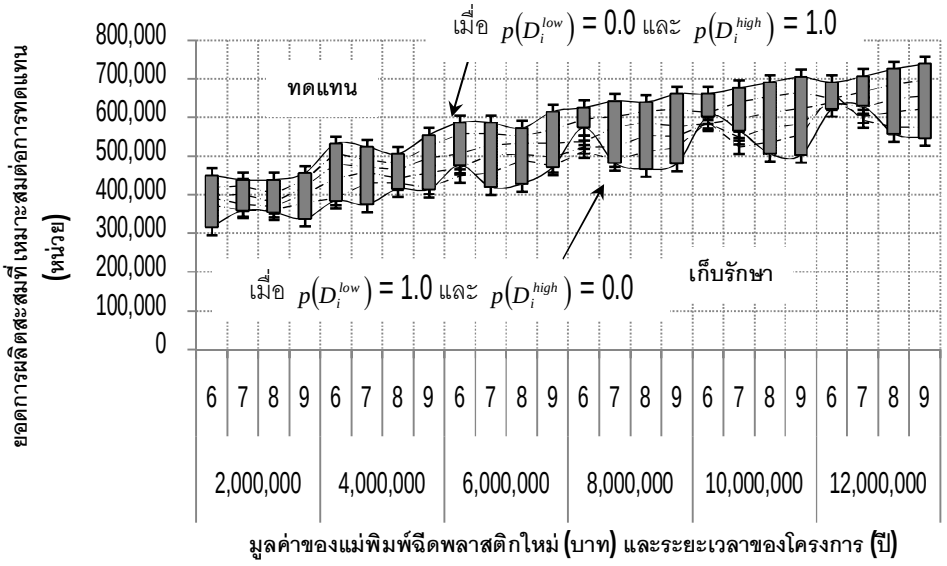
4.2 แผนภูมิช่วยในการตัดสินใจจากการหายอดการผลิตที่เหมาะสมจากกรณีศึกษา

ถึงแม้ว่ามีปัจจัยบางปัจจัย เช่นความน่าจะเป็นของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปี ระยะเวลาของโครงการ ต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วย ต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันต่อหน่วยและอัตราส่วนระหว่างต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไขที่มีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนในระดับต่ำมากและมีปัจจัยบางปัจจัยเช่นมูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่และต้นทุนการแก้ไขต่อหน่วยมีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงยอดการผลิตที่เหมาะสมต่อการทดแทนในระดับปานกลาง แต่อย่างไรก็ตามจากการทดสอบสมมุติฐานความสัมพันธ์ของตัวแปรทุกตัว พบว่าตัวแปรทุกตัวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้งานวิจัยได้วิเคราะห์หาชุดของตัวแปรที่ดีที่สุดที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของยอดการผลิตที่เหมาะสม พบว่าการนำตัวแปรทุกตัวมาใช้มีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนมากที่สุดด้วย r-square เท่ากับ 54.8% ซึ่งมีความสัมพันธ์มากกว่าการนำตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งในการวิเคราะห์ แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าตัวแปรทุกตัวจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสม พบว่าการกำหนดค่าหรือการหาค่าให้กับตัวแปรเช่น ต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วย ต้นทุนการแก้ไขต่อหน่วย ต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันต่อหน่วยและอัตราส่วนระหว่างต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเชิงแก้ไขไม่สามารถกำหนดได้ในความเป็นจริง อาจเกิดความผิดพลาดจากการคำนวนได้ ซึ่ง

ตัวแปรบางตัว เช่น ระยะเวลาของโครงการและมูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่สามารถกำหนดได้ง่ายในความเป็นจริง อย่างไรก็ตามความน่าจะเป็นของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปีสามารถบ่งบอกถึงขอบเขตของการวิเคราะห์ได้ดังงานวิจัยของHartman [8]

ดังนั้น สามารถสร้างแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจได้ดังรูปที่ 4-8 ซึ่งแผนภูมินี้ เป็นการวาดระหว่างระยะเวลาของโครงการ มูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่ ความน่าจะเป็นของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปีและยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนซึ่งสามารถช่วยในการตัดสินใจระหว่างเก็บรักษาหรือทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ดังนั้น เมื่ออายุการใช้งานและยอดการผลิตที่เหมาะสมของแบบจำลองกำหนดการพลวัตถูกกำหนดให้ทดแทนแม่พิมพ์เมื่ออยู่ในสถานะ (P_t, T, j) ดังนั้น กำหนดให้ทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเมื่อแม่พิมพ์มีสถานะ (P_t, T, j') เมื่อ $j' > j$ ในขณะเดียวกันเมื่ออายุการใช้งานและยอดการผลิตที่เหมาะสมของแบบจำลองกำหนดการพลวัตถูกกำหนดให้ทดแทนแม่พิมพ์เมื่ออยู่ในสถานะ (P_t, T, j) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้กำหนดให้เก็บรักษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเมื่อแม่พิมพ์มีสถานะ (P_t, T, j') เมื่อ $j' < j$



รูปที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของโครงการ มูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่ ความน่าจะเป็นของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปีและยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน

ดังนั้น การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเมื่อสถานะ (P_t, T, j) อยู่บนขอบเขตของการทดแทนและเก็บรักษาเมื่อสถานะ (P_t, T, j) อยู่บนขอบเขตของการเก็บรักษาซึ่งจะทำให้เกิด

ต้นทุนการผลิตรวมต่ำที่สุด และเมื่อสถานะอยู่บนเส้นขอบเขต (เส้นแท่งทึบ) เป็นช่วงที่ควรตัดสินใจผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่เพื่อให้ทันใช้งานก่อนที่จะทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเก่า

ตารางที่ 4-1 ยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน

มูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่	ความน่าจะเป็นของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปี						
ภายใต้ระยะเวลาโครงการแต่ละปี	0%	20%	40%	60%	80%	100%	เฉลี่ย
2,000,000	**445,910**	**421,632**	**400,285**	**384,250**	**368,500**	**341,932**	**393,751**
6	450,596	420,124	399,378	390,301	373,444	316,066	391,652
7	438,710	423,771	400,890	375,929	360,801	359,289	393,232
8	438,710	404,564	380,360	369,122	360,477	354,426	384,610
9	455,621	438,067	420,513	401,647	379,279	337,947	405,513
4,000,000	**528,992**	**501,329**	**478,205**	**449,583**	**418,179**	**396,703**	**462,165**
6	531,639	507,650	479,772	442,492	390,949	384,142	456,107
7	523,805	490,145	471,992	457,998	431,146	374,416	458,250
8	505,705	482,365	465,076	441,736	430,498	414,938	456,720
9	554,817	525,156	495,980	456,107	420,124	413,317	477,584
6,000,000	**590,192**	**559,193**	**525,156**	**493,738**	**467,777**	**448,976**	**514,172**
6	586,748	557,248	505,705	469,723	449,300	476,530	507,542
7	586,208	558,221	529,478	503,004	456,107	419,800	508,803
8	572,701	552,386	532,503	505,273	490,145	427,905	513,485
9	615,113	568,919	532,936	496,953	475,558	471,668	526,857
8,000,000	**642,397**	**608,427**	**568,811**	**538,366**	**509,190**	**501,045**	**561,373**
6	625,648	595,176	536,826	524,183	513,485	573,781	561,517
7	642,937	602,470	574,862	524,183	490,145	482,203	552,800
8	639,696	614,627	587,828	553,683	510,892	466,805	562,255
9	661,307	621,434	575,726	551,413	522,238	481,393	568,919
10,000,000	**683,729**	**642,829**	**603,497**	**572,592**	**551,170**	**544,808**	**599,771**
6	661,307	612,682	583,506	585,451	589,341	602,956	605,874
7	676,975	639,912	596,041	548,010	524,183	567,298	592,070
8	691,563	653,527	612,033	574,862	536,826	505,705	595,753
9	705,070	665,197	622,407	582,047	554,331	503,274	605,388
12,000,000	**715,741**	**673,828**	**642,073**	**621,853**	**601,984**	**589,179**	**640,776**
6	690,482	647,692	637,967	646,719	665,197	622,407	651,744
7	707,231	667,142	626,297	603,605	592,259	629,700	637,706
8	726,141	684,647	646,611	614,194	575,726	557,573	634,149
9	739,108	695,831	657,417	622,893	574,754	547,037	639,507
ยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมเฉลี่ยต่อการทดแทน	**601,160**	**567,873**	**536,338**	**510,064**	**486,134**	**470,441**	**528,668**

4.3 แผนภูมิช่วยในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองสมการถดถอย

จากแผนภูมิการตัดสินใจในรูปที่ 4-8 เมื่อราคาของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 2 ล้านบาทถึง 12 ล้านบาทซึ่งในขณะเดียวกันระยะเวลาของโครงการก็เพิ่มขึ้นจาก 6 ถึง 9 ปี พบว่ายอดการการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเฉลี่ยจาก 393,751 หน่วยเป็น 640,776 หน่วยหรือเพิ่มขึ้น 62.74% ดังนั้นงานวิจัยนี้ ได้นำข้อมูลมาหาสมการถดถอยของยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทน (j^*) ภายใต้มูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่ (P_t) และระยะเวลาของโครงการ (T) เพื่อคำนวนหาเส้นแบ่งขอบเขตการทดแทนและการเก็บรักษาดังสมการที่ 4-1

$$j^* = \left[406{,}219 + 0.0242 \cdot P_t + 2{,}535 \cdot T - 132{,}156 \cdot p\left(D_i^k\right)\right] \pm \left(z \cdot 23{,}546\right) \ldots\ldots\ldots (4\text{-}1)$$

โดยที่ z คือค่ามาตรฐานโดยสมมุติให้การกระจายตัวของข้อมูลมีลักษณะเป็นปกติ (Normal distribution) จากผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 4-9 พบว่าสมการถดถอยที่หาได้มีค่า r-square เท่ากับ 94.3% โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 23,545.60 ดังนั้นหากผู้อ่านนำงานวิจัยนี้ ไปต่อยอดเพื่อหายอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนอื่นๆ ที่นอกเหนือจากการที่มีมูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่และระยะเวลาการผลิตตั้งแต่ 2 ถึง 12 ล้านและ 6 ถึง 9 ปี ตามลำดับสามารถนำสมการที่ 4-1 มาใช้ในการคำนวนได้

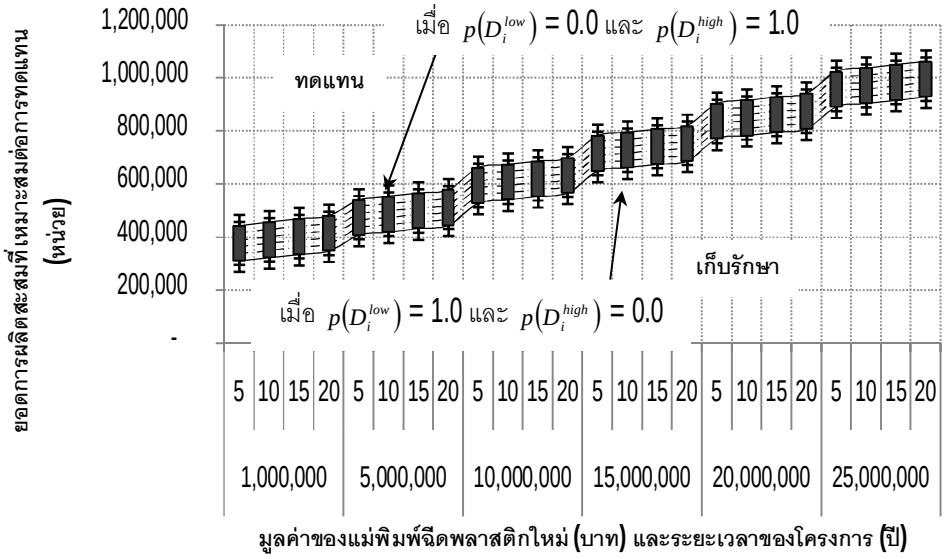
Regression Analysis: Avg Optimal versus Investment C, Time Period, ...

```
The regression equation is
Avg Optimal Production Volume = 406219 + 0.0242 Investment Cost
                              + 2535 Time Period - 132156 Probability


Predictor             Coef    SE Coef       T      P
Constant            406219      14196   28.62  0.000
Investment Cost  0.0242163  0.0005745   42.16  0.000
Time Period           2535       1755    1.44  0.151
Probability         -132156       5745  -23.01  0.000


S = 23545.6   R-Sq = 94.3%   R-Sq(adj) = 94.2%
```

รูปที่ 4-9 ผลที่ได้จากวิเคราะห์สมการถดถอยภายใต้การเปลี่ยนแปลงยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนเมื่อราคาของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ระยะเวลาโครงการและความน่าจะเป็นยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปี

ซึ่งหากนำสมการที่ 4-1 มาวาดกราฟเพื่อพิจารณายอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เมื่อราคาของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีค่าตั้งแต่ 1, 5, 10, 15,

20, และ 25 ล้านบาทและเมื่อระยะเวลาโครงการมีค่าตั้งแต่5, 10, 15, และ 20 ปี ดังนั้นสามารถนำมาแสดงได้ดังรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของโครงการ มูลค่าของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใหม่ ความน่าจะเป็นของยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปีและยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนของสมการที่ 4-1

อย่างไรก็ตามเนื่องจากสมการที่ 4-1 สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนเมื่อราคาของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ระยะเวลาโครงการและความน่าจะเป็นยอดการผลิตเพื่อการส่งมอบต่อปีเปลี่ยนแปลงไปเท่านั้น ซึ่งหากต้องการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนเมื่อตัวแปรอื่นๆ เปลี่ยนแปลงไป เช่น ต้นทุนการดำเนินการต่อหน่วย ต้นทุนการแก้ไขต่อหน่วย ต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษา อัตราส่วนต้นทุน เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอสมการที่4-2 เพื่อคำนวนหาเส้นแบ่งขอบเขตการทดแทนและการเก็บรักษา พบว่าสมการถดถอยที่หาได้มีค่า r-square เท่ากับ 54.8% โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 141,558

$$j^* = \left[787{,}523 + 0.0275 \cdot P_t + 7{,}760 \cdot T - 112{,}339 \cdot p\left(D_i^k\right) - 442 \cdot K_d - 4{,}832 \cdot K_r + 835 \cdot C_p\right] \pm \left(z \cdot 141{,}558\right) \quad \text{..... (4-2)}$$

Regression Analysis: Optimal Production Volume versus Investment, T, ...

```
The regression equation is
Optimal Production Volume = 787523 + 0.0275 Investment + 7760 T
                            - 112339 Probability - 442 kd - 4832 kr + 835 Cp
                            - 18902 Row


Predictor         Coef    SE Coef        T      P
Constant        787523       5652   139.34  0.000
Investment   0.0274994  0.0001949   141.12  0.000
T               7760.2      590.9    13.13  0.000
Probability    -112339       1948   -57.67  0.000
kd              -442.32      32.38   -13.66  0.000
kr             -4831.61      29.75  -162.40  0.000
Cp               834.81      29.75    28.06  0.000
Row            -18901.5      295.4   -63.98  0.000


S = 141558   R-Sq = 54.8%   R-Sq(adj) = 54.8%
```

รูปที่ 4-11 ผลที่ได้จากวิเคราะห์สมการถดถอยภายใต้การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทุกตัว

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพยนธ์นี้ เป็นการวิจัยการวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก งานวิจัยนี้จึงได้เล็งเห็นความสำคัญของวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในอุตสาหกรรมยานยนต์เพื่อวิเคราะห์หายอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมในการทดแทนแม่พิมพ์เพื่อให้เกิดต้นทุนรวมตลอดโครงการต่ำที่สุด โดยนำเสนอการวิเคราะห์การการทดแทนด้วยกำหนดการพลวัตและแผนภูมิช่วยในการตัดสินใจการทดแทนแม่พิมพ์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และตัดสินใจการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกให้มีประสิทธิภาพและมีวิธีการวิเคราะห์ที่เป็นมาตรฐานมากกว่าเดิม ซึ่งถ้าศาสตร์ทางด้านนี้ แพร่หลายไปในหมู่นักบริหารและในองค์กรแล้ว ย่อมช่วยลดต้นทุนหรือความสูญเสียจากการตัดสินใจผิดพลาดที่ยิ่งใหญ่ได้และช่วยให้สามารถแข่งขันกันในธุรกิจของอุตสาหกรรมยานยนต์ในอนาคตกันได้อย่างมาก

งานวิจัยนี้ ได้นำเสนอการวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในอุตสาหกรรมยานยนต์ด้วยกำหนดการพลวัตภายใต้ความต้องการของตลาดที่ไม่แน่นอน โดยต่อยอดแบบจำลองกำหนดการพลวัตของ Hartman [8] และนำแบบจำลองการซ่อมบำรุงของ Huang และคณะ [11] ที่มีพฤติกรรมการกระจายตัวของต้นทุนการซ่อมบำรุงในลักษณะไวย์บูลมาบูรณาการ นอกจากนั้ นได้นำเสนอการประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาจริงเพื่อสามารถนำงานวิจัยนี้ เป็นตัวอย่างในการตัดสินใจการทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกได้สะดวกและเข้าใจได้ไม่ยากสำหรับระดับวิศวกรไปจนถึงระดับผู้ บริหาร

นอกจากนี้ ชิ้ นส่วนแต่ละชิ้ นส่วนของรถยนต์ที่ทำมาจากพลาสติกมักมีแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่มีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งชิ้ นส่วนของรถยนต์ก็มีขนาดที่เล็ก ใหญ่และความซับซ้อนของชิ้ นส่วนที่แตกต่างกันซึ่งส่งผลต่อความแตกต่างของขนาดแม่พิมพ์นี้ส่งผลให้ต้นทุนของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ดังนั้ นในการศึกษาต่อไปจึงควรวิเคราะห์ปัจจัยนี้ ว่าส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของยอดการผลิตสะสมที่เหมาะสมต่อการทดแทนมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ มีสมมุติฐานที่แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกมีเพียงขนาดเดียวและมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน เช่น ผลผลิตและอัตราการผลิตคุณภาพ อัตราการชำรุดเสียหาย ฯลฯ ดังนั้ นการนำปัจจัยเหล่านี้ มาวิเคราะห์การทดแทนแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกในรายละเอียดจึงเป็นงานวิจัยต่อไปได้ในอนาคต

รายการอ้างอิง

[1] Amari, S.V., L. McLaughlin, and H. Pham. Cost-effective condition-based maintenance using markov decision processes. Reliability and Maintainability Symposium, 2006.

[2] Bean, J.C., J.R. Lohmann, and R.L. Smith, A Dynamic Infinite Horizon Replacement Economy Decision Model. The Engineering Economist, 1984.

[3] Bellman, R., Equipment replacement policy. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics 3, 1955.

[4] Blank, L. and A. Tarquin, Engineering Economy. McGraw-Hill, 2005.

[5] Chand, S., T. McClurg, and J. Ward, A model for parallel machine replacement with capacity expansion. European Journal of Operational Research, 2000.

[6] Chitra, T. Life based maintenance policy for minimum cost. Reliability and Maintainability Symposium, 2003. Annual. 2003.

[7] Eti, M.C., S.O.T. Ogaji, and S.D. Probert, Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture. Applied Energy, 2006.

[8] Hartman, J.C., An economic replacement model with probabilistic asset utilization. IIE Transaction, 2001.

[9] Hartman, J.C., Multiple asset replacement analysis under variable utilization and stochastic demand. European Journal of Operational Research, 2004.

[10] Hsu, C.-l., et al., Aircraft replacement scheduling: A dynamic programming approach. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2011.

[11] Huang, J., C.R. Miller, and O.G. Okogbaa. Optimal preventive-replacement intervals for the Weibull life distribution. Solutions and applications. in Reliability and Maintainability Symposium, 1995. Proceedings., Annual. 1995.

[12] Karsak, E.E. and E. Tolga, An overhaul-replacement model for equipment subject to technological change in an inflation-prone economy. International Journal of Production Economics, 1998.

[13] Kobbacy, K.A.H. and S.D. Nicol, Sensitivity analysis of rent replacement models. International Journal of Production Economics, 1994.

[14] Oakford, R.V., J.R. Lohmann, and A. Salazar, A dynamic replacement economy decision model. IIE Transactions, 1984.

[15] Russell, R.S. and B.W. Taylor, Operations Management: Quality and Competitiveness in a Global Environment. 2005.

[16] Senju, S., T. Fushimi, and S. Fujita, Profitability Analysis; Japanese Approach. 1989 Asian Productivity Organization Toyko, 1989.

[17] Wagner, H.M., Principles of operations research : with applications to managerial decisions. New Delhi : Prentice-Hall of India, 1982.

[18] Winston, W.L. and M. Venkataramanan, Introduction to Mathematical Programming. Thomson Learning, 2003.

[19] สุพัฒน์ เซียศิริวัฒนา และคนอื่นๆ, สัมฤทธิผลของงานบำรุงรักษา. ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2549.

[20] วราศักดิ์ มาณพ, การวิจัยดำเนินการ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2553.

[21] สุรพล ราษฎร์นุ้ย., วิศวกรรมการบำรุงรักษา. ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2545.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธนศักดิ์ สุวรรณบูล เกิดเมื่อวันที่21 ตุลาคม พ.ศ. 2529 ประเทศสหรัฐอเมริกา จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย นนทบุรี พ.ศ. 2548 และจบการศึกษาระดับปริญญาปริญญาตรีและปริญญาโทจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2555 ตามลำดับ

ในระหว่างการศึกษาอยู่ระดับปริญญาโท ตำแหน่งวิศวกรของบริษัท มิตซูบิชิ มอเตอร์ส (ประเทศไทย) จำกัด แผนกวิศวกรรมการผลิต ฝ่ายพัฒนาชิ้นส่วนปรับอากาศและอิเล็คทรอนิคส์ ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2555 ได้รับการเผยแพร่วิทยานิพนธ์ผ่านการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2555 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยผู้จัดการโลจิสติกส์ แผนกการตลาดของบริษัท แปซิฟิก ไพพ์ จำกัด (มหาชน)