สำนักวิทยบริการ
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

การพัฒนาการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ

ชำนาญ ทองมาก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

THE DEVELOPMENT OF RUBBER INJECTION MOLD DESIGN USING AN EXPERT SYSTEM

CHAMNARN THONGMARK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2015

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การพัฒนาการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ

ผู้วิจัย นายชำนาญ ทองมาก

คณะกรรมการสอบ

ดร.จรวยพร แสนทวีสุข	ประธานกรรมการ
ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นลิน เพียรทอง	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

....

(ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์)

....

(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2558

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ การให้คำแนะนำตรวจสอบ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์ต่าง ๆ จนเสร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดี โดยได้รับความกรุณาจากอาจารย์ ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และผู้ทรงคุณวุฒิประกอบด้วย อาจารย์ ดร.จรวยพร แสนทวีสุข ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นลิน เพียรทอง และรองศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป ที่ให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากขึ้น และที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษาและความช่วยเหลือและตรวจสอบความถูกต้องในแง่มุมต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการค้นคว้าข้อมูลและการแก้ไขนานาปัญหา ขอบคุณท่านอาจารย์ที่เป็นผู้ให้เวลาและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์หลายอย่างแก่ข้าพเจ้าทั้งความรู้ในตำราและความรู้รอบตัว และความรู้ในหลากหลายแนวความคิดในการเป็นวิศวกรเพื่อประกอบอาชีพในอนาคตข้างหน้า

ขอขอบคุณ ภาควิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และวิศวกรออกแบบแม่พิมพ์ ฝ่ายออกแบบแม่พิมพ์ บริษัทไทยซัมมิท คอมโพเน้นท์ จำกัด ฝ่ายผลิต บริษัทไทยซัมมิท คอนเน็คเตอร์ จำกัด และบริษัทไทยซัมมิท ฮาร์เนส กำจัด มหาชน ที่ให้ความร่วมมือในการทดลองและคำปรึกษาที่มีประโยชน์และความช่วยเหลือตลอดการจัดทำวิจัยและการสรุปผล ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ได้แลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์เพื่อการทำวิจัยและเพื่อน ๆ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการศึกษาครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อถนอม-คุณแม่อุรัตน์ ทองมาก และญาติพี่น้องที่ได้สนับสนุนและคอยให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา

(นายชำนาญ ทองมาก)
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การพัฒนาการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ

โดย : ชำนาญ ทองมาก

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์

ศัพท์สำคัญ : แม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง ระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อการพัฒนาการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์แบบออนไลน์รวมถึงการวิเคราะห์ความสามารถของโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง การออกแบบโปรแกรมต้นแบบเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูล และสัมภาษณ์ผู้ทำงานในด้านอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยางสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์และออกแบบแม่พิมพ์ยางเพื่อหาแนวทางเลือกต้นแบบโปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) จัดทำแบบสอบถามเพื่อประเมินลำดับความสำคัญของความต้องการ และความพึงพอใจลูกค้า จากการสำรวจสามารถแยกผลิตภัณฑ์ยางออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ยางที่มีลักษณะอย่างง่าย ผลิตภัณฑ์ยางที่มีโครงสร้างซับซ้อนปานกลาง และผลิตภัณฑ์ยางที่มีโครงสร้างซับซ้อนสูง โดยได้ทำการทดลองใช้โปรแกรมสำหรับผู้ที่มีประสบการณ์ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง 3-5 ปี จำนวน 30 คน พบว่าสามารถใช้โปรแกรมที่พัฒนาช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์โดยเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการออกแบบลดลงดังนี้ กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางแบบสองแผ่นอย่างง่ายร้อยละ 33.33 กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นโครงสร้างซับซ้อนปานกลางร้อยละ 42.50 และกลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นที่มีโครงสร้างแบบซับซ้อนร้อยละ 47.92 นอกจากนี้ คะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้ใช้โปรแกรมสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง เท่ากับ 4.43 คะแนน จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 88.67 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46

ABSTRACT

TITLE : THE DEVELOPMENT OF RUBBER INJECTION MOLD DESIGN USING AN EXPERT SYSTEM

BY : CHAMNARN THONGMARK

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

CHAIR : JARIYAPORN ONWONG, Ph.D.

KEYWORDS : RUBBER MOLD DESIGN / EXPERT SYSTEM / KNOWLEDGE BASE / QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT

The aim of this research was to develop the rubber injection mold design using an expert system in online including the analysis of the program capability. The program design model began by collecting data and interviewing workers who worked in the automotive rubber parts industries and rubber mold design section to propose the alternative model of rubber injection mold design program by applying the quality function deployment (QFD). The questionnaire was used as a tool to evaluate the important order and satisfaction of consumers. From the survey, it can be divided into three rubber product groups (i.e., simple rubber product, complex moderate rubber product and complex advanced rubber product). The program was tested by 30 skilled workers with on the job experience in rubber injection mold design for 3-5 years. It was found that the developed program can decrease the average time for spending on the mold design, as follows: 33.33 percent of simple two plates rubber injection mold, 42.50 percent of complex moderate three plates rubber injection mold and 47.92 percent of complex advanced structural three plates. Moreover, the average satisfaction score of the rubber injection mold design program from the evaluation of users was 4.43 points from 5 points representing 88.67 percent with standard deviation of 0.46.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	4
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	5
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย	6
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ยางและคุณสมบัติของยาง	7
2.2 การแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางในอุตสาหกรรมยานยนต์ด้วยแม่พิมพ์	13
2.3 การพิจารณาเลือกกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง	23
2.4 การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง	27
2.5 ระบบผู้เชี่ยวชาญ	39
2.6 กลยุทธ์การแก้ไขปัญหา (Search Strategy)	45
2.7 การแสดงความรู้ (Knowledge Representation)	47
2.8 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ	51
2.9 การประยุกต์การใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญ	53
2.10 ขั้นตอนในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ	55

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.11 เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) 57

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 64

2.13 สรุปผล 70

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น 73

3.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ 73

3.3 ศึกษาความต้องการระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ 74

3.4 ออกแบบและพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง 75

3.5 ทดสอบการทำงานโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง 78

3.6 วิเคราะห์ผลและประสิทธิภาพโปรแกรมต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง 79

3.7 สรุปผลการวิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์ 79

4 ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาความต้องการระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ 81

4.2 ผลการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ 113

4.3 ผลลัพธ์จากการประมวลผลการทำงานในการแก้ปัญหาการออกแบบ 120

4.4 การประเมินความถูกต้องของเนื้อหาฐานข้อมูลการออกแบบ 132

4.5 ผลความพึงพอใจในการใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง 133

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 137

5.2 ข้อเสนอแนะจากการทำวิจัย 138

เอกสารอ้างอิง **141**

ภาคผนวก

ก แบบประเมินเนื้อหาความรู้ 147

ข แบบประเมินความพึงพอใจโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง 152

ค แบบประเมินเนื้อหาของโปรแกรมเชิงพาณิชย์เกี่ยวกับฐานความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง 156

ง แบบประเมินความพึงพอใจโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่ช่วยสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง 161

จ คู่มือการใช้งานระบบโปรแกรมในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง 165

ประวัติผู้วิจัย **182**

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่		หน้า
1.1	ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติในประเทศแยกตามประเภทผลิตภัณฑ์	2
1.2	ขั้นตอนการดำเนินงานและระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย	6
2.1	ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ	10
2.2	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการขึ้นรูปในอุตสาหกรรมยานยนต์	11
2.3	ผลิตภัณฑ์จากยางสังเคราะห์	12
2.4	เปรียบเทียบจุดเด่นและจุดด้อยของกระบวนการฉีดขึ้นรูปยาง	17
2.5	เปรียบเทียบจุดเด่นและจุดด้อยของกระบวนการกึ่งฉีดขึ้นรูปยาง	20
2.6	เปรียบเทียบจุดเด่นและจุดด้อยของกระบวนการอัดขึ้นรูปยาง	23
2.7	เปรียบเทียบการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางของแม่พิมพ์แต่ละประเภท	26
2.8	เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบผู้เชี่ยวชาญ	55
2.9	เปรียบเทียบข้อมูลของโปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์เชิงพาณิชย์	71
4.1	การเปลี่ยนแปลงเสียงจากลูกค้าให้อยู่ในรูปความต้องการที่สอดคล้องกัน	82
4.2	เสียงความต้องการของลูกค้า โดยแยกจัดเรียงถ้อยคำใหม่	83
4.3	คุณลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ แม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง หลังการพัฒนาที่สนองความต้องการลูกค้า	88
4.4	สรุปค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจ โปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง (โปรแกรมก่อนการพัฒนา)	91
4.5	สรุปค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจ จากการเปรียบเทียบโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางและโปรแกรมออกแบบ แม่พิมพ์พลาสติกเชิงพาณิชย์ จากแบบสอบถาม	92
4.6	ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของข้อกำหนดทางเทคนิค	95
4.7	เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์	96
4.8	การเรียงน้ำหนักลำดับความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิค จากมากไปหาน้อย	100
4.9	ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางด้านเทคนิคเรียงลำดับจากมากไปน้อย	102
4.10	เมตริกซ์การออกแบบผลิตภัณฑ์	103
4.11	ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่		หน้า
4.12	การเรียงน้ำหนักความสำคัญ โดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อย	104
4.13	ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดการออกแบบผลิตภัณฑ์	105
4.14	เมตริกซ์กระบวนการ	106
4.15	ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย	107
4.16	การเรียงน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบข้อกำหนดทางด้านกระบวนการเรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อย	107
4.17	ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางด้านกระบวนการ	108
4.18	กระบวนการปฏิบัติงานที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของกระบวนการ	109
4.19	แผนการควบคุมการดำเนินงานกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์	110
4.20	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ ของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ก่อนการพัฒนาและหลังการพัฒนา	111
4.21	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ ของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง โปรแกรมออกแบบเชิงพาณิชย์และโปรแกรมช่วยออกแบบหลังการพัฒนา	112
4.22	ความสัมพันธ์ของการออกแบบชิ้นส่วนแม่พิมพ์	120
4.23	ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฉีดยางในระบบโปรแกรมช่วยออกแบบ	127
4.24	เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดผลิตภัณฑ์ยางแต่ละประเภท	131
4.25	ระดับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยต่อผู้ใช้งานโปรแกรมสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	133
4.26	ระดับเปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจต่อผู้ใช้งานโปรแกรมสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	134
4.27	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความพึงพอใจต่อผู้ใช้งานโปรแกรมสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	135

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางโดยแม่พิมพ์แบบฉีดชนิดสกรู	14
2.2	กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยแม่พิมพ์ฉีด	14
2.3	ตัวอย่างแม่พิมพ์ฉีดแบบแนวตั้งชนิดสองแผ่น	15
2.4	ตัวอย่างแม่พิมพ์ฉีดแบบแนวตั้งชนิดสามแผ่น	15
2.5	ตัวอย่างแม่พิมพ์ฉีดแบบแนวนอนชนิดสองแผ่น	16
2.6	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูป	17
2.7	ตัวอย่างแม่พิมพ์กึ่งฉีดแบบแนวตั้งชนิดสองแผ่น	18
2.8	ตัวอย่างแม่พิมพ์กึ่งฉีดแบบแนวตั้งชนิดสามแผ่น	19
2.9	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการกึ่งฉีดขึ้นรูป	20
2.10	การวางพรีฟอร์มลงบนตัวเบ้าของแม่พิมพ์อัด	21
2.11	ตัวอย่างแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปแบบแนวตั้งชนิดสองแผ่น	21
2.12	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป	22
2.13	ช่องทางไหลของแม่พิมพ์ฉีดยาง	32
2.14	หน้าตัดช่องทางไหลแบบเย็น	33
2.15	ชนิดของช่องทางไหลและช่องไหลเข้าในรูปแบบต่าง ๆ	34
2.16	ความสัมพันธ์ของการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	38
2.17	โครงสร้างพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญ	41
2.18	กระบวนการของการแสวงหาความรู้	43
2.19	โครงสร้างกลยุทธ์การแก้ปัญหาแนวทางลึก	45
2.20	โครงสร้างกลยุทธ์การแก้ปัญหาแนวทางกว้าง	46
2.21	องค์ประกอบการหาเหตุผลของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้กฎเกณฑ์	50
2.22	ระดับต่าง ๆ ของระบบซอฟต์แวร์ในระบบผู้เชี่ยวชาญ	51
2.23	องค์ประกอบของเปลือกระบบผู้เชี่ยวชาญ	52
2.24	โครงสร้างกลยุทธ์ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ	53
2.25	รูปแบบเทคนิค QFD แบบ 4 เฟส	58
2.26	เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพกับบ้านคุณภาพ	59
2.27	เมตริกซ์การวางแผน	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2.28	ความสัมพันธ์ตัวอย่างระหว่างตัวแทนลักษณะเฉพาะต่าง ๆ	61
2.29	ความหมายของสัญลักษณ์ด้านความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค	62
3.1	แผนการดำเนินงานวิจัย	72
3.2	โครงสร้างการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางแบบออนไลน์	76
3.3	โครงสร้างแต่ละโมดูลของระบบในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง	77
4.1	แผนผังเชื่อมโยงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	84
4.2	แผนผังต้นไม้ ผลิตภัณฑ์ต้นแบบโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	85
4.3	ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์สำหรับพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ	86
4.4	โปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่ช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก	86
4.5	ต้นแบบโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางที่พัฒนาให้เป็นแบบออนไลน์	87
4.6	กระบวนการทำงานของระบบลงทะเบียนเข้าใช้งานของสมาชิก	114
4.7	หน้าจอการลงทะเบียนของระบบผู้ใช้งาน	115
4.8	กระบวนการทำงานของระบบโปรแกรมการเข้าใช้งานและออกจากระบบ	116
4.9	หน้าจอระบบการบันทึกเข้า	117
4.10	หน้าจอระบบการบันทึกออก	117
4.11	หน้าจอแก้ไขข้อมูลแม่พิมพ์ และลงทะเบียนข้อมูลของระบบอัตโนมัติ	118
4.12	หน้าจอหลักในการแสดงความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนแม่พิมพ์	119
4.13	หน้าจอรองในการแสดงความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนแม่พิมพ์	119
4.14	กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาในการช่วยสนับสนุนการออกแบบ	122
4.15	หน้าจอหลักสำหรับวิเคราะห์ปัญหาในการออกแบบ	123
4.16	หน้าจอสำหรับรายงานผลการวิเคราะห์	123
4.17	กระบวนการทำงานของระบบออกแบบชิ้นส่วนแม่พิมพ์	124
4.18	กระบวนการทำงานของโปรแกรมสำหรับการเลือกแม่พิมพ์สำเร็จรูป	125
4.19	กระบวนการทำงานของโปรแกรมในโมดูลชิ้นส่วนสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์	126
4.20	ผลลัพธ์ของการออกแบบแม่พิมพ์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาแบบออนไลน์	128
4.21	ผลลัพธ์ของส่วนการทำแบบของชิ้นงานฉีดยาง	128

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.22	ผลลัพธ์ของส่วนฐานข้อมูลของผลิตภัณฑ์ยาง	129
4.23	ส่วนโปรแกรมด้านการคำนวณการออกแบบชิ้นงานสำหรับชิ้นส่วนยาง	129
4.24	ผลลัพธ์ฐานข้อมูลความรู้ของคุณสมบัติของยางในการออกแบบแม่พิมพ์	130
4.25	ผลลัพธ์ฐานข้อมูลระบบน้ำหล่อเย็น	130

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากภูมิศาสตร์ของไทยที่เหมาะสมกับการปลูกยาง รวมทั้งการสนับสนุนส่งเสริมจากภาครัฐให้มีการปลูกและผลิตยาง ทำให้ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลกและปัจจุบันการทำสวนยางพาราได้มีแนวโน้มที่จะพัฒนาให้เพาะปลูกได้ในทุกภาคของประเทศ ทำให้ยางพารากลายเป็นพืชยุทธศาสตร์หลักของประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2555 มีปริมาณการผลิต 3.77 ล้านเมตริกตัน (สถาบันวิจัยยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555) การส่งออกยางพาราของประเทศไทยมีการส่งออกทั้งในรูปของวัตถุดิบ เช่น น้ำยางข้น ยางแผ่นดิบ ยางแท่ง เป็นต้น และการแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่า เช่น ถุงมือ ล้อยาง รองเท้า เป็นต้น ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ยางได้เข้ามามีบทบาทกับการดำรงชีวิตของมนุษย์มาก ซึ่งปริมาณการใช้ยางธรรมชาติในประเทศแยกตามประเภทผลิตภัณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์ยางต่าง ๆ ที่ผลิตจากยางแห้งเหล่านี้ เช่น ยางชิ้นส่วนยานยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์การกีฬา เป็นต้น ซึ่งมีกระบวนการขึ้นรูปที่แตกต่างกันออกไป เช่น กระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง กระบวนการกึ่งฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางและกระบวนการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เป็นต้น โดยกระบวนการแบบฉีดขึ้นรูปนั้นเหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนสูงและต้องการปริมาณอัตราการผลิตจำนานมากและประสิทธิภาพการผลิตที่สม่ำเสมอ แต่ราคาของการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางจะสูงและมีความซับซ้อนในการออกแบบแม่พิมพ์ ในขณะที่กระบวนการกึ่งฉีดนั้นจะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนปานกลางและกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ไม่ได้ซับซ้อนเท่าที่ควร ส่วนกระบวนการอัดขึ้นรูปยางเป็นแม่พิมพ์ที่เหมาะสำหรับใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อนและการออกแบบแม่พิมพ์ทำได้ง่ายกว่าแม่พิมพ์ชนิดอื่นแต่ไม่เหมาะสมที่จะผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อนและปริมาณการผลิตชิ้นงานจำนวนมาก เนื่องจากประสิทธิภาพการผลิตไม่สม่ำเสมอ แต่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีราคาถูกกว่ากระบวนการขึ้นรูปแบบอื่น

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติในประเทศแยกตามประเภทผลิตภัณฑ์ (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555)

ประเภทผลิตภัณฑ์ (หน่วย : เมตริกตัน)	**ปี 2552**	**ปี 2553**	**ปี 2554**	**ปี 2555**
ยางยานพาหนะ	233,257	290,982	292,963	317,654
ยางรถจักรยานยนต์	22,787	24,262	20,858	21,958
หล่อดอก	2,153	2,452	-	1,057
ยางรัดของ	23,806	13,101	10,954	10,032
อะไหล่รถยนต์	1,556	1,704	1,016	1,247
พื้นรองเท้า	1,422	1,289	1,403	1,018
รองเท้า	5,419	4,950	3,765	3,032
ท่อยาง	529	636	569	739
สายพาน	2,457	2,763	1,557	1,513
ยางยืด	50,107	46,064	66,054	67,078
ถุงมือยาง	42,635	49,663	67,413	66,381
ถุงยางอนามัย	1,396	8,563	9,353	5,285
ผลิตภัณฑ์ฟองน้ำ	371	326	260	262
กาว	1,659	2,036	1,961	2,274
เครื่องมือการแพทย์	1,706	1,185	650	684
อื่น ๆ	8,003	8,661	7,969	4,838
รวม	**399,415**	**458,637**	**486,745**	**505,052**

จากความต้องการในการใช้งานผลิตภัณฑ์ยางที่เพิ่มขึ้นนี้ ทั้งในรูปของการทดแทนวัสดุอื่น ๆ ที่ใช้ในปัจจุบันหรือจะเป็นในรูปของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยเฉพาะชิ้นส่วนยางในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้มีสัดส่วนในการผลิตชิ้นส่วนยางเพื่อเป็นอะไหล่ชิ้นส่วนรถยนต์เพิ่มขึ้น 1,247 เมตริกตันต่อปี (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555) เนื่องจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปยางมีกรรมวิธีการผลิตที่มีความยุ่งยากและมีความซับซ้อนในกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์และส่วนผสมของยาง ซึ่งวิธีการผลิตภัณฑ์ยาง

ในอุตสาหกรรมยานยนต์นี้จะมีการใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักผสมร่วมกับสารเคมียางหลายชนิด จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่าง ๆ ให้มีลักษณะและขนาดชิ้นงานตามแม่พิมพ์ ทำให้อุตสาหกรรมยางทุกประเภทจึงจำเป็นต้องมีการใช้แม่พิมพ์ยาง ส่งผลต่อความต้องการแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางมีเพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากวิทยาการและเทคโนโลยีทางด้านการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางยังมีการศึกษาอยู่ในวงจำกัด (ชุกรี แดสา, 2550) กระบวนการผลิตแม่พิมพ์ยางโดยทั่วไปเริ่มจาก ออกแบบผลิตภัณฑ์ คำนวนจำนวนเบ้าฉีด (Cavity) ชนิดของการออกแบบแม่พิมพ์ ตำแหน่งของเบ้าฉีด (Cavity) ระบบทางเข้าของชิ้นงาน ระบบหล่อเย็นหรือการให้ความร้อน ระบบปลดชิ้นงาน ระบบระบายอากาศ วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ ประมาณขนาดการหดตัว และแบบแม่พิมพ์ (2D Drawing) ซึ่งปัญหาของการผลิตแม่พิมพ์ฉีดยาง คือ ไม่มีชิ้นส่วนมาตรฐานการออกแบบแม่พิมพ์หรือเครื่องมือช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ยางและไม่มีโปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ในการฉีดยางโดยเฉพาะ ทำให้ขั้นตอนในกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ยังไม่เป็นมาตรฐานและชัดเจน เนื่องจากการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยางที่มีความซับซ้อนมากกว่าแม่พิมพ์ขึ้นรูปยางชนิดอื่นยิ่งก่อให้เกิดความสูญเสียเวลาและค่าใช้จ่ายที่ต้องทำการทดสอบ การออกแบบที่ผิดพลาดและการซ่อมแซมแม่พิมพ์จากความผิดพลาดที่เกิดจากการข้อมูลที่ไม่มีประสิทธิภาพ

จากเหตุผลดังกล่าวนี้ แนวทางแก้ไขได้ทำการพัฒนาการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้กระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางเป็นไปอย่างรวดเร็ว ชิ้นงานที่ได้มีลักษณะตรงตามต้องการ มีค่าใช้จ่ายต่ำ และมีความผิดพลาดน้อยที่สุด รวมทั้งเพื่อเป็นการตอบสนองต่อนโยบายของรัฐบาลในการสนับสนุนส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางมากขึ้น จึงเกิดแนวความคิดในการพัฒนากระบวนการทำแม่พิมพ์โดยรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นจากแหล่งต่าง ๆ อาทิเช่น อินเทอร์เน็ต หนังสือคู่มือการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ข้อมูลจากโรงงานอุตสาหกรรม ความต้องการและเงื่อนไขในอุตสาหกรรม เพื่อนำมาสังเคราะห์เป็นกระบวนการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางที่เป็นมาตรฐานและสามารถใช้ปฏิบัติได้จริง ลดเวลาและต้นทุนในการผลิต ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมีโปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ประเภทแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก อย่างเช่น I-MOLD ที่ใช้ร่วมกับโปรแกรม Solid Works และโปรแกรม Mold Wizard ที่ใช้กับโปรแกรม NX- Unigraphic เป็นต้น ซึ่งโปรแกรมเหล่านี้จะช่วยให้การออกแบบแม่พิมพ์เป็นไปอย่างสะดวกและรวดเร็วขึ้น โดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีความรู้ความชำนาญในการออกแบบแม่พิมพ์มากนัก

ในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางนั้นไม่ว่าจะด้วยวิธีการฉีด กึ่งฉีดหรือการอัดขึ้นรูปนั้นยังไม่มีระบบผู้เชี่ยวชาญหรือโปรแกรมตัวใดที่ช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ จึงยังต้องอาศัย

พนักงานที่มีประสบการณ์และความรู้ทางด้านออกแบบแม่พิมพ์ประกอบกับทักษะความชำนาญในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางด้านการออกแบบ จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นหากได้มีการรวบรวมองค์ความรู้ที่ผ่านการสังเคราะห์และมาจัดทำเป็นฐานข้อมูลความรู้และระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางรวมทั้งสามารถเชื่อมต่อชิ้นส่วนมาตรฐานที่ออกแบบไว้ในโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญกับโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบ ทางผู้วิจัยคาดว่าจะช่วยให้การพัฒนาออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางมีความเป็นมาตรฐานสะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น มีผลต่อกระบวนการผลิตและระบบเศรษฐศาสตร์ซึ่งช่วยให้เกิดการแปรรูปผลิตภัณฑ์และสร้างมูลค่ายางพาราให้เกิดมูลค่าเพิ่ม ทดแทนการส่งออกยางในรูปวัตถุดิบไปยังต่างประเทศ ทั้งนี้เนื่องจากแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางเป็นแม่พิมพ์ที่มีความต้องการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ เนื่องจากปริมาณการผลิตชิ้นส่วนยางที่เพิ่มมากขึ้นและต้นทุนการผลิตที่มากขึ้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกกระบวนพัฒนาการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นขอบเขตในการวิจัย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ (Rubber injection- mold) สำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

1.2.2 เพื่อพัฒนาโปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยวิธีการฉีด (Rubber injection mold) ด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

โปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์สามารถลดเวลาในการออกแบบ เพิ่มความสามารถในด้านการแข่งขัน การทำกำไร และลดต้นทุนการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาโปรแกรมต้นแบบในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางเฉพาะชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมยานยนต์ด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญแบบออนไลน์

1.4.2 พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญบนภาษาโปรแกรม PHP Script Language และระบบฐานข้อมูลการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดด้วย My SQL

1.4.3 พัฒนาโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญต้นแบบเพื่อช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยางชนิด 2 แผ่น และชนิด 3 แผ่น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 โปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

1.5.2 ช่วยลดเวลาในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางและความยุ่งยากในการออกแบบแม่พิมพ์ โดยโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นได้รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการออกแบบ

1.5.3 เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการศึกษาและเรียนรู้กระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดให้กับผู้ที่เริ่มต้นออกแบบแม่พิมพ์ฉีดสำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางได้

1.5.4 พัฒนาอุตสาหกรรมการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดสำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง โดยใช้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นดังกล่าวเป็นเครื่องมือให้กับองค์กร แทนการอาศัยความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ของนักออกแบบแม่พิมพ์เพียงอย่างเดียว

1.5.5 เสริมสร้างศักยภาพการวิจัยอันเป็นแนวทางสำคัญของการพัฒนาประเทศ

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

แม่พิมพ์ฉีดยาง หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ในการแปรรูปยางโดยผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยการอัดผ่านสกรูฉีดเข้าไปในเบ้าพิมพ์โดยใช้เครื่องฉีด

เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) หมายถึง เทคนิคที่ใช้ในการจัดโครงสร้างเพื่อจัดการวางแผนพัฒนาผลิตภัณฑ์ การออกแบบ การวางแผนกระบวนการ และการวางแผนปฏิบัติการผลิต โดยตอบสนองความต้องการของลูกค้า

ยางธรรมชาติ (Natural rubber) หมายถึง สารประกอบทางเคมี cis- 1, 4 polyisoprene วัสดุพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนและคาร์บอน ยางเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง ยางที่มีต้นกำเนิดจากธรรมชาติจะมาจากของเหลวของพืชบางชนิด

ยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber) หมายถึง เป็นยางที่เกิดจากการสังเคราะห์ ซึ่งยางสังเคราะห์จะมีโมเลกุลไม่อิ่มตัว (มีพันธะคู่) และสังเคราะห์จากมอนอเมอร์เพียงชนิดเดียวที่สำคัญเชิงพาณิชย์ เช่น พอลิไฮโซพรีน (IIR) คลอโรพรีน (CR) เป็นต้น

1.7 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานวิจัย

ระยะเวลาดำเนินการ ตั้งแต่ มิถุนายน 2553 ถึง ธันวาคม 2557 โดยมีสถานที่ปฏิบัติงานและการวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ตารางที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงานและระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

ลำดับที่	แผนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน									
		ปีที่ 1		ปีที่ 2		ปีที่ 3		ปีที่ 4		ปีที่ 5	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1.	ศึกษาข้อมูลทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแม่พิมพ์ฉีดยาง	◀	━	━	▶						
2.	ศึกษาข้อมูลทฤษฎีที่เกี่ยวกับเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ และระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	◀	━	━	━	▶					
3.	ออกแบบโปรแกรมต้นแบบช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ			◀	━	━	━	▶			
4.	ออกแบบระบบฐานข้อมูลและพัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง			◀	━	━	━	━	━	▶	
5.	ทดสอบการทำงานโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง					◀	━	━	━	▶	
6.	วิเคราะห์ผลด้านประสิทธิภาพของโปรแกรมต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดผลิตภัณฑ์ยาง							◀	━	▶	
7.	สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์								◀	━	▶

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางและคุณสมบัติของยาง

2.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)

ยางเป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีสมบัติเด่นหลายประการที่วัสดุอื่นไม่มี โดยเฉพาะสมบัติความยืดหยุ่น (Elasticity) คือ เมื่อได้รับแรงดึงยางจะสามารถยืดตัวได้หลายเท่าของความยาวเดิมและเมื่อปล่อยแรงออกยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและความยาวเดิม นอกจากนี้ยางยังมีสมบัติเด่นอื่น ๆ อีกหลายประการ เช่น มีความเหนียว (Strickly) และความทนทานต่อการขัดสี (Abrasion resistance) สูงสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำและอากาศได้ มีความสามารถในการยึดติดกับวัสดุอื่นได้ดี เช่นโลหะและสิ่งทอ ทำให้สามารถนำยางไปใช้ในงานวิศวกรรมได้หลากหลาย

น้ำยางสดจากต้นยางพาราจะคงสภาพความเป็นน้ำยางอยู่ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมง เนื่องจากแบคทีเรียในอากาศกินสารอาหารที่อยู่ในน้ำยางจึงมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเกิดการย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน เกิดการบูดเน่าและกลิ่นเหม็น น้ำยางจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเพราะอนุภาคของยางเริ่มจับตัวจนน้ำยางสูญเสียสภาพ โดยน้ำยางแยกเป็นส่วน ๆ เพื่อป้องกันปัญหาจึงต้องทำการเติมสารป้องกันการจับตัวลงไปในน้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยางให้คงสภาพเป็นของเหลว ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟด์ และฟอร์มาลดีไฮด์ (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2547 ; พงษ์ธร แซ่อุย, 2547)

ยางพาราเป็นพอลิเมอร์มีโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนแต่ไม่ทนต่อน้ำมันเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย ยางพาราคงสภาพยืดหยุ่นได้ดีเหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุลของยางพาราจึงสามารถตกผลึกได้เมื่อยืดทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดี มีความทนทานต่อแรงดึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดและความต้านทานต่อการขัดถู (เสาวณีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2547)

ยางพาราถูกนำไปใช้งานทั้งรูปแบบน้ำยางและรูปแบบยางแห้ง โดยในรูปแบบน้ำยางจะถูกนำมาแยกน้ำออกเพื่อเพิ่มความเข้มข้นเนื้อยางก่อนวิธีการที่นิยมใช้ คือ การใช้เครื่องเซนตริฟิวส์ส่วนการเตรียมยางแห้งทำได้ด้วยวิธีการใส่กรดอะซิติกเจือจางลงในน้ำยางสดเพื่อให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนแยกชั้นระหว่างเนื้อยางและน้ำถูกกำจัดออกด้วยการรีดด้วยลูกกลิ้งและทำให้แห้งด้วยการรมควันคุณภาพของยางแห้งขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของยาง ยางพารามีการกระจายตัวของ

น้ำหนักโมเลกุลกว้างมากทำให้ยางแข็งเกินไปไม่เหมาะกับการแปรรูปโดยตรงจะต้องบดยางด้วยเครื่องบดยางแบบสองลูกกลิ้งก่อนใช้ในกระบวนการผลิต

2.1.2 ยางผสม (Compound Rubber)

ยางพารามีคุณสมบัติเด่นด้านความเหนียวและการยึดติดกันดี คุณสมบัติด้านการขึ้นรูปดี ความร้อนสะสมในขณะการใช้งานต่ำแต่มีปัญหาในคุณสมบัติด้านความทนทานต่อการขัดถู คุณสมบัติความทนทานต่อน้ำมัน คุณสมบัติความทนทานต่อความร้อนและโอโซนจึงต้องมีการผสมยางพารากับสารตัวเติมและสารเคมี เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของยางให้ตรงกับความต้องการมากขึ้น หรือเพื่อปรับคุณสมบัติการแปรรูปให้สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้นหรือเพื่อลดต้นทุนการผลิต (เสาวณีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2547 ; พงษ์ธร แซ่อุย, 2547)

การผสมยาง คือ การทำให้ส่วนประกอบทั้งสารตัวเติมและสารเคมีถูกผสมเข้าไปในเนื้อยางได้อย่างทั่วถึง (Incorporation) คือ สารเคมีเข้าไปในเนื้อยางได้หมดโดยไม่มีเนื้อสารเคมีตกค้างอยู่ในเครื่องผสมมีการกระจายตัว (Distribution) ของสารเคมีไปให้ทั่วทุกบริเวณในเนื้อยางและมีการแตกตัว (Dispersion) ของสารเคมีที่ดีในเนื้อยางด้วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นขณะทำการผสมและทำให้สารเคมีเหล่านั้นมีขนาดที่เล็กลงโดยเฉพาะสารตัวเติมเสริมแรง (Reinforced agent) ซึ่งเป็นสารเคมีหลักที่จะทำให้ยางมีคุณสมบัติที่ดีตามต้องการในการผลิตพบว่าปัญหาการแตกตัว (Dispersion) พบบ่อยกว่าปัญหาการกระจายตัว (Distribution)

เงื่อนไขของการผสมยางตามทฤษฎีของการผสมยางที่ดีควรใช้เวลาในการผสมสั้นที่สุด เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงใช้พลังงานการผสมน้อย เพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานมีความร้อนเกิดขึ้นขณะผสมต่ำที่สุด เพื่อลดปัญหายางตาย ยางเสื่อมคุณภาพและควรมีขั้นตอนการทำงานที่ง่าย ปัจจัยต่าง ๆ ที่ควรทำการควบคุมเพื่อให้ได้ยางผสมที่มีคุณภาพ

2.1.3 สารเคมีสำหรับยางผสม

สารเคมีที่เป็นวัตถุดิบที่ใช้งานในปัจจุบันประกอบด้วย

2.1.3.1 ผงเขม่าดำจากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม มีสีดำ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคปฐมภูมิอยู่ในช่วง 1.0-10 นาโนเมตร นิยมใช้เป็นสารเสริมแรงในอุตสาหกรรมยาง เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ความทนต่อการสึกหรอและเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตให้แก่ผลิตภัณฑ์ยาง

2.1.3.2 สารป้องกันการเสื่อม (Antidegradants) เป็นสารเคมีที่เติมในยางเพื่อลดอัตราเร็วการเสื่อมสภาพของยางเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ออกซิเจน ความร้อน แสงแดด โอโซน แบ่งออกเป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพจากการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน (Antioxidant) และสารป้องกันการเสื่อมสภาพจากการเกิดปฏิกิริยากับโอโซน (Antioxidant)

2.1.3.3 สารช่วยในกระบวนการผลิต (Processing aid) เพื่อให้กระบวนการผลิตขั้นตอนต่าง ๆ เช่น การผสม (Mixing) หรือการขึ้นรูป (Shape forming) ได้ง่ายยิ่งขึ้น สารบางตัวช่วยลดความหนืดของยางผสมทำให้ยางไหลง่ายยิ่งขึ้น จึงลดระยะเวลาและพลังงานในการผลิต

2.1.3.4 สารกระตุ้น (Activator) คือ สารเคมีที่ทำหน้าที่เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาให้สามารถเกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วขึ้นที่นิยมใช้ คือ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และกรดสเตียริก (Stearic Acid)

2.1.3.5 สารหน่วงปฏิกิริยา (Retarder) เพื่อลดอัตราความเร็วการเกิดปฏิกิริยาเคมีช่วยเพิ่มระยะเวลาก่อนที่ยางจะเริ่มเกิดปฏิกิริยาคงรูป ลดการเกิดยางตายขณะที่ทำการผสมยาง

2.1.3.6 สารตัวเร่ง (Accelerator) สารเคมีที่เติมด้วยปริมาณเล็กน้อยเพื่อช่วยลดเวลาสำหรับการคงรูปยาง

2.1.3.7 กำมะถัน (Sulphur) เป็นสารเคมีใช้เป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยางทำให้ยางเกิดการคงรูป มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีเหลืองที่อุณหภูมิห้อง

2.1.3.8 สี (Pigment) สารให้สีที่ไม่ละลายในยางที่ไม่มีผงเขม่าดำเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ยางให้ได้สีสันตามความต้องการของผู้ผลิต

2.1.3.9 สารตัวเติมสีขาว (Filler) เป็นวัสดุที่อยู่ในรูปของแข็งมีขนาดอนุภาคเล็กเติมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ หรือเพื่อการลดต้นทุนการผลิตที่ใช้งานกันมาก

1) ซิลิกา (Silica) เป็นสารตัวเติมชนิดสารเสริมแรง ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตยาง นอกเหนือจากเขม่าดำเป็นสารที่มีสีขาวและมีขนาดอนุภาคเล็กมาก เมื่อเติมในยางคุณสมบัติเชิงกลต่าง ๆ จะดีขึ้น นิยมใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีสี เช่น พื้นรองเท้ากีฬา

2) แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ใช้ในการลดต้นทุน มีสีต่างกันบางชนิดมีการเคลือบผิวด้วยแคลเซียมสเตียเรตประมาณ 1 – 3 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ผสมเข้ากับเนื้อยางดีขึ้นถ้าขนาดอนุภาคใหญ่จะไม่เสริมแรงแต่ถ้ามีขนาดอนุภาคเล็กลงจัดเป็นสารตัวเติมกึ่งเสริมแรง

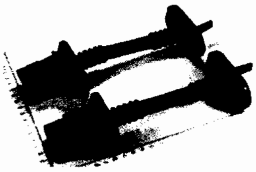
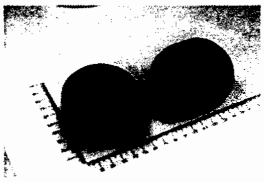
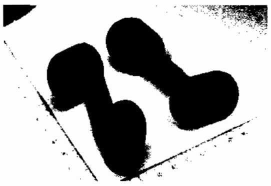
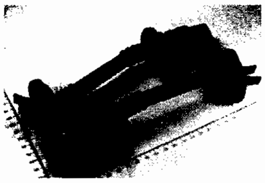
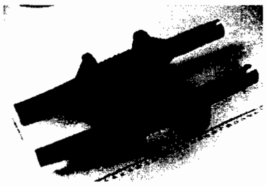
3) ดินขาว (Clay) มีสีขาวจนไปถึงสีครีมสามารถเสริมแรงได้น้อยถึงปานกลางที่นิยมใช้ ได้แก่ Kaolin และ China clay

2.1.3.10 น้ำมันหรือสารที่ทำให้ยางนิ่ม (Oil, Softener) เป็นสารปริมาณเล็กน้อยเติมเพื่อลดความหนืดยางไหลได้ง่ายขึ้นทำให้สารเติมแต่งกระจายตัวได้ดีขึ้น

2.1.3.11 สารเพิ่มความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Plasticizer) ลดความแข็งเปราะเพิ่มคุณสมบัติการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ดีขึ้น

2.1.3.12 สารเคมีอื่น ๆ (Additives) คือ สารเคมีที่เติมเพียงเล็กน้อยเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ ตามต้องการ สารเคมีกลุ่มดังกล่าวนี้เรียกโดยรวมว่าสารเติมแต่ง

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากกระบวนการขึ้นรูปในอุตสาหกรรมยานยนต์

ชนิดยาง	**ผลิตภัณฑ์ยาง**	**กระบวนการขึ้นรูป**
EPDM NR		Injection molding process Transfer molding process
EPDM NR		Injection molding process Transfer molding process
EPDM NR		Injection molding process Transfer molding process
EPDM NR		Injection molding process Transfer molding process
EPDM NR		Injection molding process Transfer molding process
EPDM NR		Injection molding process Transfer molding process
EPDM NR		Injection molding process Transfer molding process
EPDM NR		Injection molding process Transfer molding process

ตารางที่ 2.3 ผลิตภัณฑ์จากยางสังเคราะห์ (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555)

ชนิดของยางสังเคราะห์	ผลิตภัณฑ์ยาง
ยางบิวไทล์ (IIR)	ยางในรถยนต์ จุกปิดขวดยา ยางกันสะเทือนต่าง ๆ
ยางบิวตาไดอีน (BR)	พื้นรองเท้า สายพานลำเลียง สายพานส่งกำลัง
ยางซิลิโคน (Silicone)	ชิ้นส่วนทนน้ำมัน ยางโอริง ชิ้นส่วนยานอวกาศและเครื่องบิน
ยางเอธิลีนโพรไดอีน (EPDM)	ท่อยางหม้อน้ำรถยนต์ ยางขอบหน้าต่าง ชิ้นส่วนยานยนต์
ยางคลอโรพรีน (CR)	ยางซีล ท่อยางเสริมแรง สายพานยาง ยางกันกระแทก เป็นต้น
ยางไอโซพรีน (IR)	จุกหัวนม และอุปกรณ์การแพทย์บางชนิด
ยางสไตรีนบิวตาไดอีน (SBR)	สายพาน พื้นรองเท้า ยางรถยนต์ ท่อยาง ยางฉนวนหุ้มสายไฟ
ยางไนไตร์ล (NBR)	ประเก็น ยางโอริง ยางซีล ยางเชื่อมข้อต่อ สายพานลำเลียง

2.1.5 คุณสมบัติของยาง

คุณสมบัติยางที่เป็นตัวแปรในกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์นั้น คือ ชนิดของยาง ค่าการเผื่อการหดตัวของยางและค่าความแข็งของยาง ชนิดของยางเป็นคุณสมบัติที่พิจารณาเลือกใช้กับผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องการ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ทนแรงกระแทก ทนความร้อน ทนน้ำมัน เป็นต้น

ส่วนค่าเผื่อการหดตัวของยางนั้นเป็นค่าที่นำมาใช้ขยายขนาดชิ้นงานที่ต้องการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีขนาดโตกว่าขนาดชิ้นงานจริง เนื่องจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปนั้นเมื่อยางได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวขึ้น และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการยางจะเย็นตัวลงทำให้มีขนาดของชิ้นงานหดลงกว่าเดิมด้วย ดังนั้นหากไม่มีการเผื่อค่าการหดตัวแล้วจะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดที่ต้องการค่าเผื่อการหดตัวของยางแต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากัน หรือแม้แต่เป็นชนิดเดียวกันก็อาจจะมีค่าเผื่อการหดตัวที่ไม่เท่ากันก็ได้ ขึ้นอยู่กับส่วนผสมต่าง ๆ ที่ใส่ลงไป ดังนั้นการหาค่าเผื่อการหดตัวของยางที่ถูกต้องนั้นจะได้จากการนำยางที่ต้องการใช้เป็นชิ้นงานไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ สำหรับค่าความแข็งของยางนั้นจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ในส่วนของการเลือกรูปแบบการวางเบ้า (Cavity) และการคำนวณจำนวนเบ้า การเลือกรูปแบบการวาง

เบ้านั้นจะพิจารณาจากค่าความแข็งของยางว่าควรมีร่องระบาย (Over flow) หรือไม่โดยจะพิจารณาจากความแข็งของยาง เช่น ถ้ายางมีความแข็งมากกว่า 60 ก็จะสร้างร่องระบายให้กับแม่พิมพ์ฉีดยาง

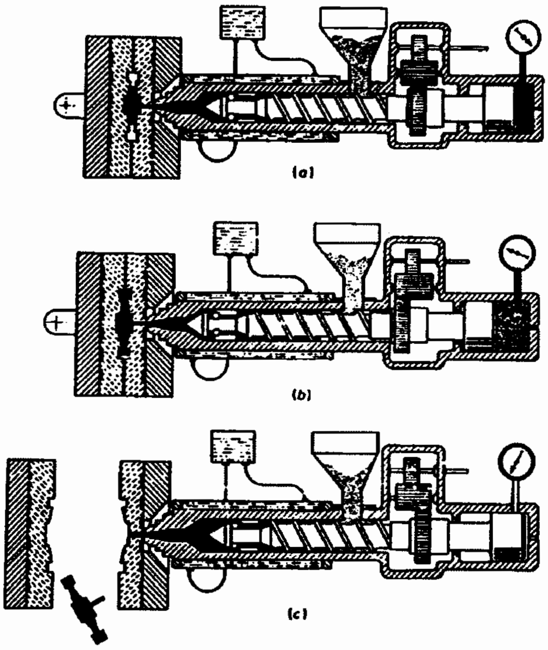
2.2 การแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางในอุตสาหกรรมยานยนต์ด้วยแม่พิมพ์

การพัฒนากระบวนการผลิตแม่พิมพ์ กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางโดยอัดแม่พิมพ์เป็นกระบวนการที่มีผลทั้งขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และทำให้ยางคงรูปหรือยางสุก (Shaping of forming and vulcanising) โดยอาศัยความร้อนและแรงอัดยางที่อยู่ในสภาพที่อ่อนตัวและยางจะไหลได้ในสภาวะ (Plastic state) ภายในของแม่พิมพ์รูปร่างตามที่ต้องการ กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางโดยทั่ว ๆ ไปรวมไปถึงผลิตภัณฑ์ยางในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่มีการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์นั้น ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Rubber injection molding) กระบวนการกึ่งฉีด (Rubber transfer molding) และกระบวนการอัด (Rubber compression molding) ดังต่อไปนี้

2.2.1 กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection molding process)

กระบวนการฉีดขึ้นรูปยางเป็นกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยแม่พิมพ์ที่ทันสมัยที่สุด ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและอัตราการผลิตที่สม่ำเสมอกว่าสองกระบวนการข้างต้นเนื่องจากทุกขั้นตอนมีการทำงานมีลักษณะเป็นอัตโนมัติตั้งแต่การป้อนเนื้อวัสดุยางเข้าเครื่องฉีดยางเข้าแม่พิมพ์ จนกระทั่งออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ยางจะถูกให้ความร้อนในกระบอกฉีดก่อนที่ถูกฉีดเข้าเบ้าของแม่พิมพ์ โดยจะมีการควบคุมอัตราความดันฉีด ความเร็วในการฉีดและอุณหภูมิในทุกขั้นตอนจนได้ผลิตภัณฑ์

2.2.1.1 ขั้นตอนในกระบวนการฉีดขึ้นรูปยาง (Rubber injectiom processing) การฉีดจะเริ่มต้นจากแม่พิมพ์ถูกเปิด โดยแม่พิมพ์แผ่นกลางจะถูกแยกออกจากแผ่นบน โดยที่อาจจะออกแบบเพิ่มเติมให้แม่พิมพ์แผ่นกลางนี้สามารถถอดออกได้เพื่อความสะดวกในการถอดชิ้นงานออก กรณีของผลิตภัณฑ์ยางที่ยึดกับโลหะจะทำการวางชิ้นงานโลหะในขั้นตอนนี้ เมื่อเสร็จแล้วทำการปิดแม่พิมพ์อัตโนมัติ และเริ่มต้นโดยสกรูในกระบอกฉีดจะหมุนเพื่อให้เนื้อยางเคลื่อนตัวมาที่ปลายกระบอกฉีด แล้วจึงเคลื่อนสกรูเพื่ออัดเนื้อยางผ่านหัวฉีด (Nozzle) เข้ารูฉีดแล้วไหลในระบบทางวิ่ง (Runner system) ผ่านรูเข้า (Gate) จนเข้าสู่ตัวเบ้าของแม่พิมพ์เกิดเป็นรูปร่างชิ้นงาน ยางจะถูกหลอมด้วยความร้อนก่อนอย่างทั่วถึงอุณหภูมิของยางขณะที่ผ่านตามช่องทางสู่ช่องของแม่พิมพ์สูงขึ้นถึง 70 องศาเซลเซียส ความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากแรงเสียดสี ปฏิกิริยาที่ทำให้ยางคงรูปหรือยางสุก โดยแม่พิมพ์จะปิดอยู่จนกระทั่งยางเกิดการวัลคาไนเซชันจนสุก ดังนั้นจึงก่อให้เกิดการคงรูปที่มีความสม่ำเสมอและทั่วถึงภายในเบ้าแม่พิมพ์และตัวของผลิตภัณฑ์ ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์จะมีรูปร่างหนามากก็ตาม แล้วจึงเปิดแม่พิมพ์เพื่อนำชิ้นงานออกมา



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางโดยแม่พิมพ์แบบฉีดชนิดสกรู (วราภรณ์ ขจรไชยกุล, 2552)

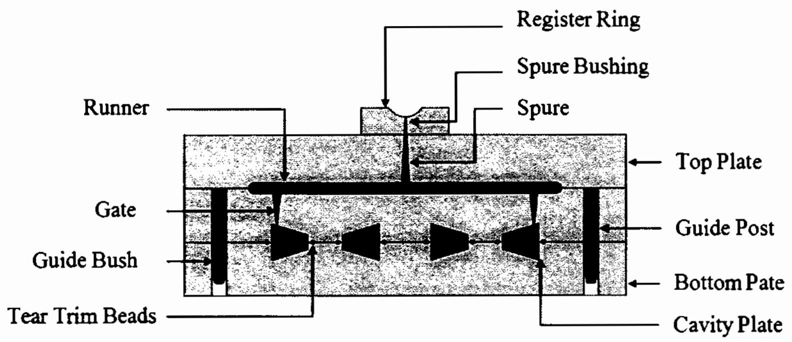
a) สกรูหมุนไปข้างหน้า (จากขวาไปซ้าย)

b) ยางถูกฉีดเข้าแม่พิมพ์-ซ้ายมือ

c) ยางคงรูปแล้วสกรูหมุนกลับและผลิตภัณฑ์หลุดลอยออกจากแม่พิมพ์

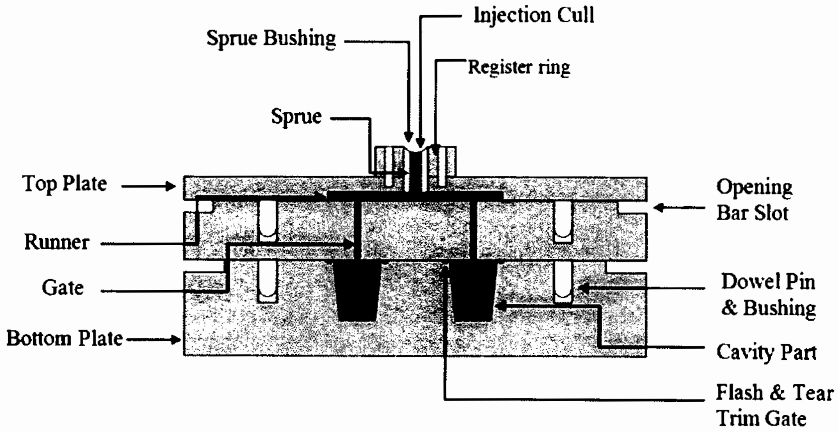
ภาพที่ 2.2 กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยแม่พิมพ์ฉีด

2.2.1.2 ลักษณะของแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง กระบวนการฉีดขึ้นรูปยางเป็นวิธีการที่มีการทำงานอัตโนมัติมากที่สุด ตัวแม่พิมพ์จะมีความซับซ้อนและมีชิ้นส่วนต่าง ๆ ค่อนข้างมาก รวมทั้งต้องมีการออกแบบระบบทางไหลของยางเพื่อให้ยางที่ถูกให้ความร้อนในกระบอกฉีดไหลเข้าตัวเบ้าแม่พิมพ์ แม่พิมพ์บางตัวอาจมีระบบทำความร้อนภายในเพื่อทำให้ยางเกิดการคงรูป เมื่อเปิดแม่พิมพ์ก็จะมีระบบกระทุ้งหรือดันชิ้นงานออกมา แม่พิมพ์ชนิดนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปริมาณการผลิตที่สูง เนื่องจากมีรอบการทำงานที่สั้น และมีระบบทำงานที่เป็นแบบระบบอัตโนมัติ



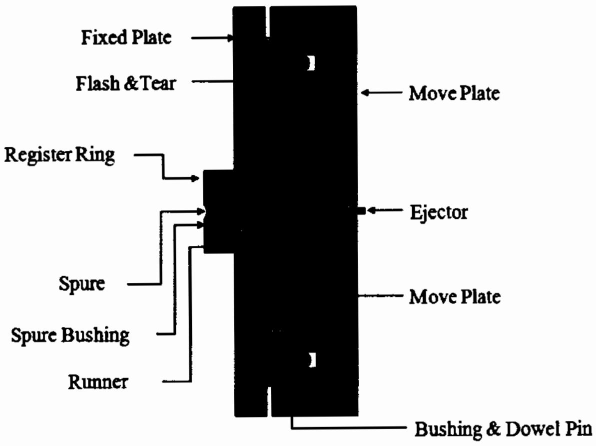
ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างแม่พิมพ์ฉีดแบบแนวตั้งชนิดสองแผ่น

ตัวอย่างในภาพที่ 2.3 ตัวอย่างแม่พิมพ์ฉีดยางแบบแนวตั้งชนิดสองแผ่น (Vertical type two plate multi cavity injection mold) แม่พิมพ์ในรูปไม่มีการติดตั้งตัวทำความร้อนหรือตัวควบคุมอุณหภูมิ สำหรับความร้อนที่ให้แก่แม่พิมพ์จะมาจากแผ่นยึดแม่พิมพ์ (Press) ซึ่งมีอุปกรณ์ทำความร้อนจากตัวเครื่องจักรโดยตรง แต่แม่พิมพ์ชนิดนี้จะไม่สามารถฉีดงานที่มีความซับซ้อนได้



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างแม่พิมพ์ฉีดแบบแนวตั้งชนิดสามแผ่น

ตัวอย่างในภาพที่ 2.4 ตัวอย่างแม่พิมพ์ฉีดยางแบบแนวตั้งชนิดสามแผ่น (Vertical type tree plate multi cavity injection mold) แม่พิมพ์ในรูปไม่มีการติดตั้งตัวทำความร้อนหรือตัวควบคุมอุณหภูมิ สำหรับความร้อนที่ให้แก่แม่พิมพ์จะมาจากแผ่นยึดแม่พิมพ์ (Press) ซึ่งมีอุปกรณ์ทำความร้อนจากตัวเครื่องจักรโดยตรง

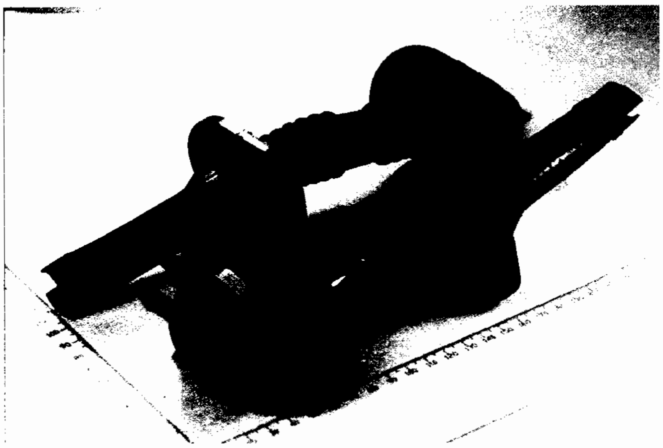


ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างแม่พิมพ์ฉีดแบบแนวนอนชนิดสองแผ่น

ตัวอย่างในภาพที่ 2.5 ตัวอย่างแม่พิมพ์ฉีดยางแบบแนวนอนชนิดสองแผ่น (Horizontal type three plate multi cavity injection mold) นิยมใช้ในกระบวนการฉีดยางที่มีปริมาณการผลิตที่ไม่มากและงานมีลักษณะเฉพาะเนื่องจากจะหยิบชิ้นงานออกจากเบ้าฉีดได้ยาก ดั้งนั้นในการฉีดยางด้วยเครื่องฉีดแนวนอนจึงไม่ค่อยได้รับความนิยมในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง

2.2.1.3 ลักษณะผลิตภัณฑ์ยางที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูป กระบวนการฉีดขึ้นรูปเป็นกระบวนการที่เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีปริมาณการผลิตสูงและชิ้นงานที่มีความหลากหลายตั้งแต่ชิ้นงานที่มีขนาดเล็กไปจนถึงขนาดกลาง มีลักษณะรูปร่างซับซ้อนและค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำ รวมทั้งใช้ในงานที่ต้องการคุณภาพและความสม่ำเสมอของชิ้นงานที่ผลิต กระบวนการฉีดมีจุดเด่นในเรื่องของความเร็ว ความสะอาด เนื้อวัสดุจะฉีดผ่านกระบอกฉีดเข้าสู่ตัวเบ้าของแม่พิมพ์โดยตรง กระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการคงรูปยางเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิสูง และใช้ระยะเวลาการผลิตที่สั้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอัดแล้วกระบวนการฉีดขึ้นรูปเป็นกระบวนการที่มีทั้งข้อดีและข้อเสียเหมือนกับกระบวนการกึ่งฉีดโดยมีส่วนของเนื้อยางที่ใช้ในส่วนของรูวิ่ง (Runner) และรูฉีด (Sprue) เพื่อเติมเนื้อยางเข้าสู่ตัวเบ้า แต่ด้วยการที่ตัวเบ้าปิด ทำให้มีเนื้อยางเพียงเล็กน้อยที่ไหลล้นตัวเบ้า ซึ่งจะทำให้มีครีบเพียงเล็กน้อย โดยกระบวนการฉีดนี้จะ

เหมาะกับการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน หรือต้องการให้ชิ้นส่วนที่ติดกับตัวผลิตภัณฑ์วางอยู่ในตำแหน่งอยู่กับที่ไม่มีการเคลื่อนตัวในขณะที่มีการกดแม่พิมพ์ ในกระบวนการฉีดยางจะถูกป้อนเข้าไปในกระบอกฉีดแบบอัตโนมัติ โดยมีการให้ความร้อน (Preheated) และเติมเนื้อเข้าไปในตัวเบ้าอย่างถูกต้องทั้งในเรื่องของปริมาณ ความร้อน ความดันและระยะเวลา แต่บางครั้งเมื่อมีการใช้วัสดุยางที่มีสีแตกต่างกันแต่ละครั้งที่ทำงานจึงมีความจำเป็นที่จะต้องฉีดไล่เนื้อยางในสกรูฉีดและเม็ดสีที่ผสมลงไปอาจตกค้างในกระบอกฉีดได้ ชิ้นงานในกระบวนการฉีดขึ้นรูป แสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนรถยนต์ที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูป

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบจุดเด่นและจุดด้อยของกระบวนการฉีดขึ้นรูปยาง (John G. Sommer, 2003)

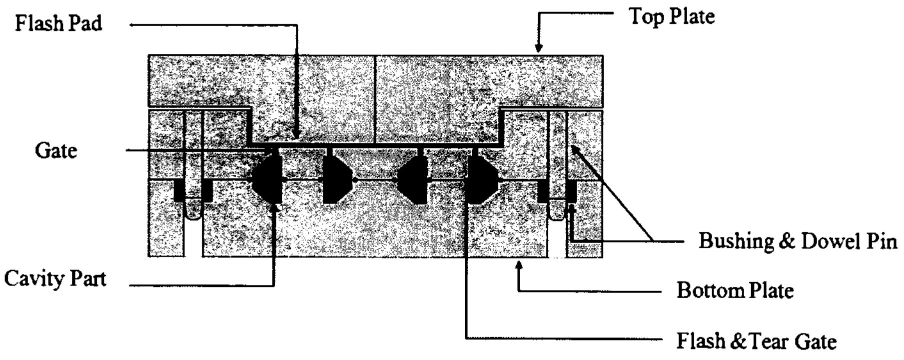
จุดเด่นของกระบวนการฉีดขึ้นรูป	จุดด้อยของกระบวนการฉีดขึ้นรูป
1. เหมาะกับชิ้นงานที่มีความซับซ้อนและชิ้นงานที่มีลักษณะบาง	1. ราคาแม่พิมพ์แพงมาก
2. มีอัตราการผลิตที่สูงและสม่ำเสมอมีต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำ	2. การออกแบบแม่พิมพ์มีความซับซ้อนสูง
3. ใช้เวลาสั้นในการอบยางให้คงรูปหรือทำให้ยางสุกได้เร็ว (Vancanization)	3. มีช่องอัดยางน้อยกว่าแม่พิมพ์แบบธรรมดา
4. มีพิกัดความคลาดเคลื่อนที่ต่ำและทำให้เกิดของเสียในกระบวนการน้อย	4. ใช้ความดันสูงตอนขึ้นรูปและมียางเสียมาก
5. ยางเชื่อมกับโลหะได้ดีและให้การยึดติดของโครงสร้างที่แข็งแรง	5. วางชิ้นส่วนโลหะที่จะประกอบได้ยาก

2.2.2 กระบวนการกึ่งฉีดขึ้นรูป (Transfer molding process)

กระบวนการกึ่งฉีดขึ้นรูปมีกระบวนการทำงานคล้ายลูกสูบและกระบอกฉีดที่สร้างอยู่ในตัวแม่พิมพ์ โดยมีหน้าที่อัดฉีดเนื้อยางผ่านรูขนาดเล็กเข้าสู่ตัวเบ้าของแม่พิมพ์

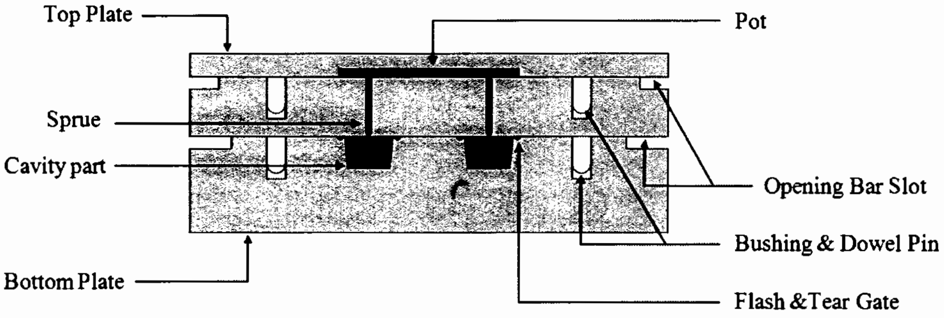
2.2.2.1 ขั้นตอนในกระบวนการกึ่งฉีดขึ้นรูป (Transfer processing) แม่พิมพ์ถูกเปิดโดยเคลื่อนที่พร้อมแผ่นยึดแม่พิมพ์ วางยางที่ยังไม่ผ่านการบ่มสุกลงในแอ่งพัก (Pot) ในกรณีของผลิตภัณฑ์ยางติดเหล็กจะนำชิ้นงานเหล็กไปวางที่ตัวเบ้า ทำการปิดแม่พิมพ์และอัดด้วยแรงดันจากแผ่นยึดแม่พิมพ์ทั้งสองด้าน โดยยางที่อยู่ในหม้อพักจะถูกกดจนเนื้อยางไหลผ่านตัวรูฉีด (Sprue) และไหลลงตัวเบ้าจนเกิดรูปร่างขึ้น ยางและอากาศบางส่วนจะไหลล้นตัวเบ้าออกไปตามร่องล้น (Overflow) และร่องระบาย (Air vent) โดยแม่พิมพ์จะปิดอยู่จนกระทั่งยางเกิดการวัลคาไนเซชันอย่างสมบูรณ์ตามรอบการทำงาน

2.2.2.2 ลักษณะของแม่พิมพ์กึ่งฉีดขึ้นรูป (Rubber transfer mold) แม่พิมพ์กึ่งฉีดแบบแนวตั้งชนิดสองแผ่น จะประกอบด้วยแผ่นแม่พิมพ์ 2 แผ่น ซึ่งมีโครงสร้างแม่พิมพ์ที่ไม่ซับซ้อน ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีรูปทรงแบบง่าย โดยส่วนมากจะใช้เพื่อผลิตชิ้นงานที่มีปริมาณการผลิตไม่มากนัก การออกแบบจะเป็นการผสมผสานระหว่างแม่พิมพ์อัดและแม่พิมพ์ขึ้นรูปฉีด โดยมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.7



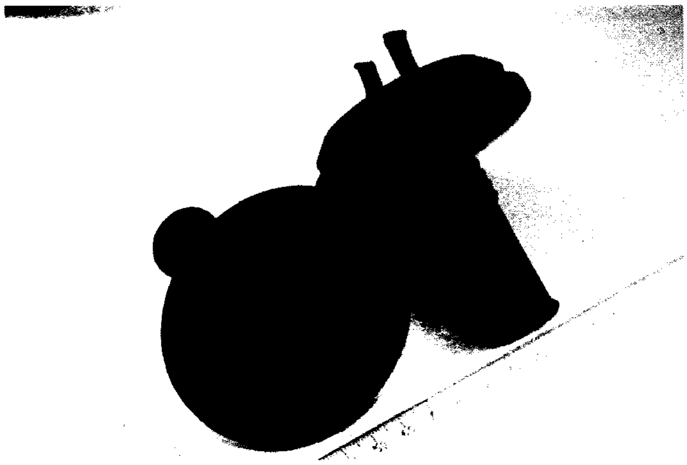
ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างแม่พิมพ์กึ่งฉีดแบบแนวตั้งชนิดสองแผ่น

แม่พิมพ์กึ่งฉีดชนิดสามแผ่นที่มีการออกแบบจำนวนเบ้าหลายเบ้าฉีด แม่พิมพ์ในรูปไม่มีการติดตั้งตัวทำความร้อน (Heater control) เพื่อช่วยให้ความร้อนภายในแม่พิมพ์ หรือตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) สำหรับระบบความร้อนที่ให้แก่แม่พิมพ์ชนิดนี้จะมาจากแผ่นยึดแม่พิมพ์ (Press) ที่ออกแบบโดยฝังชุด (Heater) กับแผ่นยึดแม่พิมพ์ (Top plate) หรือใช้อุปกรณ์ทำความร้อนจากตัวเครื่องจักรโดยตรง ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างแม่พิมพ์กึ่งฉีดแบบแนวตั้งชนิดสามแผ่น

2.2.2.3 ลักษณะผลิตภัณฑ์ยางที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยวิธีการกึ่งฉีด กระบวนการกึ่งฉีดเป็นวิธีการที่รวมเอาจุดเด่นของกระบวนการฉีดและความง่ายของกระบวนการอัดเอาไว้ ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานที่ต้องการตำแหน่งที่ถูกต้อง (Exact positioning) หรือต้องการเชื่อมติดกับโลหะที่เปราะแตกง่าย เช่น ลวด เนื่องจากแม่พิมพ์มีแอ่งพักจึงสามารถกักอากาศได้ จึงมีการระบายอากาศที่อั้นอยู่ในแม่พิมพ์ได้ดี ยางจะไหลผ่านรูฉีดโดยไม่เกิดการอั้นของอากาศขณะไหลตัวผ่านเข้าไปยังเบ้าของแม่พิมพ์จนเกิดเป็นรูปร่าง กระบวนการกึ่งฉีดจึงมีจุดเด่นที่เหนือกว่าวิธีการอัดขึ้นรูปเหมาะกับชิ้นงานที่มีความซับซ้อนและมีปริมาณการผลิตในระดับต่ำ กระบวนการกึ่งฉีดจะต้องมีเนื้อยางที่จะต้องเติมลงในหม้อพักซึ่งจะไหลผ่านรูเข้า อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในระหว่างการอัดและฉีดยางเข้าสู่เบ้าแผ่นแม่พิมพ์ของตัวเบ้าทั้งสองประกบปิดอยู่ตลอดเวลา ทำให้มีเนื้อยางที่ไหลล้นออกจากตัวเบ้าเป็นครีบ (Flash) เพียงเล็กน้อย จึงเหมาะกับการแปรรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน หรือต้องการให้อินเสิร์ต (Insert) วางอยู่ในตำแหน่งที่แน่นอน ไม่มีการเคลื่อนตัวในขณะที่มีการกดแม่พิมพ์เหมือนกระบวนการอัด สำหรับกระบวนการกึ่งฉีดจะใช้แรงงานคนสำหรับการเติมยางลงในหม้อพักเพียงครั้งเดียวไม่จำเป็นต้องทำหลายครั้งในทุก ๆ เบ้า นอกจากนี้ยังมีรอบทำงานที่สั้น เนื่องจากใช้เวลาในการบ่มสุกยางน้อยกว่ากระบวนการอัด เพราะมีการส่งผ่านความร้อนอย่างรวดเร็วไปที่ยางในขณะกดอัดเนื้อยางที่หม้อพักผ่านรูฉีดไปยังตัวเบ้า และเนื่องจากว่ามีการเติมเนื้อยางลงหม้อพักเพียงครั้งเดียวสำหรับการขึ้นรูปยางครั้งละหลายเบ้าทำให้สามารถทำงานได้เร็วกว่า แต่เนื่องด้วยการออกแบบแม่พิมพ์ที่มีความซับซ้อนราคาของแม่พิมพ์กึ่งฉีดจึงสูงกว่าแม่พิมพ์อัด จุดที่แตกต่างระหว่างกระบวนการฉีดกับกระบวนการกึ่งฉีดคือมีการใช้แรงงานเข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการมากกว่า และต้องมีการเตรียมก้อนพรีฟอร์มลงในหม้อพักเนื่องจากกระบวนการนี้ใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่ากระบวนการฉีดจึงมีผลให้ใช้เวลาในการผลิตที่ยาวนานกว่า ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนรถยนต์ที่ผ่านกระบวนการกึ่งฉีดขึ้นรูป

ตารางที่ 2.5 จุดเด่นและจุดด้อยของกระบวนการกึ่งฉีดขึ้นรูปยาง (John G. Sommer,2003)

จุดเด่นของกระบวนการกึ่งฉีดขึ้นรูป	จุดด้อยของกระบวนการกึ่งฉีดขึ้นรูป
1. เตรียมชิ้นงานได้ง่าย เพราะเตรียมชิ้นใหญ่เพียงชิ้นเดียว	1. ราคาแพง
2. ใช้ระยะเวลาสั้นในกระบวนการอบยางให้คงรูปหรือยางสุก	2. แม่พิมพ์มีน้ำหนักมาก
3. ยางเชื่อมกับโลหะได้ดีกว่า และสามารถวางโลหะได้ง่าย	3. ใช้เวลานานในการเปลี่ยนยางเข้า-ออกแต่ละครั้งนาน
4. มียางเสียน้อยกว่า	4. มักมีช่องอัดยางน้อยกว่าแม่พิมพ์แบบอัดธรรมดา

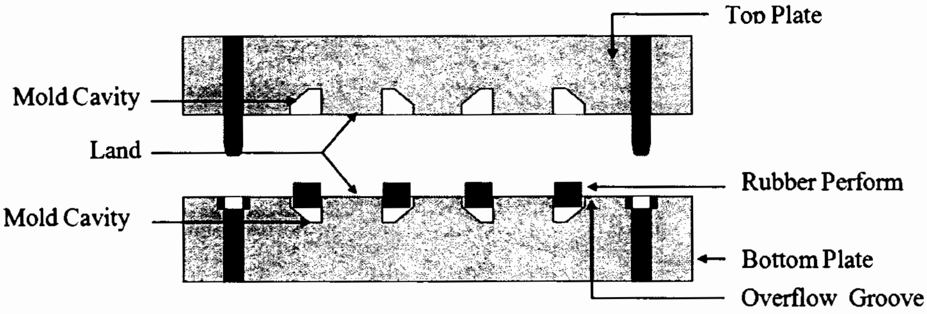
2.2.3 กระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression molding process)

กระบวนการอัดขึ้นรูปเป็นวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ด้วยแม่พิมพ์ที่เก่าแก่และง่ายที่สุดในกระบวนการที่กล่าวมา สำหรับผลิตภัณฑ์บางอย่างวิธีการอัดขึ้นรูปยังคงเป็นวิธีที่ดีที่สุดและมีใช้อยู่ในปัจจุบัน วิธีการอัดขึ้นรูปเป็นกระบวนการอัดชิ้นงานยางที่ยังไม่ทำการบ่มสุก (Cure or vacanization) โดยการใช้ความร้อนและแรงดันทำให้ยางเกิดเป็นรูปร่างพร้อมการคงรูปตามแบบเบ้าที่ทำขึ้น เมื่ออัดเสร็จจะทำการเปิดแม่พิมพ์เพื่อถอดนำชิ้นงานออกมา ดังแสดงในภาพที่ 2.10

ภาพที่ 2.10 การวางพรีฟอร์มลงบนตัวเบ้าของแม่พิมพ์อัด

2.2.3.1 ขั้นตอนในกระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression processing) แม่พิมพ์ถูกเปิดโดยเคลื่อนที่พร้อมแผ่นยึดแม่พิมพ์และพรีฟอร์ม (Preform) จะถูกนำไปวางที่ตัวเบ้า ในกรณีของผลิตภัณฑ์ยางที่ยึดกับโลหะจะต้องวางชิ้นงานโลหะในขั้นตอนนี้ ทำการปิดแม่พิมพ์และอัดด้วยแรงดันจากแผ่นยึดแม่พิมพ์ทั้งสองด้าน โดยพรีฟอร์มจะไหลไปในตัวเบ้าและเกิดเป็นรูปร่างชิ้นงาน ซึ่งยางบางส่วนจะไหลล้นตัวเบ้าออกไปตามรูเข้าและร่องระบาย (Air vent) โดยที่แม่พิมพ์จะปิดอยู่จนกระทั่งยางเกิดการวัลคาไนเซชันอย่างสมบูรณ์ตามรอบการทำงาน

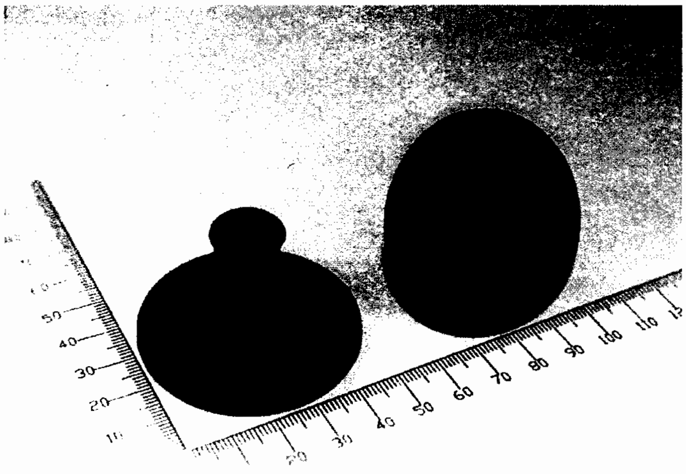
2.2.3.2 ลักษณะของแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป (Rubber compression mold) แม่พิมพ์อัดเป็นชนิดของแม่พิมพ์ที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุดในบรรดาแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปยางซึ่งสามารถใช้ได้กับชิ้นงาน โดยแม่พิมพ์จะมี 2 แผ่นและส่วนประกอบของชิ้นส่วนต่าง ๆ ใช้ระบบการให้ความร้อนจากเครื่องอัดโดยตรงเพื่อทำให้ยางสุกหรือได้โครงสร้างที่คงรูปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปแบบแนวตั้งชนิดสองแผ่น

จากภาพที่ 2.11 เป็นตัวอย่างแม่พิมพ์อัดที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปยาง ขณะที่แม่พิมพ์เปิดจะใส่วัตถุดิบยางลงในเบ้าและเมื่อเบ้าปิดยางก็จะเกิดการไหลตามรูปร่างของเบ้า ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องการ ตัวอย่างแม่พิมพ์อัดชนิดสองแผ่น (Two plate mold) ที่มีจำนวนเบ้าสี่เบ้า ลักษณะของแม่พิมพ์อัดยางตามในรูปไม่มีการติดตั้งตัวทำความร้อน (Heater) หรือตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) โดยความร้อนที่ให้แก่แม่พิมพ์จะมาจากแผ่นยึดแม่พิมพ์ซึ่งมีอุปกรณ์ทำความร้อนจากตัวเครื่องจักรโดยตรง

2.2.3.3 ลักษณะผลิตภัณฑ์ยางที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัด กระบวนการอัดขึ้นรูปเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง มีประสิทธิภาพและประหยัดเหมาะสำหรับปริมาณการผลิตระดับต่ำ (Low volume) ไปจนถึงการผลิตระดับกลาง (Medium volume) และเหมาะกับชิ้นงานที่มีลักษณะขนาดใหญ่ (Bulky parts) หรือชิ้นงานจำพวก ปะเก็น (Gaskets) ยางกันซึม (Seals) และแหวนกันซึม (O-rings) รวมไปถึงชิ้นงานที่มีค่าวัสดุที่มีราคาสูงและชิ้นงานที่ต้องการความแข็งของผิวที่สูงมาก ๆ (Extreme hardness) ในกระบวนการอัดขึ้นรูปไม่จำเป็นต้องมีเนื้อยางสำหรับการไหลในช่องวิ่ง (Runner) อย่างกระบวนการฉีดหรือในช่องพัก (Pot) อย่างกระบวนการกึ่งฉีด แม้จะใช้ปริมาณเนื้อยางที่น้อยกว่าแต่ในกระบวนการอัดนั้นจะต้องใช้แรงอัดที่สูงกว่า และต้องตระเตรียมการในส่วนของพรีฟอร์ม นอกจากนี้กระบวนการอัดต้องใช้เวลาในการเกิดกระบวนการวัลคาไนเซชันและต้องใช้แรงงานคนในการวางพรีฟอร์มลงบนเบ้า อย่างไรก็ตามด้วยความง่ายของการสร้างแม่พิมพ์วิธีการนี้จะมีค่าใช้จ่ายในส่วนของแม่พิมพ์ที่ประหยัดที่สุด แต่ต้องใช้แรงงานเข้ามาเกี่ยวข้องและต้องมีการเตรียมพรีฟอร์มก่อนที่จะนำมาวางในตัวเบ้าแม่พิมพ์ซึ่งเสียเวลา รวมทั้งทำงานที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่ากระบวนการฉีดจึงใช้เวลาการผลิตที่นานกว่า แสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนรถยนต์ที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบจุดเด่นและจุดด้อยของกระบวนการอัดขึ้นรูปยาง (John G. Sommer,2003)

จุดเด่นของกระบวนการอัดขึ้นรูป	**จุดด้อยของกระบวนการอัดขึ้นรูป**
1. มีค่าใช้จ่ายในการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ที่ต่ำที่สุด	1. ใช้เวลานานในการเปลี่ยนยางเข้า-ออกแต่ละครั้ง
2. ระยะเวลาการปรับตั้งแม่พิมพ์ที่สั้นทำให้ประหยัดเวลาในการผลิต	2. มีอัตราการผลิตที่ไม่ค่อยสม่ำเสมอและมีอัตราการผลิตที่น้อยกว่าการฉีดและกึ่งฉีด
3. สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงทนทานสูงเหมาะสำหรับชิ้นงานขนาดใหญ่	3. ไม่เหมาะสำหรับชิ้นงานบางชนิดที่มีรูปร่างซับซ้อน
4. มีเศษวัสดุยางเหลือทิ้งน้อย จึงเหมาะกับวัสดุที่มีราคาแพง (Expensive compounds)	4. ควบคุมขนาดและลักษณะของครีบและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ยาก
5. วางชิ้นส่วนโลหะที่จะใช้ยางหุ้มชิ้นส่วนประกอบได้ง่าย	5. ไม่เหมาะกับชิ้นงานที่มีความซับซ้อนและมีโครงสร้างที่บาง

2.3 การพิจารณาเลือกกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

ในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางจะต้องเกิดจากการออกแบบที่เหมาะสม ตั้งแต่กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product design) การออกแบบแม่พิมพ์ที่ช่วยในการขึ้นรูป (Rubber mold design) เนื่องจากการออกแบบแม่พิมพ์ที่ดีจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ดีมีประสิทธิภาพและช่วยลดต้นทุนการผลิต ดังนั้น ก่อนออกแบบแม่พิมพ์ยาง จำเป็นที่ต้องทราบว่าผลิตภัณฑ์ยางที่ออกแบบจะต้องทำการผลิตด้วยกระบวนการใดเพื่อให้สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ จากเหตุผลดังกล่าวสามารถแยกเป็นประเด็นในการเลือกกระบวนการผลิตได้ดังนี้

2.3.1 ด้านต้นทุนการผลิต

เป็นส่วนสำคัญที่สุดที่จะต้องพิจารณา เพราะต้องทำการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของตัวผลิตภัณฑ์ยางซึ่งจะใช้ในการกำหนดราคาในการออกแบบแม่พิมพ์ชนิดต่าง ๆ และขายผลิตภัณฑ์ ดังนั้นต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตจึงเป็นปัจจัยสำคัญเนื่องมาจากต้นทุนการผลิตส่งผลกระทบต่อความอยู่รอดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และยังมีส่วนค่าใช้จ่ายของพนักงานที่ควบคุมเครื่องจักรในกระบวนการผลิต ซึ่งค่าใช้จ่ายเกี่ยวข้องกับทักษะหรือเครื่องจักรที่รับผิดชอบค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิต เช่น แม่พิมพ์ เครื่องเชื่อม หรือเครื่องจักรที่ใช้

ร่วมในการผลิตและค่าใช้จ่ายในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อาจจะเปลี่ยนแปลงตามกระบวนการผลิตที่ถูกออกแบบเพื่อการผลิต ผลิตภัณฑ์นั้น

2.3.2 ชนิดของวัสดุยาง

คุณสมบัติของวัสดุที่มีต่อกระบวนการผลิต เช่น ความแข็ง ความหนืด การทนแรงดึง อัตราการไหล อุณภูมิในการฉีด เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดจะส่งผลต่อกระบวนการผลิตทั้งหมด เพราะในกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปจะต้องพิจารณาคุณสมบัติในทุก ๆ ด้าน เช่น ต้องใช้ความดันภายในแม่พิมพ์เท่าไหร่ ความหนาของแม่พิมพ์ควรเป็นเท่าไหร่ถ้าใช้วัสดุชนิดนี้ โดยทั่วไปแล้วยางที่ทำการผสมแล้วมีความหนืดต่ำจะใช้กับกระบวนการฉีดขึ้นรูป ส่วนความหนืดสูงอาจจะใช้กระบวนการอัด เพราะต้องมีการออกแบบระบบทางไหลผ่านเข้าไปสู่ตัวเบ้าพิมพ์ให้เหมาะสม

2.3.3 ลักษณะของรูปร่างของชิ้นงาน

กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนและชิ้นงานที่มีผนังบาง จะมีปัญหาในการขึ้นรูปอันเนื่องมาจากต้องใช้ความดันในการขึ้นรูปที่มากเพียงพอที่จะทำให้ยางไหลได้เต็มเบ้าพิมพ์ กระบวนการแบบนี้การขึ้นรูปยางจะเลือกใช้กระบวนการฉีด และกึ่งฉีด ส่วนชิ้นงานที่มีความซับซ้อนต่ำและมีผนังหนาจะเลือกใช้กระบวนการอัด นอกจากนี้ขนาดของชิ้นงานและน้ำหนักของชิ้นงานก็เป็นสิ่งสำคัญ ทั้งนี้กระบวนการอาจจะเปลี่ยนแปลงได้ตามปริมาณการผลิตโดยการออกแบบแม่พิมพ์ช่วยเพื่อให้การผลิตง่ายขึ้น

2.3.4 ด้านคุณภาพในการผลิต

การตรวจสอบด้านคุณภาพของชิ้นงานจากกระบวนการผลิตสามารถทำการวิเคราะห์และตรวจสอบได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ ด้านรูปร่าง คือ ไม่มีตำหนิเกิดขึ้น รอยครีบ รอยแหว่ง รอยปริ หรือบิดเบี้ยว ยางตาย เป็นต้น และในด้านขนาดของชิ้นงาน คือ ความกว้าง ความสูง ความยาว จะต้องเท่ากันหรือเหมือนกันทุกครั้งในการผลิต โดยทั่วไปแล้วชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปจะมีคุณภาพที่ดีและสม่ำเสมอ เนื่องจากใช้เครื่องจักรในการผลิตโดยตรง ส่วนกระบวนการอัดจะให้คุณภาพของชิ้นงานและความสม่ำเสมอที่ด้อยกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการอัดมักจะเกิดครีบค่อนข้างมากกว่ากระบวนการอื่น ๆ เพราะขณะที่ยางไหลในเบ้าจะต้องมีการปิดพิมพ์ส่วนบนทำให้อาจเกิดการเคลื่อนตัวของเส้นแบ่งแม่พิมพ์ได้

2.3.5 ด้านคุณสมบัติเชิงกลของยาง

คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุยางนอกจากจะเป็นผลจากการออกสูตรยางแล้วยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการขึ้นรูปในส่วนของการเกิดปฏิกิริยาครอสลิง (Crossling) คือการเชื่อมโยงของโครงสร้างภายในเนื้อยางจะเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิที่ถูกต้องเหมาะสมเป็นปัจจัยที่สำคัญ เนื่องจาก

ทำให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ ดังนั้นจะพบว่ากระบวนการฉีดจะทำให้สมบัติเชิงกลของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการขึ้นรูปดีที่สุด รองลงมา คือ กระบวนการกึ่งฉีดและอัด ตามลำดับ

2.3.6 ด้านอัตราการผลิต

ระยะเวลาในการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาเป็นลำดับต้นในการผลิตชิ้นส่วนยาง ซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับอัตราการผลิต การออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสมกระบวนการที่มีอัตราการผลิตสูงจะใช้กระบวนการผลิตแบบกระบวนการฉีด รองลงมาคือกระบวนการกึ่งฉีด และกระบวนการอัด เนื่องจากในกระบวนการฉีดยาง ได้ถูกให้ความร้อนภายในกระบอกฉีดแล้วส่วนหนึ่ง เมื่อเข้าสู่ตัวเบ้าจึงใช้ความร้อนในการคงรูปยางในระยะเวลาที่สั้นกว่ากระบวนการอัดเพราะต้องมีการเตรียมแผ่นชิ้นงาน นอกจากนี้กระบวนการฉีดยังมีอัตราการผลิตที่สม่ำเสมอและรวดเร็ว

2.3.7 ด้านปริมาณการผลิต

ปริมาณการผลิตที่เหมาะสมจะส่งผลถึงต้นทุนการผลิตต่อหน่วย ถ้าปริมาณการผลิตมีขนาดต่ำ การลงทุนเครื่องมือช่วยในการผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการฉีดที่มีค่าใช้จ่ายด้านแม่พิมพ์ค่อนข้างสูงเพราะมีความซับซ้อนในผลิตจะทำให้มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูง หากมีปริมาณการผลิตที่น้อย ในกรณีเลือกกระบวนการขึ้นรูปแบบการอัดและกึ่งฉีด ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในด้านเครื่องจักรและตัวแม่พิมพ์ที่น้อยกว่าตามลำดับ

ดังนั้น จากที่กล่าวมาแล้วสามารถสรุปผลได้ตามตารางการเปรียบเทียบเพื่อนำไปพิจารณาการออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสมกับการทำงานและความต้องการในกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อกำไรและปัญหาในด้านต่าง ๆ หลังจากตัดสินใจในการออกแบบแม่พิมพ์แต่ละชนิดมาใช้งาน ดังแสดงในการเปรียบเทียบกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางด้วยแม่พิมพ์ ตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางของแม่พิมพ์แต่ละประเภท (ชุกรี แดสา, 2551)

รายการ	กระบวนการผลิต		
	กระบวนการอัด	กระบวนการกึ่งฉีด	กระบวนการฉีด
ขนาดความใหญ่ของชิ้นงาน	☆☆☆	☆☆	☆
ความซับซ้อนของชิ้นงาน	☆	☆☆	☆☆☆
ความบางของชิ้นงาน	☆	☆☆	☆☆☆
ความเร็วของรอบการทำงาน	☆	☆☆	☆☆☆
ขนาดปริมาณการผลิตที่เหมาะสม	☆	☆☆	☆☆☆
อัตราการผลิต	☆	☆☆	☆☆☆
ระดับความเป็นอัตโนมัติ	☆	☆☆	☆☆☆
อุณหภูมิที่ใช้	☆	☆☆	☆☆☆
ความดันที่ใช้	☆	☆☆	☆☆☆
เวลาอบคงรูป	☆☆☆	☆☆	☆
พลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูป	☆	☆☆	☆☆☆
ความง่ายในการวางอินเสิร์ต	☆	☆☆☆	☆☆
ความแข็งแรงของการยึดติด	☆	☆☆☆	☆☆
ระยะเวลาในการอบคงรูป	☆☆☆	☆☆	☆
ขนาดของครีบ	☆☆☆	☆☆	☆
เศษยางทิ้งในกระบวนการ	☆☆☆	☆☆	☆
คุณภาพของชิ้นงาน	☆	☆☆	☆☆☆
สมบัติทางกลของชิ้นงาน	☆	☆☆	☆☆☆
ความสม่ำเสมอของการผลิต	☆	☆☆	☆☆☆
ราคาต่อหน่วยการผลิต	☆☆☆	☆☆	☆
ความยากในการออกแบบแม่พิมพ์	☆	☆☆	☆☆☆
ราคาแม่พิมพ์	☆	☆☆	☆☆☆
แรงดันที่กระทำต่อแม่พิมพ์	☆	☆☆	☆☆☆

หมายเหตุ : ☆ = น้อย ☆☆ = ปานกลาง ☆☆☆ = มากที่สุด

จากตารางที่ 2.7 สามารถสรุปได้ว่ากระบวนการขึ้นรูปยางด้วยวิธีการฉีดขึ้นรูปเป็นวิธีการที่สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความยุ่งยากและมีซับซ้อนได้ดีที่สุดและสามารถผลิตชิ้นงานได้ในปริมาณที่มากต้นทุนในการผลิตต่ำ แม้ราคาในการออกแบบแม่พิมพ์จะมีราคาสูงมาก แต่ทั้งนี้กระบวนการฉีดขึ้นรูปก็ยังสามารถผลิตชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำได้สูงกว่ากระบวนการผลิตในรูปแบบอื่น ดังนั้นเนื่องจากในอุตสากรรมฉีดขึ้นรูปยางในชิ้นส่วนยานยนต์ต้องการผลิตภัณฑ์ยางที่มีความแม่นยำและชิ้นงานมีความซับซ้อนค่อนข้างมาก กระบวนการฉีดขึ้นรูปยางจึงเหมาะสมต่อกระบวนการผลิตชิ้นส่วนและกระบวนการฉีดขึ้นรูปยางยังขาดผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ที่ถูกต้อง ซึ่งปัจจุบันผู้ออกแบบต้องอาศัยประสบการณ์ในการออกแบบแม่พิมพ์และการออกแบบที่ผิดพลาดทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายในการทดลองและการออกแบบเพิ่มมากขึ้น

2.4 การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง

ขั้นตอนในการออกแบบแม่พิมพ์ยาง มีดังนี้

การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณา คือ เมื่อมีการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดนั้นจะต้องพิจารณาที่จุดเชื่อมโยงกันขององค์ประกอบต่าง ๆ ทั้งหมดในการทำงานและควบคุมแม่พิมพ์โดยทั่วไปแล้วในการเปลี่ยนชิ้นงานไปจากเดิมนั้นจะต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ซึ่งจะต้องดูถึงจำนวนของผลกระทบของส่วนผสมของยางที่ไหลไปในช่องรูที่จะเข้าแม่พิมพ์ (Sprue bush) และตลอดทางเดินของยางภายในเครื่องฉีดยางตลอดจนที่เนื้อยางไหลเข้าไปในแม่พิมพ์ ดังนั้นในกระบวนการฉีดยางนั้นจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดขึ้นรูป เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวมีความสำคัญเพราะในความสำเร็จของการควบคุมแม่พิมพ์ฉีดนั้นจะขึ้นอยู่กับการออกแบบแม่พิมพ์ที่ดี (เสกสรรค์ วินยางค์กูล, 2549)

สำหรับกระบวนการพิจารณาเลือกกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์จะต้องทำการเริ่มต้นที่เครื่องจักรก่อนว่าเป็นเครื่องฉีดประเภทใด ซึ่งเครื่องฉีดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ แนวตั้งและแนวนอน เนื่องจากจะต้องพิจารณาในการเปิดแม่พิมพ์ออก เครื่องที่เปิดแม่พิมพ์ในแนวนอนจะได้เปรียบโดยที่เมื่อขณะที่แม่พิมพ์เปิดออก แม่พิมพ์จะแยกจากกันได้ง่ายโดยน้ำหนักของตัวมันเองหรือจะใช้กลไกอัตโนมัติในการแยกออกจากกันโดยอุปกรณ์ในการเคลื่อนที่ขึ้นลง สำหรับแม่พิมพ์ที่เปิดในแนวตั้งโดยปกติจะจ่ายเนื้อยางไปในช่องทางที่เชื่อมต่อกันเข้าไปในผิวของรูปทรงชิ้นงานโดยจะเข้าไปพบกันที่กึ่งกลางของแม่พิมพ์ และแม่พิมพ์ที่เปิดในแนวนอนโดยปกติจะจ่ายเนื้อยางผ่านเข้าไปในช่องทางจ่ายผ่านทางไหลซึ่งจะสร้างขึ้น จะตัดกันที่ครึ่งของแม่พิมพ์ โดยในการพิจารณาที่ความต้องการในกระบวนการผลิตและการออกแบบแม่พิมพ์โดยให้ขนาดของเครื่องฉีดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ (เสกสรรค์ วินยางค์กูล, 2549)

(1) ปริมาตรและขนาดขององค์ประกอบในการสร้าง

(2) จำนวนของแม่พิมพ์ในการออกแบบในแต่ละครั้ง

(3) ขนาดพื้นที่ของชิ้นงานภายในแม่พิมพ์

(4) การฉีดหรือการส่งถ่ายความดันของเนื้อยางที่ไหลภายในแม่พิมพ์

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบแม่พิมพ์ คือ ความจุของเนื้อยางภายในรูปทรงชิ้นงาน (shot capacity) แรงดันในการกด และแรงดันในการฉีดของเครื่องจักร กฎในการออกแบบแม่พิมพ์ ผลที่เกิดจากแรงดันในการฉีด และพื้นที่ผิวของแม่พิมพ์รวมกับช่องทางไหลน้อยกว่าแรงเปิดของแม่พิมพ์มาก วัสดุที่จะนำมาสร้างแม่พิมพ์นั้นมีส่วนสำคัญมาก ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยางที่ดีนั้นจะทำให้เกิด flash แบบอิสระ หรือ flash ทั่วทั้งหมดของผิวแม่พิมพ์ ซึ่งจะต้องสร้างจากเหล็กที่แข็งแรงทนต่อแรงดันในการฉีดซึ่งใช้ความดันประมาณ 137-206 MN/m² (20,000 - 30,000 lbf/in²) ที่กระทำ การปิดตัวจะทำให้เกิด flash และความเค้นจะต้องไม่มีก่อนที่จะเสร็จ และจะต้องหลีกเลี่ยงการปิดตัวเนื่องจากความร้อนและแรงที่กดส่วนบริเวณผิวที่ประกบกันนั้นจะต้องเรียบสนิทกัน และแรงกดที่กระทำนั้นจะต้องทำในบริเวณผิวรอบ ๆ ผิวรูปทรงชิ้นงาน ช่องทางไหล ช่องทางเข้า และช่องทางจ่ายและต้องทำให้พื้นที่ส่งจ่ายและรอยต่อนั้นแนบสนิทกันเวลาปิดแม่พิมพ์ ดังนั้นการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดสำหรับยางนั้นสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยดังนี้

(1) การควบคุมอุณหภูมิสูงในการทำงานบ่อยครั้ง 200 – 300 °C

(2) การเป็นของเหลวของเนื้อยาง

(3) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเหลวของยางโดยรวดเร็ว

เมื่อแม่พิมพ์มีความร้อนเกินกว่า 200 °C แม่พิมพ์จะเกิดการขยายตัวให้มีการเคลื่อนตัวที่สูง ทำให้ตำแหน่งต่าง ๆ นี้ไม่ได้ตามแนวเดิมซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ใช้หมุดเหล็กในการนำร่อง เครื่องขับออก (Ejectors) จะต้องทำให้มีความหนา ถ้าไปขัดขวางการเคลื่อนของแม่พิมพ์ในการปิดควรที่จะแก้ไขให้ถูกต้อง ในกรณีที่ไม่ได้ขนาดของแม่พิมพ์ตามข้อกำหนดอาจจะทำให้เกิดครีบขึ้นอย่างมากได้ แท่งเหล็กในการกำหนดระยะการทำเป็นแท่งเรียงเพื่อที่จะทำให้ตำแหน่งนั้นแม่นยำ และต้องพิจารณาถึงความแตกต่างกัน ช่องการขยายตัวของวัตถุทั้งสองซึ่งจะต้องสร้างช่องที่สร้างขึ้นระหว่างแท่งให้เรียวขึ้น ซึ่งอาจจะสูญเสียแนวเส้นในการปิดตัว แท่งเหล็กกำหนดระยะตัวเมียนั้นจะสวมอยู่รอบตัวผู้เนื้อยางจะไหลเข้าไปในช่อง วิธีการในการกำหนดตำแหน่งจะทำการกำหนดที่สี่ตำแหน่งที่มุมด้านขวาของแต่ละชิ้น และทำการจำกัดการขยายให้หมดไปในทิศทางการเคลื่อนที่

ชนิดของเหล็กที่ใช้จะต้องดีกว่าโดยปกติทั่วไปที่ใช้ทำแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง เช่น มีความแข็ง ต้องการเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) เพื่อป้องกันสนิม มีการทำให้แข็งและเหล็กนั้น

จะต้องมีความเรียบ เหล็กที่มีความทนทานสูงนั้นจะช่วยให้ระยะเวลาในการใช้แม่พิมพ์นานขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่สัมผัสกับเนื้อยาง ในการเพิ่มขึ้นของอายุการใช้งานของพื้นที่สัมผัสกับยางนั้น ควรที่จะทำการขัดให้มีความมันวาวที่สูง และควรทำในชุดแม่พิมพ์ของระบบทางไหลและตัวแผ่นประกบด้วยการขัดให้มันวาวซึ่งจะทำให้คุณสมบัติในการไหลดีขึ้นในช่องทางการไหล

2.4.1 การให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ (Mold Heating)

ในการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์โดยทั่วไปแล้ว จะเลือกใช้แบบการใช้ไฟฟ้าโดยใช้ขดลวดให้ความร้อนเป็นแผ่นหรือแบบแท่งความร้อนในการให้ความร้อน ซึ่งจะเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อย ๆ คือการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ที่มีพื้นที่กว้าง และการทำให้อุณหภูมิคงที่ในการส่งถ่ายความร้อนให้แก่แม่พิมพ์ เครื่องจ่ายความร้อนที่บิดตัวตามรูปทรงภายในชิ้นงานสามารถที่จะทำให้เกิดประจุและความร้อนที่บริเวณต่าง ๆ ได้ การระบายความร้อนสามารถลดอุณหภูมิที่ผ่านไปยังผิวของแม่พิมพ์ที่จะไหลผ่านไปแม่พิมพ์

การให้ความร้อนโดยกระแสไฟฟ้าโดยความต้านทานหรือการนำปกติจะใช้แหล่งจ่ายให้กับตัวรับประมาณ 1.22 w/cm³ (20 w/in³) ชุดเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ซึ่งจะเป็นตัวที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิในการเปิดและปิด ขดลวดที่ให้ความร้อนอยู่รอบ ๆ แม่พิมพ์จะทำให้ความร้อนที่จ่ายคงที่และจะค่อย ๆ จ่ายความร้อนน้อยลง และตัดการจ่ายไฟเพื่อป้องกันการสูญเสียนั้น ตำแหน่งที่เกิดจะเกิดกับแม่พิมพ์ที่มีความยาว การจ่ายความร้อนโดยใช้ขั้วคาร์โทดจะใช้คลื่นความถี่ในแม่พิมพ์ที่มีความบาง (หนาสูงสุดประมาณ 7.6 ซม. หรือ 3 นิ้ว ต่อหนึ่งด้าน) ความร้อนภายในแม่พิมพ์นั้นไม่จำเป็นโดยจะจ่ายความร้อนโดยใช้แผ่นประกบให้ความร้อนแทน

2.4.2 ช่องทางไหลเข้าในแม่พิมพ์ (Sprue)

ช่องทางการไหลนั้นจะเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างเครื่องฉีดกับแม่พิมพ์ฉีดยางซึ่งสามารถที่จะพิจารณาได้จากชิ้นงานและแม่พิมพ์ ลักษณะทางเข้าจะมีลักษณะที่เข้าไปในช่องซึ่งมีการออกแบบให้เป็นลักษณะของตำแหน่งรูที่มีขนาดเล็กแล้วค่อย ๆ ขยายออกไปจนใหญ่ มีลักษณะเป็นรูที่เรียว (Taper) ซึ่งจะมีลักษณะทางเข้าและออกหลังจากเสร็จวงจรการทำงาน ซึ่งบางทีเราสามารถที่จะออกแบบช่องทางเข้าให้ตรงกับตัวโพรงของชิ้นงานได้เลย ถ้าอยู่ในลักษณะชิ้นงานเดียว แต่โดยปกติแล้วชิ้นงานจะมีอยู่หลายชิ้นงานซึ่งจะต้องทำช่องทางวิ่งให้เนื้อยางไหลเข้าไปในตัวแม่พิมพ์

2.4.3 การออกแบบช่องทางไหล (Runner Design)

โดยทั่วไปแล้วการออกแบบช่องทางวิ่งนั้นจะออกแบบเป็นทรงกลมซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการไหลของเนื้อยางและง่ายต่อการเปลี่ยนทิศทางแต่จะทำให้ต้นทุนของการทำแม่พิมพ์สูงขึ้น โดยทั่วไปจะออกแบบทั้งเป็นแบบช่องทางวิ่งที่ร้อน (Cold runner system) หรือช่องทางวิ่งที่เย็น

(Hot runner system) ดังนั้นการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง ลักษณะของเนื้อยาง (Compound rubber) ในช่องทางวิ่งแบบร้อนโครงสร้างยางจะเกิดการยึดตัวกันของห่วงโซ่โมเลกุลภายในเนื้อยางเมื่อโดนความร้อน (Cross links) และที่อยู่ในกระบวนการทำงานแต่ในระบบทางวิ่งเย็นนั้นจะไม่เกิดขึ้น

ดังนั้น ในการพิจารณาระยะทางระหว่างหัวฉีดจนถึงตัวชิ้นงานต้องมีการออกแบบที่เหมาะสมโดยปกติขั้นการไหลของเนื้อยางจะไหลออกจากหัวฉีดเข้าไปในช่องทางจ่ายยางผ่านเข้าไปในช่องทางไหลและผ่านช่องทางไหลเข้าไปในทางเข้าและจะไหลผ่านเข้าไปในแบบชิ้นงานภายในแม่พิมพ์

ช่องทางไหลมีลักษณะเป็นช่องภายในแม่พิมพ์โดยจะได้รับเนื้อยางจากช่องทางจ่ายที่จุดศูนย์กลาง ช่องทางไหลนั้นจะต้องพิจารณาถึงฉนวนที่อยู่รอบ ๆ ช่องทางไหลต้องออกแบบให้มีระยะทางสั้นและตรงกับรูปทรงชิ้นงานภายในแม่พิมพ์มากที่สุดเพื่อที่จะเป็นการลดของเสียจากเนื้อยางให้น้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาการฉีดเนื้อยางเข้าไปในแม่พิมพ์นั้นสั้นลง ในการเลือกช่องทางไหลที่ดีนั้นจะต้องเหมาะสมที่จะใช้หน้าตัดของช่องทางไหลแบบไหนซึ่งจะแบ่งเป็นหน้าตัดสี่เหลี่ยม เป็นทรงกลมและครึ่งวงกลม ในการไหลนั้นจะต้องไหลผ่านโดยง่ายและที่มุมจะต้องทำเป็นแนวโค้งเพื่อลดความดันที่สูญเสียไป ดังนั้นการออกแบบช่องทางไหลนั้นสามารถที่จะใช้สมการในการช่วยได้โดยใช้คุณสมบัติของการไหล สมการ Poiseuille's สำหรับการไหลแบบราบเรียบ (Laminar)

การไหลของของไหลแบบนิวโตเนียนในท่อ Capillary แสดงดังสมการ

$$P = \frac{8L\mu\gamma}{\pi r^4} \tag{2.1}$$

โดยที่ P = ความดันที่แตกต่างกันระหว่างจุดปลายและในท่อ

L = ความยาวของท่อ

μ = ค่าความหนืดของการไหล

V = ปริมาตรการไหล

r = รัศมีของท่อ

การไหลของปริมาตรของของไหลแบบนิวโตเนียม (Newtonian) จะเป็นอัตราส่วนของกำลังสี่ของรัศมีของท่อหรือพื้นที่หน้าตัดของท่อ โดยที่จะไม่มีการเพิ่มขึ้นของรัศมีของหัวฉีด (Nozzle) ช่องทางไหลและช่องทางเข้า ซึ่งจะหาค่าของความแตกต่างในอัตราส่วนการไหลของยางผ่านเข้าไปในตัวชิ้นงาน

ความดันที่สูญเสียไปหรือความต้านทานของการไหลจะเกิดที่บริเวณรอบ ๆ ท่อ ซึ่งจะขนานไปกับท่อ ซึ่งจะเป็นไปตามสัดส่วนของความยาวจะเป็นเหตุผลที่จะต้องออกแบบให้ช่องทางไหลที่มีความยาวน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ความดันที่ใช้ในการฉีดจะสูญเสียไปโดยไม่มีประโยชน์สำหรับช่องทางที่ยาวและแคบ ความดันของเครื่องฉีดมีข้อกำหนดโดยที่ความดันที่ลดลงขณะที่ไหลไปในช่องทางไหลแต่ใช้ความดันสูงสุดของเครื่องในการฉีดยางเข้าไปในตัวแม่พิมพ์แล้วยังไม่สามารถที่จะชนะแรงดันที่สูญเสียไปนั้น ดังนั้นจึงควรที่จะแก้ไขในการเพิ่มขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางช่องทางไหลและช่องทางไหลเข้าแม่พิมพ์ และจะต้องพิจารณาถึงขนาดที่ใหญ่ขึ้น

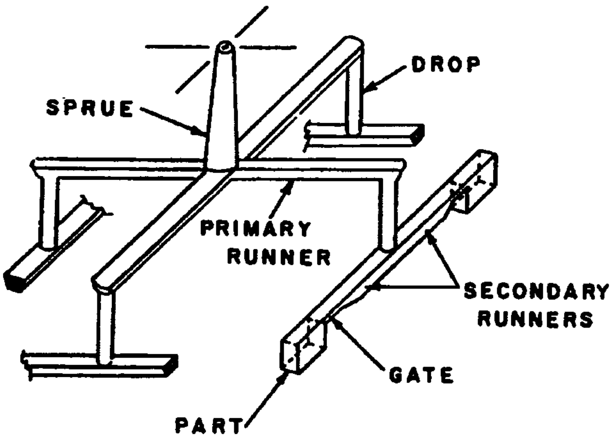
สมการที่กล่าวมานั้นในรายละเอียดของช่องทางไหลนั้นสามารถที่จะนำไปใช้ได้กับของไหลที่ไม่ใช่ของไหลแบบนอนนิวโตเนียน (Non-newtonian) ตัวอย่างความหนืดของยางนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการเฉือนแต่ในการกำหนดความหนืดของยางนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราเฉือนหรืออัตราการไหลนั้นเอง ดังนั้นในกระบวนการฉีดยาง การใช้สมการนั้นจะมีความยุ่งยากที่จะนำไปในช่วงอุณหภูมิที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนืดของยางนั้นสูงขึ้น ความดันที่ค่อย ๆ ลดลงในช่องทางไหล และเป็นการยากที่สมการกับกระบวนการไหลแบบปั่นป่วน

ตัวอย่างของพฤติกรรมการไหลของยางที่เป็นแบบนอนนิวโตเนียน (Non-newtonian) ซึ่งจะทำให้เข้าใจถึงสภาพที่เกิดขึ้นของไหลนิวโตเนียนนั้นจะไหลแบบเรียบภายในท่อและใช้ความดันตามหลังเพิ่มขึ้น 25% จะทำให้อัตราส่วนในการไหลเพิ่มขึ้น 25% ของการไหลแบบนอนนิวโตเนียน (Non-newtonian) นั้นจะทำให้อัตราการไหลเพิ่มเป็น 40 – 50%

2.4.4 ช่องทางวิ่งร้อน (Hot runner)

ในการให้ความร้อนแก่เนื้อยาง (Compound) ในช่องทางวิ่งร้อนโดยทั่วไปแล้วจะทิ้งยางส่วนนี้ออกไปเมื่อเสร็จกระบวนการ แต่บางเวลาจะทำให้เกิดการติดของเศษชิ้นยางที่ตายแล้วผสมกับเนื้อยางที่เข้ามาใหม่ในการผลิตครั้งต่อไปเศษชิ้นยางที่ติดเข้าไปช่องทางวิ่งร้อนจะเป็นข้อเสียเปรียบหลัก ๆ เพราะจะทำให้เกิดการเสียต้นทุนในมูลค่าของเนื้อยางที่เสียไปแต่จะแก้ไขโดยการกำจัดเนื้อยางที่ติดอยู่ออกไปก่อนที่จะทำการผลิตครั้งต่อไป ในระบบทางวิ่งสามารถเปรียบเทียบได้กับการจ่ายน้ำในท่อประปาโดยการไหลของน้ำที่มาก ๆ จะไหลภายในท่อหลักซึ่งมีขนาดใหญ่เปรียบได้กับช่องทางไหลเข้า และท่อหลักที่เล็กลงมาที่จะจ่ายให้กับแต่ละบ้านเปรียบเทียบได้กับทางวิ่งหลัก (Primary runner) และแจกจ่ายไปตามท่อรอบ ๆ เพื่อที่จะจ่ายให้บ้านแต่ละหลังของทางวิ่งรอง (Secondary runner) และท่อทางวิ่งภายในบ้านเปรียบเทียบได้กับช่องทางเข้า (Gates) เป็นลำดับต่อมา ช่องทางเข้าที่ปรับได้ (Adjustable gates) ในแต่ละแม่พิมพ์ฉีดที่ออกแบบนั้นจะมีการออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการไหลของยางที่จะเข้าไปในรูปทรงชิ้นงานเปรียบเสมือนก๊อกน้ำที่ควบคุมการไหลของน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 2.13 ในส่วนผสมของยางนั้นจะมีความหนืดที่สูง ซึ่งเป็นการไหลแบบ

นอนนิวโตเนียน (Non-newtonian) หลักการไหลจะมีความซับซ้อนมากกว่าน้ำ ซึ่งจะต้องทำการออกแบบช่องทางวิ่งที่ซับซ้อนกว่า โดยทั่วไปจะออกแบบช่องทางวิ่งลักษณะวงกลมหรือโค้ง ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนทิศทางของการวิ่งดีกว่าแบบอื่น แต่ก็จะทำให้มีราคาสูงขึ้น ซึ่งในหน้าตัดนั้นไม่สามารถที่จะทำให้เล็กลงได้เพราะจะมีลักษณะการทำงานโดยการประกบกันทั้งสองส่วน

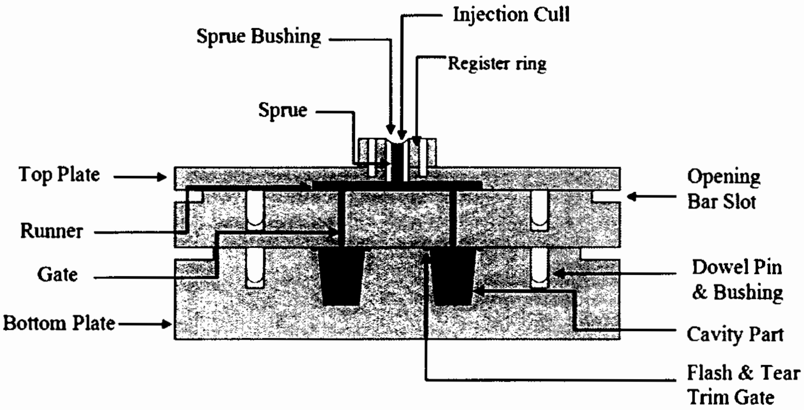


ภาพที่ 2.13 ช่องทางไหลของแม่พิมพ์ฉีดยาง

วัตถุประสงค์ในการออกแบบช่องทางไหลเพื่อที่จะทำให้เนื้อยางไหลเข้าไปในรูปทรงชิ้นงานของแม่พิมพ์ฉีดในลักษณะที่พร้อมกันเพื่อที่จะทำให้เนื้อยางนั้นมีสภาวะที่เหมือนกันทุก ๆ ส่วนในช่วงเวลาที่ให้ความร้อน ในการออกแบบระบบทางไหลให้สมดุลย์กันของการไหลของเนื้อยางนั้นเป็นข้อกำหนดที่สำคัญและเป็นวัตถุประสงค์หลักในการออกแบบระบบช่องทางเข้า โดยมีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น อุณหภูมินั้นจะมีผลกระทบต่อพฤติกรรมการไหลของเนื้อยาง

2.4.5 ช่องทางไหลแบบเย็น (Cold Runner)

ช่องทางไหลแบบเย็น (Cold runner) การถ่ายเทความร้อนของการไหลต้องการให้การไหลของอุณหภูมิภายในท่อของช่องทางไหลแบบเย็นของแผ่นช่องทางไหลเย็น (Cold runner) ซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิของหัวฉีดช่องทางไหลแบบเย็นและตัวเนื้อยางแผ่นฉนวนระหว่างอุณหภูมิต่ำกับแผ่นที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งจะมีหน้าที่ทำให้ช่องการถ่ายเทความร้อนน้อยที่สุดระหว่างสองแผ่นและช่องทางรอบ ๆ หัวฉีดในช่องทางไหลแบบเย็น ซึ่งจะทำให้ความร้อนถ่ายเทไปให้หัวฉีดน้อยที่สุด โดยที่แผ่นความร้อนสูงจะได้รับความร้อนโดยชุดให้ความร้อน จุดที่เชื่อมต่อกันเป็นเนื้อยางที่จะได้รับความร้อนและไม่ได้รับความร้อน (Uncured-cured material) จะเกิดขึ้นที่ฐานด้านล่างของหัวฉีด ดังแสดงในภาพที่ 2.14



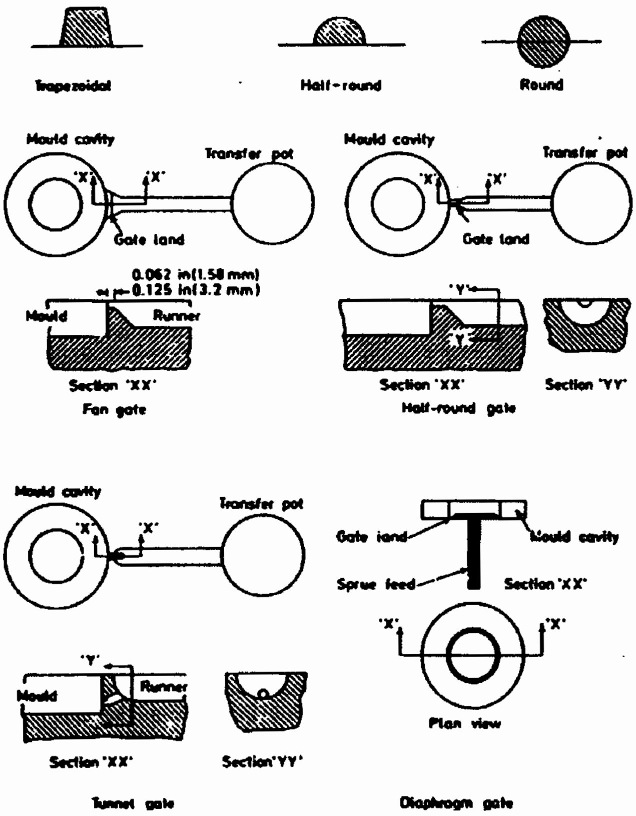
ภาพที่ 2.14 หน้าตัดช่องทางไหลแบบเย็น

2.4.6 การออกแบบช่องทางไหลเข้า (Gate Runner)

ช่องทางไหลจะไปสิ้นสุดที่ช่องทางไหลเข้าที่รูปทรงของชิ้นงานภายในเบ้าของแม่พิมพ์ซึ่งจะเป็นช่องทางที่เนื้อยางจะไหลเข้าไปรูปทรงของชิ้นงานพิมพ์ ช่องทางไหลเข้าจะมีหน้าที่คล้ายกับหัวฉีด และสามารถออกแบบขนาดและรูปร่างและจะเป็นช่วงสุดท้ายของเนื้อยางที่จะได้รับความร้อนก่อนที่เนื้อยางจะเข้าไปในแม่พิมพ์ อย่างไรก็ดีจะเป็นการยากที่จะรู้ถึงอุณหภูมิที่สูงขึ้นที่จุดนี้ เพราะไม่สามารถที่จะติดตัววัดอุณหภูมิในตำแหน่งนี้ได้ ดังนี้จึงแก้ไขโดยการติดตัววัดอุณหภูมิไว้ที่แม่พิมพ์รอบ ๆ จุดช่องทางไหลเข้าแต่อย่างไรก็ตามในการเปิดแม่พิมพ์อย่างรวดเร็วตัววัดอุณหภูมิจะไม่สามารถตรวจสอบอุณหภูมิตอนสุดท้ายได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นอุณหภูมิสุดท้ายจึงกำหนดให้เป็นอุณหภูมิของเนื้อยางไหลเข้าไปในแม่พิมพ์ และกำหนดให้ค่าการนำความร้อนของยางนั้นต่ำ ดังนั้นจะทำให้ความร้อนที่ผิวของแม่พิมพ์จะใช้เวลานานในการเข้าไปถึงตำแหน่งตรงกลางของแม่พิมพ์

ปัจจัยของช่องทางไหลเข้าที่ควรพิจารณาถึงขนาดที่เล็กที่เพียงพอที่จะทำให้เนื้อยางไหลเข้าไปได้ง่ายและมีลักษณะที่เป็นระเบียบที่แน่นอนและไม่จำเป็นต้องตกแต่งชิ้นงานอีกหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการ ในการออกแบบช่องทางไหลเข้านั้นควรจะไม่ไปมีผลกระทบกับองค์ประกอบอื่น ๆ ในการออกแบบ ถึงแม้ว่าการออกแบบช่องทางไหลเข้านั้นจะมีขนาดและรูปร่างไม่แน่นอนในการออกแบบแต่ก็ควรที่จะมีขนาดที่ใหญ่พอที่จะทำให้เนื้อยางไหลเข้าไปในปริมาตรที่ต้องการของรูปทรงชิ้นงานในแม่พิมพ์และจะต้องสอดคล้องกับระยะเวลาในการไหลเข้าไปในแม่พิมพ์ ช่องทางไหลเข้าควรที่จะมีความเข้มแข็งที่พอเพียงที่รับแรงของเนื้อยางในการไหลซึ่งจะทำให้การไหลเข้าไปในแม่พิมพ์นั้นคงที่และรวดเร็วและจะมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ ที่ต่อเนื่อง แต่ถ้ามีความแข็งแรงไม่พอเพียงจะทำให้เนื้อยางที่เข้าไปมีลักษณะที่เป็นกิ่งหรือเป็นก้อน ซึ่งจะทำให้ได้ผลผลิตไม่ดีในกระบวนการผลิต หน้าตัดของช่องทางไหลเข้าโดยทั่วไปจะทำให้มีพื้นที่หน้าตัด

เหมือนกับช่องทางไหล (Runner) แต่จะลดขนาดลงมาเหลือประมาณ 0.25 – 0.38 มม. ในการออกแบบทางไหลของแม่พิมพ์ฉีดยางนั้น จะทำให้ช่องทางไหลเข้ามีขนาดที่เล็กก่อนและทำการทดลองจริงแล้วค่อยขยายขนาดของช่องทางไหลเข้าตามความเหมาะสม ดังนั้นช่องทางไหลเข้าของแม่พิมพ์แบบฉีดนั้นจะต้องมีการออกแบบที่ดี ซึ่งการไหลของเนื้อยางที่จะเข้าไปภายในรูปทรงชิ้นงานนั้นจะเป็นการไหลโดยการฉีดเข้าแบบต่อเนื่อง โดยในการเลือกช่องทางไหลของแม่พิมพ์ฉีดยางนั้นจะพิจารณาได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ชนิดของช่องทางไหลและช่องไหลเข้าในรูปแบบต่าง ๆ

2.4.7 แบบของแม่พิมพ์ (Mold layout)

แบบของแม่พิมพ์นั้นจะต้องพิจารณาถึงการออกแบบสำหรับรูปทรงชิ้นงานในแม่พิมพ์ (Cavities) ชุดให้ความร้อน (Heaters system) เครื่องมือวัดระดับอุณหภูมิ (Thermocouples) ตำแหน่งของ dowels ฉนวน (Insulation) ช่องทางจ่ายยาง (Sprue) ช่องทางไหล (Runner way) ช่องทางเข้า (Gates) ชุดกระทุ้งออก (Ejectors) ช่องลม (Air vents) ช่องในการฉีกขาด (Fear off grooves) และระบบสูญญากาศ (Vacuum attachments)

2.4.8 แบบของรูปทรงชิ้นงานภายในแม่พิมพ์ (Cavity layout)

แบบของรูปชิ้นงานที่ดีนั้นจะต้องพิจารณาโดยเฉพาะอย่างยิ่งจำนวนของรูปทรงชิ้นงานภายในแม่พิมพ์ เพราะจะคุ้มค่าในการลงทุนซึ่งจะต้องมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ภายในแม่พิมพ์ ซึ่งจะต้องพิจารณาในการออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสมและต้องมีประสิทธิภาพด้วย ในการไหลของยางเข้าไปในรูปทรงของชิ้นงานภายในแม่พิมพ์นั้น ต้องการไหลเข้าไปในแต่ละชิ้นงานนั้นในเวลาตำแหน่งต่าง ๆ ต้องเท่ากัน อัตราการไหลต้องเท่ากัน โดยจะต้องทำการควบคุมสมดุลย์ของการไหลแต่ละรอบของการฉีด

2.4.9 รูปทรงชิ้นงานภายในแม่พิมพ์ (Part cavities)

รูปทรงชิ้นงานภายในแม่พิมพ์จะแสดงให้เห็นรูปร่างของตัวเนื้อยางซึ่งจะสำคัญสำหรับความทนทานต่อการเกิดความดันสูงและความแค้นที่เกิดขึ้นหลังจากที่เนื้อยางไหลเข้าไปและอากาศที่กดภายในแม่พิมพ์ เวลาที่ไม่สม่ำเสมอของการไหลเข้าของเนื้อยางที่เข้าไปในแม่พิมพ์สามารถทำให้ผนังของรูปทรงชิ้นงานเกิดจุด Yield point ซึ่งความหนานี้จะไม่พอเพียง ในการเติมเต็มเนื้อยางภายในตัวแม่พิมพ์นั้นจะห่อหุ้มรูปทรงชิ้นงานอยู่ความหนาที่พอเพียงนั้นจะต้องทนต่อการเกิดการบิดงอซึ่งจะมีส่วนทำให้เกิดผิวที่มีลักษณะมันวาวเนื่องจากการกระแทกรอยขูดขีด

ความหนาต่ำสุดอยู่ที่ 0.875 นิ้ว ซึ่งจะแนะนำให้ใช้กับแม่พิมพ์ตัวบน ตัวแม่พิมพ์นั้นจะต้องมีความทนทาน และทนต่อจำนวนรอบในการทำงานที่สูงซึ่งจะต้องมีการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนดและองค์ประกอบความสำคัญอื่น ๆ ได้แก่ รูปแบบในการวางของรูปทรงภายในแม่พิมพ์ (Cavity layout) และพื้นที่ภายในรูปทรงของชิ้นงานในแม่พิมพ์ (Cavity spacing) ในการวางรูปแบบของตัวชิ้นงานในแม่พิมพ์และช่องทางไหลต้องการผลที่จะได้คือต้องการที่จะให้ความดันที่กระจายตัวค่อนข้างคงที่โดยกระทำตามขวางกับพื้นผิวของแม่พิมพ์บริเวณรอยต่อของแม่พิมพ์ (Parting line) การกระจายตัวที่ไม่ได้รูป มีแนวโน้มที่จะทำให้แม่พิมพ์มีการเปิดตัวออกจากกันที่บริเวณรอยต่อซึ่งจะทำให้เกิดการสึกหรอที่ผิวได้ เช่น เกิดการมันวาวขึ้น เป็นต้น

2.4.10 วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์

การเลือกใช้วัสดุที่จะมาทำแม่พิมพ์ฉีดนั้นจะต้องคำนึงถึงจุดวิกฤตที่มีมากกว่าแม่พิมพ์อัดและแม่พิมพ์กึ่งฉีดซึ่งในแม่พิมพ์ฉีดนั้นจะถูกกำหนดโดยเงื่อนไขของการควบคุม ซึ่งจะมีความดันที่สูง อุณหภูมิที่สูงและความถี่ของไซเคิลการทำงาน ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดอัตราสึกหรอที่สูง โดยเฉพาะจุดวิกฤตของขอบแม่พิมพ์ที่มาเชื่อมต่อกัน (Parting line) ดังนั้นในการเลือกเหล็กที่จะนำมาทำแม่พิมพ์นั้นจะต้องมีคุณภาพที่สูงซึ่งจะทำให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน ในการสร้างแม่พิมพ์จากวัสดุที่มีคุณภาพในตอนต้นอาจมีการเปลี่ยนแปลงบางจุดของแม่พิมพ์ที่มีจุดวิกฤต

สูง ๆ ก่อนและต่อจากนั้นทำการเปลี่ยนทั้งหมด ซึ่งจะทำให้คุณภาพของแม่พิมพ์สูงขึ้นและจะทำให้ผลิตชิ้นงานได้นานขึ้น

ความเค้นตกค้าง (Residual stress) ในแม่พิมพ์จะเกิดจากการขึ้นรูปของแม่พิมพ์ หรือกระบวนการทางความร้อนที่เกิดขึ้นตอนสร้างแม่พิมพ์ หรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของเหล็ก เช่น การรีดเย็น หรือการโก่งงอ ในกรณีของการเกิดความเค้นตกค้างก่อนขึ้นรูปแม่พิมพ์ คือ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างสูงของชิ้นแม่พิมพ์ เช่น การเชื่อม การขึ้นรูป และการชุบแข็ง (Hardenning) ในกรณีของความดันที่เกิดจากความร้อน (Thermal stress) ซึ่งจะทำให้ความแข็งแรงเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยซึ่งจะทำให้ค่าความเค้นคราก (Yield strength) เพิ่มขึ้น

วิธีการ Subharmonic stress เป็นวิธีการที่จะทำให้ความเค้นตกค้างนี้ลดลง เหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์ฉีดยางนั้นต้องการเนื้อเหล็กที่สะอาดและปราศจากสิ่งปลอมปน รูพรุนเล็ก ๆ ที่เนื้อเหล็ก (Porosity) และความบกพร่องอื่น ๆ ซึ่งจะมีผลต่อการสร้างแม่พิมพ์เป็นอย่างมาก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการเลือกเหล็กที่ใช้ผลิต

เหล็กที่ผ่านกระบวนการทำให้แข็งนั้นจะขึ้นรูปได้ยากกว่าเหล็กอ่อน ซึ่งจะต้องใช้เวลามากกว่าการขึ้นรูปเหล็กอ่อนประมาณ 28% เหล็กที่ผ่านกระบวนการทำให้แข็งนั้นจะนิยมใช้สร้างแม่พิมพ์ฉีดเพราะจะให้ความทนทานที่สูง ในกระบวนการสร้างในปัจจุบันและการปรับปรุงคุณภาพเหล็กนั้นแตกต่างจากสมัยก่อน ซึ่งจะมีความยากมากกว่าโดยมีความยากในการขึ้นรูปเหล็กที่นำมาใช้ทำแม่พิมพ์ ซึ่งต้องการลักษณะจำเพาะของเหล็กที่จะนำมาสร้างแม่พิมพ์ โดยต้องการความมั่นคงและง่ายในการเชื่อมประสานเหล็ก ซึ่งเหล็ก NAK 55 ครอบคลุมคุณลักษณะที่ต้องการของเหล็ก 4140 และ P20

เหล็กบางชนิด สามารถนำมาผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ ซึ่งจะทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของความแข็งนั้นจะเกิดจากบริเวณผิวลึกลงไปภายในผิวของแม่พิมพ์ ซึ่งจะต้องการความแข็งที่มีลักษณะคงที่เท่า ๆ กันตลอดในทุกระดับของความลึก ความแข็งสูงของแม่พิมพ์นั้น จะช่วยให้บริเวณพื้นที่ภายในของแม่พิมพ์จะทนต่อแรงกดที่เกิดขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดรอยมันวาวขึ้น ซึ่งจะเกิดจากการทำงานของแม่พิมพ์รอยกดที่จะทำเกิดความสึกหรอที่มีรอยมันวาวนั้นส่วนมากจะเกิดบริเวณจุดที่เป็นรอยกดของบริเวณพื้นที่ ๆ เป็นจุดวิกฤตในแม่พิมพ์ที่ใช้เหล็กอ่อนในการทำชิ้นส่วนแม่พิมพ์ ในการที่จะลดรอยมันวาวที่เกิดจากการกดนั้นจะสำคัญมาก ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานแม่พิมพ์นั้นสูงขึ้นส่วนใหญ่แล้วจะใช้ชนิดของเหล็กในการทำแม่พิมพ์ฉีดตาม American National Standards Institute (ANSI) ซึ่งสามารถแยกเป็นกลุ่มสำหรับการออกแบบแม่พิมพ์ได้ดังนี้

(1) 4140 และ 4130 Alloy steel สำหรับตัวแม่พิมพ์ที่ต้องการความทนทาน

(2) 420, S45C และ P10 Tool steel สำหรับรูปทรงของชิ้นงานในแม่พิมพ์

(3) H13 Hot rolled steel สำหรับตัวดันชิ้นงานออก (Ejectors)

(4) 6150 Alloy steel สำหรับหัวฉีด (Nozzles)

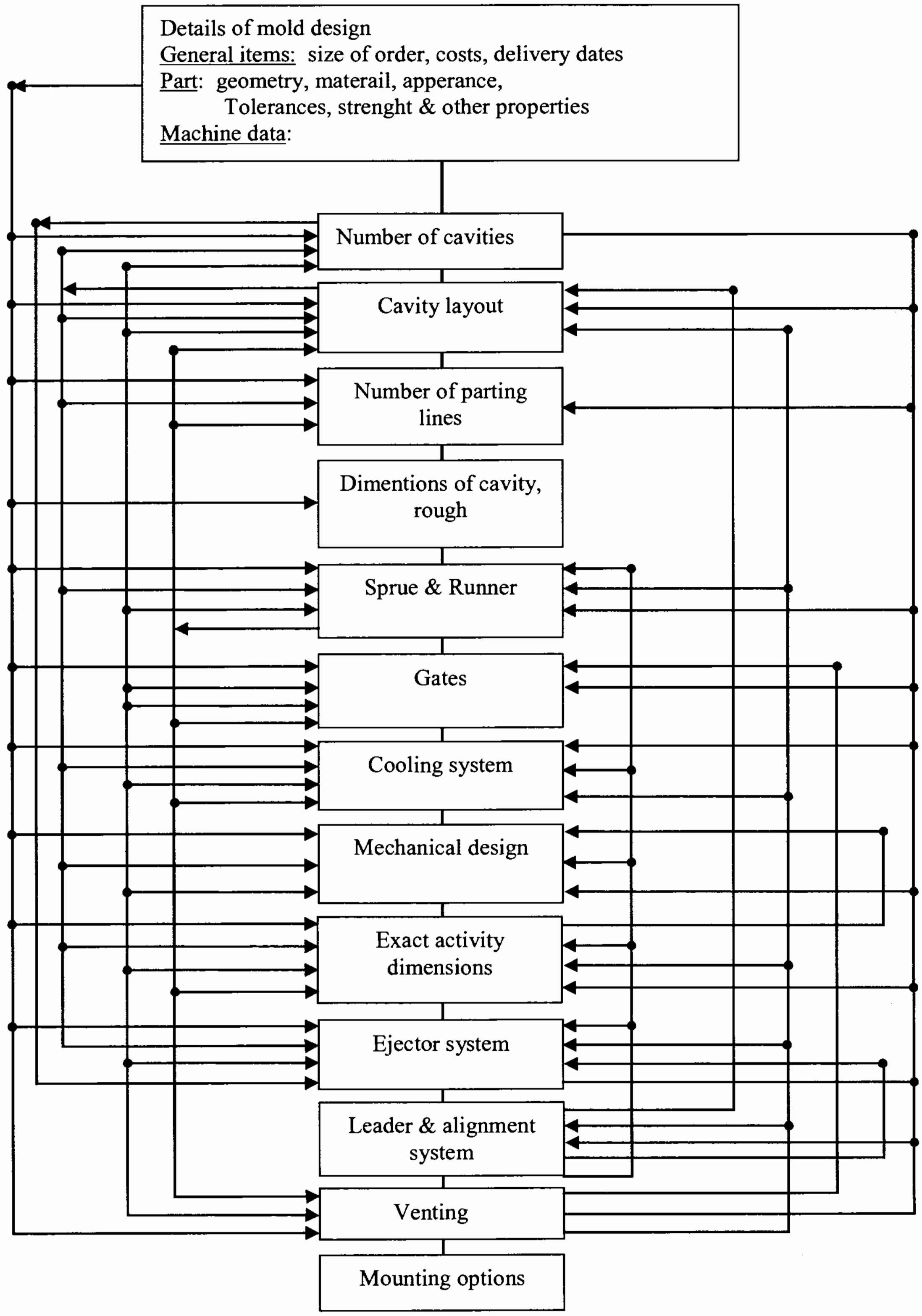
สามารถสรุปข้อมูลเกี่ยวกับการเลือกใช้เหล็กในการผลิตแม่พิมพ์ สามารถเลือกได้จากผู้จัดจำหน่ายและมาตรฐานของแม่พิมพ์และการสร้างแม่พิมพ์ ตัวอย่างในเหล็กคาร์บอนสามารถที่จะแบ่งกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

(1) กลุ่มที่มีคาร์บอนต่ำ (Low carbon) มีคาร์บอนไม่เกิน 0.35%

(2) กลุ่มที่มีคาร์บอนปานกลาง (Medium carbon) มีคาร์บอน 0.35% ถึง 0.5%

(3) กลุ่มที่มีคาร์บอนสูง (High carbon) มีคาร์บอน 0.5 ถึง 1.0%

ดังนั้นสามารถสรุปว่าในกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางจะต้องคำนึงถึงรูปทรงของชิ้นงาน ขนาดของชิ้นงาน ต้นทุนในการออกแบบแม่พิมพ์ วัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์ การให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ ช่องทางไหลของยางเข้าในแม่พิมพ์ ช่องทางวิ่งร้อน ช่องทางไหลแบบเย็น แบบของแม่พิมพ์ ช่องลมภายในแม่พิมพ์ ซึ่งจะส่งผลต่อการออกแบบแม่พิมพ์ โดยทั่วไปแล้วการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางของผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยยังใช้ประสบการณ์ในการออกแบบแม่พิมพ์ และใช้การลองผิดลองถูกในการออกแบบ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหากับชิ้นงานในด้านคุณภาพ ด้านต้นทุนในการผลิตและกระบวนการผลิตเมื่อมีการนำแม่พิมพ์ไปใช้งาน โดยหลักการในการออกแบบแม่พิมพ์จะต้องยึดหลักการออกแบบที่ถูกต้อง ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ในกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 ความสัมพันธ์ของการออกแบบแม่พิมพ์ (Jonas R,1978)

2.5 ระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นสาขาย่อยของปัญญาประดิษฐ์ ใช้ช่วยในการสรุปหาคำตอบหรือแก้ไขปัญหาเฉพาะด้าน ซึ่งการแก้ปัญหาในอดีตต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์เท่านั้น แต่ในปัจจุบันเราสามารถนำความรู้ที่ได้จากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ หรือจากตำรามาเก็บไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่เรียกว่าระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญนี้จะแปลงรูปของความรู้ที่ได้ให้อยู่ในรูปที่ง่ายต่อการประมวลผลเพื่อนำไปเก็บไว้ในฐานความรู้ (Knowledge Base) เมื่อผู้ใช้ต้องการทราบข้อสรุปหรือคำตอบในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับความรู้ในระบบผู้เชี่ยวชาญ โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญจะนำความรู้ที่เก็บไว้นี้มาใช้ในการประมวลผลโดยจะมีส่วนอนุมาน (Inference Engine) ทำหน้าที่หาคำตอบหรือข้อสรุปที่ใส่เข้าไปในระบบ ซึ่งระบบที่มีความรู้เก็บไว้มากก็จะสามารถวิเคราะห์ปัญหาได้อย่างแม่นยำใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ของผู้เชี่ยวชาญมากขึ้น

2.5.1 ความเป็นมาของระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System)

เมื่อปี ค.ศ.1963 นีเวล (Newell) ได้ทำการค้นคว้าเพื่อหาวิธีการออกแบบระบบการแก้ปัญหา (Problem Solving System) สำหรับคอมพิวเตอร์ขึ้น หลังจากนั้นต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญจึงถูกสร้างขึ้น ต่อมาปี ค.ศ. 1975 ได้เกิดระบบผู้เชี่ยวชาญขึ้นอย่างมาก นักวิจัยให้ความสนใจงานทางด้านระบบความรู้ (Knowledge) พัฒนาทฤษฎีของการแสดงความรู้ (Knowledge Representation) และพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยในการแสดงความรู้

2.5.1.1 ความรู้ความชำนาญหรือความเชี่ยวชาญ (Expertise)

1) ความรู้ความชำนาญหรือความเชี่ยวชาญ มีความหมายที่กว้าง โดยมากจะเน้นในเรื่องความถนัดในงานนั้น ๆ ของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งอาจเป็นองค์ความรู้เกี่ยวกับงาน ที่ได้จากการฝึกอบรมได้จากการอ่าน หรืออาจมาจากประสบการณ์ ผู้เชี่ยวชาญ (Experts) มักจะตัดสินใจได้ดีกว่าผู้ที่ไม่มีความเชี่ยวชาญ (Non expert) และการที่เราจะรอให้ผู้ไม่มีความเชี่ยวชาญนั้นสั่งสมประสบการณ์ และเรียนรู้เพื่อให้มีความสามารถเทียบเคียงกับผู้เชี่ยวชาญในปัจจุบัน อาจต้องใช้เวลานานหลายปี หรือไม่สามารถเรียนรู้และฝึกฝนได้เทียบเท่าก็ได้ เนื่องจากความแตกต่างด้านความสามารถเฉพาะบุคคล และทักษะ (Skill) เฉพาะด้านที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการจัดเก็บความรู้ความชำนาญจากผู้เชี่ยวชาญ เพื่อพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ

2) ผู้เชี่ยวชาญ (Experts) มีความสามารถดีกว่าและตัดสินใจได้เร็วกว่าผู้ที่ไม่มีความเชี่ยวชาญ (Non experts)

2.5.1.2 ข้อเท็จจริงบางอย่างเกี่ยวกับความเชี่ยวชาญ (Expertise)

1) ความเชี่ยวชาญ (Expertise) จะสัมพันธ์กับการใช้สติปัญญาระดับสูงแต่ก็ไม่เสมอไปสำหรับบางคน (คนที่มีสติปัญญาดี มักจะมีความเชี่ยวชาญ: สามารถวัด IQ ได้)

2) ความเชี่ยวชาญ (Expertise) จะสัมพันธ์กับกับองค์ความรู้จำนวนมาก

3) ผู้เชี่ยวชาญ (Experts) ได้จากการเรียนรู้ การค้นคว้า จากความสำเร็จและความผิดพลาด ซึ่งเราเรียกว่าเป็นการสั่งสมประสบการณ์

4) องค์ความรู้ของผู้เชี่ยวชาญ (Expert knowledge) จะสามารถจัดเก็บบริหารจัดการ และเรียกใช้งานได้ทันทีที่ต้องการ

5) ผู้เชี่ยวชาญ (Experts) ต้องสามารถเรียกใช้ความชำนาญของตนได้อย่างดีเยี่ยมเมื่อต้องการใช้งาน

2.5.1.3 ผู้เชี่ยวชาญ (Experts) คือ บุคคลที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญ ความชำนาญเฉพาะด้าน อาจเป็นคน ๆ เดียว (Individual) หรือกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ (Group) คุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญมีดังนี้

1) ผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ความชำนาญในระดับเดียวกัน

2) ผู้ไม่มีความเชี่ยวชาญ (Non experts) จะมีจำนวนมากกว่าผู้เชี่ยวชาญด้วยสัดส่วน 1 ต่อ 100 จะเห็นว่าจำนวนผู้เชี่ยวชาญมีน้อยมาก ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีการจัดเก็บองค์ความรู้ของผู้เชี่ยวชาญไว้อย่างคงทนถาวร เพื่อกระจายและเผยแพร่นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อองค์กร

2.5.2 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ

โครงสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems) โดยพื้นฐานประกอบด้วย 5 ส่วน ซึ่งโดยทั่วไปหลักการพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญ จะเป็นการนำองค์ความรู้มาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น เพื่อสร้างความได้เปรียบในเชิงธุรกิจ ซึ่งมีส่วนประกอบพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้

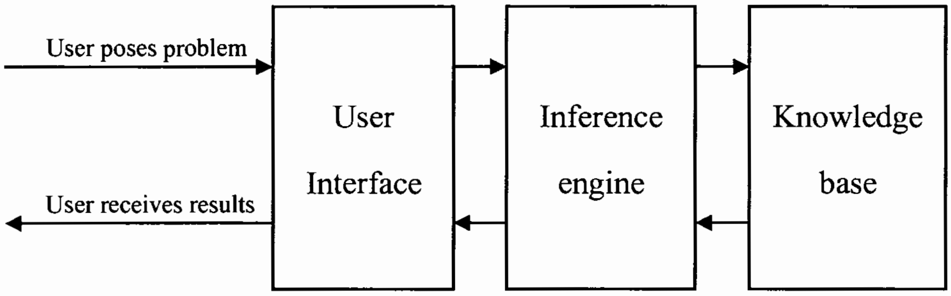
(1) ความรู้ความชำนาญหรือความเชี่ยวชาญ (Expertise)

(2) วิธีการถ่ายโอนความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ อาจเรียกว่าเป็นการส่งผ่านองค์ความรู้ (Transferring Experts)

(3) การสรุปความ (Inferencing)

(4) การสร้างกฎ (Rules)

(5) การอธิบายความ (Explanation capability) คือ การให้เหตุผล



ภาพที่ 2.17 โครงสร้างพื้นฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญ (Pedersen,Ken,1989)

ระบบผู้เชี่ยวชาญอาจจะมีไม่ครบทั้ง 5 ส่วน แต่ส่วนที่ขาดไม่ได้ คือ ฐานความรู้และเครื่องอนุมาน ความหมายและหน้าที่ของส่วนประกอบของระบบผู้เชี่ยวชาญมีดังนี้

2.5.2.1 ฐานข้อมูลความรู้ (Knowledge Base) คือ ระบบฐานความรู้เป็นส่วนที่เก็บความรู้ที่ได้จากตำรา หนังสือ เอกสารหรือวารสาร รวมไปถึงผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ ซึ่งมีความรู้เฉพาะด้านในสาขาใดสาขาหนึ่งรูปแบบของความรู้ในฐานความรู้จะถูกเก็บไว้ในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและสัมพันธ์กับเปลือกของระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System Shell) ซึ่งฐานความรู้นี้จะประกอบด้วยข้อเท็จจริงและกฎต่าง ๆ

1) ข้อเท็จจริง (Fact) คือ ความรู้ที่ระบุถึงข้อมูลความเป็นจริงในปัญหาหนึ่ง เช่น โลกหมุนรอบดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์หมุนรอบโลก เป็นต้น

2) กฎ (Rules) คือ เป็นการรับรู้จากจิตใต้สำนึก (Heuristic) ที่ตั้งขึ้น ซึ่งเป็นการนำองค์ความรู้ที่มีอยู่มาช่วยแก้ปัญหาเฉพาะด้านได้โดยตรง

ฐานความรู้สามารถแบ่งได้ตามสถานภาพเป็น 2 ประเภท คือ

(1) ฐานความรู้สถิต (Static Database) คือ ฐานความรู้ที่เป็นข้อเท็จจริงหรือกฎที่บรรจุอยู่ในโปรแกรม ไม่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลใด ๆ ในขณะที่ใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญอยู่ จนกว่าจะมีการแก้ไขโปรแกรม

(2) ฐานความรู้ไดนามิค (Dynamic Database) คือ ฐานข้อมูลความรู้ของข้อเท็จจริง สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามต้องการในขณะโปรแกรมทำงานอยู่

2.5.2.2 กลไกการวินิจฉัย (Inference Engine) คือ ส่วนการจำลองกระบวนการความคิดของมนุษย์ โดยใช้ข้อมูลที่ป้อนเข้ามาประมวลกับกฎข้อเท็จจริงที่มีอยู่ในระบบ แล้วสรุปผลเป็นข้อเท็จจริงใหม่ซึ่งจะถูกนำเสนอสู่ผู้ใช้งานทางส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน กลไกการวินิจฉัยที่สำคัญสามารถแบ่งได้เป็นระบบกลไกได้ 2 ประเภท ได้แก่ กลไกการวินิจฉัยแบบย้อนกลับ (Backward chaining method) กลไกการวินิจฉัยแบบเดินหน้า (Forward chaining method)

2.5.2.3 ส่วนปฏิภาคกับผู้ใช้ (User Interface) ส่วนปฏิภาคกับผู้ใช้เป็นส่วนที่ติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้ให้เป็นไปอย่างราบรื่นโดยการแสดงผลที่หน้าจอ ซึ่งส่วนปฏิภาคกับผู้ใช้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1) ส่วนรับข้อมูล (Data Input) ส่วนรับข้อมูลมักอยู่ในส่วนของคำถามและตอบ (Question-answer) หรือมีเมนูให้เลือก (Menu-driven)

2) ส่วนรายงานผล (Report) ส่วนรายงานผลอาจออกมาในรูปข้อสรุปข้อมูลข่าวสาร กราฟรูปภาพ หรือข้อมูลส่งต่อไปยังระบบอื่น ๆ ที่ต่อเนื่องกัน ที่ใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นอินพุท (Input)

2.5.2.4 การแสวงหาความรู้ (Knowledge Acquisition) คือ การแสวงหาความรู้เป็นการค้นหาข้อมูลที่ต้องการใช้ในโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งอาจจะได้มาจากหนังสือ คู่มือ รายงาน เอกสารหรือผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญในแขนงความรู้นั้น โดยวิศวกรความรู้ (Knowledge Engineering) จะเป็นผู้นำความรู้เหล่านี้มาดำเนินการให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมเพื่อใช้ในระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยกระบวนการของการแสวงหาความรู้สามารถแบ่งได้ดังนี้

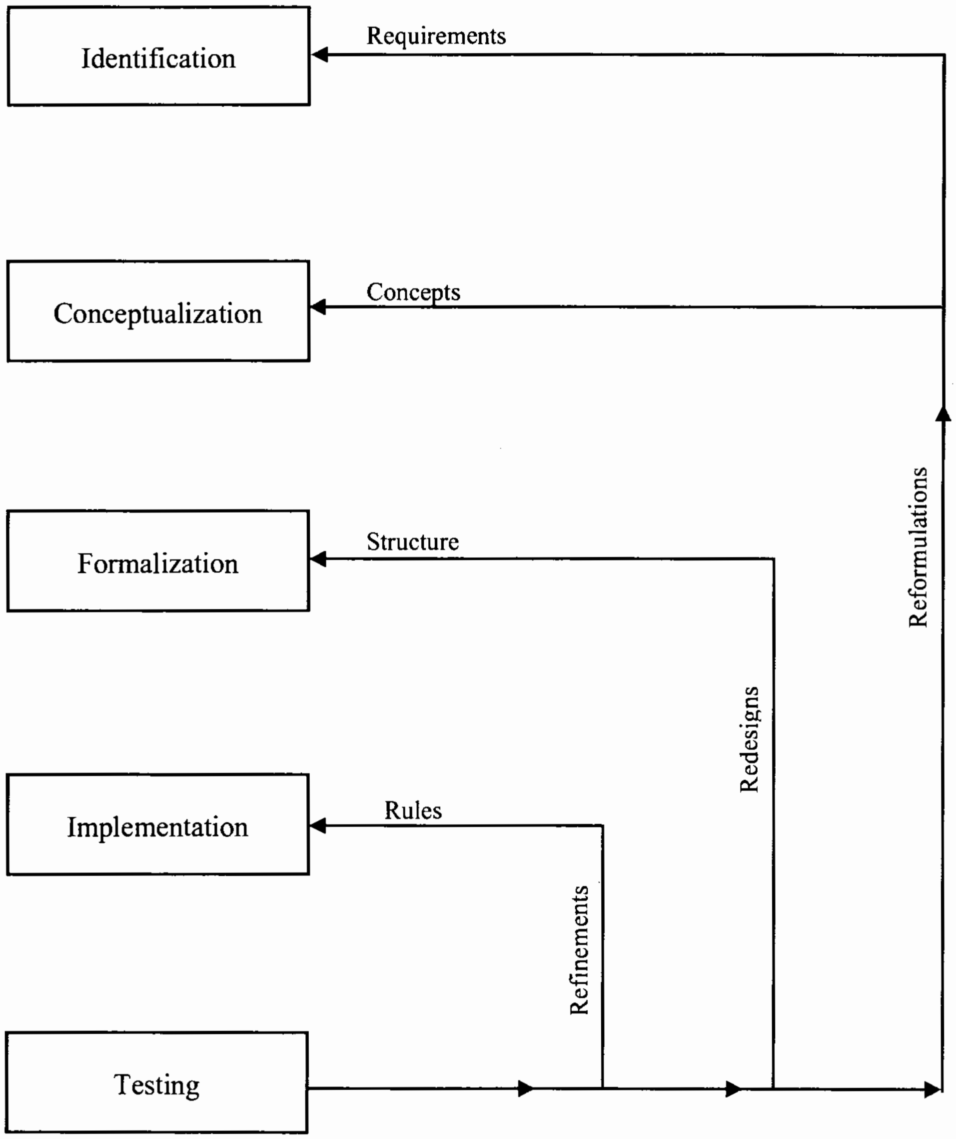
ขั้นตอนที่ 1 เป็นการกำหนดปัญหาหลักที่สนใจจะพัฒนา ตั้งเป้าหมายในการพัฒนาและเลือกที่มาของแหล่งความรู้ที่เหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญหรือจากแหล่งอื่น ๆ

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการทำความเข้าใจและกลั่นกรองรายละเอียดของปัญหาความสัมพันธ์ระหว่างความคิดแต่ละความคิดภายในขอบเขตปัญหาหลัก ซึ่งผู้เชี่ยวชาญได้เกี่ยวโยงและแสดงให้เห็น

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการจัดโครงสร้างของความสัมพันธ์ของแต่ละความคิดแต่ละส่วนย่อยต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปของโครงสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลอย่างเหมาะสมเพื่อนำไปสร้างระบบ

ขั้นตอนที่ 4 เป็นการนำข้อมูลไปใช้เป็นฐานความรู้เพื่อสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยการนำโครงสร้างข้อมูลที่ได้มาตั้งแต่ขั้นตอนก่อนหน้านี้และมาสร้างเป็นระบบผู้เชี่ยวชาญ

ขั้นตอนที่ 5 เป็นการทดสอบความถูกต้อง หากไม่ถูกต้องก็จะนำกลับไปผ่านขั้นตอนที่จำเป็นใหม่อีกครั้ง



ภาพที่ 2.18 กระบวนการของการแสวงหาความรู้ (ชัยรัตน์ กิติธรรมโรจน์, 2547)

เทคนิคการแสวงหาความรู้ วิศวกรความรู้จะเป็นผู้ถ่ายทอดความรู้และจำลองพฤติกรรมการแก้ปัญหามาไว้ในระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งบางครั้งวิศวกรความรู้อาจจะไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญในปัญหานั้น ๆ จึงจำเป็นต้องมีเทคนิคในการแสวงหาความรู้จากผู้เชี่ยวชาญได้เป็นอย่างดี จึงจะสามารถสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญที่มีประสิทธิภาพได้ เทคนิคการแสวงหาความรู้จากผู้เชี่ยวชาญมี 3 วิธี ดังนี้

1) การบรรยาย คือ วิธีการนี้ผู้เชี่ยวชาญจะเป็นผู้บรรยายถึงรายละเอียดของโครงสร้างและปัญหาที่สนใจนั้น ๆ คล้ายกับการบรรยายในห้องเรียนหรือความรู้ที่ได้จากตำรา วิธีนี้มีข้อจำกัด คือ มักจะเป็นการแก้ปัญหาในเชิงทฤษฎีมากกว่าเป็นจริงในทางปฏิบัติ

2) การสังเกต วิธีการนี้วิศวกรความรู้จะเป็นผู้เฝ้าดูขั้นตอนการแก้ปัญหาจริงของผู้เชี่ยวชาญ วิธีนี้มีประโยชน์มากสำหรับวิศวกรความรู้ในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญให้มีรายละเอียดของการแก้ปัญหาอย่างรอบคอบและจำลองพฤติกรรมการแก้ปัญหาได้คล้ายผู้เชี่ยวชาญจริง

3) การซักถาม วิธีการนี้วิศวกรความรู้จะเป็นผู้ทำการซักถามผู้เชี่ยวชาญในรายละเอียด สภาพการณ์ของการแก้ปัญหาวิศวกรความรู้ก็จะได้ข้อมูลความรู้ตามต้องการ สำหรับการแสวงหาความรู้จากผู้เชี่ยวชาญของวิศวกรความรู้นี้อาจจะมีปัญหาเกิดขึ้นได้ เช่น ทางด้านวิศวกรความรู้อาจจะตั้งคำถามผิดพลาด หรือเข้าใจผิดเกี่ยวกับความรู้ที่ได้มา ซึ่งจะทำให้ระบบผู้เชี่ยวชาญไม่สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ ผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนอาจจะแนวคิดที่แตกต่างกันในบางเรื่องจึงควรสอบถามกลุ่มผู้เชี่ยวชาญหลาย ๆ คนเพื่อป้องกันการผิดพลาด

2.5.2.5 ส่วนอธิบายผลหรือส่วนรายงาน (Explanation) ส่วนที่ทำหน้าที่อธิบายรายละเอียดของขั้นตอนการวินิจฉัย ในการใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้คำปรึกษาจะมีส่วนอำนวยความสะดวกในการอธิบาย วิธีการและขั้นตอนการแก้ไขปัญหาเมื่อผู้ใช้ต้องการเป็นคำอธิบายสั้น ๆ พอเข้าใจ ส่วนอธิบายที่มักพบในระบบผู้เชี่ยวชาญได้แก่

1) อธิบายเหตุผล จากการที่ผู้ใช้ถามว่า “ทำไม” (Why) ก็จะอธิบายเหตุผลว่า ทำไมต้องถามข้อเท็จจริงนั้น ๆ จากผู้ใช้ หากผู้ใช้สงสัยก็จะถามนี้ได้ทุกครั้งที่ระบบถามข้อเท็จจริงแต่ละครั้งซึ่งระบบก็จะอธิบายเหตุผลแต่ละครั้งตามความเป็นจริงในขณะนั้น

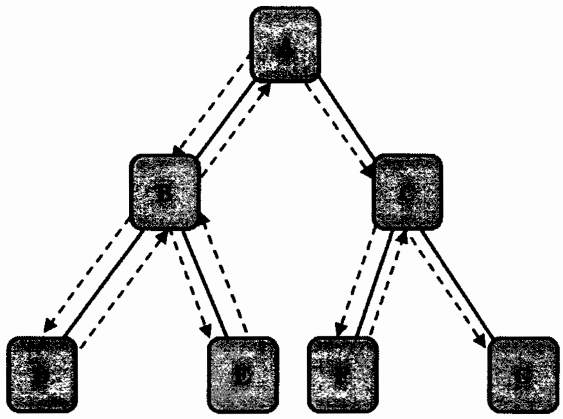
2) อธิบายขั้นตอนที่มาของคำตอบ เมื่อผู้ใช้ระบบถามว่า “คำตอบมาได้อย่างไร” หรือ “วิธีการในการหาคำตอบอย่างไร” (How) ระบบก็จะอธิบายถึงที่มาของคำตอบหรือวิธีการในการหาคำตอบ ในการอธิบายถึงที่มาของคำตอบ คำถาม How จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อหลังจากที่ได้คำตอบแล้ว อย่างไรก็ตามระบบผู้เชี่ยวชาญจริง ๆ อาจจะมีโครงสร้างของระบบไม่ครบทุกส่วน หรือ อาจจะมีส่วนอื่น ๆ เพิ่มเติมขึ้นมาอีกก็ได้ แต่ส่วนที่สำคัญที่จะต้องมี และต้องคำนึงถึงในการออกแบบและพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญคือ ส่วนฐานความรู้และส่วนกลไกวินิจฉัย

2.6 กลยุทธ์การแก้ไขปัญหา (Search Strategy)

กลยุทธ์การแก้ปัญหาในระบบผู้เชี่ยวชาญ คือ วิธีดำเนินการที่จะได้มาซึ่งคำตอบหรือข้อสรุป กลยุทธ์ในการแก้ปัญหาที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ กลยุทธ์การแก้ปัญหาแนวทางลึก (Depth first search) และกลยุทธ์การแก้ปัญหาแนวทางกว้าง (Breadth first search) ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.6.1 กลยุทธ์การแก้ปัญหาแนวทางลึก (Depth-first Search)

การค้นหาคำตอบในแนวทางลึกนี้จะดำเนินการไปสู่เป้าหมาย โดยสำรวจไปในทางเดียวกันก่อนจนได้คำตอบ หรือถ้าไม่ได้คำตอบก็จะย้อนขึ้นมาแล้ว สำรวจลงไปในทางใหม่ ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนได้คำตอบ แสดงดังรูปที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 โครงสร้างกลยุทธ์การแก้ปัญหาแนวทางลึก (ชัยรัตน์ กิตติธรรมโรจน์, 2547)

จากภาพที่ 2.19 สมมุติเป้าหมายที่ต้องการคือ F ซึ่งเป็นคำตอบของการค้นหานี้ กลยุทธ์การแก้ปัญหาแนวทางลึกจะดำเนินการค้นหาเป้าหมายตามแนวลูกศร โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.6.1.1 เริ่มต้นที่ โหนด A (Node A) (โหนดเริ่มต้น)

2.6.1.2 จากโหนด A จะไปที่โหนดต่ำกว่าโหนด A ตัวแรก คือโหนด B มาเป็นเป้าหมาย แล้วตรวจว่าเป็นคำตอบหรือไม่

2.6.1.3 ถ้าโหนด B ไม่ใช่คำตอบ ก็จะเลือกโหนดที่ต่ำกว่าโหนด B ตัวแรก คือโหนด D มาเป็นเป้าหมายแล้วตรวจดูว่าเป็นคำตอบหรือไม่

2.6.1.4 ถ้าโหนด D ไม่ใช่คำตอบ แต่โหนด D เป็นโหนดปลายสุดและการจะเลือกโหนดที่ต่ำกว่าโหนด D ไม่มีแล้ว ก็จะย้อนขึ้นไปที่โหนด B แล้วเลือกโหนดที่ต่ำกว่าโหนด B ตัวถัดมาทางขวามือ คือโหนด E มาเป็นเป้าหมาย แล้วตรวจดูว่าเป็นคำตอบหรือไม่

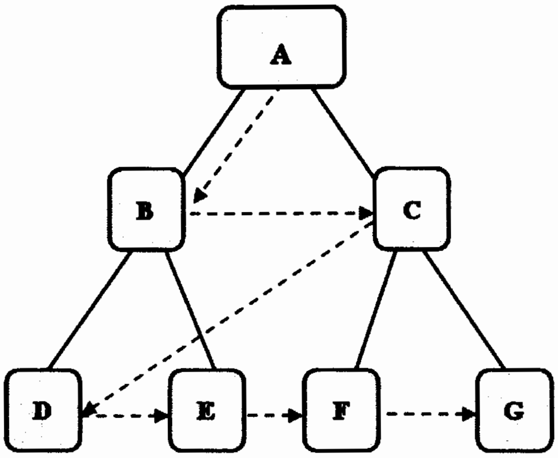
2.6.1.5 ถ้าโหนด E ไม่ใช่คำตอบ แต่โหนด E เป็นโหนดปลายสุดที่จะย้อนกลับขึ้นไปโหนด B ใหม่ แล้วหาโหนดที่ต่ำกว่าโหนด B มาเป็นเป้าหมาย แต่โหนดที่ต่ำกว่าโหนด B คือโหนด D และโหนด E ได้ถูกเลือกและพิสูจน์ไปแล้วในขั้นตอนที่ผ่านมา เมื่อไม่มีโหนดที่ต่ำกว่าที่จะให้ทดสอบ ก็จะย้อนกลับขึ้นไปยังโหนดที่สูงขึ้นไปอีกขั้นหนึ่ง คือโหนด A แล้วเลือกโหนดที่ต่ำกว่าโหนด A ตัวถัดมา คือโหนด C มาเป้าหมาย แล้วตรวจสอบดูว่าเป็นคำตอบหรือไม่

2.6.1.6 ถ้าโหนด C ไม่ใช่คำตอบ ก็จะเลือกโหนดที่ต่ำว่า C ตัวแรก คือ โหนด F มาเป็นเป้าหมายและตรวจสอบคำตอบอีก (ในที่นี้สมมติว่า F คือเป้าหมาย) ได้คำตอบ F

2.6.1.7 สมมติ F ไม่ใช่คำตอบ ก็จะเลือกโหนด G มาตรวจสอบอีก หากโหนด G ไม่ใช่คำตอบก็จะหยุด และจะไม่มีคำตอบในกรณีนี้เนื่องจากข้อมูลหมด

2.6.2 กลยุทธ์การแก้ปัญหาแนวทางกว้าง (Breadth-first Search)

การค้นหาคำตอบในแนวกว้างนั้นจะมีการดำเนินไปสู่เป้าหมายโดยการสำรวจไปในทุกเส้นทางในระดับลึกทีละขั้น หากไม่ได้คำตอบก็จะสำรวจลึกลงไปอีกหนึ่งขั้นในทุกเส้นทางอีก จะมีการทำเช่นนี้ไปได้เรื่อย ๆ จนได้คำตอบหรือหมดข้อมูล แสดงดังภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 โครงสร้างกลยุทธ์การแก้ปัญหาแนวทางกว้าง (ชัยรัตน์ กิตติธรรมโรจน์, 2547)

จากภาพที่ 2.20 สมมุติเป้าหมายที่ต้องการคือ F ซึ่งเป็นคำตอบของการค้นหานี้ กลยุทธ์การแก้ปัญหาแนวทางกว้างจะดำเนินการค้นหาเป้าหมายตามแนวลูกศร โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.6.2.1 เริ่มต้นที่โหนด A (โหนดเริ่มต้น)

2.6.2.2 จากโหนด A จะเลือกโหนดที่ต่ำกว่าโหนด A ตัวแรกคือโหนด B มาเป็นเป้าหมาย ตรวจดูว่าเป็นคำตอบหรือไม่

2.6.2.3 ถ้าโหนด B ไม่ใช่คำตอบ ก็จะเลือกโหนดในระดับเดียวกันกับโหนด B ตัวถัดมา คือโหนด C เป็นเป้าหมาย ตรวจดูว่าเป็นคำตอบหรือไม่

2.6.2.4 ถ้าโหนด C ไม่ใช่คำตอบที่ต้องการและโหนดในระดับเดียวกันกับโหนด C หมดแล้ว ก็จะทำการเลือกโหนดที่ต่ำลงมาอีกหนึ่งระดับ ตัวแรกคือโหนด D มาเป็นเป้าหมายและตรวจสอบดูว่าเป็นคำตอบหรือไม่

2.6.2.5 ถ้าโหนด D ไม่ใช่คำตอบ ก็จะเลือกโหนดในระดับเดียวกันกับโหนด D ตัวถัดมา คือโหนด E เป็นเป้าหมายและตรวจสอบดูว่าเป็นคำตอบหรือไม่

2.6.2.6 ถ้าโหนด E ไม่ใช่คำตอบ ก็จะเลือกโหนดในระดับเดียวกันกับโหนด E ตัวโหนด F เป็นเป้าหมายและตรวจสอบหาคำตอบ (สมมติให้ F เป็นเป้าหมาย) ได้คำตอบคือ F

2.6.2.7 สมมติหาก F ไม่ใช่คำตอบ ก็จะเลือกโหนดในระดับเดียวกันกับโหนด F ตัวถัดมา คือ โหนด G มาตรวจสอบอีกว่าเป็นคำตอบหรือไม่ หาก G ไม่ใช่คำตอบก็จะหยุดเนื่องจากหมดข้อมูลและจะไม่มีคำตอบ

2.7 การแสดงความรู้ (Knowledge Representation)

ในการแก้ปัญหาของระบบผู้เชี่ยวชาญ ระบบต้องการความรู้ในเรื่องนั้น ๆ เป็นจำนวนมากเพื่อนำไปวินิจฉัยหาคำตอบหรือข้อสรุปตามที่ต้องการด้วยกลไกการวินิจฉัยของระบบผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้นความรู้ในฐานความรู้จะต้องจัดให้อยู่ในรูปที่กลไกวินิจฉัยสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยทั่วไปการแสดงความรู้สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น แบบกฎเกณฑ์ แบบเฟรม แบบเครือข่ายความหมายและแบบตรรกะ เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีความเหมาะสมกับงานที่นำไปประยุกต์ใช้และกลไกวินิจฉัยต่าง ๆ กัน ดังนั้นในการเลือกใช้วิธีการแสดงความรู้จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานและกลไกวินิจฉัยที่ใช้ โดยจะต้องคำนึงถึงเกณฑ์พื้นฐาน ดังนี้

(1) ง่ายในการตรวจดูและแยกแยะ (Transparency)

(2) ความชัดเจน (Explicitness) ในการแสดงความรู้

(3) ความเป็นธรรมชาติ (Naturalness) ตามลักษณะของแต่ละปัญหา

(4) ความมีประสิทธิภาพ (Efficiency) มีโครงสร้างที่สามารถแสดงความรู้ที่ต้องการใช้ได้ครบถ้วน

(5) แยกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ได้ (Modularity) สามารถจัดเก็บอย่างมีอิสระจากกันได้ ความรู้โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ

(5.1) ความรู้ในระดับลึก (Deep Knowledge) คือ ความรู้ที่ได้มาจากห้องเรียน หรือตำรา ซึ่งเป็นหลักการทางทฤษฎีต่าง ๆ หรือกฎเกณฑ์ที่ได้รับการพิสูจน์แล้ว เป็นความรู้ที่มีเหตุผลใช้ในการอธิบายเหตุการณ์ต่าง ๆ เช่น กฎของนิวตัน กฎทางเทอร์โมไดนามิกส์ เป็นต้น

(5.2) ความรู้ในระดับผิวเผิน (Shallow Knowledge) คือ เป็นข้อมูลความรู้ที่ได้มาจากประสบการณ์หรือการบอกเล่าจากผู้ที่มีประสบการณ์ ความรู้ชนิดนี้จะเป็นตัวช่วยลดขั้นตอนในการหาเหตุผลโดยช่วยจำกัดขอบเขตปัญหาให้แคบลงจากการนำประสบการณ์เข้าช่วย จากที่กล่าวมาได้ทราบถึงระดับของความรู้และกฎเกณฑ์พื้นฐานที่ต้องคำนึงถึงในการแสดงความรู้ ซึ่งในขั้นต่อไปจะได้กล่าวถึงการแสดงความรู้ด้วยวิธีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.7.1 การแสดงความรู้โดยใช้เฟรม (Frames)

เป็นการแสดงความรู้ในลักษณะที่ขึ้นอยู่กับวัตถุและเหตุการณ์ ในลักษณะการคาดการณ์เหตุการณ์บางอย่าง โดยอาศัยความรู้ที่เคยมีมาก่อน การแสดงความรู้ด้วยวิธีนี้ได้ประยุกต์เอาการแสดงลักษณะเฉพาะตัวมาใช้ ซึ่งมีการแจกแจงในรายละเอียดของวัตถุหรือสิ่งของสิ่งหนึ่งและอธิบายรายละเอียดต่อ ๆ กันไป เฟรมจะประกอบด้วยช่องความรู้ (Slots) ซึ่งช่องความรู้บางช่องอาจจะบรรจุเฟรมไว้ภายในอีกชั้นหนึ่งหรือหลาย ๆ ชั้น ซ้อน ๆ กันไปเพื่อเป็นการแสดงรายละเอียดต่อ ๆ กันไปอีกก็ได้

เฟรมเป็นการจัดองค์ประกอบของความรู้ โดยการมองถึงข้อเท็จจริงประเภทที่ถูกสมมุติขึ้นก่อน (Default) ของแต่ละวัตถุหรือแต่ละเหตุการณ์ดังกล่าวมาแล้ว ดังนั้นเฟรมจึงเป็นเสมือนโครงสร้างของข้อมูลที่ใช้แทนการจำลองสภาพการณ์ต่าง ๆ ตามการคาดการณ์ไว้ก่อนการแสดงความรู้โดยใช้เฟรมจะสามารถหาคำตอบหรือหาเหตุผลได้ ถึงแม้ว่าในบางครั้งข้อมูลอาจจะน้อยไป โดยเฟรมจะเลือกหาข้อสรุปที่เป็นไปได้มากที่สุดตามข้อมูลที่มีอยู่ ดังนั้นการสร้างแบบจำลองขึ้นมา จะต้องสร้างให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด จึงจะได้คำตอบและการหาเหตุผลที่ถูกต้องน่าเชื่อถือ การแสดงความรู้โดยใช้เฟรมนี้ สามารถจัดแบ่งความรู้ออกเป็นส่วนได้ดีและการเพิ่มเติมความรู้กระทำได้ง่ายไม่มีผลกระทบต่อความรู้เก่ามากนัก แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการใช้เฟรมอยู่ คือ การสร้างแบบจำลองวัตถุหรือเหตุการณ์ตามที่คาดการณ์ให้ถูกต้องและเป็นที่ยอมรับจากทุกฝ่ายเป็นไปได้ยาก เนื่องจากทัศนะหรือการคาดการณ์เหตุการณ์หนึ่ง ๆ ต่างกันในความคิดของแต่ละคน

2.7.2 การแสดงความรู้โดยใช้ตรรกะ (Logic)

การแสดงความรู้โดยตรรกะ เป็นวิธีการที่เก่าแก่ของการแสดงความรู้ในสาขาปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) ตรรกะที่ใช้กันประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานต่าง ๆ ในการแสดงความรู้ คือ อักขระ (Alphabet) ประโยคตรรกะ (Format language) นิพจน์ (Expression)

และกฎวินิจฉัย (Inference rule) อักขระจะอยู่ในรูปของค่าคงที่ (Constant) เช่น สีขาว นายดำ ตัวแปร (Variable) เช่น สี คน ฟังก์ชั่น (Function) และการแสดงปริมาณ เช่น ทั้งหมด บางส่วน ส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้สามารถที่จะนำมารวมเข้าเป็นประโยคทางตรรกซึ่งสามารถตรวจหาค่าความจริงได้จากการสืบสวนหาข้อเท็จจริงของแต่ละส่วนประกอบ ที่ประกอบขึ้นมาเป็นประโยคทางตรรกะ จะเห็นได้ว่าการแสดงความรู้โดยวิธีนี้ก็เหมือนกับวิธีการใช้กฎเกณฑ์ในการแสดงความรู้ แต่การแสดงความรู้โดยใช้ตรรกะนี้มีปัญหายุ่งยากในการเพิ่มเติมความรู้ใหม่

2.7.3 การแสดงความรู้โดยใช้กฎเกณฑ์ (Rule)

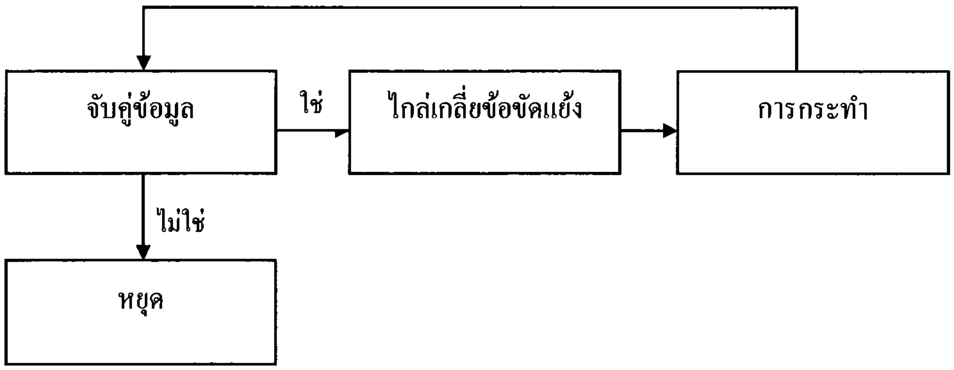
การแสดงความรู้ด้วยวิธีนี้ จะอยู่ในรูปของ IF-AND-THEN-ELSE เช่น ถ้าไม่มีกระแสไฟฟ้าเมนไฟฟ้าไม่ได้ต่อ เครื่องอัดน้ำยาก็จะสตาร์ทไม่ติด เป็นต้น การแสดงความรู้วิธีนี้ใช้มากในระบบผู้เชี่ยวชาญโดยทั่วไป ซึ่งจะมีส่วนประกอบดังนี้

2.7.3.1 ความจำ (Memory) ทำหน้าที่ส่งผ่านความรู้ แสดงคุณลักษณะต่าง ๆ ของวัตถุซึ่งอยู่ในรูปข้อเท็จจริง (facts) ให้กับกฎโปรดักชั่น

2.7.3.2 กฎโปรดักชั่น (Production Rules) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนแรกหรือส่วนซ้ายมือจะเป็นเงื่อนไข ซึ่งจะต้องพิสูจน์ข้อเท็จจริง ส่วนที่สองหรือส่วนขวามือเป็นส่วนสรุปหรือส่วนกระทำการ (Action) รูปแบบของกฎจะเป็นดังนี้

ถ้า เงื่อนไข A และ เงื่อนไข B และ เงื่อนไข C
แล้ว ข้อสรุป A และ ข้อสรุป B และ ข้อสรุป C
หรือ
ถ้า เงื่อนไข A และ เงื่อนไข B และ เงื่อนไข C
แล้ว กระทำการ A และ กระทำการ B และ กระทำการ C

2.7.3.3 ตัวตีความหมาย (Interpreter) คือ ทำหน้าที่ในการแปลความหมายหรือตีความเงื่อนไขต่าง ๆ ทางซ้ายมือของกฎให้สามารถจับคู่ (Match) กับค่าความจริงในความจำที่มีอยู่ การตีความหมายหาเหตุผลนี้จะต้องกระทำอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากการทำงานของกฎโปรดักชั่น (Production rules) จะทำให้ความจำที่จดจำไว้ในหน่วยความจำเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ซึ่งการหาเหตุผลของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้กฎเกณฑ์ มีขั้นตอนแสดงในภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 องค์ประกอบการหาเหตุผลของระบบที่ใช้กฎเกณฑ์ (บุญเจริญ ศิริเนาวกุล, 2551)

ดังนั้นจากภาพสามารถอธิบายขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังนี้

(1) จับคู่ข้อมูล (Match) ในกระบวนการจับคู่ของข้อมูล ตัวตีความหมายจะจับคู่และเปรียบเทียบเงื่อนไขในส่วนซ้ายมือของกฎกับความรู้ในความจำที่มีอยู่ เพื่อหาสาเหตุและพิสูจน์ข้อเท็จจริงของเงื่อนไขนั้น ๆ ทีละเงื่อนไข ถ้าได้ค่าเป็นเท็จก็จะหยุด ถ้าได้ค่าเป็นจริงก็จะพิสูจน์เงื่อนไขต่อไป โดยการจับคู่ข้อมูลใหม่พิสูจน์ตามขั้นตอนเดิมจนได้ค่าความจริงครบทุกเงื่อนไข

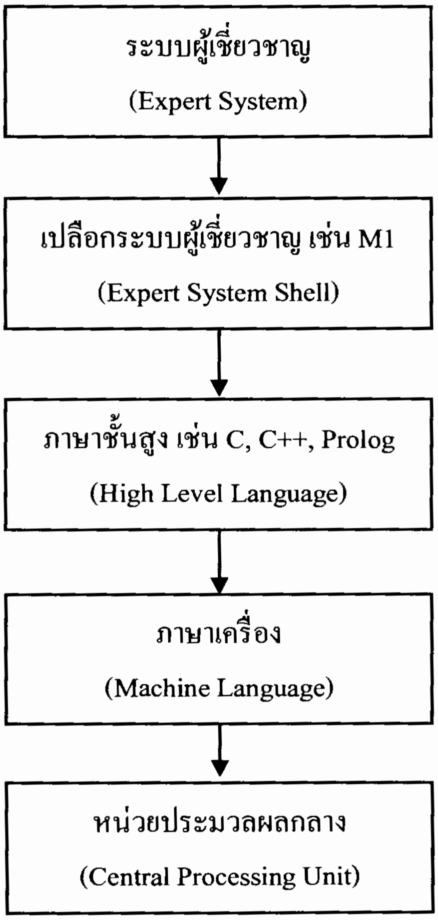
(2) การไกล่เกลี่ยข้อขัดแย้ง (Conflict resolution) ในระบบใหญ่กระบวนการจับคู่ข้อมูลของตัวตีความหมาย จะสามารถจับคู่ได้หลายคู่ ซึ่งจะเกิดข้อขัดแย้งขึ้นว่าจะเลือกคู่ไหนถึงจะถูกต้องเหมาะสมที่สุด ซึ่งก็มีกลยุทธ์ในการเลือกอยู่หลายอย่าง เช่น เลือกตามลำดับของกฎ ตามลำดับข้อมูล และตามลำดับขอบเขต เป็นต้น

(3) กระทำการ (Action) คือ ตามส่วนทางขวามือของกฎที่ได้รับการพิสูจน์และคัดเลือกแล้วจะเห็นได้ว่า การแสดงความรู้โดยใช้กฎจะเป็นวิธีที่ทำความเข้าใจได้ง่ายที่สุดและมีวิธีการแก้ปัญหาคล้ายคลึงกับการแก้ปัญหาของมนุษย์ในลักษณะการพิจารณาข้อสรุปจากเงื่อนไขและสามารถนำไปใช้กับกลไกการวินิจฉัยแบบไปข้างหน้า และแบบย้อนกลับได้ การแสดงความรู้วิธีนี้ ข้อดี คือ ทำความเข้าใจได้ง่าย ให้เหตุผลในการวินิจฉัยได้ดี แยกข้อมูลเป็นส่วน ๆ ได้ เพิ่มเติมข้อมูลในฐานความรู้ได้สะดวกแต่อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดของฐานความรู้ หากเป็นฐานความรู้ขนาดใหญ่จะต้องเสียเวลามากในการค้นหาปัญหาและวินิจฉัยไปตามขั้นตอนแต่ละกฎ

2.8 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ

ในการพัฒนาระบบเชี่ยวชาญ มีความคิดเกี่ยวกับเรื่องภาษาและเครื่องมือที่แตกต่างจากแนวคิดเก่า ๆ หลายประการ เนื่องจากปัจจุบันภาษา (Language) ในระบบผู้เชี่ยวชาญจะหมายถึงภาษาชั้นสูง High level programming language ที่ใช้ในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญแบ่งออกเป็น 2 ชนิดดังนี้

2.8.1 High level programming language หรือภาษาโปรแกรมขั้นสูง เช่น ภาษา Prolog, Pascal, FORTRAN, Lisp, C, C++ และ Visual Basic เป็นต้น เป็นภาษาที่จะต้องเขียนโปรแกรมเองเพื่อให้เป็นเปลือกของระบบผู้เชี่ยวชาญและเครื่องมือ หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ในการแสดงความรู้ให้กับระบบผู้เชี่ยวชาญ นั้นคือภาษาที่เป็นส่วนที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือซึ่งสามารถแสดงระดับซอฟต์แวร์ออกมาเป็นขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 2.22



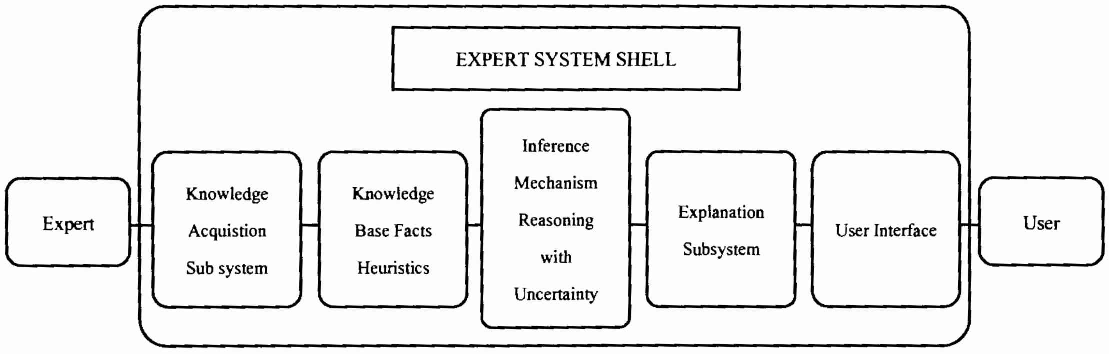
ภาพที่ 2.22 ระดับต่าง ๆ ของระบบซอฟต์แวร์ในระบบผู้เชี่ยวชาญ (บุญเจริญ ศิริเนาวกุล, 2551)

จากภาพที่ 2.22 แสดงระบบซอฟต์แวร์ที่มีระดับต่าง ๆ ที่ใช้ในการพัฒนาระบบเปลือกของผู้เชี่ยวชาญโดย M1 และเห็นภาษาชั้นสูงในการสร้างคือภาษา C การสร้างและความรู้ก็ใช้เปลือกระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นเครื่องมือ เช่น M1 จากนั้นก็ใช้เครื่องมือในการแสดงความรู้ เพื่อแสดงความรู้ ซึ่งระบบโปรแกรมจะมีผู้ใช้เครื่องมือในการแสดงความรู้ โดยใช้ชื่อเรียกพิเศษว่าวิศวกรความรู้

2.8.2 โปรแกรมสำเร็จรูป คือ เป็นเครื่องมือในการสร้างเฟรมของระบบผู้เชี่ยวชาญและการรวมกันระหว่างกลไกการตัดสินใจ และส่วนที่เป็นปฏิภาคกับผู้ใช้ ซึ่งโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ เช่น Exsys Corvid ,VP-Expert, Level 5 Object และ EMYCIN เปลือกของระบบผู้เชี่ยวชาญจะมีความสะดวกสำหรับผู้ใช้งานที่จะทำการพัฒนาโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในแต่ละด้านที่ไม่มีความรู้เกี่ยวกับการเขียนภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แต่ระบบจะมีข้อเสียคือจะมีข้อจำกัดขอบเขตในการแก้ปัญหาและไม่เหมาะกับโครงสร้างองค์ความรู้ที่มีขนาดใหญ่และโครงสร้างที่มีความซับซ้อน

2.8.2.1 เปลือกระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System Shell)

เปลือกระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System Shell) คือ โปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญเอนกประสงค์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับฐานความรู้ทางด้านใดก็ได้ตามความต้องการ คือ เป็นเสมือนเปลือกหรือภาชนะให้เราบรรจุความรู้ลงไป แล้วมันก็จะกลายเป็นระบบผู้เชี่ยวชาญทางด้านนั้น ๆ ในตัวโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญจะประกอบด้วย กลไกวินิจฉัย ส่วนการปฏิภาคกับผู้ใช้ และสิ่งอำนวยความสะดวกในการอธิบาย ส่วนฐานความรู้จะแยกออกไว้นอกโปรแกรม สามารถลดและเพิ่ม สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ตามต้องการ โดยฐานความรู้นี้ถูกเก็บไว้ในไฟล์หนึ่งแยกต่างหาก ฐานความรู้ไฟล์ใดไฟล์หนึ่งจะถูกเรียกใช้เมื่อโปรแกรมทำงานตามที่ผู้ใช้ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 2.23

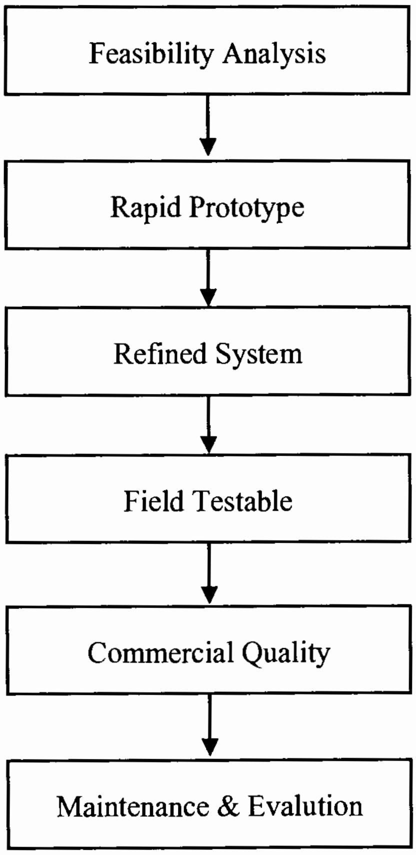


ภาพที่ 2.23 องค์ประกอบของเปลือกระบบผู้เชี่ยวชาญ (บุญเจริญ ศิริเนาวกุล, 2551)

ข้อได้เปรียบของเปลือกของระบบผู้เชี่ยวชาญ คือ สามารถสร้างหรือเรียกใช้ฐานความรู้เรื่องใด ๆ ก็ได้ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยไม่ต้องสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญขึ้นมาใหม่ทั้งระบบ แต่ระบบนี้มีข้อด้อย คือ การปฏิภาคกับผู้ใช้จะไม่ดีเท่าที่ควรเพราะระบบนี้ถูกสร้างขึ้นมาใช้กับความรู้หลาย ๆ ด้านไม่จำเพาะเจาะจงและระบบจะใช้ได้กับฐานความรู้ที่สามารถจัดให้อยู่ในรูปโครงสร้างตามที่กลไกวินิจฉัยในเปลือกระบบผู้เชี่ยวชาญเข้าใจและนำไปใช้ได้เท่านั้น

2.9 ขั้นตอนในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ

ในขั้นตอนการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ จะเป็นการแสดงความรู้ เนื่องจากระบบผู้เชี่ยวชาญเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชนิดหนึ่ง ขั้นตอนในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญจึงสามารถพิจารณาในแนวทางเดียวกับการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้ ซึ่งอาจจะมีข้อแตกต่างในรายละเอียดบ้าง Giarratano และ Joseph C (1994) ได้อธิบายขั้นตอนในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการพาณิชย์โดยแบ่งเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 2.24 โครงสร้างกลยุทธ์ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ (Giarratano, Joseph C, 1994)

2.9.1 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ (Feasibility anlysis) คือ เป็นการเลือกปัญหา (Domain) ที่ต้องการจะพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญขึ้นมารวมทั้งการกำหนดลักษณะงานที่ต้องการให้ระบบทำ (Task) เช่น เป็นระบบช่วยวินิจฉัยหรือเป็นระบบช่วยงานบริหารการเงิน ซึ่งปัญหาที่จะนำมาพัฒนานั้นควรเป็นปัญหาที่ไม่ยากเกินไปขณะเดียวกันก็ไม่ควรเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสามัญสำนึกมาก ๆ ควรเป็นปัญหาที่ไม่มีวิธีการแก้ไข หรือวิธีการแก้ไขในปัจจุบันไม่เพียงพอ มีขอบเขตจำกัด เงื่อนไขต่าง ๆ ของปัญหาต้องไม่เปลี่ยนแปลงบ่อยนัก ผู้เชี่ยวชาญที่จะให้ความรู้ต้องพร้อมที่จะถ่ายทอดความรู้ และควรตรวจสอบว่าต้องการระบบที่มีความถูกต้องมากเพียงใด เพราะในงานบางประเภทก็ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องมีความถูกต้องทั้งหมด

2.9.2 การออกแบบโครงสร้างของความรู้ (Conceptual design) การออกแบบโครงสร้างของความรู้ในระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยอาศัยทั้งผู้เชี่ยวชาญและวิศวกรความรู้ ซึ่งจะพิจารณาถึงข้อจำกัดและเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ใช้ในการแก้ปัญหา ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะนำไปใช้ในขั้นตอนการดึงความรู้ซึ่งเป็นขั้นตอนต่อไป

2.9.3 การดึงความรู้ (Knowledge acquisition) ขั้นตอนการดึงความรู้นี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากโดยจะทำการรวบรวมความรู้จากผู้เชี่ยวชาญจากกรณีศึกษา หรือจากตำราวิชาการต่าง ๆ

2.9.4 การแสดงความรู้ (Knowledge representation) เป็นการนำความรู้ที่รวบรวมมาได้และนำมาจัดรูปแบบการแทนค่าความรู้ที่เหมาะสม

2.9.5 การประเมินระบบผู้เชี่ยวชาญ (Validation) เป็นการประเมินว่าระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถทำงานได้ผลตามที่คาดหมายเอาไว้หรือไม่ คุณสมบัติการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญที่จะนำมาประเมินผลในขั้นตอนนี้อาจเป็นความถูกต้องของคำตอบ หรือกระบวนการให้เหตุผลอันจะนำมาซึ่งคำตอบนอกจากนี้การประเมินผลอาจกระทำในลักษณะกว้าง ๆ โดยมองที่ภาพรวมในการใช้งานระบบ เช่น ความรู้สึกของผู้ใช้งานต่อระบบ ความรู้ที่มีอยู่ครอบคลุมแค่ไหน เป็นต้น

2.9.6 การแก้ไข ดัดแปลงและปรับปรุงข้อมูลระบบผู้เชี่ยวชาญ (Technology transfer and maintenance) ขั้นตอนนี้เป็นการดัดแปลงระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้เหมาะกับการนำไปใช้ในธุรกิจและอุตสาหกรรม ระบบผู้เชี่ยวชาญต้องสามารถแก้ไข ดัดแปลง ปรับปรุง หรือเพิ่มเติมความรู้ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User interface) เพราะเป็นส่วนที่ผู้ใช้ใกล้ชิดด้วยมากที่สุด ดังนั้นระบบผู้เชี่ยวชาญที่พัฒนาขึ้นใช้งาน สามารถสรุปข้อดีและข้อเสียของระบบผู้เชี่ยวชาญได้ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบผู้เชี่ยวชาญ

ข้อดีของระบบผู้เชี่ยวชาญ	**ข้อเสียของระบบผู้เชี่ยวชาญ**
1. ทดแทนผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์เมื่อมนุษย์ไม่สามารถให้คำตอบได้ในช่วงเวลานั้น	1. ไม่สามารถเรียนรู้จากประสบการณ์ได้เหมือนมนุษย์และตัดสินใจได้ช้ากว่ามนุษย์
2. ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาต่ำกว่าเมื่อเทียบกับผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์	2. การดึงความรู้จากผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ทำได้ยาก
3. ผลการตัดสินใจแต่ละครั้งจะมีความเที่ยงตรงมากกว่าผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์	3. แก้ปัญหาได้เฉพาะสาขาที่จัดทำระบบขึ้นมาใช้งาน
4. มีขีดความสามารถสูง เป็นการรวบรวมความรู้ไว้อย่างมีระบบ โครงสร้างชัดเจนฐาน ความรู้เหมาะสม	4. ข้อมูลความรู้ที่ป้อนเข้าจะต้องมีรูปแบบเหมือนกับฐานความรู้ที่ใช้อยู่เท่านั้น
5. สามารถเก็บรวบรวมความรู้จากผู้เชี่ยวชาญหลาย ๆ คนมาไว้ในฐานความรู้เดียวกัน	
6. ไม่ต้องหยุดพักเหมือนผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์	
7. สามารถที่จะสร้างใหม่ได้ในเวลาอันรวดเร็ว ด้วยการคัดลอกโปรแกรม	
8. ไม่มีการลืมที่อาจเกิดขึ้นกับผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ สามารถจัดการกับความรู้ได้ในหลายรูปแบบ	
9. มีประสิทธิภาพในการให้คำปรึกษาอย่างสม่ำเสมอ	

2.10 การประยุกต์การใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการประยุกต์ใช้งาน โดยสามารถแบ่งประเภทของระบบผู้เชี่ยวชาญจะยึดถือตามลักษณะงานที่ระบบผู้เชี่ยวชาญถูกออกแบบมาใช้งานซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้

2.10.1 ระบบควบคุม (Controlling System) คือ การใช้ระบบคอมพิวเตอร์เพื่อบังคับการทำงานของส่วนประกอบบางชิ้น หรือทั้งระบบให้เกิดการทำงานอัตโนมัติอย่างชาญฉลาด เช่น ระบบผลิตชิ้นส่วนสำหรับรถยนต์หรือระบบผลิตแม่พิมพ์

2.10.2 ระบบแก้ไขข้อผิดพลาด (Debugging System) เป็นการให้คำแนะนำเพื่อการแก้ไขข้อผิดพลาดให้ถูกต้อง ระบบนี้อาจจะใช้ในการระบุแหล่งที่มาของความยุ่งยาก หรือความผิดพลาดและจากนั้นจะกำหนดแนวทางแก้ปัญหาเพื่อแก้ไขความผิดพลาดเหล่านั้น

2.10.3 ระบบออกแบบ (Designing System) เป็นการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนดต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่เราสนใจ โดยเฉพาะเพื่อพัฒนาสร้างผลิตภัณฑ์นั้นขึ้นมาใช้ประโยชน์ให้ตรงตามข้อจำกัดหรือรายละเอียดที่ผู้ใช้กำหนด

2.10.4 ระบบวินิจฉัย (Diagnosis System) เป็นระบบที่ใช้ในการวินิจฉัยปัญหาต่าง ๆ เพื่อหาข้อสรุปว่ามีสาเหตุมาจากอะไร ระบบวินิจฉัยจะแตกต่างจากระบบแก้ไขข้อผิดพลาดตรงที่ไม่ได้กำหนดบอกทางแก้ไขที่ถูกต้อง เช่น การวินิจฉัยโรคตามอาการ การวินิจฉัยปัญหาทางเศรษฐศาสตร์ การวินิจฉัยข้อบกพร่องของเครื่องจักรกลต่าง ๆ เป็นต้น

2.10.5 ระบบตรวจจับ (Monitoring System) เป็นระบบตรวจลักษณะสัญญาณต่อเนื่องเพื่อส่งคำเตือนหรือการตัดสินใจใด ๆ เมื่อมีอาการผิดปกติของสัญญาณที่ได้รับ เช่น การควบคุมและให้คำแนะนำการปฏิบัติงานของโรงงานไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

2.10.6 ระบบช่วยสอนหรือฝึกอบรม (Instruction System) เป็นการใช้งานเพื่อช่วยสอนหรือฝึกอบรมทางคอมพิวเตอร์ หรือช่วยในการเรียนรู้เกี่ยวกับอาการของโรคและการป้องกันรักษาเป็นต้น ระบบนี้จะช่วยแก้ปัญหาเรื่องความยืดหยุ่นของกลยุทธ์ในการสอนสามารถสอนตามพื้นฐานความรู้ที่ผู้เรียนแต่ละคนนำมาเพื่อสถานการณ์การเรียนรู้นั้น ๆ

2.10.7 ระบบการวิเคราะห์ผลจากข้อมูล (Interpretation System) เกี่ยวข้องกับการเก็บรวบรวมข้อมูลป้อนเข้าต่าง ๆ แล้วทำการวิเคราะห์ผลของข้อมูลมาแปลความหมายทำให้สถานการณ์ชัดเจนขึ้น เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลข่าวกรองทางทหาร การวิเคราะห์ผลทางด้านประชากร เป็นต้น

2.10.8 ระบบวางแผน (Planning System) จะเกี่ยวข้องกับเทคนิคการวางแผน ซึ่งการวางแผนวิธีการหรือกลยุทธ์เพื่อพัฒนาให้ได้มาซึ่งเป้าหมายที่กำหนดการผลิต และกลยุทธ์ในการแก้ไขปัญหาในขั้นตอนวิเคราะห์กระบวนการผลิต ความเป็นไปได้ของอัตราการผลิตและการวิเคราะห์แนวทางการวางแผนความต้องการวัตถุดิบ เป็นต้น

2.10.9 ระบบพยากรณ์ (Prediction System) เป็นการคาดหมายเหตุการณ์ในอนาคตอย่างชาญฉลาด จะเกี่ยวข้องกับการใช้ข้อมูลป้อนเข้ามาเพื่อลงความเห็นถึงเหตุการณ์ที่จะเป็นไปได้ในอนาคต เช่น การพยากรณ์อากาศจากข้อมูลดิบ เป็นต้น

2.10.10 ระบบซ่อมบำรุง (Repair System) เป็นส่วนขยายของระบบ Debugging ระบบนี้จะให้คำแนะนำทางการแก้ปัญหา การสนับสนุนทดลอง รวมถึงความต้องการใช้เครื่องมือ เช่น การวางมาตรการและแผนงานซ่อมบำรุงระบบเครือข่ายงานสื่อสาร

2.11 เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD)

2.11.1 ความหมายของเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ เป็นวิธีการที่ช่วยในการพัฒนาคุณภาพของการออกแบบให้ตรงกับความพึงพอใจของลูกค้า หลังจากนั้นจะแปลงความต้องการของลูกค้าไปสู่เป้าหมายในการออกแบบและทำให้เกิดความเชื่อมั่นในคุณภาพผ่านทางเฟสการผลิต

2.11.2 จุดประสงค์ในการทำ QFD

2.11.2.1 เพื่อใช้ในการออกแบบ หรือการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยเน้นที่การตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างถูกต้อง

2.11.2.2 เพื่อช่วยลดปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ไม่ว่าจะเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบ ต้นทุนที่ใช้ในการออกแบบ ลดระดับความไม่แน่นอนในการออกแบบและอื่น ๆ

2.11.2.3 เพื่อช่วยให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ดำเนินไปในทิศทางที่ถูกต้อง

2.11.2.4 เพื่อช่วยให้การรวบรวม และการประเมินผลความพึงพอใจของลูกค้าสามารถทำได้ง่ายขึ้น และเป็นระบบมากขึ้น

2.11.2.5 เพื่อทำให้บุคลากรในบริษัทมองเห็นภาพรวมการทำงานและวิธีที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เป็นอย่างดี

2.11.2.6 เพื่อช่วยสร้าง และจัดการกับโครงสร้างในระบบสารสนเทศขึ้นเนื่องจากต้องมีการปฏิสัมพันธ์กับลูกค้าในการเก็บรวบรวมความต้องการของลูกค้า

2.11.2.7 เพื่อให้การทำงานของฝ่ายต่าง ๆ ในบริษัทเป็นไปในทิศทางเดียวกันโดยเฉพาะฝ่ายผลิต ฝ่ายการตลาด และฝ่ายพัฒนาและวิจัย เป็นต้น

2.11.3 ขั้นตอนในการทำ QFD

ขั้นตอนในการทำ QFD มีดังนี้คือ (พงศกร คำเกาะ, 2552)

2.11.3.1 การสำรวจความต้องการของกลุ่มลูกค้าเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้แล้วและการสำรวจความพึงพอใจในตัวผลิตภัณฑ์เดิม

2.11.3.2 การวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้าและการกำหนดระดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้า

2.11.3.3 ทำการสร้างตาราง HOQ ในส่วนของ WHATs โดยการใช้เทคนิคทางวิศวกรรมเข้ามาช่วย คือ Brainstorming และ Affinity diagram

2.11.3.4 สร้างตาราง Product Planning Matrix หรือ HOQ ในส่วนของ HOWs ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Technical Response)

2.11.3.5 ทำการวิเคราะห์ และจัดลำดับความสำคัญของเทคนิคที่ใช้ในการผลิต

2.11.3.6 สร้างตารางที่เกี่ยวข้องกับการผลิต เช่น ข้อจำกัดในการผลิต

2.11.3.7 ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ เพื่อทำการกำหนดแนวทางในการทำงานหรือการออกแบบผลิตภัณฑ์

2.11.3.8 กำหนดแนวทางในการปรับปรุง หรือออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่แล้วนำเสนอต่อผู้บริหาร

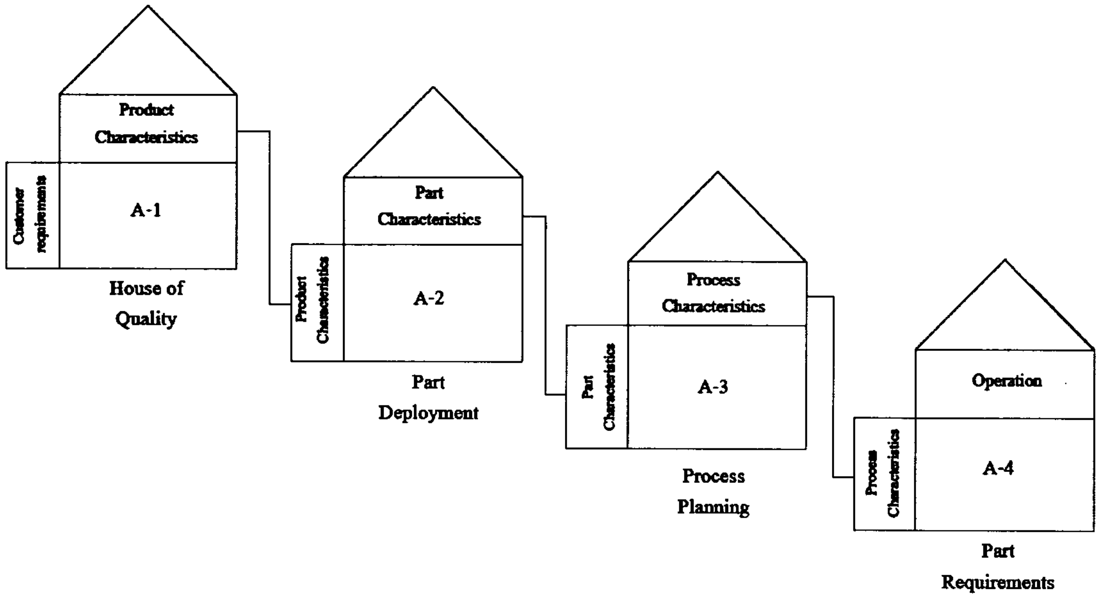
2.11.4 รูปแบบของเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD)

2.11.4.1 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning Matrix หรือ HOQ)

2.11.4.2 เมตริกซ์การออกแบบ (Design Deployment Matrix)

2.11.4.3 เมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ (Process Planning Matrix)

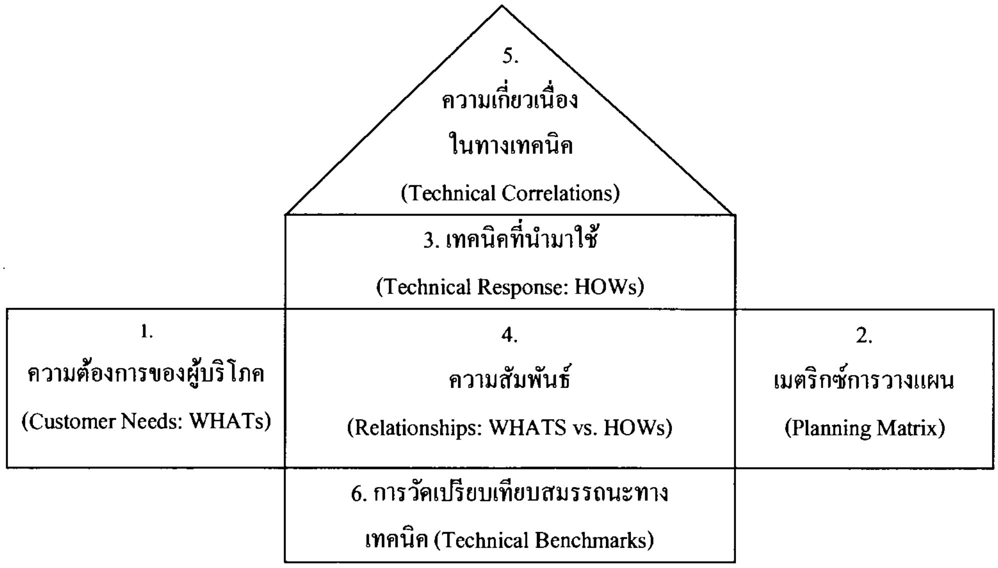
2.11.4.4 เมตริกซ์การวางแผนปฏิบัติการผลิต (Production Operation Planning)



ภาพที่ 2.25 รูปแบบเทคนิค QFD แบบ 4 เฟส

2.11.4.1 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning Matrix หรือ HOQ)

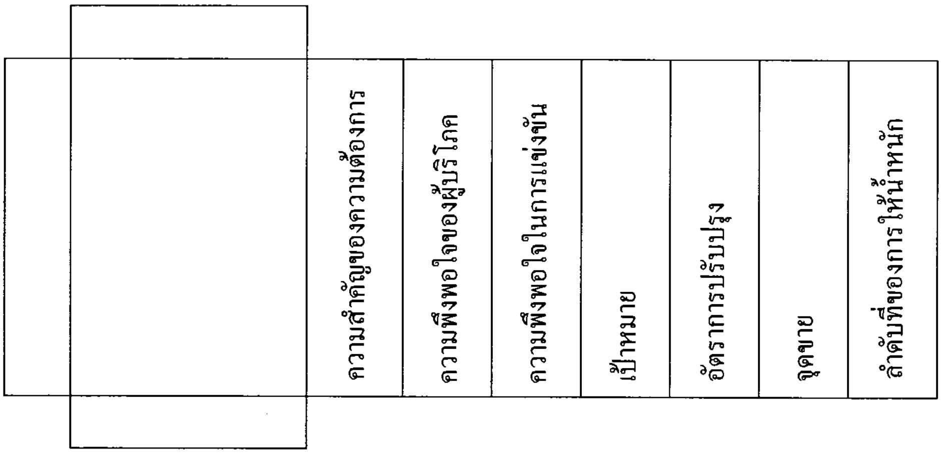
เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (HOQ) หรือบ้านแห่งคุณภาพ ซึ่งเป็นกระบวนการของการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ จะประกอบด้วยการสร้างเมตริกซ์หนึ่งหรือหลายเมตริกซ์ซึ่งเรียกว่าตารางคุณภาพ โดยเป็นเสียงจากผู้บริโภค (Voice of Customer) ต้องการที่จะให้พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งมีรายละเอียดดังภาพที่ 2.26 ต่อไปนี้คือ



ภาพที่ 2.26 เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพกับบ้านคุณภาพ (วิเชียร เบญจวัฒนาผล, 2554)

1) ส่วนที่ 1 ความต้องการของผู้บริโภค (Customer Needs) รายการความต้องการในด้านของผู้บริโภค ซึ่งอาจเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ จากการสำรวจของฝ่ายการตลาด อาจใช้การสัมภาษณ์ หรือการแนะนำจากผู้บริโภค

2) ส่วนที่ 2 เมตริกซ์การวางแผน (Planning Matrix) เป็นส่วนที่ช่วยให้กลุ่มผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์ สามารถสร้างลำดับความต้องการของผู้บริโภค โดยเติมข้อมูลลงในเมตริกซ์ เพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการวางแผนสำหรับสิ่งที่ลูกค้าต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 2.27



ภาพที่ 2.27 เมตริกซ์การวางแผน

- ความสำคัญของความต้องการ ในทางปฏิบัติผู้บริโภคจะมีความต้องการที่หลากหลาย ดังนั้นจึงต้องทำการเรียงลำดับความสำคัญ (Priority) ของความต้องการเหล่านั้น โดยการให้ผู้บริโภคกรอกข้อมูลลำดับ ซึ่งอาจจะใช้เป็นตัวเลข เช่น 1 - 5 ซึ่ง "1" หมายถึงค่าความสำคัญต่ำสุด และ "5" หมายถึง ค่าความสำคัญสูงสุด อย่างไรก็ตามวิธีการให้ค่าอาจจะใช้วิธีอื่นได้ แต่ต้องสามารถทำการหาค่าลำดับของการให้น้ำหนักได้ด้วย

- ความพึงพอใจของผู้บริโภค (Customer Satisfaction) ผู้บริโภคคิดว่าผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน สามารถทำงานได้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคได้เท่าใด โดยปกติในการสำรวจข้อมูลจะแบ่งออกเป็นระดับ เช่น พอใจ ระดับสูงมาก สูงปานกลาง ต่ำ ต่ำมาก เป็นต้น จากนั้นจะทำการแปลงระดับเป็นตัวเลขเพื่อการนำไปคำนวณต่อไป

- ความพึงพอใจในการแข่งขัน หมายถึง การเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์คู่แข่งกับผลิตภัณฑ์ที่กำลังพิจารณาอยู่ ซึ่งจะใช้การสำรวจข้อมูลจากผู้บริโภคโดยจะแบ่งออกเป็นระดับเช่นเดียวกันกับข้อความพึงพอใจของผู้บริโภค จากนั้นจะทำการแปลงระดับเป็นตัวเลขเพื่อการนำไปคำนวณต่อไป

- เป้าหมาย (Goal) หมายถึง เป้าหมายที่กลุ่มผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์ต้องการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามที่กลุ่มต้องการบนพื้นฐานของระดับความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งมักจะต้องใช้การวัดในลักษณะเหมือนกัน โดยจะพิจารณาเปรียบเทียบกันระหว่างผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันกับผลิตภัณฑ์ที่จะออกแบบใหม่ เพื่อให้ได้ตามเป้าหมายที่วางไว้ ดังนั้นการวางเป้าหมายจะส่งผลกระทบอย่างยิ่งต่อการคำนวณในลำดับถัดไป

- อัตราการปรับปรุง จะเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะพัฒนา เปรียบเทียบกับความสามารถในปัจจุบันที่สามารถทำได้ ดังนั้นข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้จะหามาได้ก็ต้องมีพื้นฐานมาจากข้อมูลที่สำรวจมาจากผู้บริโภคซึ่งข้อมูลต้องมีความละเอียด และความถูกต้องของข้อมูลจะเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความสามารถในปัจจุบัน

$$\text{อัตราการปรับปรุง} = \frac{\text{เป้าหมาย}}{\text{ความสามารถในปัจจุบัน}} \tag{2.2}$$

- จุดขาย หมายถึง ความสามารถในการขายผลิตภัณฑ์

- ลำดับที่ของการให้น้ำหนัก การคำนวณลำดับของการให้น้ำหนักนั้น จะแบ่งเป็นลำดับที่ (Rank) ของการให้น้ำหนักเริ่มต้นและลำดับที่น้ำหนักมาตรฐาน ดังนั้นจึง

เป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงความสำคัญโดยรวมของความต้องการของผู้บริโภค โดยมีการแบ่งลำดับจากพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ปัจจุบันที่มีอยู่

ลำดับการให้น้ำหนักเริ่มต้น = ความสำคัญของความต้องการ x อัตราการปรับปรุง x จุดขาย (2.3)

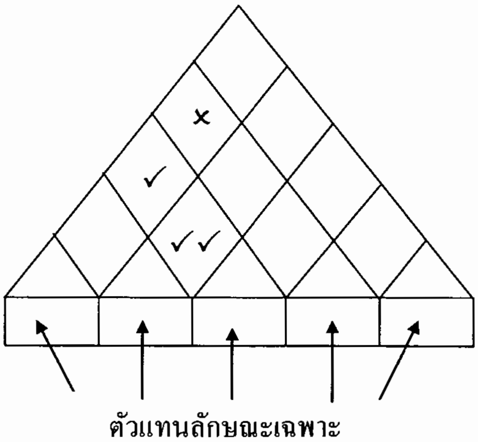
$$\text{ลำดับที่น้ำหนักมาตรฐาน} = \frac{\text{ลำดับที่การให้น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{ผลรวมลำดับที่การให้น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100\% \qquad (2.4)$$

3) ส่วนที่ 3 เทคนิคที่นำมาใช้ (Technical Response) คือ เป็นเทคนิคที่ใช้ตอบสนองความต้องการของผลิตภัณฑ์ทางด้านเทคนิค ซึ่งมาจากผู้บริโภคโดยตรงเอง

4) ส่วนที่ 4 ความสัมพันธ์ (Relationships) กลุ่มผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์ทำการรวบรวมความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ผู้บริโภคต้องการ และตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ

ว่าง	หมายถึง	ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน
1	หมายถึง	มีความสัมพันธ์น้อย
3	หมายถึง	มีความสัมพันธ์ปานกลาง
9	หมายถึง	มีความสัมพันธ์มาก

5) ส่วนที่ 5 ความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค (Technical Correlations) คือ เป็นส่วนของหลังคาบ้านแห่งคุณภาพ ซึ่งจะเกี่ยวเนื่องกับเทคนิคต่าง ๆ ที่นำมาใช้ เนื่องจากเป็นการระบุเทคนิคใดต้องการความร่วมมือและสื่อสารซึ่งกันและกัน ปริมาณเท่าใด โดยความสัมพันธ์กันจะถูกสร้างเป็นตารางเมตริกซ์แนวเฉียง ดังแสดงในภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 ความสัมพันธ์ตัวอย่างระหว่างตัวแทนลักษณะเฉพาะต่าง ๆ

สัญลักษณ์	ความหมาย
✓✓	มีผลกระทบในทางบวกอย่างสูง
✓	มีผลกระทบในทางบวก
ช่องว่าง	ไม่มีผลกระทบ
✗	มีผลกระทบในทางลบ
✗✗	มีผลกระทบในทางลบอย่างสูง

ภาพที่ 2.29 ความหมายของสัญลักษณ์ด้านความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค

6) ส่วนที่ 6 การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะทางเทคนิค (Technical Benchmarks) เป็นประเด็นในทางเทคนิคโดยการได้รับผลกระทบ จากความต้องการของผู้บริโภค โดยมี 3 ส่วน คือ ลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะการแข่งขันและจุดมุ่งหมาย

2.11.4.2 เมตริกซ์การออกแบบ (Design Deployment Matrix)

เป็นขั้นตอนแรกของการแปลงการออกแบบ หรือการแปลงชิ้นส่วน (Parts Deployment) จะทำการแบ่งผลิตภัณฑ์ออกเป็นระบบย่อย หลังจากนั้นเป็นชิ้นส่วนย่อย เพื่อสามารถแยกแยะลักษณะเฉพาะของชิ้นส่วน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญในการออกแบบ ลักษณะเฉพาะเหล่านี้จะรวมถึงวิธีการวัด และทิศทางของความดีด้วย

หลังจากนั้นจะต้องมีการประมาณผลกระทบของลักษณะเฉพาะของแต่ละชิ้นส่วนในการวัดค่าของตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ ซึ่งได้มาจากบ้านแห่งคุณภาพ จากนั้นก็ทำการคำนวณลำดับความสัมพันธ์ของผลรวมความสัมพันธ์ ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นสิ่งที่ขับเคลื่อนให้ทีมผู้พัฒนาทราบว่าชิ้นส่วนใดและลักษณะเฉพาะใดเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดจากความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่ทีมผู้พัฒนาควรจะพัฒนาสิ่งนี้ก่อน

2.11.4.3 เมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ (Process Planning Matrix)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำคุณสมบัติของกระบวนการหรือพารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Characteristics / Process Parameters) ที่สำคัญเรียงตามระดับค่าความสำคัญที่ได้มาจากเมตริกซ์การวางแผนกระบวนการมาแปลงเป็นแผนการควบคุมกระบวนการแต่ละข้อของคุณสมบัติของกระบวนการ หรือขั้นตอนวิธีการปฏิบัติงาน ซึ่งจะพิจารณาถึงแผนงานปรับปรุงที่ต้องดำเนินการ วิธีการควบคุม วิธีการตรวจสอบ ผู้รับผิดชอบ และดำเนินการแผนการควบคุมที่ได้ในการสร้างแผนการควบคุมกระบวนการ มีเป้าหมาย คือ ถ้าหากมีแผนการควบคุมกระบวนการที่ชัดเจนแล้วจะส่งผลให้พารามิเตอร์ของกระบวนการที่สำคัญสามารถควบคุมได้ และเป็นไปตามข้อกำหนด

จากการดำเนินการตามแผนการควบคุมที่ได้ในเมตริกซ์การวางแผนควบคุมกระบวนการนี้จะถูกนำมาดำเนินการพัฒนาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ต่อไป

2.11.4.4 เมตริกซ์การวางแผนปฏิบัติการผลิต (Production Operation Planning)

ในขั้นตอนนี้มักจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของการใช้การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพซึ่งอาจจะไม่ได้ข้อมูลที่ต้องการในรูปของเมตริกซ์เสมอไป ข้อมูลอาจมาจากลำดับที่ของพารามิเตอร์ กระบวนการที่ต้องใช้ ยกตัวอย่าง เช่น ข้อมูลการตั้งเครื่องจักร วิธีการควบคุมการทำงานต่าง ๆ เอกสารการควบคุมและความต้องการให้ผู้ปฏิบัติการได้รับการฝึกอบรม เป็นต้น

หลังจากนั้นจะมีการสร้างตารางเมตริกซ์ หรือ แผนภูมิซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือ ต้องการจะรวบรวมผลกระทบต่าง ๆ จากความต้องการของผู้บริโภค ให้สามารถตั้งค่าที่ต้องการ หรือการปฏิบัติการต่าง ๆ ในการทำให้ได้ตามความต้องการเหล่านั้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) ได้มีนักวิชาการที่ทำการศึกษาดังนี้ พงศกร คำเกาะ (2552) ได้ทำการศึกษาเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) กรณีศึกษา: โรงงานผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็ง พบว่าการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นใยไม้อัดแข็งควรเน้นเรื่องคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านความเรียบของผิวหน้า ความสม่ำเสมอทางด้านความหนา และจากการนำผลลัพธ์ของการใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ พบว่า ทำให้ผลิตภัณฑ์แผ่นใยไม้อัดแข็งหลังการพัฒนามีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้นในเชิงความต้องการผู้บริโภค โดยมีค่าการทดสอบผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ของคู่แข่งและมีแนวโน้มของข้อร้องเรียนของลูกค้าในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง ร้อยละ 91.5

Matzler และ Hinterhuber (1998) เสนอการบูรณาการระหว่าง Kano's Model กับ QFD โดยในงานวิจัยได้มีการบรรยายถึงขั้นตอนการใช้เครื่องมือต่าง ๆ อย่างเป็นระบบและต่อมา Shen, Tan และ Xie (2000) ยังได้เสนอการบูรณาการวิธีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยการใช้ Kano's Model และ QFD เช่นกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ ให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้าให้มากขึ้น ซึ่งการเข้าถึงความต้องการและความคาดหวังของลูกค้านั้น ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการเข้าถึงโดยใช้รูปแบบของ Kano's Model และการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้หลักการของ QFD โดยผู้วิจัยได้เสนอวิธีการบูรณาการของ Kano's Model และ QFD

Baba Md Deros (2009) ได้เสนอการประยุกต์ใช้การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ QFD เพื่อศึกษาลักษณะคุณภาพการบริการที่สำคัญและการวัดประสิทธิภาพ โดยออกแบบสอบถามที่ออกแบบมาเพื่อระบุกลุ่มของลูกค้าในการรับการตอบรับ แล้วทำการสร้างบ้านคุณภาพ HOQ นำความต้องการของลูกค้าและข้อกำหนดทางเทคนิคการออกแบบสำหรับแบบสอบถามและระบุ

พารามิเตอร์อื่น ๆ เพื่อวัดประสิทธิภาพของคุณภาพการให้บริการ จะเห็นได้ว่าการใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวางแผนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ตรงกับความต้องการของลูกค้ามากที่สุด โดยใช้ในการเปลี่ยนความต้องการของลูกค้ามาเป็นตัวผลิตภัณฑ์อย่างเป็นขั้นตอนและเป็นระบบ ในงานวิจัยเรื่องนี้เนื่องจากเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ดังนั้นการนำเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ QFD มาใช้จะเป็นการสร้างต้นแบบที่ตรงกับความต้องการของลูกค้าและเหมาะสม

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เสกสรรค์ วินยางค์กูล (2549) ศึกษาปัจจัยในการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางและศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง ได้แก่ วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ การให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ ช่องทางไหลเข้าในแม่พิมพ์ ช่องทางวิ่งร้อน ระบบช่องทางไหลแบบเย็น ของแม่พิมพ์ รูปทรงของชิ้นงานภายในแม่พิมพ์ ช่องลมภายในแม่พิมพ์และผลกระทบของผู้ประกอบการในการออกแบบแม่พิมพ์ อันเนื่องมาจากผู้ประกอบการภายในประเทศนั้นยังใช้ประสบการณ์ในการออกแบบ และใช้การลองผิดลองถูกในการออกแบบ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหากับผลิตภัณฑ์ในด้านคุณภาพและกระบวนการผลิตเมื่อนำแม่พิมพ์ไปใช้งาน ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวได้ศึกษาผลกระทบในการฉีดผลิตภัณฑ์ยาง

ชุกรี แดสา (2551) ทำการศึกษาและรวบรวมองค์ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์อัดสำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางจากแหล่งความรู้เชิงทฤษฎีในเอกสารวิชาการ และแหล่งความรู้เชิงปฏิบัติจากสถานประกอบการที่ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ ซึ่งผู้วิจัยได้นำความรู้ดังกล่าวมาสังเคราะห์เพื่อกำหนดเป็นแนวปฏิบัติที่เป็นมาตรฐานสำหรับการออกแบบแม่พิมพ์ และเนื่องจากการที่กระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ต้องอาศัยข้อมูลจากหลายฝ่ายทำให้เกิดความล่าช้าจากขั้นตอนการประสานงานเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จำเป็น จึงเกิดแนวคิดในการแปลงกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ที่ได้จัดทำเป็นมาตรฐานให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันพิเศษช่วยในการทำงาน (Application Programming Interface, API) ที่ติดตั้งอยู่บนซอฟต์แวร์ช่วยในการออกแบบ Solid Works Software 2006 ซึ่งระบบ API ที่ถูกพัฒนาขึ้นมานี้จะเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลด้านวัสดุยางและฐานข้อมูลเครื่องจักร ทำให้กระบวนการออกแบบเป็นไปด้วยความสะดวกมากขึ้น

วันชัย ลีลากวีวงศ์ (2550) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ของโรงงานผลิตยางปูพื้นปลอดภัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และเพื่อทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงต่อความต้องการของลูกค้า โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ QFD ด้วยการแปลงความต้องการของลูกค้า เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ยางพาราบล็อก เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบใหม่ ซึ่งผลิตภัณฑ์

ที่ได้รับการพัฒนาใหม่นี้ มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านวัตถุดิบที่ใช้จากยางธรรมชาติเป็นยางสังเคราะห์ (Nitrile Butadiene Rubber, NBR) และมีการผสมสารเคมี สารให้สี รูปแบบ ลวดลาย และสีสันที่สวยงามและหลากหลายขึ้น

J. A. Lindsay (1999) ทำการศึกษาถึงปัจจัยในกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางที่ทำให้เกิดผลต่อความสูญเสียตั้งแต่กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ไปจนถึงการตั้งค่าพารามิเตอร์ในการฉีดของเครื่องจักร และอิทธิพลของส่วนผสมและสารเติมเต็ม (Additives) บางตัวที่ส่งผลกระทบต่อการตกค้างภายในเบ้าแม่พิมพ์ ที่ทำให้เกิดรอยตำหนิในชิ้นงานที่ฉีด ซึ่งได้มีการนำระบบบริหารจัดการด้านคุณภาพ ISO 9001 มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และทำการวิเคราะห์ด้านค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อนค่าพิกัดความคลาดเคลื่อนที่ต้องมีความแม่นยำ โดยมีการร่วมมือกันระหว่างตัวผู้ผลิตและลูกค้าในการแก้ไขปัญหาด้านการผลิต ต้นทุน และระยะเวลาในการส่งมอบร่วมกัน เพื่อให้กิดประสิทธิภาพในการทำงานมากที่สุด

Yuzana Khin (2000) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาสร้างระบบฐานความรู้เพื่อเลือกชนิดและกระบวนการผลิตของแผ่นฟิล์มและแผ่นฟอยล์สำหรับการบรรจุภัณฑ์แบบยืดหยุ่น ระบบฐานความรู้อันนี้เป็นโมดูลซึ่งเก็บเรียบเรียงข่าวสารที่เป็นฮิวริสติก สำหรับการเลือกชนิดของแผ่นฟิล์มเลือกกระบวนการผลิตและการแก้ปัญหาของแต่ละกระบวนการ กฎและฐานความรู้ทั่วไปจะใช้สำหรับการเลือกชนิดของวัสดุ ต้นแบบของระบบผู้เชี่ยวชาญนี้จะพัฒนาสร้างเปลือกระบบผู้เชี่ยวชาญขึ้นมาด้วยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป EXSYS Professional Version 4.0

M.J. Forrest (2001) ได้ทำการศึกษาส่วนผสมในยางและผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อช่วยในงานด้านการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยาง และทำการศึกษาวิจัยด้านความเสียหายของผลิตภัณฑ์ยางและส่วนผสมของยางที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตชิ้นงาน

C.K. Mok et al. (2001) ทำการวิจัยโดยทำการรวบรวมองค์ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและสร้างเป็นโมดูลเพื่อการออกแบบแม่พิมพ์พลาสติกผ่านระบบ Internet มาจัดทำเป็นโปรแกรมช่วย ที่สามารถช่วยให้งานด้านการออกแบบแม่พิมพ์สะดวกและรวดเร็วขึ้น ระบบฐานข้อมูลสามารถโต้ตอบผ่านทางระบบออนไลน์ ซึ่งระบบที่พัฒนาเรียกว่า IKMOULD วิธีการที่นำมาใช้ทำให้เกิดความรวดเร็ว ทั้งในขั้นตอนการออกแบบและการอำนวยความสะดวกในการกำหนดมาตรฐานการออกแบบซึ่งจะเพิ่มความเร็วในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกได้ดีมากขึ้น

A. Tolga Bozdana et al. (2002) ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการฉีดขึ้นพลาสติก โดยการพัฒนากรอบระบบโครงสร้างฐานข้อมูลความรู้แบบแยกส่วน และระบบผู้เชี่ยวชาญแบบโต้ตอบ EX- PIMM ซึ่งใช้สำหรับการกำหนดพารามิเตอร์ของการฉีดขึ้นรูปวัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติก

และการเลือกเครื่องฉีดพลาสติกที่เหมาะสมรวมถึงวัสดุและการเลือกวัสดุที่เหมาะสม การวิจัยได้รวบรวมข้อมูลองค์ความรู้เพื่อสร้างระบบฐานข้อมูลความรู้ รวมทั้งกฎที่ใช้ในระบบผู้เชี่ยวชาญและกรอบโครงสร้างของแต่ละฟังก์ชั่นที่จำเป็นในการใช้งานและโมดูลของระบบโดยพัฒนาบนภาษาลิสป์ (Lisp Programming Language)

J.Y.H. Fuh et al. (2003) ศึกษากระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและกำหนดระบบการออกแบบแม่พิมพ์แล้วทำการพัฒนาโดยใช้การเขียนโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface, API) บนระบบโปรแกรมสำเร็จรูป Solid Works 1999 จากผลการพัฒนาโปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์มีความสะดวกรวดเร็วขึ้น และสามารถลดเวลาในการออกแบบแม่พิมพ์ได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้สร้างชุดคำสั่งของ (Application Programming Interface, API)

M. Cemal Cakir et al. (2005) ได้ทำการรวบรวมองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการปฏิบัติงานในการผลิตแม่พิมพ์และการออกแบบคาวิตี้ นำมาจัดทำเป็นโปรแกรมช่วยในการทำงาน ซึ่งระบบที่พัฒนาเรียกว่า Die-EX โดยนำชิ้นส่วนมาตรฐานนำมารวบรวมไว้ในฐานข้อมูลความรู้ของโปรแกรมทำให้การทำงานสะดวกรวดเร็วขึ้น มีการจัดทำระบบฐานข้อมูลด้วยโปรแกรมภาษา DELPHI Visual programming และจัดการองค์ความรู้โดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ แสดงผลการพัฒนาบนระบบปฏิบัติการ Window System

Chia-Feng Juang et al. (2006) ศึกษากระบวนการควบคุมอุณหภูมิภายในแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง การวิจัยนี้ได้เสนอตัวควบคุมที่ใช้เป็นหลักการที่เรียกว่า Takagi–Sugeno–Kang (TSK) ซึ่งเป็นการพัฒนาเครือข่ายแบบ Type recurrent fuzzy network (TRFN) เป็นลักษณะของโครงสร้างแบบออนไลน์และการเรียนรู้ เนื่องจากความสามารถในการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพของ TRFN รูปแบบการออกแบบตัวควบคุมง่ายใช้การกำหนดค่าผกผันโดยตรงที่เกิดขึ้นในระบบ TRFN ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีความรู้เบื้องต้น ระบบการควบคุม TRFN สามารถออกแบบและทำงานได้ดีแม้ว่าช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่างที่แตกต่างจากเดิม และสามารถใช้สำหรับการฝึกอบรม การออกแบบของ TRFN ประกอบด้วยการฝึกอบรมออนไลน์สำหรับการเรียนรู้ ระบบโครงสร้างและพารามิเตอร์ของแม่พิมพ์ฉีดยาง การพัฒนาระบบของ TRFN จะเรียนรู้พารามิเตอร์ ส่วนหนึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการปรับขั้นตอนวิธีการกรองคำสั่งในการเรียนรู้แบบออนไลน์และจะดำเนินการเพื่อปรับแต่งผลเนื่องมาจากพารามิเตอร์ของ TRFN จะสามารถบรรลุผลการดำเนินงานการควบคุมที่ดีขึ้น ขั้นตอนวิธีการใช้งานที่ง่าย เมื่อทดลองปฏิบัติและการเปรียบเทียบกับระบบประเภทอื่น ๆ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานของตัวควบคุม

C.K. Mok et al. (2008) ได้ทำการรวบรวมองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก มาจัดทำเป็นโปรแกรมช่วยที่สามารถช่วยให้งานด้านการออกแบบแม่พิมพ์สะดวกและรวดเร็วขึ้น โดยมีการจัดทำฐานข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Access 2000 และจัดการองค์ความรู้โดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert system) ด้วยโปรแกรม JESS 4.4 แสดงผลให้ผู้ใช้ด้วยการเขียนโปรแกรมประยุกต์ด้วยโปรแกรม Solid Works 2003 โดยผู้ใช้สามารถใช้โปรแกรมดังกล่าวผ่านทางระบบอินเทอร์เน็ตได้ ทำให้ใช้งานได้สะดวกและรวดเร็ว

Hak Soo Mok et al. (2011) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลในการออกแบบและการพัฒนาการจัดเก็บชิ้นส่วนมาตรฐานบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อเพิ่มระบบประสิทธิภาพในการทำงาน ผู้ใช้งานสามารถทำการลงทะเบียนเข้าใช้ระบบแบบมาตรฐาน ส่วนการใช้ GUI สามารถติดต่อกับผู้ใช้งานได้ง่าย ถึงแม้ผู้ใช้งานอาจไม่ทราบกฎระเบียบของการลงทะเบียนสำหรับฐานข้อมูลที่ซับซ้อน ซึ่งระบบได้รับการพัฒนาบนระบบปฏิบัติการ Windows XP เชื่อมต่อเข้ากับ (Application Programming Interface,API) ของโปรแกรมสำเร็จรูปเชิงพาณิชย์ CAD/CAM/CAE และการออกแบบโซลูชั่นประกอบด้วย 3 ชนิดของโมดูล คือ โมดูลส่วนมาตรฐานชิ้นส่วน โมดูลรายการ และโมดูลการดึงระบบมาตรฐาน การพัฒนาโมดูลในสามส่วนเป็นประโยชน์สำหรับนักออกแบบที่จะนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือปรับเปลี่ยนชิ้นส่วนมาตรฐานหลังจากการลงทะเบียนเข้าใช้งานผ่าน GUI โดยผ่านโมดูลที่มีการพัฒนาขึ้นและการจัดหมวดหมู่ของชิ้นส่วนมาตรฐานของระบบถูกนำมาใช้เพื่อให้เป็นมาตรฐานในการออกแบบแม่พิมพ์ เช่น ฐานแม่พิมพ์และชิ้นส่วนแม่พิมพ์ ซึ่งถูกนำไปใช้กับ บริษัท ฮุนไดอุตสาหกรรม จำกัด ซึ่งผลที่ได้รับสามารถลดข้อผิดพลาดในการออกแบบและเวลาในการออกแบบ

Yuan Guo et al. (2012) ได้ศึกษากรณีที่ใช้เหตุผล (CBR) เพื่อออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อสนับสนุนในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีด ซึ่งออกแบบโดเมนที่มีความเหมาะสมในการใช้งานเชิงปฏิบัติการ การออกแบบโครงสร้างของระบบอยู่ในรูปแบบของการใช้งานกรณีศึกษาในการตัดสินใจเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการดึงความรู้ที่ชาญฉลาดของระบบ ในการสนับสนุนการออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาและอุปสรรคในการประยุกต์ใช้งานในการออกแบบด้วยระบบ CBR ของแม่พิมพ์ฉีด เพื่อที่จะพัฒนาระบบ CBR ให้มีความรู้และความสามารถในตอบสนองความต้องการและการสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีด ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้รวมเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบโดยการสร้างข้อมูลบนโดเมนเป็นกรณีศึกษา ฐานวิธีการออกแบบใหม่ โดยการจัดรูปแบบฐานความรู้ทางด้านวิศวกรรมการออกแบบและการนำเสนอความรู้ โดยใช้วิธีการดึงความรู้มาช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์และใช้งาน จากการประเมินประสิทธิภาพการทำงานและการประเมินผล

ของระบบที่พัฒนา แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอมามีประสิทธิภาพดีกว่าการออกแบบแม่พิมพ์แบบเก่า

Luis M. Torres-Trevino et al. (2013) งานวิจัยนี้ได้มีการเสนอแนวทางในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญแบบไฮบริด เพื่อเสนอแนวทางในการปรับตั้งพารามิเตอร์ข้อมูลจากการออกแบบการทดลองโดยการสร้างสูตรการคำนวณ จากสมการถดถอยอัลฟาและเบต้าเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รูปแบบที่พัฒนาผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้โดยใช้สถิติในการตรวจสอบจุดต่าง ๆ และการวิเคราะห์ผลจากสมการ ซึ่งวิวัฒนาการในการพัฒนารูปแบบในการคำนวณที่ใช้ในการลดหรือเพิ่มรูปแบบที่สร้างขึ้น ตามรูปแบบสมการถดถอยสัญลักษณ์แบบเบต้า เช่น การเลือกวัสดุในกระบวนการผลิต การเลือกชนิดของเครื่องจักร ดังนั้นจากการพัฒนาโปรแกรมสามารถสรุปให้เห็นถึงประโยชน์ของระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักร

A. Skrobak et al. (2013) งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของกระบวนการฉีดขึ้นรูปยางและการอัดขึ้นรูปยาง บทความนี้แสดงให้เห็นถึงสิ่งที่มีอิทธิพลต่อการมีการเปลี่ยนแปลงในเทคโนโลยีการผลิตที่มีต่อสมบัติทางกลของการทดสอบยาง ในการวิจัยจะเปรียบเทียบสองเทคโนโลยีการผลิตขั้นพื้นฐานคือกระบวนการอัดขึ้นรูปและการฉีดขึ้นรูป โดยจุดมุ่งหมายของการวิจัยครั้งนี้เพื่อแสดงผลและประเมินขอบเขตคุณสมบัติทางกลของยางที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เมื่อได้รับอิทธิพลจากเทคโนโลยีการผลิตที่ใช้ในการผลิตและความแตกต่างที่อาจเกิดขึ้นบนพื้นฐานของการทดสอบสมบัติทางกล

K. Kyas et al. (2013) เสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ช่วยทางด้านวิศวกรรมที่ใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อเป็นเทคนิคในการปรับปรุงกระบวนการผลิต บทความนี้ใช้การวิเคราะห์และการคำนวณในระหว่างกระบวนการฉีดขึ้นรูปยาง ขั้นตอนกระบวนการฉีดยางเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่แพร่หลายมากที่สุดในอุตสาหกรรมขึ้นรูปยางและโพลิเมอร์ โดยวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างการฉีดประเภทสารประกอบเทอร์โมพลาสติกและยาง จุดมุ่งหมายหลักของงานวิจัยมีการแสดงความแตกต่างระหว่างประเภทของทางวิ่งของยางที่มีต่อสมบัติในการฉีดขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์ยาง ค่าตัวแปรจากงานวิจัยที่ได้รับจะเป็นประโยชน์สำหรับการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องฉีด การออกแบบแม่พิมพ์และรอบการผลิตในกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

Mumtaz Ipek et al. (2013) งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในการเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการออกแบบผลิตภัณฑ์และการปรับปรุงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในการเลือกใช้วัสดุ มีการพัฒนาระบบฟังก์ชันที่สำคัญในช่วงการออกแบบและกระบวนการผลิตทั้งหมด ซึ่งตัวเลือกที่ไม่ถูกต้องของวัสดุที่มักจะนำไปสู่ราคาที่แพงมากและในที่สุดจะส่งผลในการผลิตผลิตภัณฑ์ ดังนั้นนัก

ออกแบบต้องระบุและเลือกวัสดุที่เหมาะสม และวัสดุที่มีฟังก์ชันการทำงานที่เฉพาะเจาะจงเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการและสามารถควบคุมค่าใช้จ่ายให้ต่ำที่สุด บทความนี้พยายามที่จะแก้ปัญหาการเลือกซื้อวัสดุด้วยวิธีการของระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อการผลิต วิธีการนี้คุณสมบัติที่แตกต่างกันมีการตรวจสอบในแต่ละชิ้นส่วนสำหรับการเลือกวัสดุยานยนต์ เช่น ความสามารถทนต่อแรงกระแทก ความสามารถในการขึ้นรูป ทนต่อการกัดกร่อนและราคาต่ำ ซึ่งใช้ในการผลิตชิ้นงาน เช่น การผลิตกันชนหน้ารถยนต์ จากนั้นข้อมูลที่รวบรวมจะถูกสร้างขึ้นโดยการพัฒนาโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการเลือกวัสดุและการผลิต เนื่องจากการดำเนินการส่วนใหญ่ของคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นต้องใช้วัสดุพอลิเมอร์ในกระบวนการผลิต เช่น PP (Polypropylene), HDPE (เอทิลีนความหนาแน่นสูง) และ PMMA (ทาคริเลต) GFRPs (แก้วพลาสติกเสริมใย) และ CFRPs (คาร์บอนไฟเบอร์เสริมแรง) พบว่ามีวัสดุที่ดีที่สุดสำหรับชิ้นส่วนสำหรับผลิตกันชนหน้าโดยสามารถเลือกได้จากฐานข้อมูลความรู้และนำข้อมูลทางด้านคุณสมบัติไปใช้งานในกระบวนการผลิตหรือกระบวนการออกแบบ

Kamil Kyas et al. (2014) ได้นำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ยางด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับอุตสาหกรรมการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางเพื่อเป็นเทคนิคในการปรับปรุงกระบวนการออกแบบในกระบวนการขึ้นรูปยาง งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นโดยการวิเคราะห์การคำนวณในระหว่างกระบวนการฉีดขึ้นรูปยางและการแสดงโดยใช้การวิเคราะห์การคำนวณเพื่อปรับปรุงกระบวนการฉีดขึ้นรูปยาง โดยจุดมุ่งหมายหลักของการวิจัยที่จะนำเสนอ คือ ความแตกต่างระหว่างผลกระทบต่อพฤติกรรมที่ไม่เกี่ยวกับอัตราการไหลของยางในช่องทางการไหลถึงตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งในกระบวนการฉีดยางมักถูกพบว่าสำหรับรูปทรงเรขาคณิตและการประมวลผลเงื่อนไขเฉพาะการเพิ่มขึ้นของดัชนีของพฤติกรรมที่มีการไหลไม่คงที่และทำให้เกิดการเพิ่มอัตราการบ่มสุกของยางเนื่องจากการกระจายความหนืดที่เกิดขึ้นที่ผนังช่องทางการไหล ดังนั้นการควบคุมการไหลจะส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการฉีด

V. Naranje and S. Kumar (2014) ได้นำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาระบบฐานความรู้ Knowledge Base System (KBS) สำหรับการออกแบบอัตโนมัติของแม่พิมพ์ในการปั๊มขึ้นรูปโลหะสำหรับชิ้นส่วน Axisymmetric KBS โดยใช้กฎการผลิตตามวิธีการของปัญญาประดิษฐ์ (AI) ซึ่งถูกนำมาใช้สำหรับการพัฒนาของระบบที่นำเสนอ โดยการพัฒนาระบบได้มีการรวบรวมและจัดเนื้อหาในส่วนต่าง ๆ ไว้ภายใน 27 โมดูล แต่ละโมดูลของระบบจะทำการพัฒนาด้วยภาษา Auto LISP และส่วนติดต่อผู้ใช้ ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษา Visual Basic 6.0 และโปรแกรม AutoCAD Software ระบบที่นำเสนอมีความสามารถในการทำงานโดยอัตโนมัติทั้งหมด กิจกรรมหลักของการออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปโลหะ เช่น การประเมินในการผลิตชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปลึก การออกแบบของแถบรูปแบบและการวางแผนขั้นตอนการเลือกของชิ้นส่วนแม่พิมพ์รวมถึงการสร้าง

แบบจำลองของชิ้นส่วนแม่พิมพ์โลหะ การสนับสนุนในการออกแบบแม่พิมพ์ ซึ่งการพัฒนาระบบผู้ใช้งานสามารถโต้ตอบและมีความยืดหยุ่นและสามารถทำให้มีต้นทุนการดำเนินงานต่ำลง

Antonino Fiannaca et al. (2014) ได้นำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ เพื่อใช้สำหรับการสนับสนุนการตัดสินใจและเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทดลอง โดยการออกแบบโปรแกรมในหลายโดเมน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนในกระบวนการออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่าง ๆ แต่เนื่องจากขั้นตอนของระบบเหล่านี้ไม่ได้บูรณาการแนวทางที่เป็นระบบหรือส่วนประกอบสนับสนุนสำหรับองค์ประกอบเวิร์กโฟลว์และการนำมาใช้ใหม่ จากผลกระทบดังกล่าวบทความนี้ได้นำเสนอ สถาปัตยกรรมการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญแบบไฮบริด โดยมีฐานความรู้และพื้นฐานสำหรับการออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญที่มีความสามารถในการสนับสนุนการจัดการสำหรับการทดลอง และการพัฒนาระบบ กำหนดพื้นที่ทางความคิด การอ้างอิงที่เหมาะสมที่อธิบายสถานะของปัญหาด้วยวิธีการของมุมมองที่แตกต่างกันในเวลาเดียวกัน ขั้นตอนที่อธิบายและกระบวนการทำงานที่มุ่งเน้นที่แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของการทำงานที่นำเสนอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบบกรณีศึกษา สารสนเทศตามแนวทางสถาปัตยกรรมแบบไฮบริด เพื่อที่จะอธิบายวิธีการออกแบบและบูรณาการความรู้ที่จำเป็นในระบบการโต้ตอบ สำหรับองค์ประกอบและการทำงานของขั้นตอนการทำงานทางวิทยาศาสตร์

2.13 สรุปผล

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่าง ๆ และการพัฒนาการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยางเพื่อให้สามารถใช้เป็นแหล่งเรียนรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางและใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาโปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยางในอนาคต การประยุกต์ใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นสาขาย่อยของระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบผู้เชี่ยวชาญ และประโยชน์ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ขั้นตอนพื้นฐานในการพัฒนาสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ เครื่องมือสำหรับพัฒนาสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ รวมทั้งตัวอย่างการวิจัยทางด้านระบบผู้เชี่ยวชาญและกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง ที่ยังไม่มีโปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์โดยตรง ดังนั้นจากข้อมูลที่ทำการศึกษาสามารถนำข้อมูลมาเป็นพื้นฐานในการพัฒนาการออกแบบโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญต้นแบบ เพื่อช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยางแบบออนไลน์ และเพื่อรองรับแนวโน้วของระบบการผลิตแบบ E-Manufacturing ในอนาคต ที่ช่วยสนับสนุนการผลิตและกระบวนการออกแบบซึ่งทำให้กระบวนการในการออกแบบมีความ

สะดวกและสามารถแก้ไขปัญหาในการออกแบบได้ตลอดเวลา ลดความผิดพลาดในด้านการออกแบบ ลดเวลาในการออกแบบแม่พิมพ์และกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงได้รวบรวมและศึกษาความสามารถของโปรแกรมเชิงพาณิชย์ในด้านข้อมูลการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง และการรองรับการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง และนำข้อมูลมาพัฒนาโปรแกรมต้นแบบช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 เปรียบเทียบข้อมูลของโปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์เชิงพาณิชย์

Software Program	**Software Data**							
	Rubber Properties	**Plastics Data**	**Cooling Data**	**Rubber Part Data**	**Knowledge system KBS**	**Online Software**	**Learning Software**	**Copyright**
Autodesk Mold Flow		☆	☆					☆
CAD MOLD	☆	☆	☆					☆
Mold Wizard		☆	☆					☆
IMOLD Program		☆	☆					☆
Solid work Design		☆						☆
Solid work Simulation		☆						☆
Solid work Plastics		☆	☆					☆

จากตารางที่ 2.9 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลของโปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์เชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางในปัจจุบัน ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านข้อมูลที่เกี่ยวกับแม่พิมพ์ฉีดยางโดยตรง ด้านชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์ยาง ระบบฐานข้อมูลความรู้เรื่องยาง ระบบชิ้นส่วนยางมาตรฐานในอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน ระบบโปรแกรมแบบออนไลน์ ระบบฐานข้อมูลความรู้ซึ่งเป็นโปรแกรมแบบฟรีโปรแกรม และเป็นโปรแกรมสำหรับการเรียนรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางโดยตรง และเนื่องจากโปรแกรมเชิงพาณิชย์มีค่าลิขสิทธิ์และข้อจำกัดในการใช้งานและมีราคาแพงทำให้อุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) เข้าถึงโปรแกรมได้ยากและทำให้การพัฒนาการกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางจำกัดอยู่ในวงแคบ ซึ่งทำให้ขาดการพัฒนาอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางที่ยั่งยืนภายในประเทศ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ผู้วิจัยได้กำหนดแผนการดำเนินงาน ดังรายละเอียดในภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

ศึกษาข้อมูลและเป็นการรวบรวมความรู้เกี่ยวกับกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยางโดยการเก็บรวบรวมความรู้จากเอกสาร บทความ หนังสือ งานวิจัยและเอกสารความรู้ที่เกี่ยวข้องจากแหล่งต่าง ๆ เพื่อจัดทำเป็นฐานความรู้และระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยางสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการแนะนำและแก้ปัญหาในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางและเป็นเครื่องมือในการฝึกอบรมพนักงานและเป็นสื่อการสอน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ศึกษาทฤษฎีข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวของที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง

3.1.1 รวบรวมข้อมูลความรู้เกี่ยวกับกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

3.1.2 รวบรวมความรู้จากหนังสือ บทความ งานวิจัย และเอกสารความรู้อื่น ๆ

3.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวของเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ

3.2.1 ศึกษาทฤษฎีในการออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญและการประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างและการทำงาน รวมถึงกลไกในการทำงานของระบบเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย

3.2.2 ศึกษาวิธีการพัฒนาโปรแกรมที่จำเป็นในงานวิจัย ซึ่งโครงสร้างจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของระบบการสร้างฐานข้อมูลทางความรู้จะใช้โปรแกรม My SQL ส่วนของการเชื่อมต่อกับระบบติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยใช้การพัฒนาระบบบนภาษาโปรแกรม PHP Script Language เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลและการอนุมานความรู้โดยใช้ Web server

สัมภาษณ์ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ

3.2.2.1 สร้างเนื้อหาความรู้เกี่ยวกับกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

3.2.2.2 ตรวจสอบความถูกต้องของความรู้ และปรับปรุงเนื้อหาความรู้

3.2.2.3 การทดลองเผยแพร่ความรู้

3.2.2.4 การพัฒนาฐานความรู้และระบบผู้เชี่ยวชาญ

3.2.2.5 การเผยแพร่ฐานความรู้ และประยุกต์ใช้งานฐานความรู้ในโรงงานฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

3.2.2.6 ประเมินผลการใช้งานฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญ

3.2.2.7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

3.3 ศึกษาความต้องการระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ QFD

ดำเนินการศึกษาความต้องการโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Application of Quality Function Deployment: QFD) มีขั้นตอนดังนี้คือ

3.3.1 การเตรียมการก่อนการประยุกต์ใช้ QFD

3.3.1.1 ทำการสำรวจความต้องการของลูกค้า (Voice of Customer) เกี่ยวกับการสร้างโปรแกรมต้นแบบของระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง โดยทำการสัมภาษณ์ กลุ่มผู้ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง กลุ่มโรงงานที่ผลิตเกี่ยวกับอุตสาหกรรมฉีดขึ้นรูปยาง และกลุ่มผู้สนใจในการออกแบบแม่พิมพ์ เป็นตัวแทนกลุ่มผู้ใช้งาน

3.3.1.2 นำการเรียกร้องของลูกค้า หรือผู้ใช้งาน มาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ แล้วจัดกลุ่มคุณลักษณะความต้องการ โดยใช้แผนภาพต้นไม้ (Tree Diagram) มาช่วยในการจัดข้อมูล เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาความสับสน และเกิดภาพพจน์ที่ชัดเจนมากขึ้น

3.3.1.3 จัดทำแบบสอบถาม โดยแจกให้กับกลุ่มผู้ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง กลุ่มโรงงานที่ผลิตเกี่ยวกับอุตสาหกรรมฉีดขึ้นรูปยาง และกลุ่มผู้สนใจในการออกแบบแม่พิมพ์ โดยทำการสุ่มแบบเจาะจง จำนวน 30 ชุด ประเมินคะแนนความสำคัญ เพื่อสำรวจระดับความคิดเห็นของกลุ่มผู้ใช้งาน ว่าอยู่ในระดับใด โดยใช้มาตราส่วนสเกล 5 ระดับ

3.3.1.4 วิเคราะห์คะแนนความสำคัญของแบบสอบถาม จากความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นมาตราส่วนสเกล 5 ระดับ หลังจากนั้นคำนวณคะแนนความสำคัญ โดยสรุปเป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลซึ่งคำนวณหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Geometric Mean) เพื่อนำคะแนนความสำคัญไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค QFD

$$Geomeric\ Mean = n\sqrt{N1xN2xN3x\ldots xNn} \quad (3.1)$$

เมื่อ N = ค่าของข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม

1, 2, 3….n = จำนวนข้อมูล

3.3.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD)

เป็นการวิเคราะห์ความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งาน ที่ได้จากค่าเฉลี่ยเลขคณิตของแบบสอบถาม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบโปรแกรมต้นแบบของระบบผู้เชี่ยวชาญในการ

ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อสนองความต้องการของผู้ใช้งาน และนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ทั้ง 4 เฟส ดังนี้

3.3.2.1 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) หรือบ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ) ปัจจัยเข้าคือความต้องการของลูกค้าหรือกลุ่มผู้ใช้งาน (Customer Needs) ได้ผลลัพธ์คือเทคนิคที่ต้องการ (Technical Requirement) ที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน

3.3.2.2 เมตริกซ์การแปลงการออกแบบ (Design Development or Deployment) เป็นปัจจัยเข้า คือ เทคนิคที่ต้องการได้ผลลัพธ์คือข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics)

3.3.2.3 เมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ (Process Planning) เป็นปัจจัยเข้า คือ ข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics) ได้ผลลัพธ์ คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter)

3.3.2.4 เมตริกซ์การวางแผนปฏิบัติการผลิต (Production Operations Planning) เป็นปัจจัยเข้า คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter) ได้ผลลัพธ์ คือ กระบวนการปฏิบัติงาน (Process Name) ที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน

3.4 ออกแบบและพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

ระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง จะต้องมีความสามารถในการเข้าใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา เนื่องจากเป็นความสามารถของการเป็นโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ (Web applications) โดยมีโครงสร้างระบบเบื้องต้นดังภาพที่ 3.2 ซึ่งระบบผู้เชี่ยวชาญมีหน้าที่ในการเสนอแนะในการออกแบบแม่พิมพ์ที่ถูกต้อง โดยการสังเคราะห์ความรู้จากข้อมูลในฐานข้อมูลและตัวแปรต่าง ๆ ที่ผู้ใช้กำหนด ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนย่อย ได้แก่

ส่วนที่ 1 ส่วนนำเข้าความรู้ (Knowledge Acquisition) ใช้เพื่อสังเคราะห์ความรู้จากข้อมูลหรือเทคโนโลยีสารสนเทศและระบบข้อมูลข่าวสารจากแหล่งต่าง ๆ และจากผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบแม่พิมพ์พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางรวมทั้งข้อมูลที่ปรับปรุงจากผู้ใช้ นำเข้าสู่ระบบและเก็บไว้ในฐานความรู้ (Knowledge Base) เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาในการออกแบบในครั้งต่อไป โดยโครงสร้างของฐานความรู้นี้ได้ออกแบบไว้ให้รองรับกับส่วนอนุมานความรู้ (Knowledge inference engine) ในส่วนถัดไป

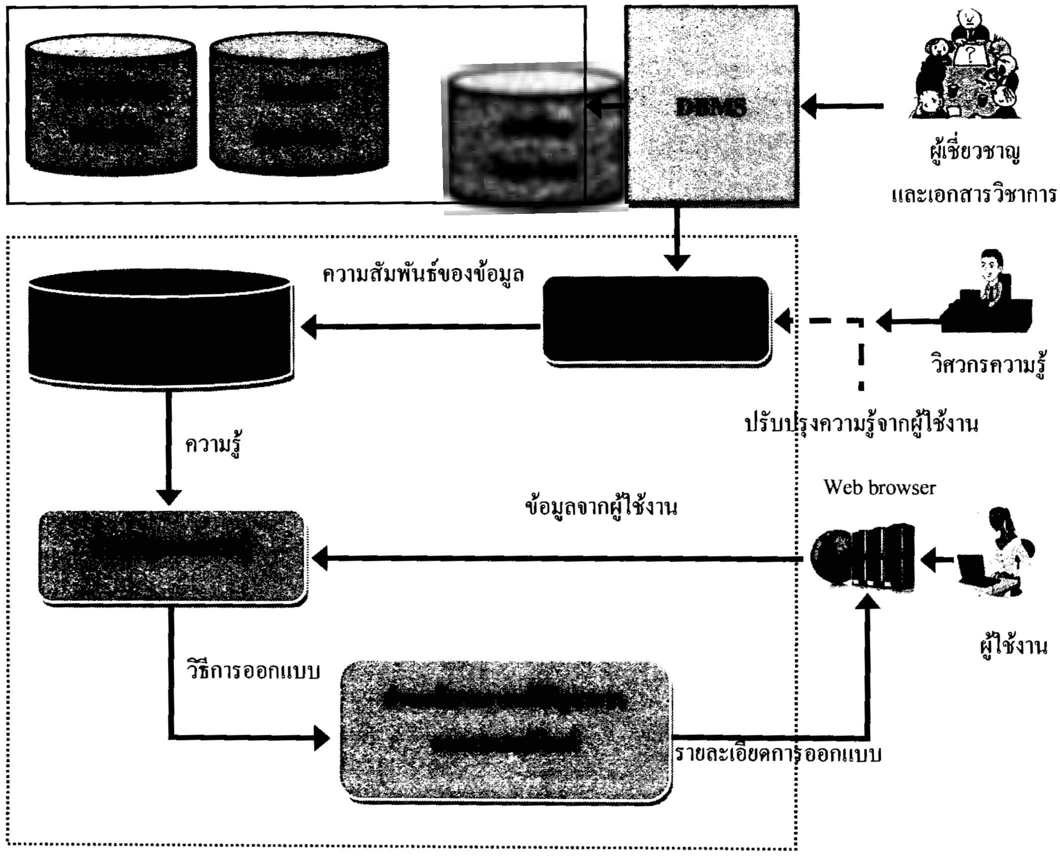
ส่วนที่ 2 ส่วนอนุมานความรู้ (Knowledge Inference Engine) คือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งพยายามที่จะค้นหาคำตอบจากฐานความรู้ด้านการออกแบบแม่พิมพ์ และจากความต้องการของผู้ใช้ (User Preferences) ซึ่งได้ระบุเข้ามาในระบบ โดยที่ส่วนอนุมานนี้เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของ

ระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งจะนำมาใช้เชื่อมความสัมพันธ์ของสารสนเทศทั้งหมดที่มีอยู่ในฐานความรู้เพื่อได้มาซึ่งจุดมุ่งหมายสูงสุดในการแก้ไขปัญหาในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางตามที่ระบบต้องการ โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผลกระทบในการออกแบบแต่ละส่วนและการออกแบบที่ถูกต้อง เพื่อนำเสนอทางเลือกที่เหมาะสมในการออกแบบชิ้นส่วนแม่พิมพ์ที่สามารถใช้งานได้จริง

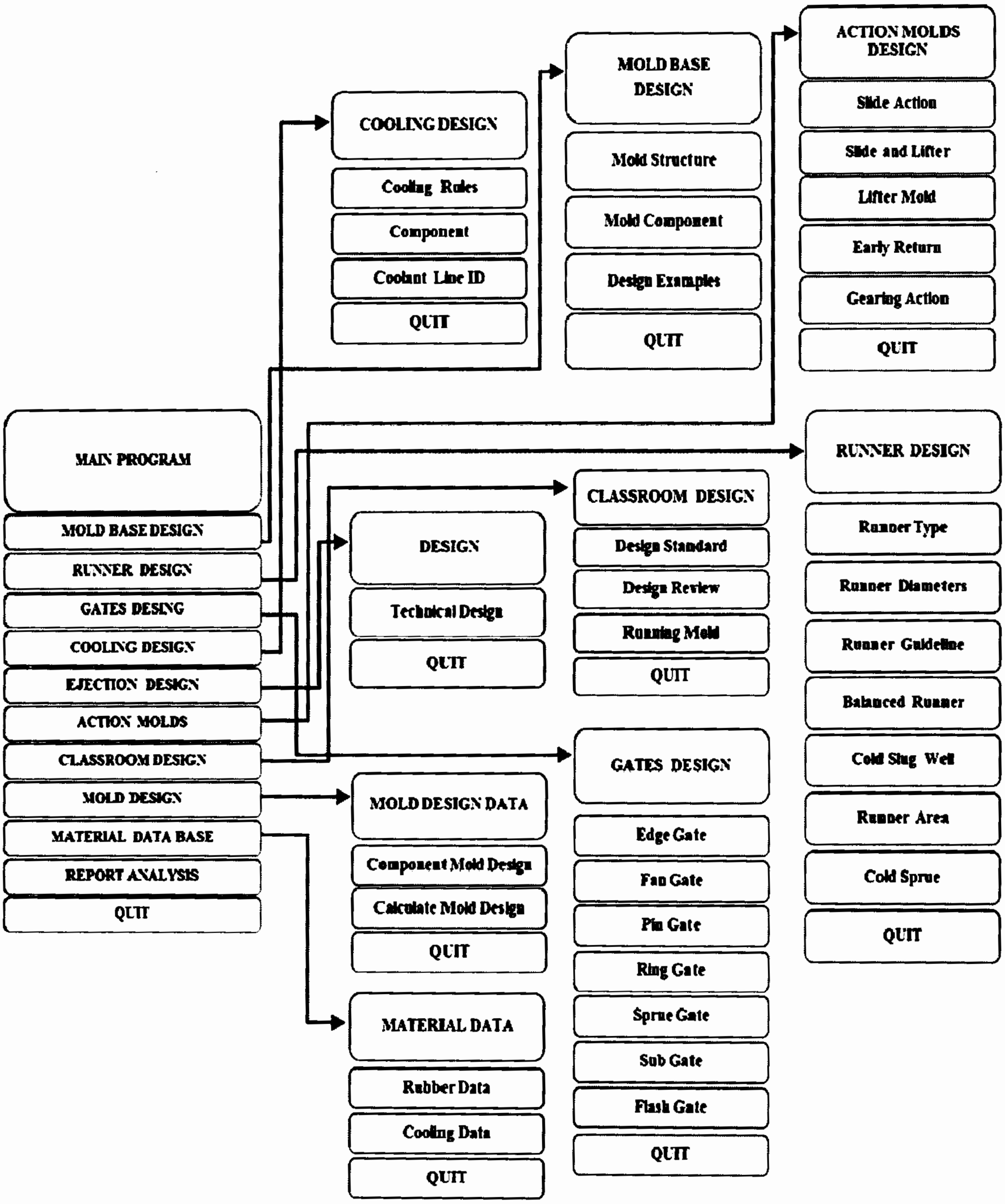
ซึ่งส่วนประกอบทั้ง 2 ส่วนนี้ สามารถอธิบายอย่างละเอียด ดังต่อไปนี้

3.4.1 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางสามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ ระบบฐานข้อมูลความรู้ ส่วนที่ใช้ในการดึงความรู้กลไกวินิจฉัย ส่วนรับความรู้ ส่วนอธิบายหรือส่วนติดต่อผู้ใช้

3.4.2 สร้างฐานข้อมูลความรู้เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลในการออกแบบ โดยฐานข้อมูลสามารถดูได้จากภาพที่ 3.3 ซึ่งรูปแบบโปรแกรมได้สร้างฐานข้อมูลโดยแยกเป็นโมดูลเพื่อช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง



ภาพที่ 3.2 โครงสร้างการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางแบบออนไลน์



ภาพที่ 3.3 โครงสร้างแต่ละโมดูลของระบบในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

3.5 ทดสอบการทำงานโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

หลังจากสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเสร็จแล้วจะต้องมีการวัดความถูกต้องของระบบผู้เชี่ยวชาญโดยการนำเนื้อหาไปให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมิน เพื่อแก้ไขและปรับปรุงเนื้อหาให้ถูกต้องและเหมาะสมถ้าผลของผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับที่ดีแสดงว่าเนื้อหามีความรู้ถูกต้อง

ผู้วิจัยอาศัยแบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูลโดยใช้คำถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) แบ่งเป็น 5 ระดับ มีการให้คะแนนรวมแบบอันตรภาคชั้น (Interval Scale) ดังนี้

5 คะแนน หมายถึง ดีมาก

4 คะแนน หมายถึง ดี

3 คะแนน หมายถึง ปานกลาง

2 คะแนน หมายถึง พอใช้

1 คะแนน หมายถึง ควรปรับปรุง

โดยกำหนดการแปลค่าของความหมายตามช่วงคะแนนดังนี้

5.00-4.50 แสดงว่า ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีมาก

4.49-3.50 แสดงว่า ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดี

3.49-2.50 แสดงว่า ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับปานกลาง

2.49-1.50 แสดงว่า ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับพอใช้

1.49-1.00 แสดงว่า ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับควรปรับปรุง

3.5.1 ในขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลมีขั้นตอนการเก็บข้อมูลดังนี้

3.5.1.1 การจัดทำแบบสอบถามโดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

3.5.1.2 เพื่อประเมินความถูกต้องและความเหมาะสมในเนื้อหาของฐานข้อมูล

3.5.1.3 เพื่อให้ทราบถึงความคิดของผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง

3.5.1.4 เพื่อให้ทราบถึงข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข

โดยแบบสอบถามจำการแยกรายละเอียดเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เชี่ยวชาญที่ตอบแบบสอบถาม เกี่ยวกับตำแหน่ง หน้าที่ความรับผิดชอบ ระดับการศึกษาและหน้าที่การทำงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับกระบวนการออกแบบ

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับความพึงพอใจโปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางรายการประเมินประกอบไปด้วย

(1) โปรแกรมมีความหน้าสนใจต่อการเรียนรู้/ใช้งาน

(2) โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องและเหมาะสม

(3) โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง

(4) โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที

(5) โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย

(6) โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้/ใช้งาน

(7) โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/การใช้งาน

(8) ผู้ใช้งานจะแนะนำฐานความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์นี้ให้กับผู้อื่น

3.5.2 ขั้นตอนในการจัดทำแบบสอบถามและส่งแบบสอบถาม

จัดทำแบบสอบถามตามข้อกำหนดและทำการส่งแบบสอบถามให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยางและทางด้านเทคโนโลยียางหรือพอลิเมอร์รวมจำนวน 30 ท่าน เพื่อประเมินเนื้อหาความรู้ทั้งในด้านความถูกต้องเหมาะสมของเนื้อหา และข้อเสนอแนะที่ต้องทำการปรับปรุง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงฐานข้อมูลความรู้และความสมบูรณ์ของโปรแกรม

3.5.3 ขั้นตอนเก็บรวบรวมแบบสอบถามและนำมาวิเคราะห์ผล

เก็บผลการประเมินและนำข้อมูลจากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ผลที่ระดับค่าเฉลี่ยต้องมากกว่า 3.50 หรือในระดับที่ถือว่าดีหรือดีมาก จึงถือได้ว่าเนื้อหามีความถูกต้องและถ้าผลการประเมินน้อยกว่า 3.50 จะต้องทำการแก้ไขข้อบกพร่องในส่วนที่ผู้เชี่ยวชาญแนะนำ

3.6 วิเคราะห์ผลและประสิทธิภาพโปรแกรมต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

วิเคราะห์ผลการใช้โปรแกรมต้นแบบระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางจากความถูกต้องของระบบและการใช้งานของกลุ่มตัวอย่าง

3.7 สรุปผลการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์

สรุปผลการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์ จากการดำเนินงานวิจัยและทำการออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางที่ยังไม่มีเครื่องมือในการออกแบบที่ชัดเจน โดยหลักการทำงานของระบบจะผ่านระบบผู้ใช้งานซึ่งปฏิสัมพันธ์กับฐานข้อมูลในการค้นหาความรู้แบบ

ออนไลน์ พร้อมข้อเสนอแนะและการแก้ปัญหาในการออกแบบแม่พิมพ์และชิ้นส่วนมาตรฐานในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบในภาคอุตสาหกรรมออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางหรือผู้ประกอบการออกแบบผลิตภัณฑ์ยางและเป็นข้อมูลในการทำวิจัยครั้งต่อไป

บทที่ 4
ผลการทดลอง

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง โดยมีรายละเอียดผลการทดลอง ดังนี้

4.1 ศึกษาความต้องการระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

4.2 ผลการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ

4.3 ผลลัพธ์จากการประมวลผลการทำงานในการแก้ปัญหาการออกแบบ

4.4 การประเมินความถูกต้องของเนื้อหาฐานข้อมูลการออกแบบ

4.5 ผลความพึงพอใจในการใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

4.1 ศึกษาความต้องการระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

4.1.1 การสำรวจความต้องการของลูกค้า

4.1.1.1 สัมภาษณ์ลูกค้า

ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์จากผู้ที่ทำหน้าที่ในการออกแบบแม่พิมพ์ยางในอุตสาหกรรมยานยนต์ และวิศวกรในส่วนการออกแบบผลิตภัณฑ์ยางรวมถึงผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยียางและวิทยาการพอลิเมอร์ในภาคอุตสาหกรรมการผลิต จำนวน 30 ตัวอย่าง และประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) กับการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ประกอบด้วย 4 ช่วง คือ การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design) การวางแผนกระบวนการ (Process Planning หรือ Manufacturing Planning) การวางแผนควบคุมกระบวนการ (Production Planning หรือ Production Operations Planning) โดยความต้องการจากลูกค้าที่ได้ เรียกว่า ถ้อยคำจากลูกค้า หรือ “เสียงจากลูกค้า (Voice of Customer)” หลังจากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ (Reword Data) เพื่อให้เข้าใจง่ายและสอดคล้อง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงเสียงจากลูกค้าให้อยู่ในรูปความต้องการที่สอดคล้องกัน

เสียงจากลูกค้า (Voice of customer)	**ถ้อยคำใหม่ (Reword Data)**
ความคิดเห็นเกี่ยวกับโปรแกรม	**ด้านความต้องการโปรแกรม**
1. ออกแบบตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน	1. โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้/ใช้งาน
2. ค้นหาข้อมูลได้ง่าย	2. โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องและเหมาะสม
3. เนื้อหาครอบคลุมและเข้าใจง่าย	3. โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง
4. สามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว	4. โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที
5. รายละเอียดเนื้อหาเข้าใจง่ายตรงตามความต้องการ	5. โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย
6. เนื้อหาช่วยเพิ่มพูนความรู้	6. โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้/การใช้งาน
7. เนื้อหามีประโยชน์ต่อการเรียน/ใช้งาน	7. โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/การใช้งาน
ด้านการเรียนรู้	**ด้านเนื้อหาสำหรับการเรียนรู้**
1. มีเนื้อหาในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	1. เนื้อหามีความน่าสนใจ
2. ความเหมาะสมของเนื้อหา	2. เนื้อหามีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน
3. การจัดลำดับของเนื้อหาแต่ละส่วน	3. มีการจัดเรียงเนื้อหาเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง
4. ความต่อเนื่องของรายละเอียดเนื้อหา	4. มีการอธิบายเนื้อหาชัดเจนและเข้าใจง่าย
5. ความสามารถในการเข้าถึงเนื้อหา	5. สามารถเรียนรู้ได้ตลอดเวลา
6. สามารถออกแบบแม่พิมพ์ง่ายและเรียนรู้ได้กระชับเข้าใจง่าย	6. เนื้อหาสามารถเพิ่มทักษะในการเรียนรู้ด้านการออกแบบแม่พิมพ์
ด้านการใช้ทำงาน	**ด้านเนื้อหาสำหรับการใช้งาน**
1. ช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางได้	1. โปรแกรมมีความน่าสนใจ
2. มีเครื่องมือสนับสนุนในการออกแบบ	2. โปรแกรมมีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน
3. เข้าถึงเนื้อหาได้ง่าย	3. โปรแกรมใช้งานง่ายและสะดวก
4. มีความหลากหลายและสามารถใช้งานได้กับโปรแกรมออกแบบ	4. โปรแกรมสามารถรองรับโปรแกรมเชิงพาณิชย์อื่นมีความยืดหยุ่น
5. ใช้งานได้ตลอดเวลาและแนะนำปัญหาในการออกแบบได้	5. โปรแกรมมีการโต้ตอบสามารถให้คำแนะนำในการออกแบบได้
6. การทำงานง่ายขึ้นและสะดวก	6. โปรแกรมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบแม่พิมพ์

หลังจากนั้นนำข้อความต้องจากลูกค้าที่จัดเรียงถ้อยคำใหม่ (Reword Data) แล้วมาคัดแยกความต้องการที่เกี่ยวกับ การสร้างโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง โดยสรุปถ้อยคำใหม่ได้ทั้งสิ้น 19 ถ้อยคำ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เสียงความต้องการของลูกค้า โดยแยกจัดเรียงถ้อยคำใหม่

ลำดับที่	**ถ้อยคำใหม่ (Reworded data)**
	ด้านความสามารถโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง
1	โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้/ใช้งาน
2	โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องและเหมาะสม
3	โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง
4	โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที
5	โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย
6	โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้/ใช้งาน
7	โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/การใช้งาน
	ด้านเนื้อหาสำหรับการเรียนรู้
1	เนื้อหามีความน่าสนใจ
2	เนื้อหามีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน
3	มีการจัดเรียงเนื้อหาเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง
4	มีการอธิบายเนื้อหาชัดเจนและเข้าใจง่าย
5	สามารถเรียนรู้ได้ตลอดเวลา
6	เนื้อหาสามารถเพิ่มทักษะในการเรียนรู้ด้านการออกแบบแม่พิมพ์
	ด้านเนื้อหาสำหรับการใช้งาน
1	โปรแกรมมีความน่าสนใจ
2	โปรแกรมมีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน
3	โปรแกรมใช้งานง่ายและสะดวก
4	โปรแกรมสามารถรองรับโปรแกรมเชิงพาณิชย์อื่น/มีความยืดหยุ่น
5	โปรแกรมมีการโต้ตอบสามารถให้คำแนะนำในการออกแบบได้
6	โปรแกรมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบแม่พิมพ์

4.1.1.2 การจัดกลุ่มเอกสารแบบสอบถาม

จากถ้อยคำความต้องการของลูกค้าหรือเสียงของลูกค้าที่ผ่านการคัดแยกจากตารางที่ 4.2 โดยเลือกเฉพาะความต้องการที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ โดยใช้แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram) ซึ่งสามารถจัดหมวดหมู่ได้ ดังนี้

ด้านความสามารถโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้/ใช้งาน
โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องและเหมาะสม
โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง
โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที
โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย
โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้/การใช้งาน
โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/การใช้งาน

ด้านเนื้อหาสำหรับการเรียนรู้

เนื้อหามีความน่าสนใจ
เนื้อหามีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน
มีการจัดเรียงเนื้อหาเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง
มีการอธิบายเนื้อหาชัดเจนและเข้าใจง่าย
สามารถเรียนรู้ได้ตลอดเวลา
เนื้อหาสามารถเพิ่มทักษะในการเรียนรู้ด้านการออกแบบแม่พิมพ์

ด้านเนื้อหาสำหรับการใช้งาน

โปรแกรมมีความน่าสนใจ
โปรแกรมมีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน
โปรแกรมใช้งานง่ายและสะดวก
โปรแกรมสามารถรองรับโปรแกรมเชิงพาณิชย์อื่น/มีความยืดหยุ่น
โปรแกรมมีการโต้ตอบสามารถให้คำแนะนำในการออกแบบได้
โปรแกรมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบแม่พิมพ์

ภาพที่ 4.1 แผนผังเชื่อมโยงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

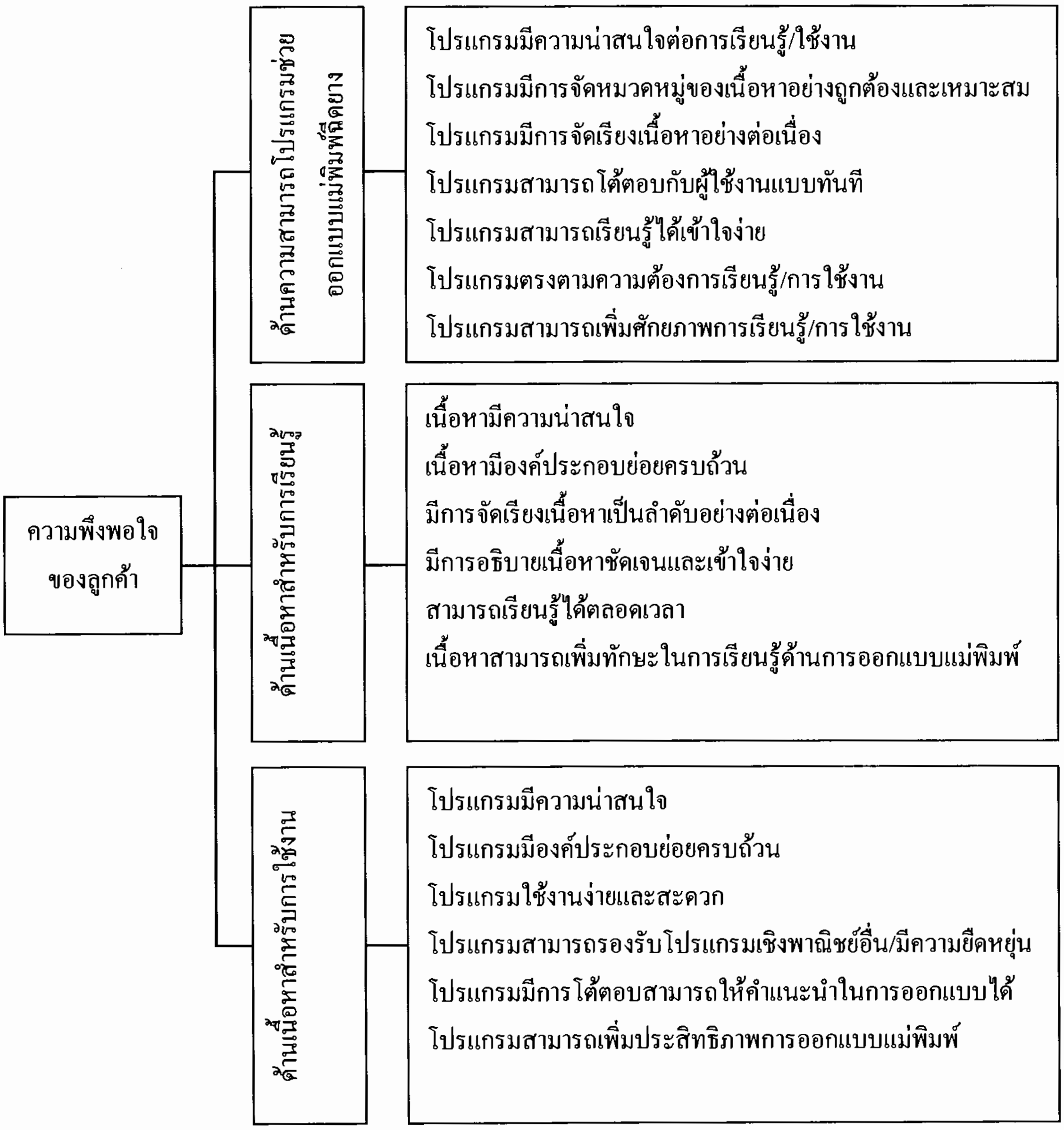
โดยมีการพิจารณาแยกรายละเอียดก่อนการดำเนินงาน ดังนี้

1) ด้านความสามารถของโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

2) ด้านเนื้อหาสำหรับการเรียนรู้

3) ด้านเนื้อหาสำหรับการใช้งาน

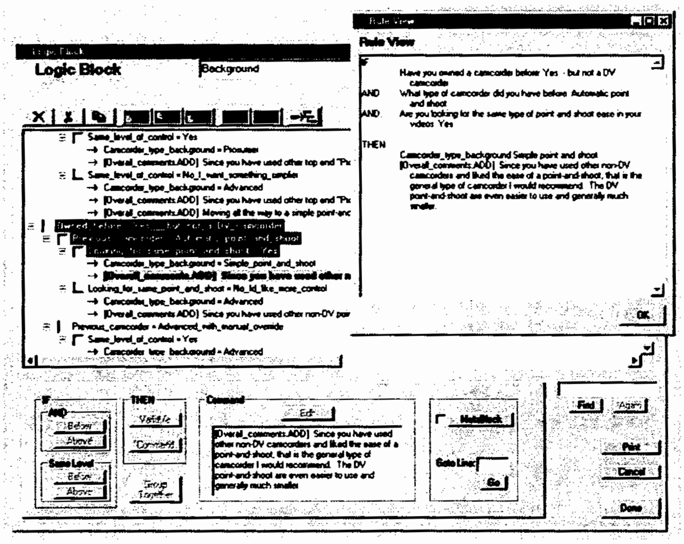
หลังจากนั้นนำกลุ่มความต้องการ โดยใช้แผนผังต้นไม้ (Tree Diagram) เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาคุณลักษณะที่ซ้ำซ้อนกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.2



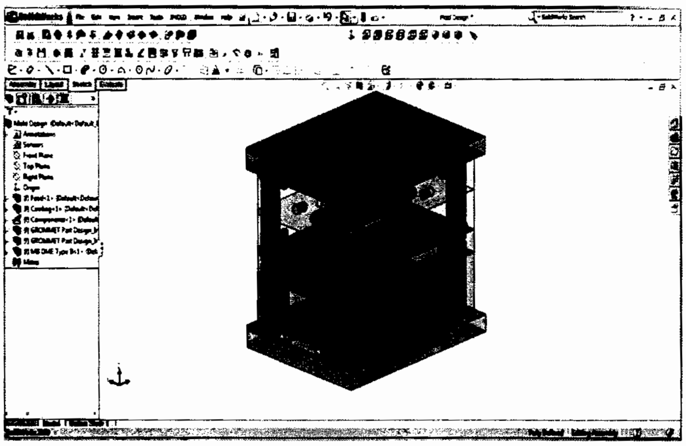
ภาพที่ 4.2 แผนผังต้นไม้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

4.1.1.3 การพัฒนาต้นแบบโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางแบบออนไลน์

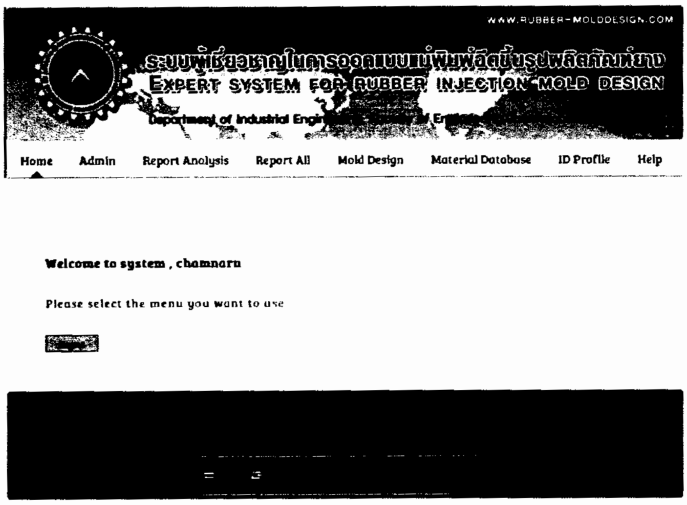
ลักษณะของซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ ที่ใช้ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ ดังภาพที่ 4.3 เป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่สามารถนำมาพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยผู้พัฒนาไม่จำเป็นต้องมีความรู้ทางภาษาคอมพิวเตอร์ในระดับสูง แต่มีข้อจำกัดในด้านการใช้งานด้านการเชื่อมต่อและการสร้างฐานข้อมูลความรู้ ส่วนโปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์เชิงพาณิชย์ ดังภาพที่ 4.4 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์พลาสติกแต่มีข้อกำกัดในการใช้งานเนื่องจากโปรแกรมถูกออกแบบมาใช้งานเฉพาะทางของแม่พิมพ์พลาสติกซึ่งมีโครงสร้างที่แตกต่างจากแม่พิมพ์ฉีดยาง



ภาพที่ 4.3 ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์สำหรับพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ (http://www.exsys.com)



ภาพที่ 4.4 โปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่ช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก (http://www.imold.com)

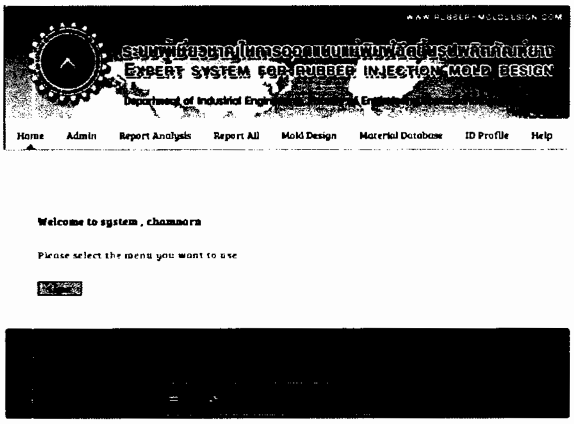
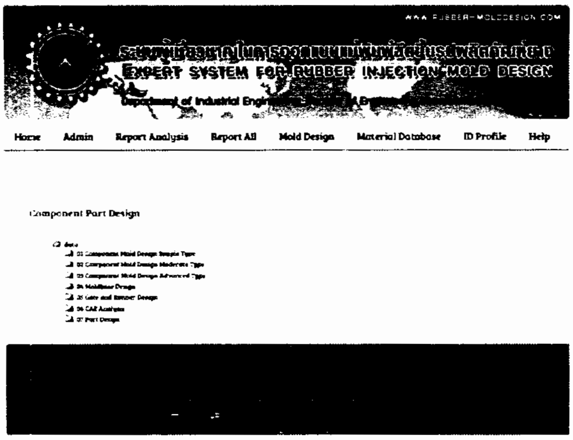
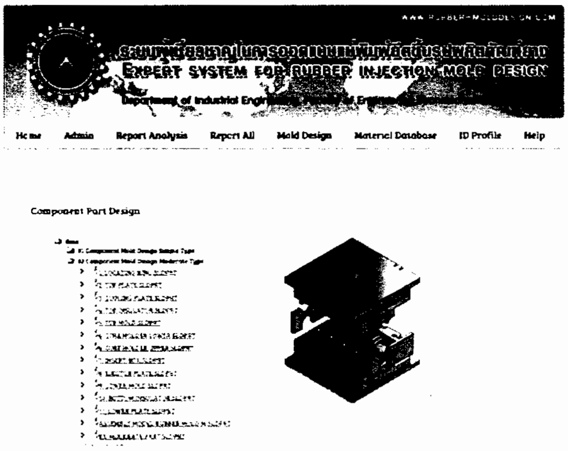


ภาพที่ 4.5 ต้นแบบโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ที่พัฒนาให้เป็นแบบออนไลน์

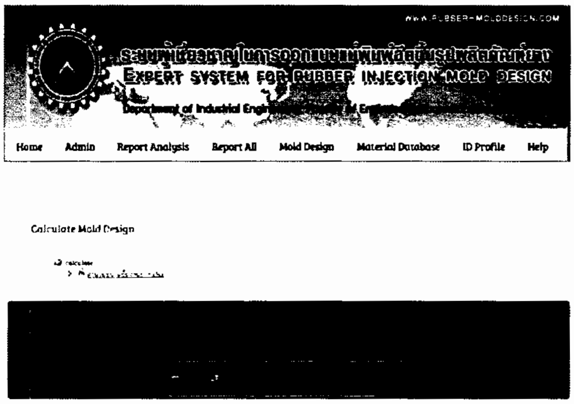
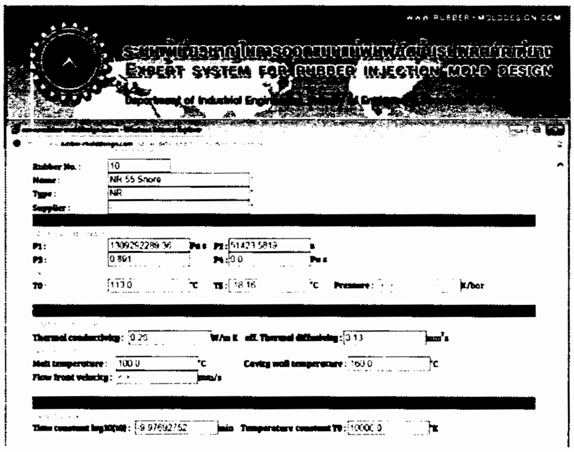
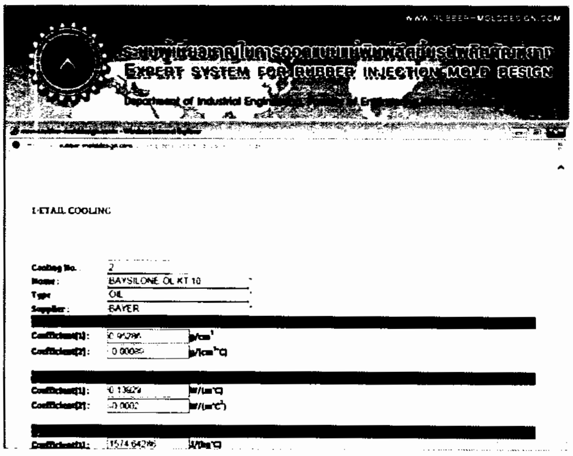
ดังนั้นจึงได้นำเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ QFD มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางแบบออนไลน์ แสดงในภาพที่ 4.5 ซึ่งก็จะได้คะแนนความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจในแบบสอบถามลักษณะของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง สามารถทำให้เกิดประโยชน์ในการเรียนและในส่วนของการทำงานด้านการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางเพิ่มมากขึ้น ซึ่งคาดว่าจะสามารถตอบสนองต่อความต้องการที่แท้จริงของผู้ที่สนใจในการออกแบบและวิศวกรที่ทำงานด้านการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางอยู่แล้ว โดยมีการพัฒนาโปรแกรมจำนวน 10 โมดูลดังนี้ Mold Base design, Runner Design, Gate Design, Cooling Design, Ejection Design, Action Mold, Classroom Design, Mold Design, Material Data Base, Report Analysis จากการออกแบบโมดูลดังกล่าวเพื่อรองรับการช่วยเหลือการออกแบบที่รวดเร็วและเข้าใจได้ง่ายขึ้น สำหรับวิศวกรหรือนักเรียน นักศึกษาที่สนใจในการเรียนรู้ในด้านแม่พิมพ์ฉีดยาง เป็นต้น

โดยคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้จากแบบสอบถามนั้น โดยวิศวกรด้านการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางและออกแบบผลิตภัณฑ์ยางหรือบุคลากรที่ทำงานด้านการอุตสาหกรรมการผลิตยางที่สนใจด้านการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง ซึ่งลักษณะโปรแกรมที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมีส่วนที่ช่วยให้คำแนะนำในการออกแบบแม่พิมพ์ ในส่วนที่เกี่ยวกับชิ้นส่วนมาตรฐาน ส่วนข้อมูลของวัสดุที่จะผลิต ส่วนข้อมูลของระบบน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ ส่วนข้อมูลคุณสมบัติของยางแต่ละชนิดและส่วนที่ช่วยเสนอแนะและสนับสนุนในการออกแบบ เพื่อช่วยให้การทำงานมีประสิทธิภาพและรวดเร็วกว่าเดิม ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง หลังการพัฒนาที่สนองความต้องการลูกค้า

โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญที่พัฒนา	คุณลักษณะสำคัญที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้
	- เป็นระบบปฏิบัติการออนไลน์ - ชุดโมดูลคำสั่งในการออกแบบ - ชุดคำสั่งในการออกแบบเป็นทีมแบบออนไลน์ - E - Manufacturing
	- โมดูลสนับสนุนการวิเคราะห์ปัญหาในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง - โมดูลฐานความรู้การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง แยกตามประเภทของการออกแบบแม่พิมพ์ คือ Component mold design simple type, Component mold design modurate type, Component mold design advanced type.
	- ชุดฐานโครงสร้างแม่พิมพ์ยางและชิ้นส่วนแม่พิมพ์ เช่น Mold base , Heater system , insulator type เป็นต้น - ผลิตภัณฑ์ยางในรูปแบบ 3D Model เพื่อใช้ในการสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ - รูปผลิตภัณฑ์ยางในอุตสาหกรรมยานยนต์เพื่อช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ - ตัวอย่างการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ยาง CAE

ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง หลังการพัฒนาที่สนองความต้องการลูกค้า (ต่อ)

โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญที่พัฒนา	คุณลักษณะสำคัญที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้
	- ชุดคำสั่งในการคำนวณขนาดชิ้นงานตามมาตรฐานในการออกแบบชิ้นงานยางในอุตสาหกรรมยานยนต์ - ชุดคำสั่งในการคำนวณเลือกเครื่องฉีดเครื่องจักรที่เหมาะสม - ชุดคำสั่งในการหาจำนวน Cavity ที่เหมาะสมในการออกแบบ
	- ฐานข้อมูลความรู้ยางและยางผสมที่ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ยาง - ฐานข้อมูลความรู้ยางและยางผสมที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ยาง
	- ฐานข้อมูลความรู้ระบบหล่อเย็นสำหรับเลือกระบบหล่อเย็นในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานยางแต่ละชนิด - ฐานข้อมูลระบบหล่อเย็นที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์

จากนั้นนำความต้องการดังกล่าว มาจัดทำแบบสอบถาม ได้แก่ ชุดที่ 1 แบบสอบถาม เมสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการพัฒนาเพื่อสำรวจหาระดับคะแนนความพึงพอใจ เป็นมาตราส่วนสเกล 5 ระดับ โดยกำหนดเกณฑ์การประเมินการให้คะแนน ได้ใช้หลักของลิเคิร์ท (Likert Rating Scale) ดังนี้ (ยุทธ ไกยวรรณ์, 2554)

5	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจมากที่สุด
4	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจมาก
3	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจปานกลาง
2	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจน้อย
1	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจน้อยมาก

4.1.1.4 การหาค่าเฉลี่ยจากแบบสอบถาม

การหาค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางโดยการหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean) (พงศกร คำเกาะ, 2552) ดังสมการที่ 4.1

$$Geometric\ Mean = n\sqrt{N1xN2xN3x \ldots xNn} \quad (4.1)$$

N	=	ค่าของข้อมูลใด ๆ ที่ได้รับจากแบบสอบถาม
1, 2, 3, … n	=	จำนวนข้อมูล

ค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบสอบถามชุดที่ 1 และแบบสอบถามชุดที่ 2 จะนำไปกรอกในตารางเมตริกซ์ที่ 1 การวางแผนผลิตภัณฑ์ หรือเรียกว่า บ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ) ค่าเฉลี่ยคะแนนความสำคัญของการตัดสินใจใช้โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางแบบออนไลน์ จะถูกกำหนดลงในช่อง IMP (Importance) และค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ของโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เกณฑ์ที่ใช้ในการปัดค่าเฉลี่ยคะแนนความสำคัญ (Importance: IMP) แบบสอบถามชุดที่ 1 การปัดค่าให้ใช้ตัวเลขทศนิยมสองตำแหน่ง และแบบสอบถามชุดที่ 2 ในการปัดค่า (Rating) ถ้าเกิน 0.50 ให้ปัดขึ้น และถ้าต่ำกว่า 0.50 ให้ปัดลง (อมรรัตน์ ปินตา, 2544)

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจโปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง (โปรแกรมก่อนการพัฒนา)

ความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements)		ค่าเฉลี่ย (IMP)	
		ผลคำนวณ	ปัดค่า
ด้านความสามารถโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้/การใช้งาน	3.876	3.88
	โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องเหมาะสม	3.573	3.57
	โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง	3.373	3.37
	โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที	3.183	3.18
	โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย	3.519	3.52
	โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้/การใช้งาน	3.728	3.73
	โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/การใช้งาน	3.986	3.99
ด้านเนื้อหาสำหรับการเรียนรู้	เนื้อหามีความน่าสนใจ	3.149	3.15
	เนื้อหามีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน	3.501	3.50
	มีการจัดเรียงเนื้อหาเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง	3.220	3.22
	มีการอธิบายเนื้อหาชัดเจนและเข้าใจง่าย	3.322	3.32
	สามารถเรียนรู้ได้ตลอดเวลา	3.354	3.35
	เนื้อหาสามารถเพิ่มทักษะในการเรียนรู้ด้านการออกแบบแม่พิมพ์	3.207	3.21
ด้านเนื้อหาสำหรับการใช้งาน	โปรแกรมมีความน่าสนใจ	3.945	3.95
	โปรแกรมมีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน	3.661	3.66
	โปรแกรมใช้งานง่ายและสะดวก	3.576	3.58
	โปรแกรมสามารถรองรับโปรแกรมเชิงพาณิชย์อื่น/มีความยืดหยุ่น	3.675	3.68
	โปรแกรมมีการโต้ตอบสามารถให้คำแนะนำในการออกแบบได้	3.740	3.74
	โปรแกรมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบแม่พิมพ์	3.323	3.32

จากตารางที่ 4.4 สรุปค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจ จากแบบสอบถามชุดที่ 1 ก่อนการพัฒนาระบบโปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง ซึ่งค่าเฉลี่ยความสำคัญ (IMP) ที่เป็นปัจจัยสำคัญมากที่สุดในการออกแบบคือ โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/การใช้งาน 3.99 อันดับสอง โปรแกรมมีความน่าสนใจ 3.95 อันดับสาม โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้และการใช้งาน 3.88 และอันดับสี่ โปรแกรมมีการโต้ตอบและสามารถให้คำแนะนำในการออกแบบได้ 3.74 ตามลำดับ โดย

ค่าเฉลี่ยคะแนนความสำคัญของการตัดสินใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ และจะนำค่าที่ได้ใส่ลงในช่อง IMP (Important) ของบ้านคุณภาพ (House of Quality : HOQ)

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจจากการเปรียบเทียบโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางและโปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์พลาสติกเชิงพาณิชย์ จากแบบสอบถาม

ความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements) Rating		Rating (ปัดค่า)	
		โปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ยาง (ก่อนพัฒนา)	**โปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก (เชิงพาณิชย์)**
ด้านความสามารถโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้/ใช้งาน	3.32	4.12
	โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องเหมาะสม	3.25	4.20
	โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง	3.12	4.32
	โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที	2.18	3.25
	โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย	3.51	3.53
	โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้/การใช้งาน	3.12	3.80
	โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/ใช้งาน	3.99	3.55
ด้านเนื้อหาสำหรับการเรียนรู้	เนื้อหามีความน่าสนใจ	3.14	3.85
	เนื้อหามีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน	3.50	3.75
	มีการจัดเรียงเนื้อหาเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง	3.22	3.85
	มีการอธิบายเนื้อหาชัดเจนและเข้าใจง่าย	3.31	3.62
	สามารถเรียนรู้ได้ตลอดเวลา	3.37	3.80
	เนื้อหาสามารถเพิ่มทักษะในการเรียนรู้ด้านการออกแบบแม่พิมพ์	3.29	3.70

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจจากการเปรียบเทียบโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางและโปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์พลาสติกเชิงพาณิชย์ จากแบบสอบถาม (ต่อ)

ความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements) Rating		**Rating (ปัดค่า)**	
		โปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ยาง (ก่อนพัฒนา)	**โปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก (เชิงพาณิชย์)**
ด้านเนื้อหาสำหรับการใช้งาน	โปรแกรมมีความน่าสนใจ	3.47	3.55
	โปรแกรมมีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน	3.25	3.65
	โปรแกรมใช้งานง่ายและสะดวก	3.45	3.68
	โปรแกรมสามารถรองรับโปรแกรมเชิงพาณิชย์อื่น/มีความยืดหยุ่น	3.23	4.53
	โปรแกรมมีการโต้ตอบสามารถให้คำแนะนำในการออกแบบได้	3.45	3.20
	โปรแกรมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบแม่พิมพ์	3.15	3.95

จากตารางที่ 4.5 สรุปค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจ จากการเปรียบเทียบกับโปรแกรมกรณีศึกษา และโปรแกรมออกแบบเชิงพาณิชย์ แบบสอบถามชุดที่ 2 พบว่า โปรแกรมกรณีศึกษา มีค่าระดับคะแนนเฉลี่ยความสำคัญน้อยที่สุดในแต่ละด้านดังนี้ เช่นโปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/การใช้งาน คือจะต้องพัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้งานได้เหมาะสมกับการออกแบบแม่พิมพ์ยาง และสามารถเรียนรู้ได้ตลอดเวลา คือ โปรแกรมต้องเป็นระบบออนไลน์และการออกแบบสามารถเข้าถึงชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์ฉีดยางมาใช้งานได้เลย และนำค่าที่ได้ใส่ลงในช่อง IMP (Important) ของบ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ) เพื่อคำนวณหาความสำคัญของโปรแกรมกรณีศึกษา และโปรแกรมออกแบบเชิงพาณิชย์

4.2.1 การประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD)

4.2.1.1 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning)

เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ หรือบ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ) เป็นการแปลงความต้องการของลูกค้า มาเป็นความความต้องการทางด้านเทคนิค โดยบ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลความต้องการของลูกค้า (Customer Needs) คือ ข้อมูลความต้องการของลูกค้า ที่ได้จากการวิเคราะห์จากแบบสอบถาม แล้วนำมาใส่ในบ้านคุณภาพในคอลัมน์แถวที่ 1 ทางด้านซ้ายมือ

2) น้ำหนักคะแนนความสำคัญปัจจัยความต้องการ (Importance Rating) คือ เป็นค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญที่ได้จากการสร้างแบบสอบถาม ไปให้ลูกค้าให้น้ำหนักคะแนนความสำคัญ จากตารางที่ 4.4

3) ข้อมูลการตอบสนองทางด้านเทคนิค (Technical Requirement) คือ ข้อมูลความต้องการของลูกค้า จะนำมาวิเคราะห์หาข้อกำหนดทางด้านเทคนิค (Technical Requirement) ในรูปแบบของเมตริกซ์การวางแผน ดังแสดงในตารางที่ 4.7

การกำหนดค่าเป้าหมาย คือ เมื่อได้ข้อกำหนดทางเทคนิคจะทำการกำหนดค่าเป้าหมาย (Target Value) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ให้ค่าความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ ดังนี้

สัญลักษณ์	↑	หมายถึง	ค่าเป้าหมายยิ่งเพิ่มยิ่งดี
สัญลักษณ์	↓	หมายถึง	ค่าเป้าหมายยิ่งลดยิ่งดี
สัญลักษณ์	○	หมายถึง	ค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ดีอยู่แล้ว

ตารางที่ 4.6 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของข้อกำหนดทางเทคนิค

ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirements)		ค่าเป้าหมาย (Targets Value)	Movement of Target
ด้านความสามารถของโปรแกรม	เนื้อหาถูกต้องและเหมาะสม	รายละเอียดครบถ้วน	↑
	การจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง	เป็นระบบจัดเรียงเนื้อหาถูกต้อง	↑
	โต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที	เป็นระบบออนไลน์	↑
	สามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย	การใช้งานไม่ซับซ้อน	↓
	เพิ่มศักยภาพการเรียนรู้	มีฐานข้อมูลความรู้ครบ	↑
ด้านเนื้อหาสำหรับการเรียนรู้	ความน่าสนใจของเนื้อหาเรียนรู้	มีเครื่องมือในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	↑
	องค์ประกอบครบต่อการเรียนรู้	เนื้อหาน่าสนใจในการศึกษา	↑
	เนื้อหาชัดเจนและเข้าใจง่าย	เนื้อหาเรียนรู้ได้ง่าย	↓
	เรียนรู้ได้ตลอดเวลา	ติดต่อกับผู้ใช้งานได้สะดวก	↑
ด้านเนื้อหาสำหรับการใช้งาน	องค์ประกอบครบต่อการใช้งาน	ข้อมูลการออกแบบครบ	↑
	สามารถใช้งานได้ง่าย	สะดวกต่อการใช้งาน	↓
	รองรับโปรแกรมเชิงพาณิชย์	เชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่นได้ง่าย	↓
	เพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบ	ลดเวลาในการออกแบบ	↓

จากตารางที่ 4.6 แสดงค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของข้อกำหนดทางเทคนิคพบว่า ด้านเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสม เช่น รายละเอียดครบถ้วน ค่าเป้าหมายยิ่งสูงยิ่งดี พบว่า บรรลุค่าเป้าหมาย คือ มีเนื้อหาครบถ้วนตามวัตถุประสงค์มากยิ่งดี และสามารถใช้งานได้ง่าย คือ มีความสะดวกในการใช้งานและสามารถใช้งานได้ตลอดเวลาและจากนั้นให้นำรายละเอียดข้อกำหนดทางเทคนิคไปใส่ลงในตารางที่ 4.7 เพื่อใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญ และนำมาจัดเรียงความสำคัญด้านเทคนิคจากมากไปหาน้อย ดังตารางที่ 4.8

4) การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางด้านเทคนิคกับความต้องการของลูกค้าว่ามีความสัมพันธ์อยู่ระดับใด (Technical Requirement) ดังแสดงในตารางที่ 4.7

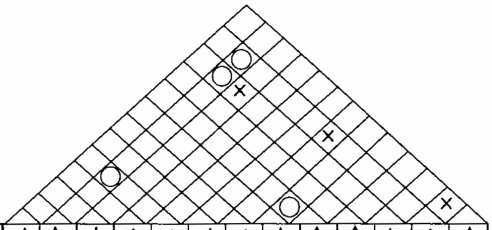
-ว่าง -	หมายถึง	ไม่มีความสัมพันธ์
1	หมายถึง	มีความสัมพันธ์น้อย
3	หมายถึง	มีความสัมพันธ์ปานกลาง
9	หมายถึง	มีความสัมพันธ์มาก

ตารางที่ 4.7 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning, House of Quality: HOQ)

Correlation

○ Strong Relationship

X Weak Relationship



Movement of Target

Samall the better

○ Target the best

	Technical Requirements		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Rating				
			↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑					
			ด้านความสามารถของโปรแกรม					ด้านการเรียนรู้				ด้านการใช้งาน								
			เนื้อหาถูกต้องและเหมาะสม	การจัดเรียงเนื้อหามีความต่อเนื่อง	โต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที	สามารถเรียนรู้และเข้าใจได้ง่าย	เพิ่มศักยภาพการเรียนรู้	ความน่าสนใจของเนื้อหาเรียนรู้	องค์ประกอบย่อยครบต่อการเรียนรู้	เนื้อหาชัดเจนและเข้าใจง่าย	เรียนรู้ได้ตลอดเวลา	องค์ประกอบครบต่อการใช้งาน	สามารถใช้งานได้ง่าย	รองรับโปรแกรมเชิงพาณิชย์	เพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบ	IMP โปรแกรมกรณีศึกษา (ก่อนการพัฒนา)	โปรแกรมออกแบบเชิงพาณิชย์	planned Level	Importance Ratio	Importance weight
Customer Requirements		IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13					
ความสามารถของโปรแกรม	มีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้/ใช้งาน	3.88	9	3		9		3	9	9	3	9		9		3.32	4.12	4.12	1.20	4.65
	มีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้อง	3.57	3			3					3				9	3.25	4.20	4.20	1.29	4.60
	มีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง	3.37		9				3			9		9			3.12	4.32	4.32	1.38	4.65
	สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที	3.18					9			3						2.18	3.25	3.25	1.49	4.73
	สามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย	3.52	9		9	3		9	9			9				3.51	3.53	3.53	1.00	3.52
	ตรงตามความต้องการเรียนรู้/ใช้งาน	3.73					9	9								3.12	3.80	3.80	1.22	4.55
	สามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/ใช้งาน	3.99			9			9	3			9	9			3.99	3.55	3.99	1.00	3.99
เนื้อหาสำหรับการเรียนรู้	เนื้อหามีความน่าสนใจ	3.15						9		9	9		9		3	3.14	3.85	3.85	1.23	3.87
	เนื้อหามีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน	3.50					3	9							9	3.50	3.75	3.75	1.07	3.74
	มีการจัดเรียงเนื้อหาเป็นลำดับ/ต่อเนื่อง	3.22		9		3				3						3.22	3.85	3.85	1.20	3.86
	มีการอธิบายเนื้อหาชัดเจนและเข้าใจง่าย	3.32	9				1	9		9					9	3.31	3.62	3.62	1.09	3.61
	สามารถเรียนรู้ได้ตลอดเวลา	3.35			9			3			9					3.37	3.80	3.80	1.23	4.12
	เพิ่มทักษะในการเรียนรู้ด้านออกแบบแม่พิมพ์	3.21				9							1	9		3.29	3.70	3.70	1.12	3.60
เนื้อหาสำหรับการใช้งาน	โปรแกรมมีความน่าสนใจ	3.95			9			3					3			3.47	3.55	3.55	1.02	4.02
	มีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน	3.66	9	9			1	9								3.25	3.65	3.65	1.12	4.10
	โปรแกรมใช้งานง่ายและสะดวก	3.58					3								9	3.45	3.68	3.68	1.06	3.75
	สามารถรองรับโปรแกรมเชิงพาณิชย์	3.68							3							3.23	4.53	4.53	1.40	5.15
	สามารถให้คำแนะนำในการออกแบบได้	3.74			9			9								3.45	3.20	3.45	1.00	3.74
	เพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบแม่พิมพ์	3.32							9							3.15	3.95	3.95	1.25	4.15
Targets value			รายละเอียดครบถ้วน	เป็นระบบจัดเรียงเนื้อหาถูกต้อง	เป็นระบบออนไลน์	การใช้งานไม่ซับซ้อน	มีฐานข้อมูลความรู้ครบ	มีเนื้อหาในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	เนื้อหาน่าสนใจในการเรียนรู้	เนื้อหาเรียนรู้ได้ง่าย	ติดต่อกับผู้ใช้งานได้สะดวก	ข้อมูลการออกแบบครบ	สะดวกต่อการใช้งาน	เชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่นได้ง่าย	ลดเวลาในการออกแบบ					
Absolute Requirements			140.13	103.89	166.95	94.74	90.41	173.88	119.49	112.35	118.74	102.51	109.65	63.81	135.18	1531.73				
Relative Requirements			9.15	6.78	10.90	6.19	5.90	11.35	7.80	7.33	7.75	6.69	7.16	4.17	8.83	100				

จากตารางที่ 4.7 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ คือ เมื่อได้ข้อกำหนดความต้องการทางด้านเทคนิค (Technical Requirement) และกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของค่าเป้าหมาย (Movement of Target) ด้านมีเนื้อหาและเครื่องมือในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง พบว่ายิ่งมีเนื้อหาเพิ่มมากขึ้นยิ่งดี ด้านเป็นระบบออนไลน์ คือ สามารถเข้าถึงโปรแกรมหรือสามารถโต้ตอบเข้าผู้ใช้งานได้ และด้านเนื้อหา พบว่า ถ้าเนื้อหามีความครบถ้วนและมีความถูกต้องก็ยิ่งดี ตามลำดับ โดยจะมีความสัมพันธ์กับค่าเป้าหมาย และบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ต่อไป

5) ค่าระดับเป้าหมายที่องค์กรวางแผนที่จะพัฒนา (Planning Level) คือ ระดับเป้าหมายที่องค์กรกำหนดขึ้น โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบระดับเป้าหมายที่จะพัฒนากับคะแนนความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ของคู่แข่ง

Planning Level = Max (ค่า Rating ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา, ค่า Rating ของคู่แข่ง) (4.2)

ตัวอย่าง มีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้และการใช้งาน

ค่า Rating ของโปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์ยาง เท่ากับ 4

ค่า Rating ของโปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก เท่ากับ 5

Planning Level เท่ากับ 5

6) ค่าอัตราส่วนการพัฒนา (Improvement Rating) คือ อัตราส่วนนี้จะช่วยให้ทราบว่า ควรจะต้องพิจารณาความต้องการใดเป็นหลัก โดยความต้องการที่อัตราส่วนการพัฒนาสูงสุด จะเป็นความต้องการที่ให้ความสำคัญเป็นพิเศษ

Improvement Ratio = Planner Level / ค่า Rating ของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา (4.3)

ตัวอย่าง มีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้และการใช้งาน

Planner Level เท่ากับ 5

ค่า Rating ของโปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์ยาง เท่ากับ 4

Improvement Ratio เท่ากับ 5/4 เท่ากับ 1.25 หรือ 1.3

7) ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางด้านเทคนิค (Important Weight of Technical Requirement) จากตารางที่ 4.7 ค่าน้ำหนักความสำคัญของความต้องการลูกค้านี้อยู่

ทางขวาสุด ค่านี้จะได้จากผลคูณค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญที่ลูกค้าพิจารณาให้แต่ละความสำคัญกับค่าอัตราส่วนการพัฒนา

Important weight of technical requirement = IMP x Improvement Ratio (4.4)

ตัวอย่าง ด้านความสามารถของโปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้และการใช้งาน

IMP เท่ากับ 3.88

Improvement Ratio เท่ากับ 1.3

Important weight of technical requirement = 3.88 x 1.3 = 5.04

8) ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ (Absolute Technical Requirement Importance) การคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ คำนวณได้จากสูตร

ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ เท่ากับ

Σ (ค่าความสัมพันธ์ของข้อกำหนดทางด้านเทคนิคต่อความต้องการของลูกค้า x Important weight of technical requirement) (4.5)

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ (Absolute Technical Requirement Importance) ของข้อกำหนดทางด้านเทคนิคจำนวนชิ้นส่วน

ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ เช่น

เนื้อหาถูกต้องและเหมาะสม = (3.88 x 9) + (3.57 x 3) + (3.52 x 9) + (3.32 x 9) + (3.66 x 9)

= 140.13

การจัดเรียงเนื้อหามีความต่อเนื่อง = (3.88 x 3) + (3.37 x 9) + (3.22 x 9) + (3.66 x 9)

= 103.89

9) ค่าน้ำหนักสำคัญโดยเปรียบเทียบ (Relative Technique Requirement Importance) เป็นการหาค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ ผลการคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ คำนวณได้จากสูตร

ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ เท่ากับ

$$\frac{\text{ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ของหัวข้อนั้น}}{\text{ผลรวมทั้งหมดค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์}} \times 100 \qquad (4.6)$$

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญ โดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทาง ด้านเนื้อหาความถูกต้องและความเหมาะสม ได้จากสูตร

ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ = (140.13 / 1,531.73) x 100
= 9.15 %
= (103.89 / 1,531.43) x 100
= 6.78 %

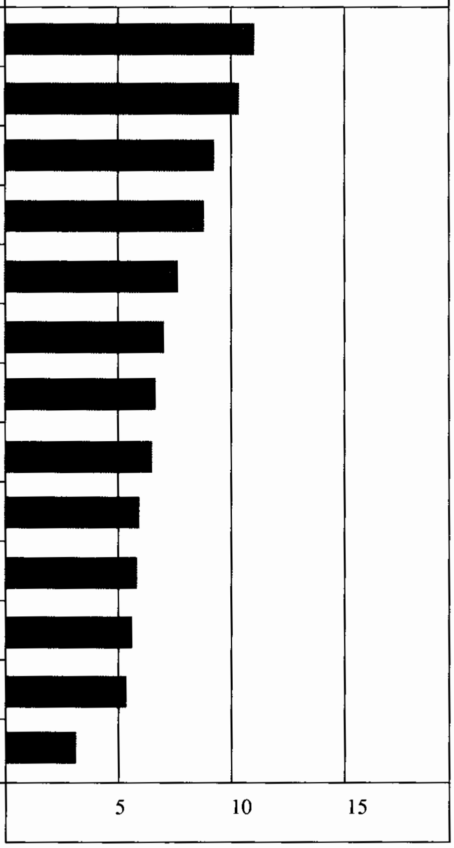
การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีผลซึ่งกันและกัน จากตารางที่ 4.7 จะอยู่ด้านบนตารางหรือบางครั้งเรียกว่า Correlation ข้อกำหนดทางเทคนิคแต่ละข้อต้องได้รับการพิจารณาว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ มากน้อยเพียงใด ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคหนึ่งกับข้อกำหนดทางเทคนิคหนึ่ง ๆ จะอาศัยสัญลักษณ์ดังนี้

◯	หมายถึง	มีความสัมพันธ์ต่อกันมาก
X	หมายถึง	มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย
-ว่าง-	หมายถึง	ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

หลังจากการสร้าง HOQ จากนั้นนำข้อกำหนดทางเทคนิคที่ได้จากเมตริกซ์แรกนี้ มาจัดเรียงลำดับตาม ค่าน้ำหนักความสำคัญ จากค่ามากไปหาน้อย แล้วนำข้อมูลไปใช้ใน QFD เฟสต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การเรียงน้ำหนักลำดับความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคจากมากไปหาน้อย

ข้อกำหนดทางเทคนิค	น้ำหนัก	กราฟ
มีเนื้อหาและเครื่องมือในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	11.35	
เป็นระบบออนไลน์	10.90	
รายละเอียดครบถ้วน	9.15	
ลดเวลาในการออกแบบ	8.83	
เนื้อหาน่าสนใจในการเรียนรู้	7.80	
ติดต่อกับผู้ใช้งานได้สะดวก	7.75	
เนื้อหาเรียนรู้ได้ง่าย	7.33	
สะดวกต่อการใช้งาน	7.16	
เป็นระบบจัดเรียงเนื้อหาถูกต้อง	6.78	
การใช้งานไม่ซับซ้อน	6.69	
สะดวกต่อการใช้งาน	6.19	
มีฐานข้อมูลความรู้ครบ	5.90	
เชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่นได้ง่าย	4.17	



จากตารางที่ 4.8 โดยได้ข้อมูลมาจากตารางที่ 4.7 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (HOQ) มาจัดเรียงลำดับคะแนนความสำคัญ โดยใช้เป็นปัจจัยที่ใช้ในการดำเนินการควบคุมในการออกแบบโปรแกรม คือ มีเนื้อหาและเครื่องมือในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง ซึ่งข้อกำหนดทางเทคนิคที่เป็นปัจจัยสำคัญมากที่สุดในการออกแบบ คิดเป็นร้อยละ 11.35 หมายถึง ผู้พัฒนาโปรแกรมต้องการให้ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางได้จริง โปรแกรมเป็นระบบออนไลน์ มีน้ำหนักคะแนน คิดเป็นร้อยละ 10.90 หมายถึง โปรแกรมสามารถใช้งานได้สะดวกและสามารถแก้ไขชิ้นงานในการออกแบบได้ตลอดเวลา และรายละเอียดเนื้อหาครบถ้วน มีน้ำหนักคะแนน คิดเป็นร้อยละ 9.15 หมายถึง โปรแกรมต้องการเนื้อหาในการออกแบบที่สามารถช่วยในการออกแบบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้จะนำเข้าสู่ QFD เฟสที่ 2 ต่อไป

4.3.2.2 เมตริกซ์การแปลงการออกแบบ (Design Development or Deployment) เป็นปัจจัยเข้า คือ เทคนิคที่ต้องการได้ผลลัพธ์ คือ ข้อกำหนดของลักษณะส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ คือ

1) ความต้องการทางด้านเทคนิค (Technique Requirement) เป็นความต้องการทางด้านเทคนิคจากบ้านคุณภาพ ที่ได้จัดเรียงลำดับความสำคัญ นำมาเป็นข้อมูลนำเข้า (Data Input) สำหรับเมตริกซ์ที่ 2

2) ระดับคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านเทคนิค (Technical Importance Weight) ได้โดยการนำมาจัดลำดับความสำคัญ โดยการเปรียบเทียบความต้องการทางด้านเทคนิคในบ้านคุณภาพ มาแปลงค่าที่ได้ให้อยู่ในรูปสเกล 1-5 โดยการเปรียบเทียบสัดส่วนค่าน้ำหนักคะแนน ซึ่งการเทียบสัดส่วนค่าน้ำหนักคะแนนความต้องการ ด้านมีเนื้อหาและเครื่องมือในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง มีค่าน้ำหนักคะแนนความสำคัญเปรียบเทียบเป็น 11.35 ซึ่งเป็นค่าสูงสุด จะได้น้ำหนักคะแนนความสำคัญเป็น 5 ส่วนข้อกำหนดทางด้านสามารถรองรับโปรแกรมเชิงพาณิชย์มีค่าน้ำหนักคะแนนความสำคัญเปรียบเทียบต่ำสุดเป็น 4.17 จะได้ค่าคะแนนความสำคัญเป็น 1 และด้านปัจจัยอื่น ๆ แสดงค่าน้ำหนักคะแนนความสำคัญของความต้องการได้ดังตารางที่ 4.9

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านเทคนิคของข้อกำหนดทางเทคนิคการออกแบบ (รัตติกาล กองบุญ, 2550)

การหาค่าคะแนนความสำคัญทางด้านมีเครื่องมือในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

$$\frac{11.35 - 4.17}{5 - 1} = \frac{11.35 - 11.35}{5 - X}$$

$$X = 5$$

การหาค่าคะแนนความสำคัญทางด้านสามารถรองรับโปรแกรมเชิงพาณิชย์

$$\frac{11.35 - 4.17}{5 - 1} = \frac{11.35 - 10.90}{5 - X}$$

$$X = 4.75$$

นำข้อกำหนดทางเทคนิคแต่ละส่วน ที่ได้จากการคำนวณค่าคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านเทคนิค (IMP) ไปใส่ในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางด้านเทคนิคเรียงลำดับจากมากไปน้อย

ข้อกำหนดทางเทคนิค	ค่าน้ำหนักความสำคัญ	ค่าคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านเทคนิค
มีเครื่องมือในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	11.35	5.00
เป็นระบบออนไลน์	10.90	4.75
รายละเอียดครบถ้วน	9.15	3.77
ลดเวลาในการออกแบบ	8.83	3.60
เนื้อหาน่าสนใจในการเรียนรู้	7.80	3.02
ติดต่อกับผู้ใช้งานได้สะดวก	7.75	2.99
เนื้อหาเรียนรู้ได้ง่าย	7.33	2.76
สะดวกต่อการใช้งาน	7.16	2.67
เป็นระบบจัดเรียงเนื้อหาถูกต้อง	6.78	2.45
การใช้งานไม่ซับซ้อน	6.69	2.40
สะดวกต่อการใช้งาน	6.19	2.13
มีฐานข้อมูลความรู้ครบ	5.90	1.96
เชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่นได้ง่าย	4.17	1.00

จากตารางที่ 4.9 ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางด้านเทคนิคที่ได้จากการคำนวณ พบว่าเครื่องมือในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง คิดเป็นร้อยละ 11.35 ความสำคัญความต้องการทางด้านเทคนิค 5 และเป็นระบบออนไลน์ คิดเป็นร้อยละ 10.90 ความสำคัญความต้องการทางด้านเทคนิค 4.75 และรายละเอียดครบถ้วนคิดเป็นร้อยละ 9.15 ความสำคัญความต้องการทางด้านเทคนิค 3.77 ซึ่งเป็นความสำคัญในการออกแบบให้ตรงตามข้อกำหนด และนำค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางด้านเทคนิค (IMP) จากตารางที่ 4.9 โดยนำไปใส่ลงในตารางที่ 4.10 เมตริกซ์การออกแบบผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.10 เมตริกซ์การออกแบบผลิตภัณฑ์

	Part Characteristics	เป็นโปรแกรมออนไลน์ Free Software	สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้	มีชิ้นส่วนมาตรฐานในการออกแบบ	ฐานข้อมูลความรู้ในการออกแบบ	สามารถเชื่อมต่อโปรแกรมเชิงพาณิชย์	
Movement of Target		↑	↑	↑	↑	↑	
Technical Requirements	IMP	1	2	3	4	5	
มีเนื้อหาและเครื่องมือในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	5.00			9	9	3	
เป็นระบบออนไลน์	4.75	9	9		3		
รายละเอียดครบถ้วน	3.77			9			
ลดเวลาในการออกแบบ	3.60	9	3	9		3	
เนื้อหาน่าสนใจในการเรียนรู้	3.02	1		1	9	3	
ติดต่อกับผู้ใช้งานได้สะดวก	2.99	9	9				
เนื้อหาเรียนรู้ได้ง่าย	2.76			3			
สะดวกต่อการใช้งาน	2.67	3	3		3	3	
เป็นระบบจัดเรียงเนื้อหาถูกต้อง	2.45						
การใช้งานไม่ซับซ้อน	2.40			3			
สะดวกต่อการใช้งาน	2.13	9	3	3	9	9	
มีฐานข้อมูลความรู้ครบ	1.96				1		
เชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่นได้ง่าย	1.00	1				9	
Targets		โปรแกรมเป็นระบบออนไลน์	แนะนำปัญหาในการออกแบบ	มีชิ้นส่วนแม่พิมพ์มาตรฐาน	มีฐานข้อมูลความรู้	เชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่นได้	
Absolute Requirements		133.26	190.26	136.22	70.57	62.04	592.35
Relative Requirements		22.50	32.12	23.00	11.91	10.47	100

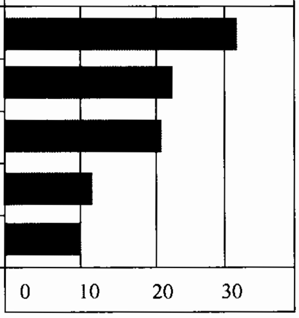
ตารางที่ 4.11 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย

คุณลักษณะของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics)	**ค่าเป้าหมาย (Targets Value)**	**Movement of Target**
1. สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้	แนะนำปัญหาในการออกแบบ	↑
2. มีชิ้นส่วนมาตรฐานในการออกแบบ	มีชิ้นส่วนแม่พิมพ์มาตรฐาน	↑
3. เป็นโปรแกรมออนไลน์ (Free Software)	โปรแกรมเป็นระบบออนไลน์	↑
4. ฐานข้อมูลความรู้ในการออกแบบ	มีฐานข้อมูลความรู้	↑
5. สามารถเชื่อมต่อโปรแกรมเชิงพาณิชย์	เชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่นได้	↑

จากตารางที่ 4.11 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย พบว่า สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้ ค่าเป้าหมายที่ได้ยิ่งเพิ่มยิ่งดี มีชิ้นส่วนมาตรฐานในการออกแบบ ค่าเป้าหมายที่ได้ยิ่งเพิ่มยิ่งดี และเป็นโปรแกรมออนไลน์ (Free Software) ค่าเป้าหมายที่ได้ยิ่งเพิ่มยิ่งดี ตามลำดับ หลังจากนั้นให้นำรายละเอียดตารางที่ 4.10 เมตริกซ์การออกแบบผลิตภัณฑ์ และตารางที่ 4.11 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย เพื่อใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักความ สำคัญและนำมาจัดเรียงน้ำหนักความสำคัญดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การเรียงน้ำหนักความสำคัญ โดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อย

ข้อกำหนดทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์	**น้ำหนัก**	**กราฟ**
สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้	32.12	
มีชิ้นส่วนมาตรฐานในการออกแบบ	23.00	
เป็นโปรแกรมออนไลน์ (Free Software)	22.50	
ฐานข้อมูลความรู้ในการออกแบบ	11.91	
สามารถเชื่อมต่อโปรแกรมเชิงพาณิชย์	10.47	



จากตารางที่ 4.12 การเรียงน้ำหนักความสำคัญ โดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อย พบว่า สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้ คิดเป็นร้อยละ 32.12 มีชิ้นส่วนมาตรฐานในการออกแบบ คิดเป็นร้อยละ 23.00 เป็นระบบโปรแกรมออนไลน์ (Free Software) คิดเป็นร้อยละ 22.50 ฐานข้อมูลความรู้ในการ

ออกแบบตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 11.91 และสามารถเชื่อมต่อโปรแกรมเชิงพาณิชย์ คิดเป็นร้อยละ 10.47 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดการออกแบบผลิตภัณฑ์

ลำดับที่	ข้อกำหนดการออกแบบผลิตภัณฑ์	ค่าน้ำหนักความสำคัญ	คะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์
1	สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้	32.12	5.00
2	มีชิ้นส่วนมาตรฐานในการออกแบบ	23.00	3.32
3	เป็นโปรแกรมออนไลน์ (Free Software)	22.50	3.22
4	ฐานข้อมูลความรู้ในการออกแบบ	11.91	1.27
5	สามารถเชื่อมต่อโปรแกรมเชิงพาณิชย์	10.47	1.00

จากตารางที่ 4.13 ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคำนวณ พบว่าสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้ คิดเป็นร้อยละ 32.12 ความสำคัญความต้องการทางด้านเทคนิค 5 คือ สามารถให้คำแนะนำในการออกแบบกับผู้ใช้งานได้ หรือข้อเสนอะแนะในการออกแบบแม่พิมพ์ เป็นต้น มีชิ้นส่วนมาตรฐานในการออกแบบ คิดเป็นร้อยละ 23.00 ความสำคัญความต้องการทางด้านเทคนิค 3.32 คือ สามารถออกแบบหรือแก้ไขพารามิเตอร์ของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ภายในโปรแกรม และเป็นระบบโปรแกรมออนไลน์ Free Software คิดเป็นร้อยละ 22.50 ความสำคัญความต้องการทางด้านเทคนิค 3.22 คือ ระบบโปรแกรมสามารถเชื่อมต่อผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ เป็นต้น หลังจากนั้นให้นำค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ (IMP) จากตารางที่ 4.13 โดยนำไปใส่ลงในตารางที่ 4.14 เมตริกซ์กระบวนการ

ตารางที่ 4.14 เมตริกซ์กระบวนการ

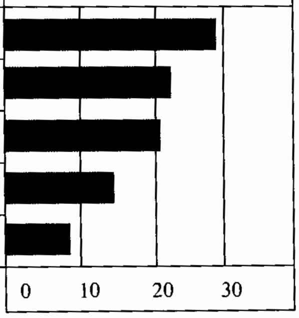
	Part Characteristics	ความเหมาะสมในการวางแผนพัฒนาโปรแกรม	ทรัพยากรและเวลาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม	เครื่องมือที่ใช้พัฒนามีความยืดหยุ่น	ความเหมาะสมในการพัฒนาด้านระบบออนไลน์	ความสามารถในการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมเพื่อการออกแบบ	
Movement of Target		↑	↓	↑	↑	↑	
Technical Requirements	IMP	1	2	3	4	5	
สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้	5.00			1	9	9	
มีชิ้นส่วนมาตรฐานในการออกแบบ	3.32	9				9	
เป็นโปรแกรมออนไลน์ (Free Software)	3.22	9	9	9	9	3	
ฐานข้อมูลความรู้ในการออกแบบ	1.27	9	1	9		3	
สามารถเชื่อมต่อโปรแกรมเชิงพาณิชย์	1.00			3	1	3	
Targets		สามารถออกแบบโปรแกรมได้ตามข้อกำหนด	ทำให้การออกแบบใช้งานได้ง่ายที่สุด	สามารถรองรับการแก้ไขข้อมูลได้ให้ทันสมัยได้ตลอดเวลา	สามารถใช้งานผ่านระบบออนไลน์ได้	ทำให้การออกแบบแม่พิมพ์ง่ายและรวดเร็ว	
Absolute Requirements		70.29	30.25	48.41	74.98	91.35	315.28
Relative Requirements		22.29	9.59	15.35	23.78	28.97	100

ตารางที่ 4.15 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย

พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameters)	**ค่าเป้าหมาย (Targets Value)**	**Movement of Target**
1. ความเหมาะสมในการวางแผนพัฒนาโปรแกรม	สามารถออกแบบโปรแกรมได้ตามข้อกำหนด	↑
2. ทรัพยากรและเวลาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม	ทำให้การออกแบบใช้งานได้ง่ายที่สุด	↓
3. เครื่องมือที่ใช้พัฒนามีความยืดหยุ่น	สามารถรองรับการแก้ไขข้อมูลได้ให้ทันสมัยได้ตลอดเวลา	↑
4. ความเหมาะสมในการพัฒนาด้านระบบออนไลน์	สามารถใช้งานผ่านระบบออนไลน์ได้ดี	↑
5. ความสามารถในการใช้งานภาคอุตสาหกรรมเพื่อการออกแบบ	ทำให้การออกแบบแม่พิมพ์ง่ายและรวดเร็ว	↑

จากตารางที่ 4.15 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย พบว่า ความเหมาะสมในการวางแผนพัฒนาโปรแกรม ค่าเป้าหมายยิ่งเพิ่มยิ่งดี ทรัพยากรและเวลาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ค่าเป้าหมายยิ่งลดยิ่งดี ซึ่งจะทำให้ใช้งานได้ง่ายขึ้นและพัฒนาโปรแกรมได้ง่ายขึ้นด้วย ตามลำดับ โดยสามารถบรรลุเป้าหมายที่ได้ตั้งเอาไว้ หลังจากนั้นให้นำรายละเอียดตารางที่ 4.14 เมตริกซ์กระบวนการ และตารางที่ 4.15 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย เพื่อใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญ และนำมาจัดเรียงน้ำหนักความสำคัญดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การเรียงน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบข้อกำหนดทางด้านกระบวนการ
เรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อย

ข้อกำหนดทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์	**น้ำหนัก**	**กราฟ**
ความสามารถในการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมเพื่อการออกแบบ	28.97	
ความเหมาะสมในการพัฒนาด้านระบบออนไลน์	23.78	
ความเหมาะสมในการวางแผนพัฒนาโปรแกรม	22.29	
เครื่องมือที่ใช้พัฒนามีความยืดหยุ่น	15.35	
ทรัพยากรและเวลาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม	9.59	
		0 10 20 30

จากตารางที่ 4.16 เรียงน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบข้อกำหนดด้านกระบวนจากมากไปหาน้อย พบว่าความสามารถในการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมเพื่อการออกแบบ คิดเป็นร้อยละ 28.97 ความเหมาะสมในการพัฒนาด้านระบบออนไลน์ คิดเป็นร้อยละ 23.78 และความเหมาะสมในการวางแผนพัฒนาโปรแกรม คิดเป็นร้อยละ 22.29 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.17 ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางด้านกระบวนการ

ลำดับที่	ข้อกำหนดทางด้านกระบวนการ	ค่าน้ำหนักความสำคัญ	ค่าคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านกระบวนการ
1	ความสามารถในการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมเพื่อการออกแบบ	28.97	5.00
2	ความเหมาะสมในการพัฒนาด้านระบบออนไลน์	23.78	3.93
3	ความเหมาะสมในการวางแผนพัฒนาโปรแกรม	22.29	3.62
4	เครื่องมือที่ใช้พัฒนามีความยืดหยุ่น	15.35	2.19
5	ทรัพยากรและเวลาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม	9.59	1.00

จากตารางที่ 4.17 ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางด้านกระบวนการที่ได้จากการคำนวณ พบว่า ความสามารถในการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมเพื่อการออกแบบ คิดเป็นร้อยละ 28.97 ความสำคัญความต้องการทางด้านกระบวนการ เท่ากับ 5 ความเหมาะสมในการพัฒนาด้านระบบออนไลน์ คิดเป็นร้อยละ 23.78 ความสำคัญความต้องการทางด้านกระบวนการ เท่ากับ 3.93 ความเหมาะสมในการวางแผนการพัฒนาโปรแกรม คิดเป็นร้อยละ 22.29 ความสำคัญความต้องการทางด้านกระบวนการ เท่ากับ 3.62 ตามลำดับ คือสามารถพัฒนาโปรแกรมตามกระบวนการดังกล่าวได้ตรงตามความต้องการ

4.3.2.3 เมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ (Process Planning) เป็นปัจจัยเข้า คือ ข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics) ได้ผลลัพธ์ คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter) เมตริกซ์การวางแผนควบคุมกระบวนการ เป็นพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์การวางแผนกระบวนการในเมตริกซ์ที่ 3 ผลที่ได้พบว่า พารามิเตอร์ของกระบวนการที่มีความสำคัญ มีด้วยกัน 5 ข้อ ได้แก่

1) ความเหมาะสมในการวางแผนพัฒนาโปรแกรม
2) ทรัพยากรและเวลาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม
3) เครื่องมือที่ใช้พัฒนามีความยืดหยุ่น
4) ความเหมาะสมในการการพัฒนาด้านระบบออนไลน์
5) ความสามารถในการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมเพื่อการออกแบบ

4.3.2.4 เมตริกซ์การวางแผนปฏิบัติการผลิต (Production Operations Planning) เป็นปัจจัยเข้า คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter) ได้ผลลัพธ์ คือ กระบวนการปฏิบัติงาน (Process Name) ที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน โดยการพิจารณาพารามิเตอร์ทั้ง 5 ข้อ เพื่อวางแผนในการปฏิบัติงานต่อไป

ตารางที่ 4.18 กระบวนการปฏิบัติงานที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของกระบวนการ

ลำดับที่	พารามิเตอร์ของกระบวนการ	กระบวนการปฏิบัติงาน
1	ความเหมาะสมในการวางแผนพัฒนาโปรแกรม	กระบวนการศึกษาซอฟต์แวร์ที่จะพัฒนา
2	ทรัพยากรและเวลาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม	กระบวนการจัดหาซอฟต์แวร์ที่จะพัฒนา กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์
3	เครื่องมือที่ใช้พัฒนามีความยืดหยุ่น	กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์
4	ความเหมาะสมในการพัฒนาด้านระบบออนไลน์	กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์
5	ความสามารถในการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมเพื่อการออกแบบ	กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ กระบวนการประเมินผลการใช้งาน

ตารางที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าในแต่ละพารามิเตอร์ของกระบวนการมีความสัมพันธ์กับกระบวนการปฏิบัติงานใดบ้าง จะสังเกตเห็นได้ว่าในแต่ละพารามิเตอร์ของกระบวนการอาจมีกระบวนการหลายกระบวนการร่วมกัน (อมรรัตน์ ปินตา, 2544) จากกระบวนการทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า กระบวนการทั้งหมดนั้นจะครอบคลุมวงจรการพัฒนาโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางทั้งวงจรตั้งแต่ต้นจนจบ

จากนั้นจัดทำเอกสารเพื่อวางแผนควบคุมกระบวนการต่าง ๆ เหล่านั้น ดังตารางที่ 4.19 โดยในตารางวางแผนควบคุมกระบวนการแต่ละกระบวนการ จะมีรายละเอียดที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการในหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) กรอบแนวคิดของการพัฒนาโปรแกรม
2) ซอฟต์แวร์ที่จะให้พัฒนาโปรแกรม
3) เป้าหมายของโปรแกรม
4) รายการฟังก์ชันลอการิทึม
5) วิธีปฏิบัติ
6) ผู้รับผิดชอบและดำเนินการ

ตารางที่ 4.19 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์

พารามิเตอร์	**รายการควบคุม**	**วิธีปฏิบัติ**
- ความเหมาะสมในการออกแบบโปรแกรม - ความเหมาะของการสร้างฟังก์ชันการใช้งานในโมดูลต่าง ๆ ของระบบ - ต้องเป็นระบบออนไลน์ - สามารถแก้ไขข้อมูลได้ตลอดเวลา - มีฐานข้อมูลในการสนับสนุนหรือแนะนำในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง - มีชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์ฉีดยาง	- รายละเอียดของต้นแบบโปรแกรม - โครงสร้างของระบบโปรแกรม - โครงสร้างของระบบฐานข้อมูลในการพัฒนาโปรแกรม	- การออกแบบให้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่จะทำการพัฒนาโปรแกรม - มีความสะดวกและง่ายต่อการนำไปใช้งาน
เครื่องมือ	**เป้าหมาย**	**ผู้รับผิดชอบ**
- แบบสอบถาม - ระบบเซิร์ฟเวอร์ - เว็บเบราว์เซอร์ - PHP Script Language 5.2.6 - ฐานข้อมูล MySQL 5.0.27 - พัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนเว็บไซต์ Adobe Dreamweaver CS3	ระบบโปรแกรมผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง	ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ ของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ก่อนการพัฒนาและหลังการพัฒนา

คุณลักษณะความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements)		ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ		
		โปรแกรมก่อนพัฒนา	**โปรแกรมหลังพัฒนา**	**เปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลง**
ด้านความสามารถโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้/ใช้งาน	3.32	4.22	21.33
	โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องเหมาะสม	3.25	4.25	23.53
	โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง	3.12	4.32	27.78
	โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที	2.18	4.65	53.12
	โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย	3.51	4.53	22.52
	โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้/ใช้งาน	3.12	4.30	27.44
	โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/ใช้งาน	3.99	4.55	12.31
ด้านเนื้อหาสำหรับการเรียนรู้	เนื้อหามีความน่าสนใจ	3.14	4.85	35.26
	เนื้อหามีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน	3.50	4.20	16.67
	มีการจัดเรียงเนื้อหาเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง	3.22	4.35	25.98
	มีการอธิบายเนื้อหาชัดเจนและเข้าใจง่าย	3.31	4.52	26.77
	สามารถเรียนรู้ได้ตลอดเวลา	3.37	4.83	30.23
	เนื้อหาสามารถเพิ่มทักษะในการเรียนรู้ด้านการออกแบบแม่พิมพ์	3.29	4.70	30.00
ด้านเนื้อหาสำหรับการใช้งาน	โปรแกรมมีความน่าสนใจ	3.47	4.55	23.74
	โปรแกรมมีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน	3.25	4.47	27.29
	โปรแกรมใช้งานง่ายและสะดวก	3.45	4.28	19.39
	โปรแกรมสามารถรองรับโปรแกรมเชิงพาณิชย์อื่น/มีความยืดหยุ่น	3.23	4.33	25.40
	โปรแกรมมีการโต้ตอบสามารถให้คำแนะนำในการออกแบบได้	3.45	4.65	25.81
	โปรแกรมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบแม่พิมพ์	3.15	4.70	32.98
ค่าเฉลี่ยรวม		3.28	4.49	26.71

ตารางที่ 4.21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ ของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง โปรแกรมออกแบบเชิงพาณิชย์และโปรแกรมช่วยออกแบบหลังการพัฒนา

คุณลักษณะความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements)		ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ		
		โปรแกรมเชิงพาณิชย์	โปรแกรมหลังพัฒนา	เปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลง
ด้านความสามารถโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง	โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้/ใช้งาน	4.12	4.22	2.37
	โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องเหมาะสม	4.20	4.25	1.18
	โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง	4.32	4.32	0.00
	โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที	4.25	4.65	8.60
	โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย	3.53	4.53	22.08
	โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้/ใช้งาน	3.80	4.30	11.63
	โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/ใช้งาน	3.55	4.55	21.98
ด้านเนื้อหาสำหรับการเรียนรู้	เนื้อหามีความน่าสนใจ	3.85	4.85	20.62
	เนื้อหามีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน	3.75	4.20	10.71
	มีการจัดเรียงเนื้อหาเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง	3.85	4.35	11.49
	มีการอธิบายเนื้อหาชัดเจนและเข้าใจง่าย	3.62	4.52	19.91
	สามารถเรียนรู้ได้ตลอดเวลา	3.80	4.83	21.33
	เนื้อหาสามารถเพิ่มทักษะในการเรียนรู้ด้านการออกแบบแม่พิมพ์	3.70	4.70	21.28
ด้านเนื้อหาสำหรับการใช้งาน	โปรแกรมมีความน่าสนใจ	3.55	4.55	21.98
	โปรแกรมมีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน	3.65	4.47	18.34
	โปรแกรมใช้งานง่ายและสะดวก	3.68	4.28	14.02
	โปรแกรมสามารถรองรับโปรแกรมเชิงพาณิชย์อื่น/มีความยืดหยุ่น	4.53	4.33	- 4.62
	โปรแกรมมีการโต้ตอบสามารถให้คำแนะนำในการออกแบบได้	3.20	4.65	31.18
	โปรแกรมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบแม่พิมพ์	3.95	4.70	15.96
ค่าเฉลี่ยรวม		3.84	4.49	14.21

จากตารางที่ 4.20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ก่อนการพัฒนาโปรแกรมค่าเฉลี่ย 3.28 และหลังการพัฒนาโปรแกรมค่าเฉลี่ย 4.49 ซึ่งหลังการพัฒนาทำให้ระดับค่าความพึงพอใจเพิ่มเป็นร้อยละ 26.71 และตารางที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ ของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง และโปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์เชิงพาณิชย์จากแบบสอบถามได้ค่าเฉลี่ย 3.84 เมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์ที่พัฒนาขึ้นที่ระดับค่าความพึงพอใจเพิ่มเฉลี่ยเป็นร้อยละ 14.21

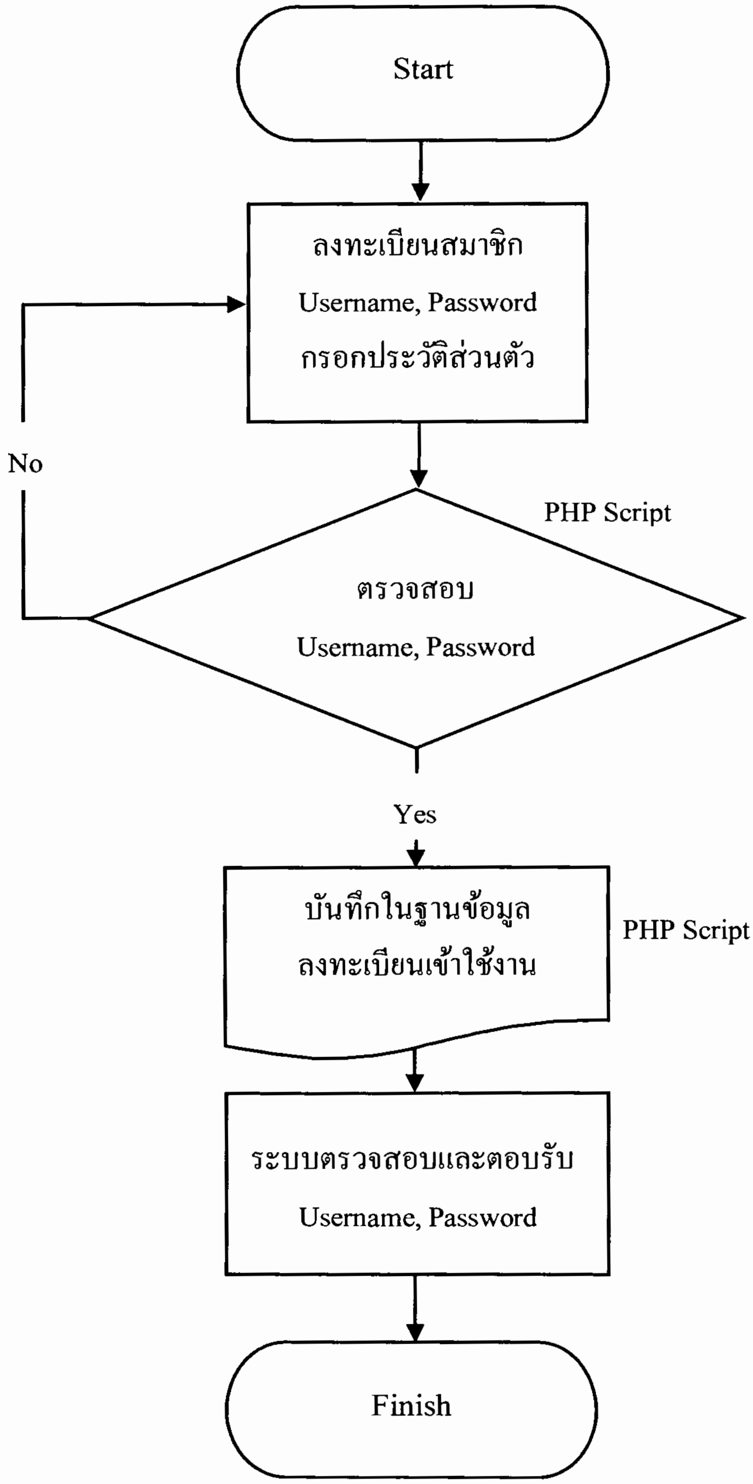
4.2 ผลการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง จะประกอบไปด้วยระบบย่อยต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ ระบบการลงทะเบียนสมาชิก ระบบการบันทึกเวลาเข้าออก ระบบสนับสนุนการออกแบบ ระบบวิเคราะห์ปัญหาการออกแบบ ระบบฐานข้อมูลความรู้ของยาง ระบบฐานข้อมูลความรู้ระบบหล่อเย็น ซึ่งรายละเอียดของระบบย่อยมี ดังนี้

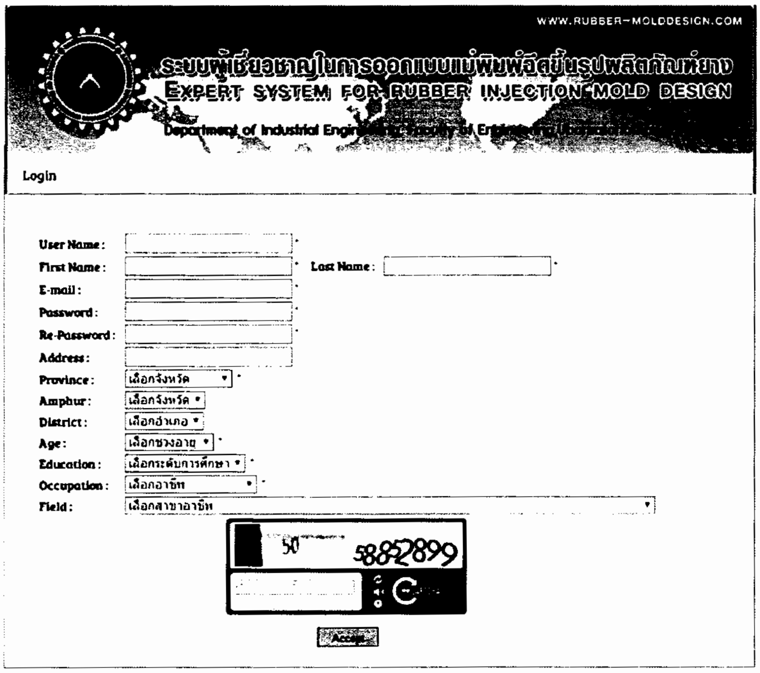
4.2.1 ระบบการลงทะเบียนสมาชิก

ระบบการลงทะเบียนสมาชิกจะประกอบด้วยส่วนย่อย 2 ส่วน คือ ระบบลงทะเบียนผู้เข้าใช้งานระบบ และระบบการจัดการข้อมูลทะเบียนผู้ใช้ระบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ระบบการลงทะเบียนเป็นระบบเพื่อใช้ในการลงทะเบียนผู้ใช้งานระบบ ได้ทำการสร้างระบบการลงทะเบียนเพื่อเข้าใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 4.6 และพัฒนาส่วนระบบติดต่อกับผู้ใช้งานโดยการกรอกข้อมูลส่วนตัวต่าง ๆ ตามที่ระบบกำหนด และจะต้องมีผู้ดูแลระบบในระดับที่สูงกว่า (Administrator Level) เป็นผู้ค่อยดูแลการลงทะเบียนของสมาชิกและทำการกำหนดระดับการใช้งานให้อยู่ในระดับ (User Level) ซึ่งมีข้อจำกัดการใช้งานอย่างเหมาะสมเท่าที่จำเป็น และการแสดงผลข้อมูลสำหรับผู้ใช้งานระบบแยกตามระดับของความสำคัญและระดับความสามารถในการเข้าถึง เช่น การแก้ไขข้อมูล การเพิ่มและลบข้อมูล รวมทั้งการอัพโหลดข้อมูลขึ้นระบบ และการออกแบบโดยการสร้างกลุ่มออนไลน์ เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 4.7



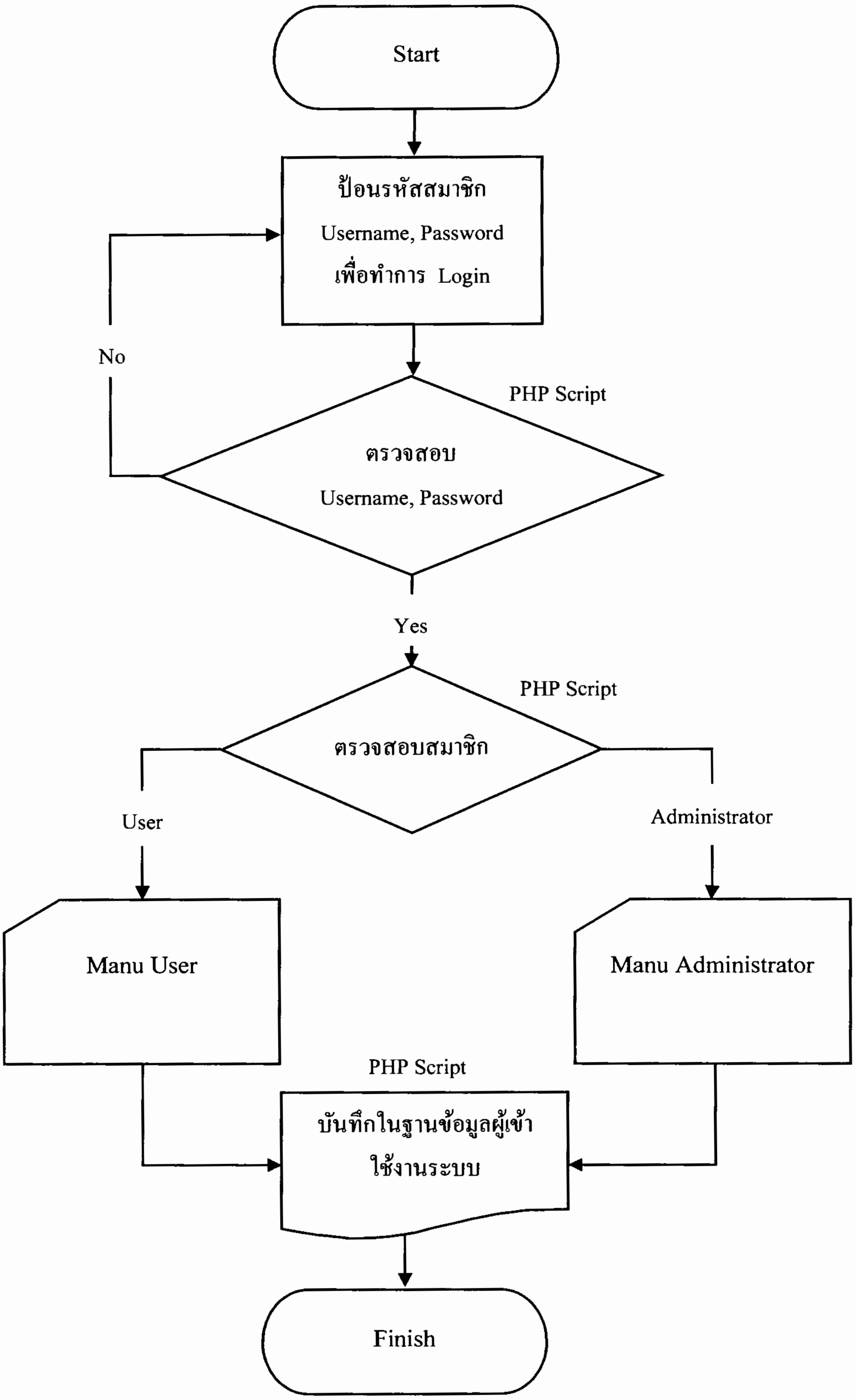
ภาพที่ 4.6 กระบวนการทำงานของระบบลงทะเบียนเข้าใช้งานของสมาชิก



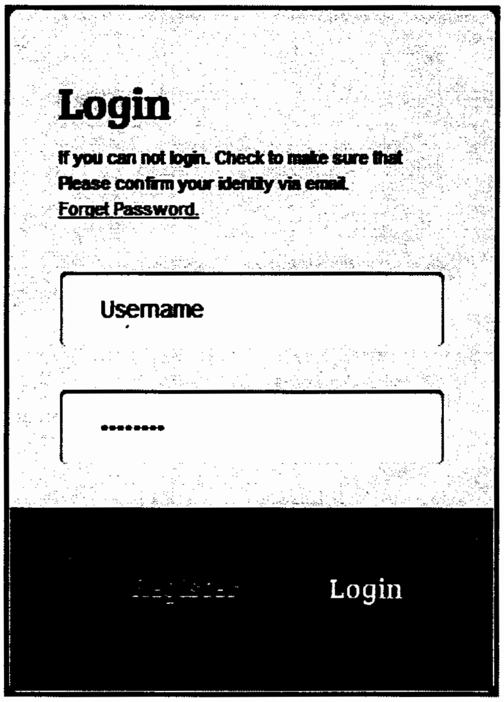
ภาพที่ 4.7 หน้าจอการลงทะเบียนของระบบผู้ใช้งาน

4.2.2 ระบบบันทึกการเข้า-ออก (Login – Logout)

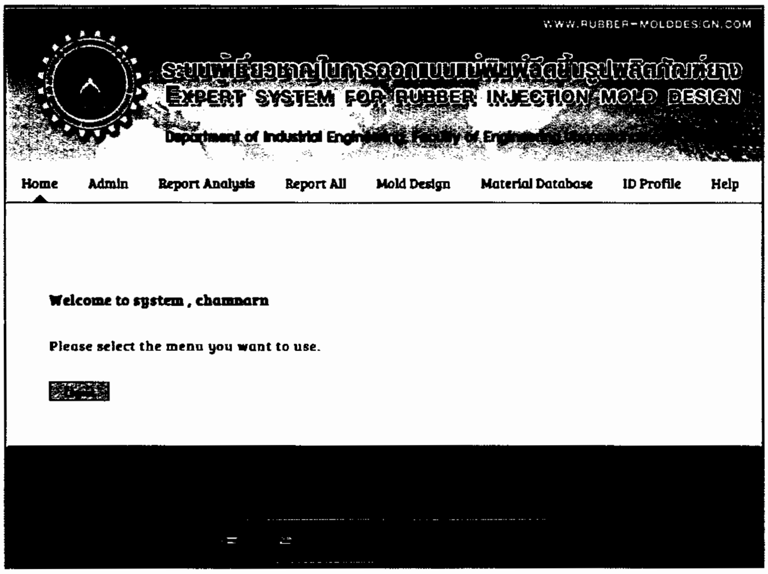
ระบบการลงทะเบียนเพื่อเข้าใช้งานระบบได้ออกแบบมีกระบวนการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 4.8 และเนื่องจากระบบการลงทะเบียนเข้าและออก (Login) เป็นส่วนแรกที่ผู้ใช้งานระบบต้องทำการลงทะเบียนเพื่อเข้าใช้งานระบบโปรแกรมช่วยในการออกแบบ ดังนั้นในการพัฒนาได้ทำการออกแบบในส่วนของระบบเข้าใช้งานของสมาชิก เพื่อให้สามารถเข้าใช้งานได้ง่ายและเหมาะสมกับระบบโปรแกรม ดังแสดงในภาพที่ 4.9 เมื่อเข้าระบบของโปรแกรมแล้วระบบจะทำการตรวจสอบระดับการใช้งานของผู้ใช้ระบบ (User Level) เพื่อทำการยืนยันสิทธิ์การใช้งานและส่วนระบบบันทึกออก (Logout) เป็นส่วนที่ใช้ออกจากระบบ หรือเป็นการยกเลิกการใช้งานระบบ แสดงในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.8 กระบวนการทำงานของระบบโปรแกรมการเข้าใช้งานและออกจากระบบ



ภาพที่ 4.9 หน้าจอระบบการบันทึกเข้า



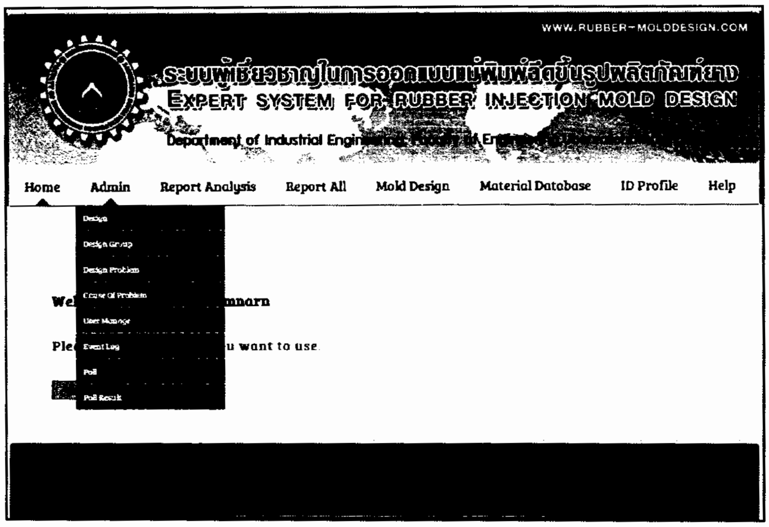
ภาพที่ 4.10 หน้าจอระบบการบันทึกออก

4.2.3 ระบบจัดการเพื่อสนับสนุนการออกแบบ

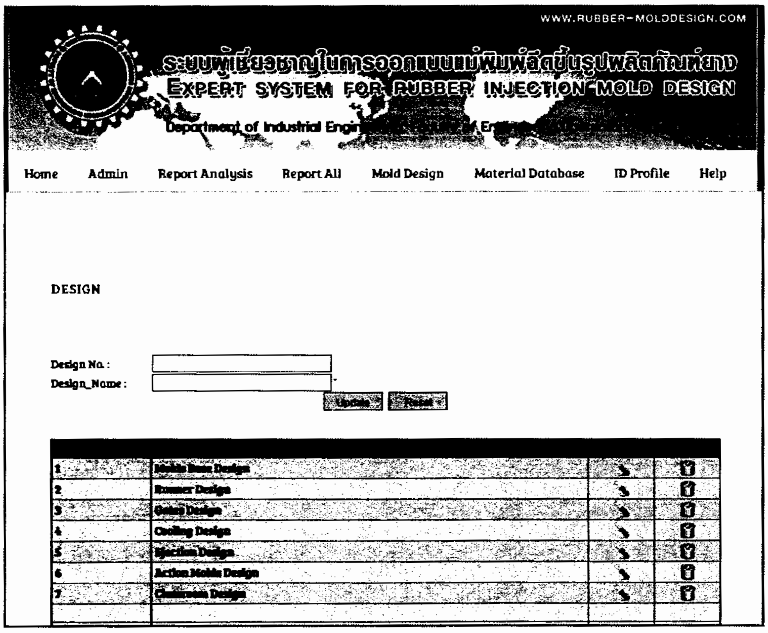
ระบบจัดการสนับสนุนเพื่อการออกแบบมี 3 ส่วนใหญ่ ได้แก่ ระบบการวิเคราะห์การออกแบบ ระบบชิ้นส่วนมาตรฐานในการออกแบบ ระบบฐานข้อมูลวัสดุ ระบบข้อมูลน้ำหล่อเย็น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ระบบการจัดการสนับสนุนการออกแบบ เป็นระบบที่ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ปัญหาในการออกแบบในรูปแบบคำถามและคำตอบ โดยผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์คำตอบจากฐานข้อมูลความรู้ซึ่งบันทึกข้อมูลในการออกแบบชิ้นส่วนแม่พิมพ์แต่ละชนิด ซึ่งข้อมูลที่บันทึกนั้นจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนปัญหาในการออกแบบแต่ละชิ้นส่วน ข้อเสนอแนะในการแก้ไขปัญหาและส่วนความสัมพันธ์ของชิ้นส่วน เช่น ข้อมูลการออกแบบแม่พิมพ์ (Mold base design) เป็นต้น และข้อมูลที่ใช้ในการนำมาประมวลผล ได้แก่ การออกแบบฐานแม่พิมพ์ตัวบน (Upper mold base) การออกแบบฐานแม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower mold base) ปัญหาในการออกแบบฐานแม่พิมพ์ แนวทางในการแก้ไขปัญหาและความสัมพันธ์ในการออกแบบต่อชิ้นส่วนอื่น เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 4.11

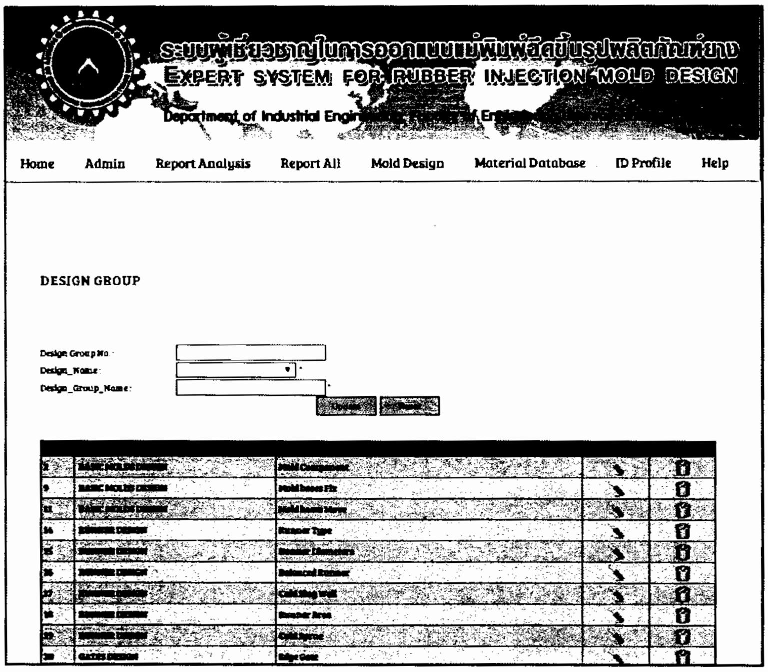
โดยระบบจะวิเคราะห์ปัญหาในการออกแบบชิ้นส่วนที่ต้องการออกแบบ เมื่อเลือกชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ภายในฐานข้อมูล จะทำให้ผู้ใช้งานระบบทราบข้อเสนอแนะจากระบบถึงแนวทางแก้ไขปัญหาในการออกแบบ ดังแสดงในภาพที่ 4.12 และหน้าจอแสดงส่วนประกอบย่อยในส่วนของการสนับสนุนการออกแบบ ดังแสดงในภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.11 หน้าจอแก้ไขข้อมูลแม่พิมพ์ และลงทะเบียนข้อมูลของระบบอัตโนมัติ



ภาพที่ 4.12 หน้าจอหลักในการแสดงความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนแม่พิมพ์



ภาพที่ 4.13 หน้าจอรองในการแสดงความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนแม่พิมพ์

4.3 ผลลัพธ์จากการประมวลผลการทำงานในการแก้ปัญหาการออกแบบ

การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการประเมินระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ตั้งแต่การประมวลผลข้อมูลการออกแบบจนกระทั่งได้ผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ของระบบ ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 ส่วน ผลลัพธ์จากการสร้างความสัมพันธ์ในการแก้ไขและวิเคราะห์ปัญหา ผลลัพธ์ในการออกแบบแม่พิมพ์จากชิ้นส่วนมาตรฐาน ผลลัพธ์จากโปรแกรมช่วยคำนวณและผลลัพธ์จากการการค้นหาฐานข้อมูลด้านวัสดุยางและระบบหล่อเย็น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลลัพธ์จากการสร้างความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์ปัญหาช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ ได้นำข้อมูลการวิเคราะห์ปัญหาในการออกแบบแม่พิมพ์รวมทั้งสร้างความสัมพันธ์ในการออกแบบที่เกี่ยวข้องและทำการลงทะเบียนเข้าสู่ระบบผลลัพธ์ ซึ่งผลการเชื่อมโยงของระบบโปรแกรมดังแสดงในตารางที่ 4.22 ซึ่งผลที่ได้จะเป็นฐานข้อมูลในการแก้ปัญหาในการออกแบบชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฉีดยาง และจะแสดงเป็นหน้าจอในการใช้งานเพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์ปัญหาในการออกแบบ ดังแสดงในภาพที่ 4.14 และรูปแบบรายงานในการวิเคราะห์ปัญหาในการออกแบบชิ้นส่วนแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 4.15

ตารางที่ 4.22 ความสัมพันธ์ของการออกแบบชิ้นส่วนแม่พิมพ์

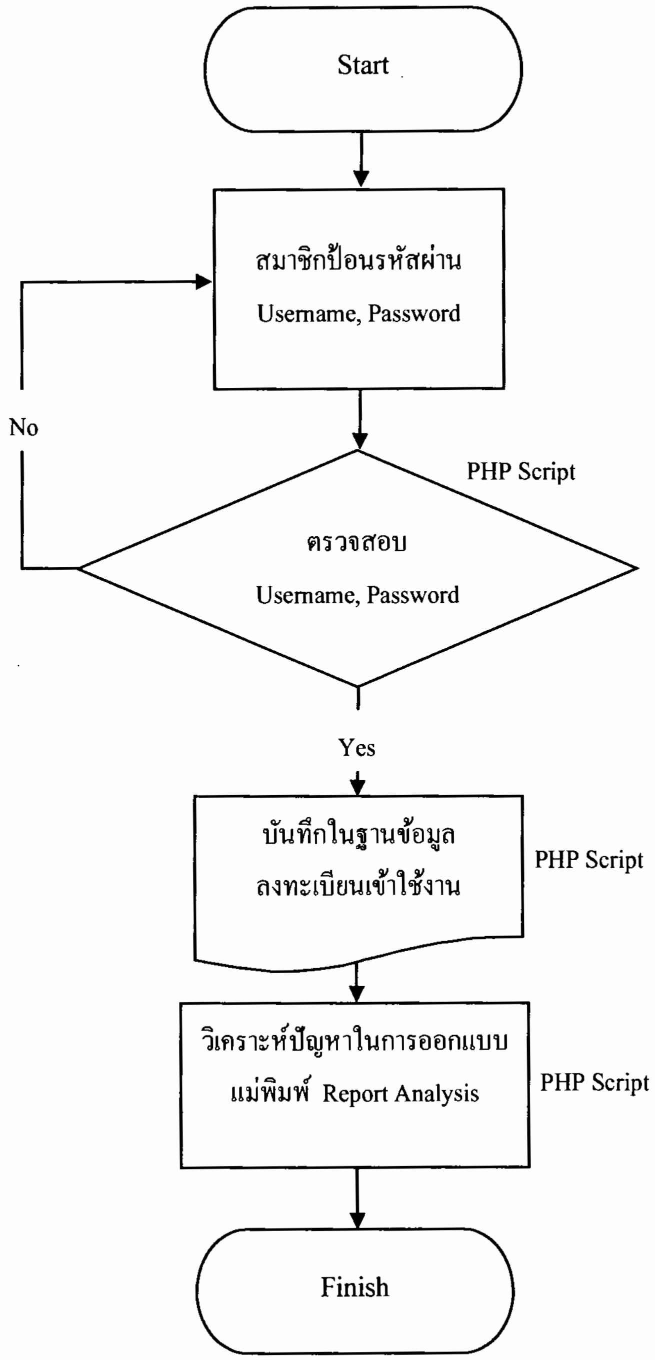
MOLDS BASE DESIGN	Mold Bases	Upper Mold Plate
		Lower Mold Plate
	Mold Component	Locating Ring
		Top Clamp Plate
		Insulator Plate
		Support Plate
		Cavity Steels
		Guided Ejector Pin and Bushing
		Guide Bushing
		Ejector
		Guide
RUNNER DESIGN	Runner Type	Full Round Runner
		Half Round Runner
		Trapezoidal Runner

ตารางที่ 4.22 ความสัมพันธ์ของการออกแบบชิ้นส่วนแม่พิมพ์ (ต่อ)

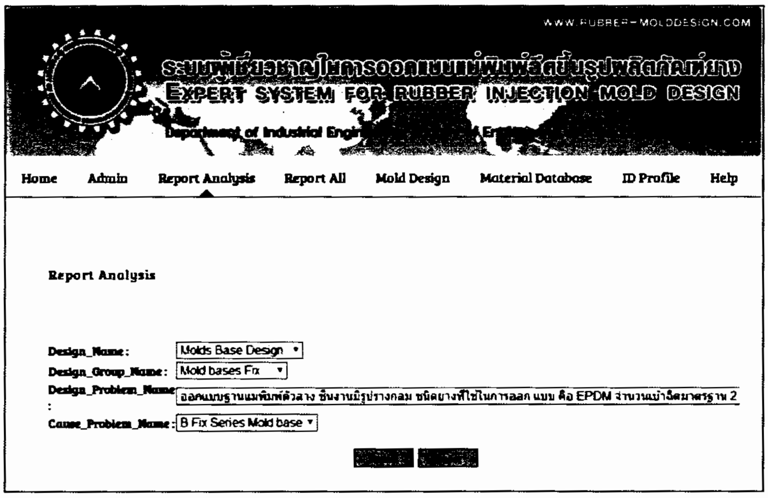
RUNNER DESIGN	Runner Diameters	Diameter design
	Balanced Runner	Two Cavity Layout
		Four Cavity Layout
		Six Cavity Layout
	Cold Slug Well	Cold Slug Well Design
	Runner Arear	Runner Arear design
	Cold Sprue	Cold Sprue design
GATES DESIGN	Edge Gate	Edge Gate design
	Fan Gate	Fan Gate design
	Pin Gate	Pin Gate dsign
	Ring Gate	Ring Gate design
	Sprue Gate	Sprue Gate design
	Sub Gate	Sub Gate design
	Flash Gate	Flash Gate design
COOLING DESIGN	Cooling Rules	Cooling Rules design type I
		Cooling Rules design type II
		Cooling Rules design type III
	Component	Water Line Connector
EJECTION DESIGN	Types of Ejector	Air Poppets
		Stripper Plate
CLASSROOM DESIGN	Design Standard	Venting design
		Cavity design
		Parting line design
		Feed system design
		Detail molding design
		Shinkage design

เมื่อทำการลงทะเบียนเข้าใช้ระบบแล้ว จำเป็นที่จะต้องกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของชิ้นส่วนที่ต้องการออกแบบและปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบ เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนกับปัญหาที่เกิดจากการออกแบบเป็นปัจจัยสำคัญในขั้นตอนการเลือกและคัดกรองปัญหาในการนำมาวิเคราะห์และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นฐานความรู้ โดยทำการ

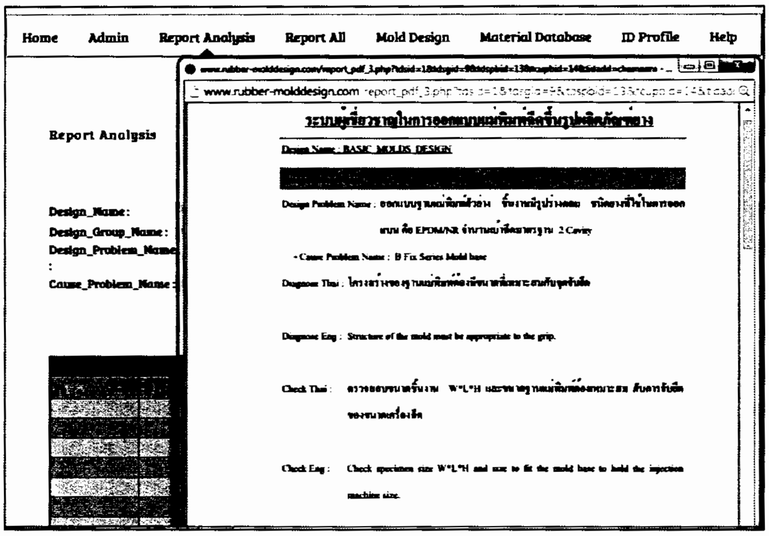
ลงทะเบียนความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาแต่ละชนิด ซึ่งแสดงกระบวนการของโปรแกรม ดังแสดงภาพที่ 4.14 โดยผู้ใช้งานสามารถค้นหาข้อมูลจากฐานข้อมูลการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อสนับสนุนการออกแบบที่ทำการพัฒนาผ่านระบบโปรแกรมออนไลน์ ดังแสดงในภาพที่ 4.15 และแสดงผลเป็นรูปแบบรายงานที่เก็บรวบรวมไว้ในฐานข้อมูลทางความรู้ ดังแสดงในภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.14 กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาในการช่วยสนับสนุนการออกแบบ



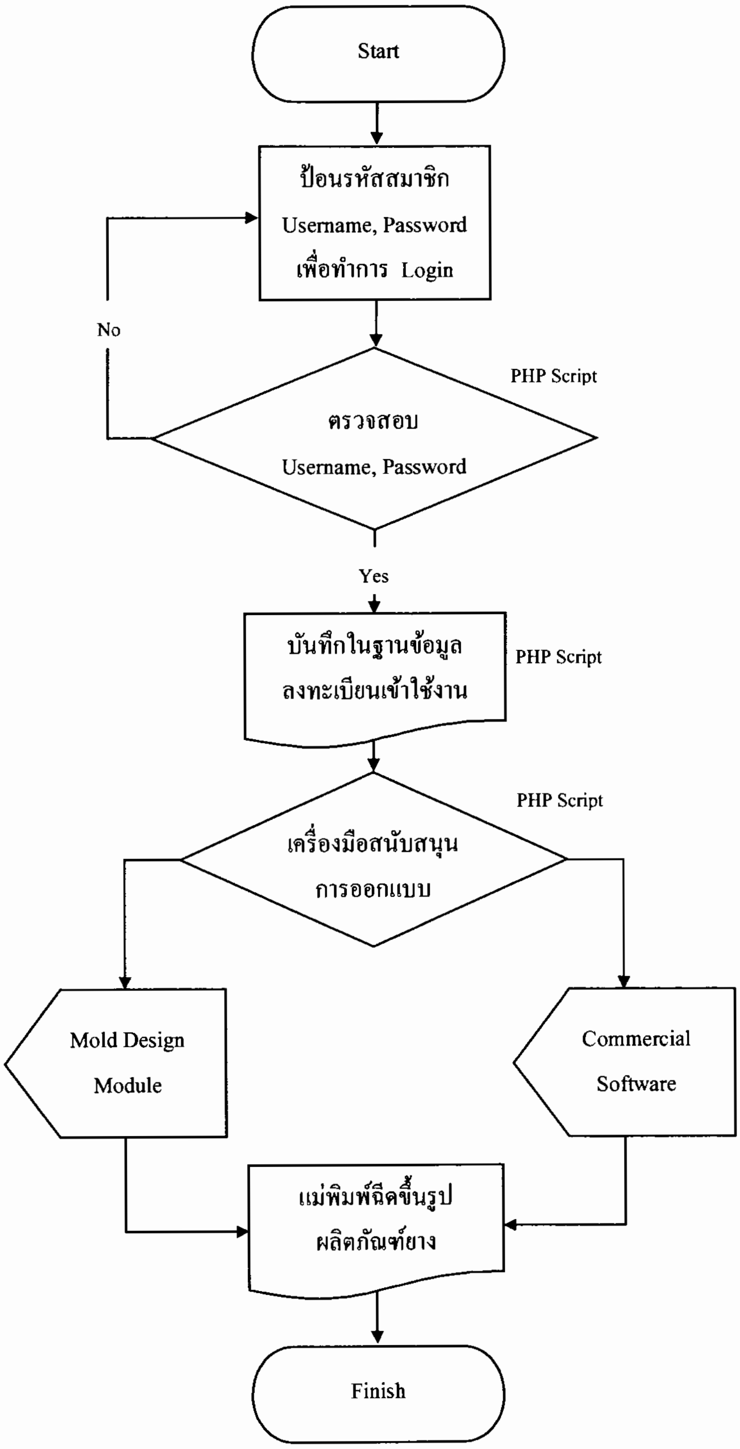
ภาพที่ 4.15 หน้าจอหลักสำหรับวิเคราะห์ปัญหาในการออกแบบ



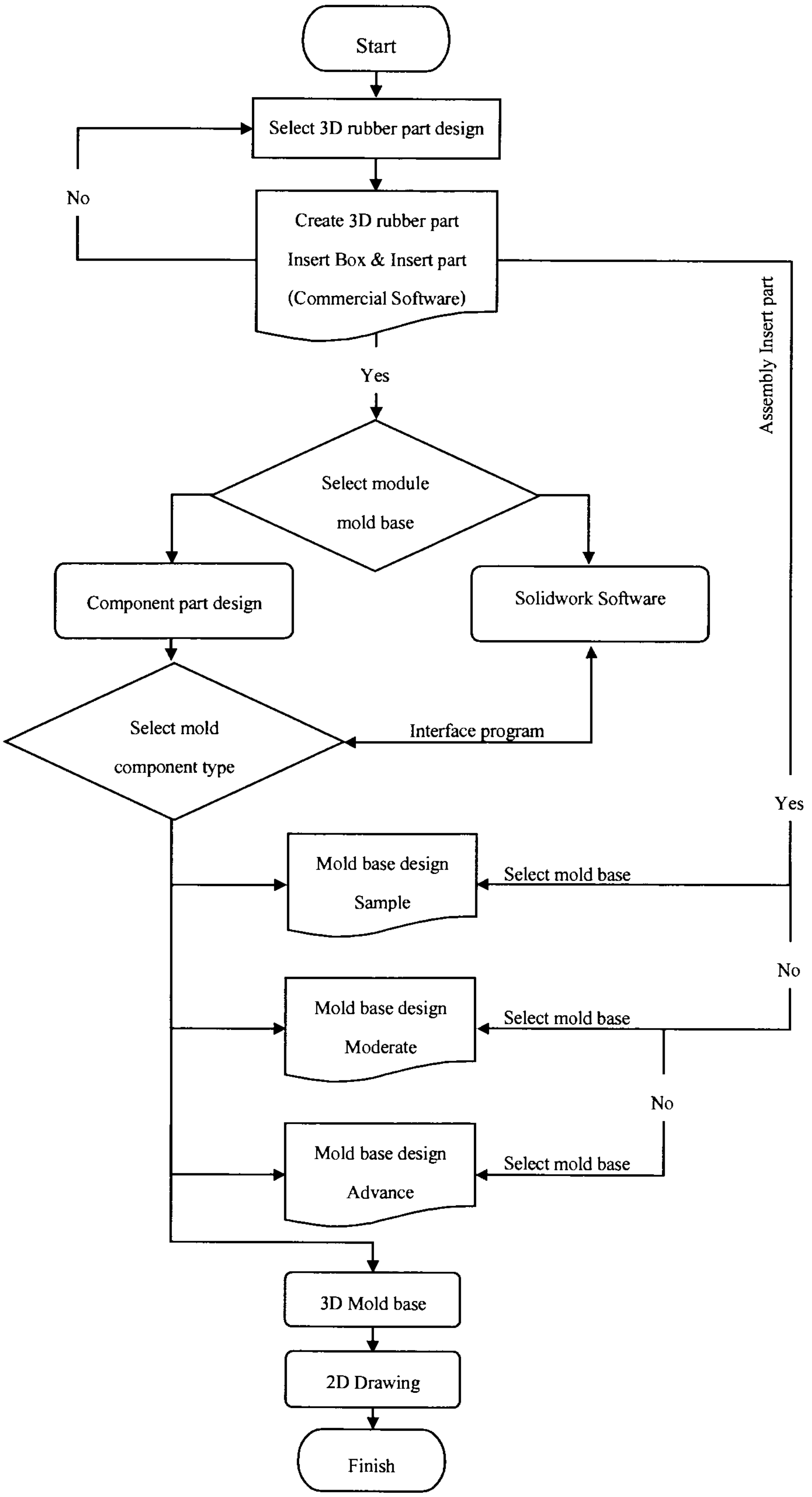
ภาพที่ 4.16 หน้าจอสำหรับรายงานผลการวิเคราะห์

4.3.2 ผลลัพธ์จากเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโปรแกรมที่พัฒนาและโปรแกรมเชิงพาณิชย์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 4.17 การวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดรูปแบบของชิ้นงานเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ จำแนกตามความยากง่ายในการออกแบบชิ้นงานเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางแบบสองแผ่นอย่างง่าย กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นโครงสร้างซับซ้อนปานกลาง และกลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นที่มีโครงสร้างแบบซับซ้อนมาก และกระบวนทำงานเพื่อสนับสนุบการออกแบบ ดังแสดงในภาพที่ 4.18 และการเลือกชิ้นส่วนแม่พิมพ์ในกรณีต้องการปรับเปลี่ยนขนาดแม่พิมพ์ ดังแสดงใน

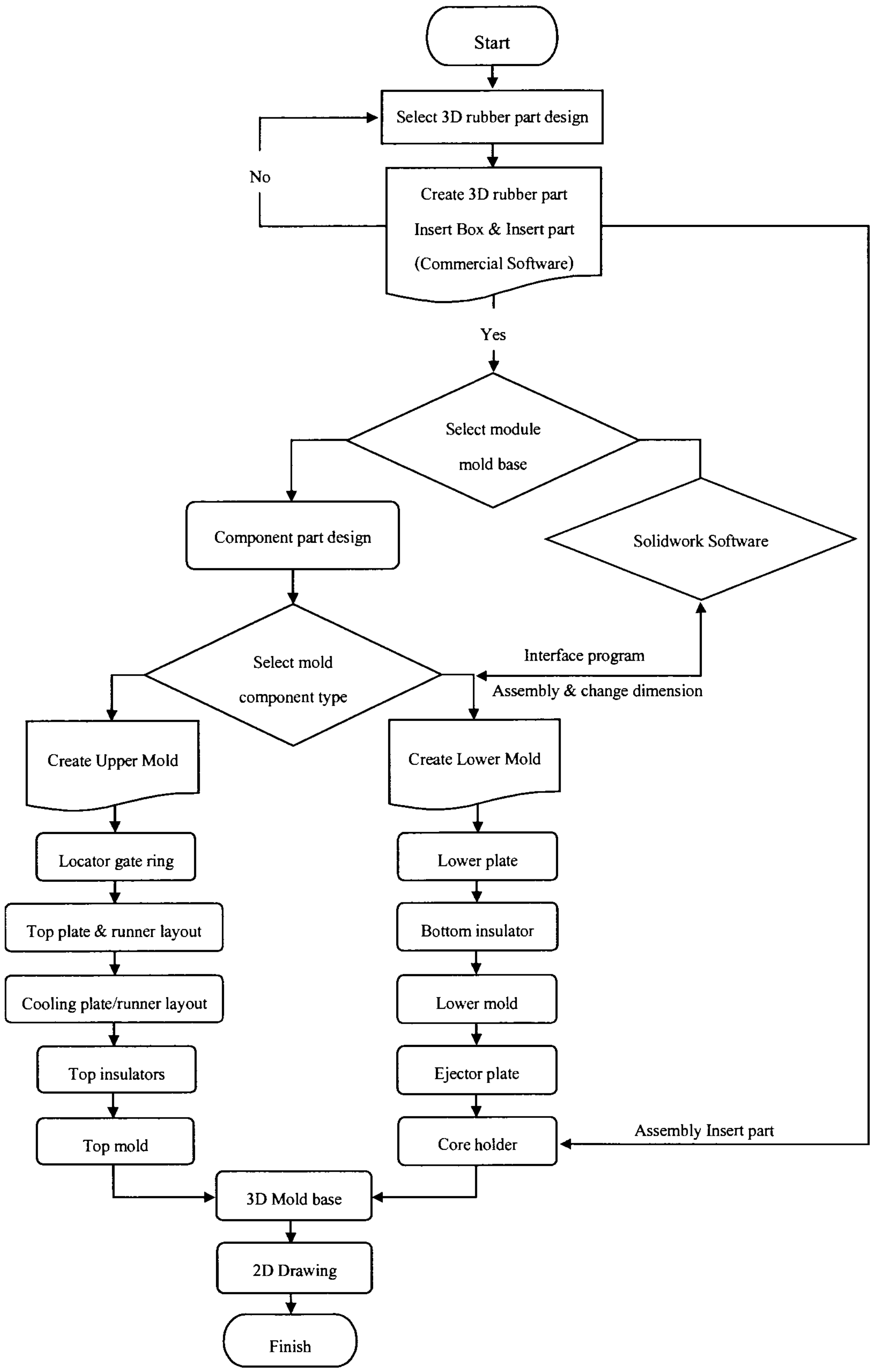
ภาพที่ 4.19 ดังนั้นในการเลือกชิ้นส่วนแม่พิมพ์สำเร็จรูปเพื่อใช้ในการออกแบบจะต้องพิจารณาที่รูปร่างของผลิตภัณฑ์ยางเป็นหลัก ซึ่งการศึกษาผลลัพธ์ของระบบ โดยผู้วิจัยกำหนดข้อมูลนำเข้าในการออกแบบแม่พิมพ์เสนอทางเลือกชิ้นส่วนแม่พิมพ์มาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 4.22



ภาพที่ 4.17 กระบวนการทำงานของระบบออกแบบชิ้นส่วนแม่พิมพ์

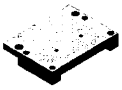
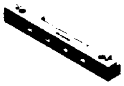
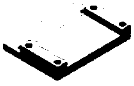
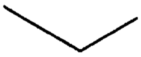
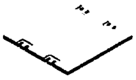


ภาพที่ 4.18 กระบวนการทำงานของโปรแกรมสำหรับการเลือกแม่พิมพ์สำเร็จรูป



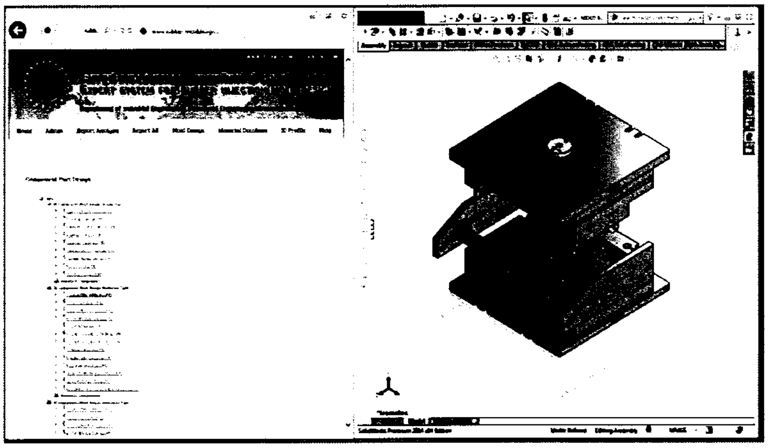
ภาพที่ 4.19 กระบวนการทำงานของโปรแกรมในโมดูลชิ้นส่วนสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์

ตารางที่ 4.23 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฉีดยางในระบบโปรแกรมช่วยออกแบบ

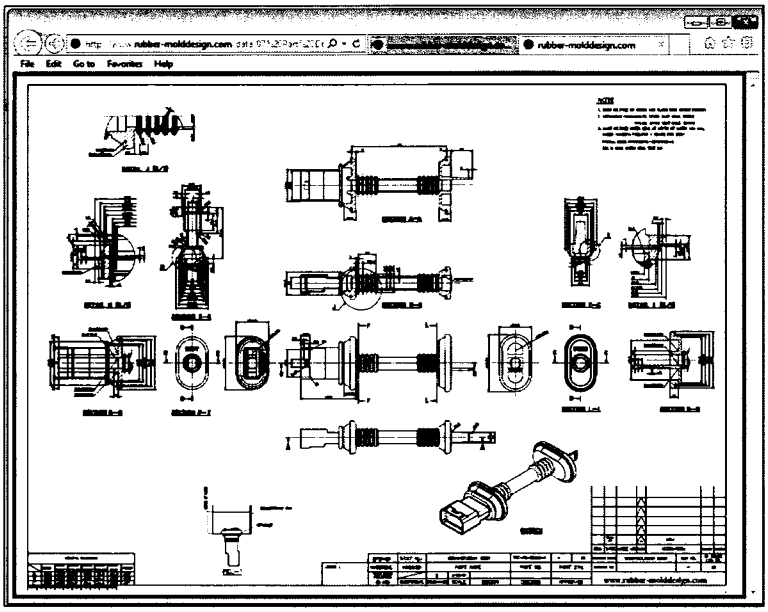
Item	Name	Picture	Material	Quantity
1	Locator gate ring		SCM440	1
2	Top plate & runner layout		S55C	1
3	Cooling plate & runner layout		S55C	1
4	Top insulator		- Gypsum - Bakelite	1
5	Top mold		S55C	1
6	Core holder		S55C	1
7	Insert box		SKD61	4
8	Ejector plate		S55C	2
9	Lower mold		S55C	1
10	Bottom insulator		- Gypsum - Bakelite	1
11	Lower plate		S50C	1

จากตารางที่ 4.23 กระบวนทำงานของโปรแกรมในโมดูลชิ้นส่วนมาตรฐานในการสนับสนุนการออกแบบ เมื่อเข้าใช้งานระบบและทำการเลือกชิ้นส่วน และทำการเชื่อมต่อกับโปรแกรมออกแบบเชิงพาณิชย์ ผู้ออกแบบแม่พิมพ์สามารถดึงชิ้นส่วนแม่พิมพ์มาตรฐาน

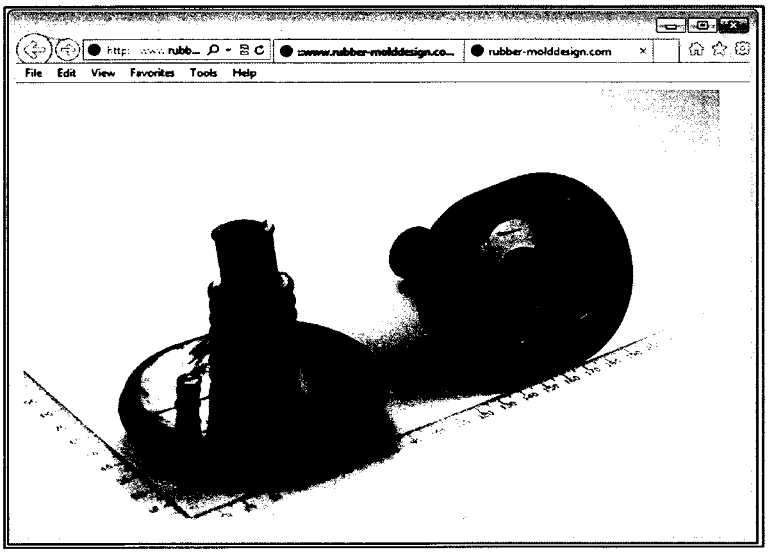
ในระบบมาใช้งานได้ทันที โดยสามารถแก้ไขขนาดตามที่ผู้ออกแบบต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 4.20 และภายในโมดูลจะประกอบด้วยแบบของชิ้นงาน (2D Drawing) สำหรับผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมยานยนต์ วิศวกรออกแบบสามารถใช้เป็นตัวอ้างอิงในการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือแม่พิมพ์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.21 และในส่วนของโปรแกรมยังประกอบไปด้วยตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยางที่ผ่านการฉีดขึ้นรูปซึ่งได้ทำการรวบรวมไว้เพื่อเป็นฐานข้อมูลทางความรู้ ดังแสดงในภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.20 ผลลัพธ์ของการออกแบบแม่พิมพ์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาแบบออนไลน์

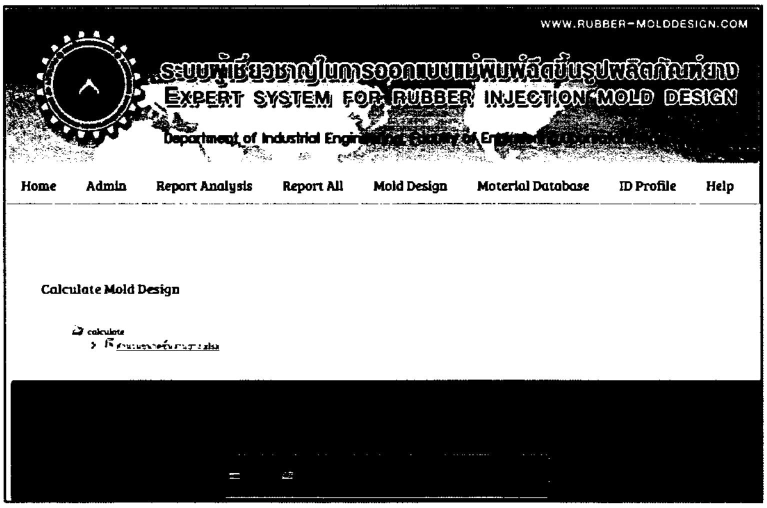


ภาพที่ 4.21 ผลลัพธ์ของส่วนการทำแบบของชิ้นงานฉีดยาง

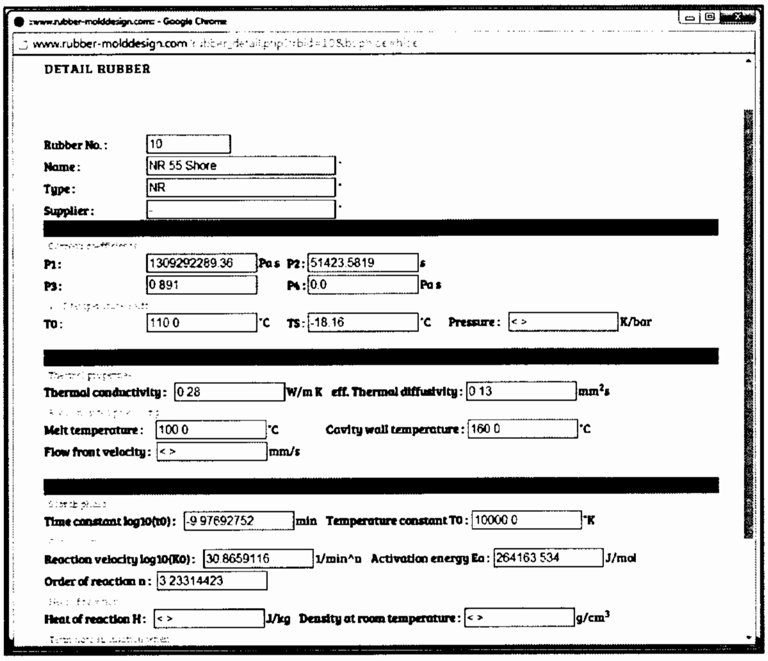


ภาพที่ 4.22 ผลลัพธ์ของส่วนฐานข้อมูลของผลิตภัณฑ์ยาง

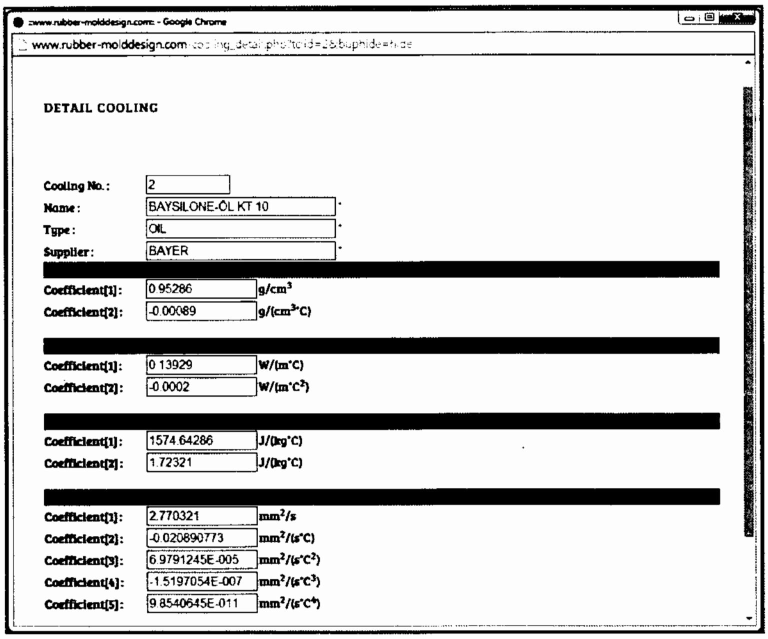
4.3.3 ผลลัพธ์การใช้โปรแกรมด้านการคำนวณการออกแบบชิ้นงานและการกำหนดขนาดที่ถูกต้องในการออกแบบผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ แบบคำนวณการกำหนดขนาดชิ้นงานที่ถูกต้อง ดังแสดงในภาพที่ 4.23 ในโมดูลต่อไปคือส่วนข้อมูลทางด้านคุณสมบัติของยางที่ใช้สำหรับออกแบบผลิตภัณฑ์หรือนำข้อมูลไปใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยทางด้านวิศวกรรม ดังแสดงในภาพที่ 4.24 และฐานข้อมูลระบบน้ำหล่อเย็นซึ่งเป็นข้อมูลในการสนับสนุนการผลิตในการเลือกระบบน้ำหล่อเย็นที่เหมาะในการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ดังแสดงในรูปที่ 4.25



ภาพที่ 4.23 ส่วนโปรแกรมด้านการคำนวณการออกแบบชิ้นงานสำหรับชิ้นส่วนยาง



ภาพที่ 4.24 ผลลัพธ์ฐานข้อมูลความรู้ของคุณสมบัติของยางในการออกแบบแม่พิมพ์ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย)



ภาพที่ 4.25 ผลลัพธ์ฐานข้อมูลระบบน้ำหล่อเย็น (www.simcon-wordwide.com)

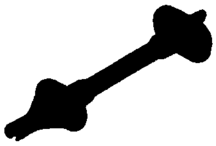
4.3.4 ตัวอย่างการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง แบ่งแม่พิมพ์เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางแบบสองแผ่นอย่างง่าย กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นโครงสร้างซับซ้อนปานกลาง และกลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นที่มีโครงสร้างแบบซับซ้อนสูง โดยพิจารณาจากรูปร่างผลิตภัณฑ์เป็นหลักในการออกแบบแม่พิมพ์และจำนวนปริมาณการผลิตในแต่ละเดือน ซึ่งสามารถแบ่งได้ ดังนี้

4.3.4.1 กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางแบบสองแผ่นอย่างง่าย คือ ผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนน้อย

4.3.4.2 กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นโครงสร้างซับซ้อนปานกลาง คือ เลือกใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนปานกลาง

4.3.4.3 กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นที่มีโครงสร้างแบบซับซ้อนสูง คือ เลือกใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนมากและมีความยากในการปลดชิ้นงานจากแม่พิมพ์

ตารางที่ 4.24 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดผลิตภัณฑ์ยางแต่ละประเภท

ผลิตภัณฑ์ยาง	รูปแบบแม่พิมพ์	โปรแกรมช่วยออกแบบ (ชั่วโมง)	โปรแกรมเชิงพาณิชย์ (ชั่วโมง)	เวลาที่เปลี่ยนแปลง (%)
	กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางแบบสองแผ่นอย่างง่าย	16	24	33.33
	กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นโครงสร้างซับซ้อนปานกลาง	23	40	42.50
	กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นที่มีโครงสร้างแบบซับซ้อนสูง	25	48	47.92

จากตารางที่ 4.24 ผลการทดลองออกแบบแม่พิมพ์โดยใช้วิศวกรที่มีประสบการณ์ทำงานระหว่าง 3-5 ปี จำนวน 30 คน ในการออกแบบผลิตภัณฑ์และออกแบบแม่พิมพ์ยาง เพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นช่วยในออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางและใช้โปรแกรมเชิงพาณิชย์สำหรับออกแบบแม่พิมพ์พลาสติกเป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบ ซึ่ง

สามารถสรุปผลหลังการทดลองออกแบบได้ ดังนี้ กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางแบบสองแผ่นอย่างง่ายใช้เวลาในการออกแบบโดยเฉลี่ย 16 ชั่วโมง สามารถลดเวลาในการออกแบบได้ 33.33 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นโครงสร้างซับซ้อนปานกลางใช้เวลาในการออกแบบโดยเฉลี่ย 23 ชั่วโมง สามารถลดเวลาในการออกแบบได้ 42.50 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นที่มีโครงสร้างแบบซับซ้อนสูงใช้เวลาในการออกแบบแม่พิมพ์โดยเฉลี่ย 25 ชั่วโมง สามารถลดเวลาในการออกแบบได้ 47.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากการเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์ยางที่ขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีด สำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์จากการรวบรวมตัวอย่าง 72 ผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางแบบสองแผ่นอย่างง่าย 15 ผลิตภัณฑ์ กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นที่มีโครงสร้างซับซ้อนปานกลาง 30 ผลิตภัณฑ์ และกลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางสามแผ่นที่มีโครงสร้างแบบซับซ้อนสูง 27 ผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

4.4 การประเมินความถูกต้องของเนื้อหาของฐานข้อมูลการออกแบบ

ผลการประเมินความถูกต้องภายในระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ผลการประเมินความถูกต้องของข้อมูลนำเข้าของระบบซึ่งถูกใช้ในการสร้างฐานความรู้ของระบบ และการสร้างคำอธิบายในการแก้ไขหรือวิเคราะห์ปัญหาในการออกแบบ โดยใช้เอกสารแสดงข้อมูลพื้นฐานของระบบ เอกสารแนวคิดในการสร้างตัวแบบประเมินการใช้งาน และเอกสารแนวคิดการสร้างฐานความรู้ของระบบในการประเมินความถูกต้องเหมาะสมดังแสดงในภาคผนวก ก ส่วนในภาคผนวก ข แสดงผลการประเมินความพึงพอใจโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง หรือผลลัพธ์ที่ได้จากระบบโปรแกรม โดยการใช้งานระบบจริงดำเนินการทดลองการใช้งานโปรแกรมออกแบบตามขั้นตอน และใช้การสัมภาษณ์ในการประเมินความถูกต้องเหมาะสมของข้อมูลและผลลัพธ์ของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านแม่พิมพ์ยางและวิศวกรออกแบบแม่พิมพ์ ซึ่งผลการประเมินทั้ง 2 ส่วนมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 ผลการประเมินความถูกต้องของเนื้อหาของฐานความรู้ในการสร้างฐานความรู้ของระบบ และการสร้างคำอธิบายเพื่อช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านแม่พิมพ์ยางและวิศวกรออกแบบแม่พิมพ์ให้ความเห็นว่า ข้อมูลหลักทั้งหมดภายในฐานข้อมูลของระบบซึ่งประกอบด้วยข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ปัญหาในการออกแบบแม่พิมพ์ และความสัมพันธ์ในการออกแบบแม่พิมพ์แต่ละชิ้นส่วน ข้อมูลชิ้นส่วนมาตรฐานแม่พิมพ์ ข้อมูลการคำนวณขนาดที่เหมาะสมในการออกแบบชิ้นงาน ข้อมูลของคุณสมบัติของยางที่จะใช้ในการผลิตแต่ละชนิด ข้อมูลของระบบหล่อเย็น เป็นต้น มีความถูกต้องเพียงพอที่ช่วยสนับสนุนในการออกแบบแม่พิมพ์และ

ผลิตภัณฑ์ยางหรือยางผสมได้และสามารถสร้างเป็นระบบสารสนเทศในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางและระบบระบบสารสนเทศเพื่อการเรียนรู้ได้

4.4.2 ผลการประเมินความพึงพอใจโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง คือ ผลลัพธ์ที่ได้ข้อมูลความพึงพอใจจากการใช้งาน ผลการประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ ผู้ทดลองใช้งานระบบให้ความเห็นว่า โปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางที่ทำการพัฒนามีความเหมาะสม ง่ายต่อการเข้าใจและมีความถูกต้องที่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน แต่เนื่องจากระบบสารสนเทศในการออกแบบที่ทำการพัฒนาขึ้น ข้อมูลพื้นฐานซึ่งถูกบันทึกลงในระบบข้อมูลเหล่านี้สามารถถูกปรับปรุงได้ตามความเหมาะสมได้ตลอดเวลา ดังนั้นความถูกต้องเหมาะสมและความน่าเชื่อถือของสารสนเทศเพื่อช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางที่ได้พัฒนาขึ้นอยู่กับข้อมูลที่นำมาใช้ และแหล่งที่มาของข้อมูลภายในระบบ

4.5 ผลความพึงพอใจในการใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

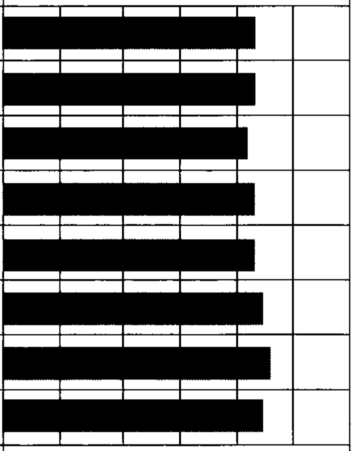
ผลการความประเมินความพึงพอใจของระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางแบบออนไลน์ สามารถแบ่งการประเมินออกเป็น 8 ด้าน ดังนี้

ตารางที่ 4.25 ระดับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยต่อผู้ใช้งานโปรแกรมสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

หัวข้อการประเมิน	เฉลี่ย	กราฟ
โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้/ใช้งาน	4.37	
โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องและเหมาะสม	4.30	
โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง	4.17	
โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที	4.33	
โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย	4.27	
โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้/ใช้งาน	4.67	
โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/การใช้งาน	4.73	
ผู้ใช้งานจะแนะนำฐานความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์นี้ให้กับผู้อื่น	4.63	
ผลรวมการประเมิน	4.43	1 2 3 4 5

จากตารางที่ 4.25 ระดับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยต่อผู้ใช้งานโปรแกรมสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง ได้ทำการประเมินผ่านระบบ 8 ด้านการประเมิน คือ โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้และใช้งานผลการประเมิน 4.37 คะแนน โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องและเหมาะสมผลการประเมิน 4.30 คะแนน โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่องผลการประเมิน 4.17 คะแนน โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันทีผลการประเมิน 4.33 คะแนน โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่ายผลการประเมิน 4.27 คะแนน โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้และใช้งานผลการประเมิน 4.67 คะแนน โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้และการใช้งานผลการประเมิน 4.73 คะแนน และผู้ใช้งานจะแนะนำฐานความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์ให้กับผู้อื่นผลการประเมิน 4.63 คะแนน

ตารางที่ 4.26 ระดับเปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจต่อผู้ใช้งานโปรแกรมสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

หัวข้อการประเมิน	**%**	**กราฟ**
โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้/ใช้งาน	87.33	
โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องและเหมาะสม	86.00	
โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง	83.33	
โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที	86.67	
โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย	85.33	
โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้/ใช้งาน	93.33	
โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/การใช้งาน	94.67	
ผู้ใช้งานจะแนะนำฐานความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์นี้ให้กับผู้อื่น	92.67	
ผลรวมการประเมิน	88.67	20 40 60 80 100

จากตารางที่ 4.26 ระดับเปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจต่อผู้ใช้งานโปรแกรมสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง ได้ทำการประเมินผ่านระบบ 8 ด้านการประเมิน คือ โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้และใช้งานผลการประเมิน 87.33 เปอร์เซ็นต์ โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องและเหมาะสมผลการประเมิน 86.00 เปอร์เซ็นต์ โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่องผลการประเมิน 83.33 เปอร์เซ็นต์ โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันทีผลการประเมิน 86.67 เปอร์เซ็นต์ โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่ายผลการประเมิน 85.33 เปอร์เซ็นต์ โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้และใช้งานผลการประเมิน 93.33

เปอร์เซ็นต์ โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้และการใช้งานผลการประเมิน 94.67 เปอร์เซ็นต์ และผู้ใช้งานจะแนะนำฐานความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์ให้กับผู้อื่นผลการประเมิน 92.67 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.27 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความพึงพอใจต่อผู้ใช้งานโปรแกรมสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

หัวข้อการประเมิน	S.D.	กราฟ
โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้/ใช้งาน	0.49	
โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องและเหมาะสม	0.47	
โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง	0.38	
โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที	0.48	
โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย	0.45	
โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้/ใช้งาน	0.48	
โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/การใช้งาน	0.45	
ผู้ใช้งานจะแนะนำฐานความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์นี้ให้กับผู้อื่น	0.49	
ผลรวมการประเมิน	0.46	0.1 0.2 0.3 0.4 0.5

จากตารางที่ 4.27 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการประเมินความพึงพอใจต่อผู้ใช้งานโปรแกรมสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง ทำการประเมินโปรแกรมผ่านระบบการใช้งานแบบออนไลน์ 8 ด้าน คือ โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้และใช้งานค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.49 โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องและเหมาะสมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีเท่ากับ 0.47 โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาได้อย่างต่อเนื่องค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.38 โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันทีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.48 โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่ายค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.45 โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้และใช้งานค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.48 โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้และการใช้งานค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.45 และผู้ใช้งานจะแนะนำฐานความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์ยางให้กับผู้อื่นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.49

สรุปผลความพึงพอใจที่มีต่อโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางที่ออกแบบและพัฒนา การดำเนินการวิจัยทั้ง 4 เฟส โดยการประยุกต์การแปลงหน้าที่ทางด้านคุณภาพ (QFD) คือ ทำให้รู้คุณลักษณะของต้นแบบโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

ยางแบบออนไลน์ ตามที่ผู้ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางต้องการหรือผู้ประกอบการโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ยางสำหรับชิ้นส่วนอุตสาหกรรมยานยนต์และผู้ทำหน้าที่ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง โดยเป็นการนำเอาคุณลักษณะดังกล่าวมาพัฒนาต้นแบบโปรแกรม หลังจากนั้นได้นำโปรแกรมที่พัฒนาแล้วโดยใช้แบบสอบถามสำรวจระดับความพึงพอใจในการใช้งานโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางระบบออนไลน์ว่ามีมากน้อยเพียงใด ซึ่งทำการวัดความพึงพอใจการใช้งานของโปรแกรมจากการประเมินผลการใช้งานโปรแกรมซึ่งทำการทดลองการใช้งานจริงและทำการประเมินผลจากกลุ่มตัวอย่างในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ยางสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ จำนวน 30 ตัวอย่าง คะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้ใช้โปรแกรมสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง เท่ากับ 4.43 คะแนน จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน คิดเป็น 88.67 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดผลิตภัณฑ์ยาง มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง บนระบบสารสนเทศแบบออนไลน์เพื่อให้เหมาะสมกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการออกแบบในปัจจุบัน โดยแนวคิดของการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางได้ทำการออกแบบโมดูลใช้งานออกเป็นส่วน ๆ และสามารถพัฒนาเพิ่มหรือลดจำนวนโมดูลได้เพื่อให้ระบบมีความยืดหยุ่นมากที่สุด และจากโมดูลดังกล่าวจะทำให้ช่วยแก้ปัญหาในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง ดังนั้นระบบต้องสามารถสนับสนุนการออกแบบในลักษณะที่ผสมผสานกันของโครงสร้างโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญที่ช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยางที่พัฒนาขึ้นกับระบบสนับสนุนการใช้งานแบบออนไลน์ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่ทำให้การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยางต้องการเครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบ เพื่อใช้ในการสร้างฐานข้อมูลความรู้ของระบบและสามารถเรียกใช้งานในการสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางของผู้ใช้งานระบบต่อไป

เมื่อทราบถึงความสามารถของโปรแกรมว่ามีส่วนประกอบอะไรบ้าง ซึ่งส่วนที่ใช้ในการอธิบายหรือช่วยวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการออกแบบแม่พิมพ์ และมีการจัดการข้อมูลเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางในขั้นพื้นฐาน และมีการวิเคราะห์ผลกระทบของชิ้นส่วนในการออกแบบถ้ามีการแก้ไขชิ้นส่วนแม่พิมพ์แต่ละชิ้น จากผลการทดลองทราบว่าส่วนการวิเคราะห์ปัญหาสามารถใช้ได้ดีในผู้ที่ไม่เคยมีประสบการณ์ในการออกแบบแม่พิมพ์และเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการเรียนรู้การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง ส่วนชิ้นส่วนมาตรฐานที่สนับสนุนการออกแบบซึ่งทดสอบกับผู้มีประสบการณ์ในการออกแบบแม่พิมพ์ 3-5 ปี สามารถสรุปผลหลังการทดลองออกแบบแม่พิมพ์ทั้งหมด 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางแบบสองแผ่นอย่างง่าย สามารถลดเวลาในการออกแบบได้ 33.33 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นโครงสร้างซับซ้อนปานกลาง สามารถลดเวลาในการออกแบบได้ 42.50 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มแม่พิมพ์ฉีดยางชนิดสามแผ่นที่มีโครงสร้างแบบซับซ้อนสูง สามารถลดเวลาในการออกแบบได้ 47.92 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จึงสามารถสนองความต้องการของผู้ใช้งานโปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางได้ในระดับดี ซึ่งการหาค่าน้ำหนักประเมินนั้นทางผู้วิจัยได้ใช้ปัจจัยในการประเมิน 8 ปัจจัย ของ

ผู้ใช้งานระบบ คือ โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้และการใช้งาน โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาอย่างถูกต้องและเหมาะสม โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที โปรแกรมสามารถเรียนรู้เข้าใจง่าย โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้และใช้งาน โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้และการใช้งาน และผู้ใช้งานจะแนะนำฐานความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์ให้กับผู้อื่น ในการประเมินผลความพึงพอใจจากผู้ใช้งานระบบ

จากการทดลองพบว่าค่าน้ำหนักในการประเมินที่ได้จากปัจจัยทั้ง 8 ปัจจัย ได้ผลการประเมินอยู่ในระดับดีในทุกปัจจัยการประเมิน เมื่อดูผลการประเมินในแต่ละข้อซึ่งได้ผลการประเมินเท่ากับ 88.67 เปอร์เซ็นต์ ระดับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยต่อผู้ใช้งานโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญเท่ากับ 4.43 คะแนน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความพึงพอใจต่อผู้ใช้งานโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญเฉลี่ยเท่ากับ 0.46 จากตัวแบบคำนวณค่าความพึ่งพอใจของระบบที่เกิดจากผู้ใช้งาน ดังนั้นจากตัวแบบสอบถามทั้ง 8 ปัจจัย รวมกันจึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ประเมินผลความสามารถของระบบโปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง จากแบบสอบถามปลายเปิดผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่าระบบสามารถเสนอแนวทางการแก้ปัญหาให้ผู้ใช้งานได้และผลลัพธ์ถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย

5.2.1 ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

5.2.1.1 การให้ค่าน้ำหนักในการประเมินประสิทธิภาพของโปรแกรมได้จากการคำนวณปัจจัยในการประเมินผลของโปรแกรมใน 8 ปัจจัย ซึ่งให้ผลจากการประเมินของผู้ใช้งานระบบโปรแกรมช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง ซึ่งได้ผลการประเมินเท่ากับ 88.67 เปอร์เซ็นต์ ระดับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยต่อผู้ใช้งานโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ 4.43 คะแนน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความพึงพอใจต่อผู้ใช้งานโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญเฉลี่ยเท่ากับ 0.46 ของผลการประเมินโดยรวม ซึ่งปัจจัยในการออกแบบมีจำนวนหลายปัจจัยซึ่งส่งผลทำให้การออกแบบแม่พิมพ์ผิดพลาดและเกิดความล่าช้าได้

5.2.1.2 ควรศึกษาข้อมูลการออกแบบผลิตภัณฑ์และคุณสมบัติของยางที่ใช้กระบวนการฉีดเพิ่มและศึกษาถึงผลกระทบของสูตรของยางและยางผสมเพื่อเป็นฐานข้อมูลของระบบโปรแกรม

5.2.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD)

5.2.2.1 ในการสำรวจเสียงความต้องการของผู้ใช้งานระบบโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางจะต้องได้รับความร่วมมือจากผู้ให้ข้อมูลอย่างดี เพื่อให้ได้มาของความต้องการที่หลากหลาย และต้องนำข้อมูลจากอดีต เช่น ประสบการณ์ที่ผ่านมาของผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์หรือผลิตภัณฑ์ยาง และความต้องการของลักษณะโปรแกรมที่จะออกแบบ รวมถึงโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการออกแบบในปัจจุบันและข้อจำกัดของโปรแกรมเชิงพาณิชย์ เป็นต้น

5.2.2.2 เนื่องจากความต้องการใช้งานอาจมีการเปลี่ยนแปลง และโปรแกรมในการออกแบบแม่พิมพ์อาจจะมีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นควรมีการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ในการพัฒนาระบบโปรแกรมในลักษณะที่มีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

5.2.2.3 ในอนาคตหากมีการนำข้อมูลของเทคนิค QFD ไปใช้ในการพัฒนาโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งสามารถนำข้อมูลการวิเคราะห์ในครั้งนี้เป็นข้อมูลอ้างอิง หรืออาจเอาไปประยุกต์ใช้งานต่อโดยการทบทวนความต้องการทางเทคนิคและข้อกำหนดคุณลักษณะของความสามารถของระบบโปรแกรมว่ายังสามารถใช้กับสถานการณ์ปัจจุบันได้หรือไม่ โดยความสามารถในการช่วยเหลือด้านการออกแบบและการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมเชิงพาณิชย์

5.2.2.4 ในการประเมินความสัมพันธ์ด้วยเทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ควรจะมีการระดมสมองในการให้คะแนน เพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาดอันเกิดจากการให้คะแนน เนื่องจากแต่ละคนอาจจะมีความคิดที่แตกต่างกัน

5.2.3 ข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ

5.2.3.1 การออกแบบแม่พิมพ์แต่ครั้งขึ้นอยู่กับความยากง่ายของชิ้นงาน ซึ่งมีผลต่อขนาดการว่างคาวิตี้ (Cavity) การออกแบบทางวิ่งของน้ำยาง (Runner) และการเลือกขนาดของฐานแม่พิมพ์ (Mold Base) ดังนั้นผู้ออกแบบแม่พิมพ์ที่ดีควรเข้าใจการออกแบบผลิตภัณฑ์ว่ารูปแบบของผลิตภัณฑ์มีรูปร่างแบบไหนบ้างและสามารถจัดแบ่งได้เป็นกี่กลุ่มตามรูปร่างของผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะทำให้การออกแบบแม่พิมพ์ง่ายขึ้น

5.2.3.2 ควรแบ่งกลุ่มของชิ้นส่วนมาตรฐานในการออกแบบแม่พิมพ์ตามกลุ่มของผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะทำให้ผู้ใช้งานสะดวก สามารถเลือกใช้ชิ้นส่วนแม่พิมพ์มาตรฐานและควรจัดเรียงชิ้นส่วนแม่พิมพ์ให้ง่ายต่อการประกอบเพื่อที่จะให้ผู้สนใจที่จะเรียนรู้เรื่องการออกแบบแม่พิมพ์เข้าใจเรื่องแม่พิมพ์ได้ง่ายขึ้น

5.2.3.3 ในส่วนโมดูลการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง จะต้องมีการนำเข้าข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ทันกับปัญหาต่าง ๆ ในการออกแบบแม่พิมพ์ที่พัฒนาตลอดเวลา

5.2.3.4 เนื่องจากงานวิจัยนี้สำรวจและอ้างอิงจากกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางและผู้ผลิตชิ้นงานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ยาง และวิศวกรที่ทำงานด้านการออกแบบแม่พิมพ์ ซึ่งในอุตสาหกรรมดังกล่าวข้อมูลส่วนมากจะเป็นความลับและเป็นข้อมูลที่ไม่ค่อยมีเผยแพร่ทั่วไป ดังนั้นข้อมูลที่ได้มาอาจจะยังไม่สมบูรณ์และต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลนาน

5.2.3.5 โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง ทางผู้วิจัยได้ศึกษาในกลุ่มอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ยาง ด้านออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางและออกแบบผลิตภัณฑ์ยาง และทดสอบการใช้งานจริงหากจะมีการปรับปรุงพัฒนาเพิ่มเติม ควรที่พัฒนาโปรแกรมอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะทำให้การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางง่ายทันกับการพัฒนาโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่ใช้ออกแบบแต่โปรแกรมเชิงพาณิชย์จะมีราคาแพงและมีลิขสิทธิ์

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

ชัยรัตน์ กิตติธรรมโรจน์. การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับวินิจฉัยข้อขัดข้องระบบทำความเย็น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

ชุกรี แดสา. การพัฒนาซอฟต์แวร์ช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ชนิดอัดขึ้นรูปสำหรับผลิตภัณฑ์ยาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2551.

บุญเจริญ ศิริเนาวกุล. ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานปัญญาประดิษฐ์และระบบผู้เชี่ยวชาญ. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2534.

_________. ปัญญาประดิษฐ์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท้อป, 2551.

พงศกร คำเกาะ. การพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) กรณีศึกษา : โรงงานผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2552.

พงษ์ธร แซ่อุย. ยาง ชนิด สมบัติการใช้งาน. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2547.

_________. สารเคมียาง. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2548.

มานพ เรี่ยวเดชะ. การนำเอาคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ยุทธ ไกยวรรณ์. วิเคราะหขอมูลวิจัย 4. กรุงเทพฯ : บริษัทพิมพ์ดีจำกัด, 2551.

วราภรณ์ ขจรไชยกุล. กระบวนการผลิตยาง : กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากยาง. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2552.

วันชัย ลีลากวีวงศ์. การพัฒนาโดยใช้เทคนิค การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) กรณีศึกษา โรงงานผลิตยางปูพื้นปลอดภัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิยาลัยศิลปากร, 2550.

วิเชียร เบญจวัฒนาผล. QFD กับบ้านคุณภาพ (House of Quality). กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2554.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ข้อมูลวิชาการยางพารา. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2555.

เสกสรรค์ วินยางค์กูล. การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานออกแบบและวิเคราะห์ในการหาสภาวะเหมาะสมในกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี. การผลิตยางธรรมชาติ (Natural Rubber Productions). สงขลา : ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2547.

อมรรัตน์ ปินตา. การปรับปรุงสินค้าโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD): กรณีศึกษาโรงงานผลิตของเล่นไม้เพื่อการศึกษา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2544.

Antonino Fiannaca, and et al. "An expert system hybrid architecture to support experiment management", International Expert Systems with Applications. 41(1): 1609-1621, 2014.

A. Skrobak, and et al. "Comparison of Mechanical Properties of Injection Molded and Compression Molded Rubber Samples", International journal of mechanics. 7(1): 409-416, 2013.

A. Tolga Bozdana, and et al. "Development of an expert system for the determination of injection moulding parameters of thermoplastic materials: EX-PIMM", Journal of Materials Processing Technology (J MATER PROCESS TECH). 18(3): 113-122, 2002.

Baba Md Deros. Application of Quality Function Deployment to Study Critical Service Quality Characteristics and Performance Measures", European Journal of Scientific Research. 33(3): 398-410, 2009.

C. K. Mok, K. S. Chin and J. K. L. Ho. "An Interactive Knowledge-Based CAD System For Mould Design in Injection Molding Processes", International journal advanced manufacturing technology. 17(2): 27-38, 2001.

C.K. Mok, K.S. Chin, and Hongbo Lana. "An Internet-based intelligent design system for injection molds", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 24(1): 1-15, 2008.

Chia-Feng Juang, Shui-Tien Huang and Fun-Bin Duh. Mold temperature control of a rubber injection-molding machine by TSK-type recurrent neural fuzzy network", International Neurocomputing. 70(1): 559-567, 2006.

Giarratano, Joseph C. Expert Systems: Principles and Programming. USA: PWS Publishing, 1994.

Hak-Soo Mok, Chang-Ho Kim, and Chang-Bong Kim. "Automation of mold designs with the reuse of standard parts", International Expert Systems with Applications. 38(3): 12537-12547, 2011.

J. A. Lindsay. Rubber Injection Moulding: A Practical Guide. Rapra Review Reports. 10(1): 109-110, 1999.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

John G. Sommer. Elastomer Molding Technology. Ohio: Hudson, 2003.

Jonas R, and et al. Parts suitable for injection molding, and optimum mould (G). Germany: Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen, 1978.

J.Y.H. Fuh, and et al. "A Windows-native 3D plastic injection mold design system", Journal of Materials Processing Technology. 139(3): 81-89, 2003.

J.Y.H. Y.F. Zhang, A.Y.C. Nee and M.W. Fu. Computer-aided injection mold design and Manufacture. New York: Marcel Dekker, 2004.

Kamil Kyas, et al. "Effect of Index of non-Newtonian Behavior on Curing Rate during Injection Molding of Rubber Compound", International journal of materials. 6(3): 17-24, 2014.

K. Kyas, M. and et al. "Influence of Runner section on Curing Rate during Injection Molding of NBR Compound," International journal of mechanics. 7(3): 242-250, 2013.

Luis M. Torres-Trevino, and et al. "An expert system for setting parameters in machining processes", International Expert Systems with Applications. 40(3): 6877-6884, 2013.

Matzler, H. and Hinterhuber, H. "How to Make Product Development Projects more Successful by integrating Kano's Model of Customer Satisfaction into Quality Function Deployment", Technovation. 18(12): 25-38, 1998.

M. C. Cakir, O. Irfan and K. Cavdar. "An expert system approach for die and mold making operations", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 21(1): 175-183, 2005.

M. Cemal Cakir, O. Irfan and K. Cavdar. "An expert system approach for die and mold making operations", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 21(1): 175-183, 2005.

M. J. Forrest. "Rubber Analysis - Polymers, Compounds and Products", Rapra Review Reports. 12(7): 1-156, 2001.

Mumtaz Ipek, and et al. "An expert system based material selection approach to manufacturing", Materials and Design. 47(1): 331–340, 2013.

Pedersen, Ken. Expert Systems Programming: Practical Techniques for Rule-Based Systems. New York: John Wiley & Sons, 1989.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

V. Naranje , and S. Kumar. “A knowledge based system for automated design of deep drawing die for axisymmetric parts”, International Expert Systems with Applications. 41(3): 1419-1431, 2014.

Yuan Guo, Jie Hu, and Yinghong Peng. “A CBR system for injection mould design based on ontology: A case study”, International Computer-Aided Design. 44(6): 496-508, 2012.

Yuzana Khin. An Expert System For Selection And Processing of Films and Foils for Flexible Packaging, Master’s Thesis. Thailand: Asian Institute Of Technology, 2000.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แบบประเมินเนื้อหาของฐานความรู้

แบบประเมินเนื้อหาของฐานความรู้

แบบสอบถามสำหรับผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการประเมินเนื้อหาความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง ทั้งในเรื่องความถูกต้องและความเหมาะสมของเนื้อหาเพื่อแก้ไขปรับปรุงฐานข้อมูลความรู้ในด้านเนื้อหาโดยอาศัยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญไปประกอบการประเมินประสิทธิภาพของเนื้อหา

วัตถุประสงค์ของแบบสอบถาม

1. เพื่อประเมินความถูกต้อง และความเหมาะสมของเนื้อหาในฐานข้อมูลความรู้
2. เพื่อให้ทราบถึงความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยางในภาคอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยางที่มีต่อฐานข้อมูลความรู้
3. เพื่อให้ทราบถึงข้อเสนอแนะและเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงเนื้อหาในฐานความรู้

แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นในการตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 2 ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับเนื้อหา

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

ผู้จัดทำ

นายชำนาญ ทองมาก

นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาวิศกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

<u>ตอนที่ 1</u> ข้อมูลเบื้องต้นในการตอบแบบสอบถาม

กรุณากรอกข้อมูลในช่องว่าง และขีดเครื่องหมาย ✓ ตามตัวเลือกที่ผู้ประเมินเห็นสมควร

☐ ก่อนการพัฒนาโปรแกรม ☐ หลังการพัฒนาโปรแกรม

1.1 เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

อายุ ☐ 21 – 30 ปี ☐ 31 – 40 ปี
☐ 41 – 50 ปี ☐ 51 – 60 ปี

1.2 ตำแหน่งปัจจุบัน...

1.2.1 ประสบการณ์การทำงานเกี่ยวกับยาง/ออกแบบ ....ปี

1.3 ภาระหน้าที่รับผิดชอบของผู้ประเมิน คือ

....

....

1.4 ระดับการศึกษา

☐ ปวช ☐ ปวส ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก
☐ อื่นๆ (โปรดระบุ)..

1.5 สาขาวิชาที่สำเร็จการศึกษา

....

....

1.6 ผู้ประเมินมีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง ในด้านใดบ้าง ดังต่อไปนี้ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

☐ การผลิต ☐ วิทยากรและอบรม ☐ ออกแบบแม่พิมพ์ ☐ ออกแบบผลิตภัณฑ์
☐ วิจัยและพัฒนา ☐ อื่นๆ(โปรดระบุ)...

1.7 ท่านมีระดับความรู้เกี่ยวกับระบบฐานข้อมูลความรู้ (Knowledge Based System) ระดับใด

❑ ไม่รู้จักเลย ❑ พอใช้ ❑ ปานกลาง ❑ ดี ❑ ดีมาก

1.8 ท่านรู้จักระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) มาก่อนหรือไม่

❑ รู้จัก ❑ ไม่รู้จัก

1.9 ท่านใช้ระบบเพื่อประโยชน์ในด้านใด

❑ ด้านการเรียนรู้ (ตอบเฉพาะตอนที่ 1) ❑ ด้านการใช้งาน (ตอบเฉพาะตอนที่ 2) ❑ ด้านการเรียนรู้และใช้งาน (ตอบทั้งตอนที่ 1 และ 2)

ตอนที่ 2 ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับเนื้อหา

คำชี้แจง กรุณากรอกข้อมูลในช่องว่าง และขีดเครื่องหมาย ✓ ตามตัวเลือกที่ผู้ประเมินเห็นสมควร

5 หมายความว่า ดีมาก

4 หมายความว่า ดี

3 หมายความว่า ปานกลาง

2 หมายความว่า พอใช้

1 หมายความว่า ปรับปรุง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับเนื้อหาสำหรับการเรียนรู้

ลำดับที่	หัวข้อประเมินด้านเนื้อหาสำหรับการเรียนรู้	ระดับเกณฑ์การพิจารณา				
		5	4	3	2	1
1	เนื้อหามีความน่าสนใจ					
2	เนื้อหามีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน					
3	มีการจัดเรียงเนื้อหาเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง					
4	มีการอธิบายเนื้อหาชัดเจนและเข้าใจง่าย					
5	สามารถเรียนรู้ได้ตลอดเวลา					
6	เนื้อหาสามารถเพิ่มทักษะในการเรียนรู้ด้านการออกแบบแม่พิมพ์					
7	ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบเพื่อการเรียนรู้					

ส่วนที่ 2 ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับเนื้อหาสำหรับการใช้งาน

ลำดับที่	หัวข้อประเมินด้านเนื้อหาสำหรับการใช้งาน	ระดับเกณฑ์การพิจารณา				
		5	4	3	2	1
1	โปรแกรมมีความน่าสนใจ					
2	โปรแกรมมีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน					
3	โปรแกรมใช้งานง่ายและสะดวก					
4	โปรแกรมสามารถรองรับโปรแกรมเชิงพาณิชย์อื่น/ความยืดหยุ่น					
5	โปรแกรมมีการโต้ตอบสามารถให้คำแนะนำในการออกแบบได้					
6	โปรแกรมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบแม่พิมพ์					
7	ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบ					

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะ...

....

....

....

....

....

....

....

ภาคผนวก ข

แบบประเมินความพึงพอใจโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

แบบประเมินความพึงพอใจโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

แบบสอบถามสำหรับผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้จัดทำขึ้นโดยผู้ออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อประเมินความพึงพอใจของระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง ในการใช้งานในด้านต่าง ๆ เพื่อสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

วัตถุประสงค์ของแบบสอบถาม

1. เพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญ
2. เพื่อให้ทราบถึงความคิดเห็นต่อการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญในด้านการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง
3. เพื่อให้ทราบถึงข้อเสนอแนะและเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงเนื้อหาในฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญ

แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นในการตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 2 ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

ผู้จัดทำ

นายชำนาญ ทองมาก

นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาวิศกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

<u>ตอนที่ 1</u> ข้อมูลเบื้องต้นในการตอบแบบสอบถาม

กรุณากรอกข้อมูลในช่องว่าง และขีดเครื่องหมาย ✓ ตามตัวเลือกที่ผู้ประเมินเห็นสมควร

❑ ก่อนการพัฒนาโปรแกรม ❑ หลังการพัฒนาโปรแกรม

1.1 ผู้ประเมินมีประสบการณ์ในการทำงานเกี่ยวกับอุตสาหกรรมการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

❑ 0 ปี ❑ 1 – 3 ปี ❑ 4 – 6 ปี ❑ 6 – 9 ปี ❑ มากกว่า 9 ปี

1.2 ระดับการศึกษา

❑ ปวช ❑ ปวส ❑ ปริญญาตรี ❑ ปริญญาโท ❑ ปริญญาเอก

❑ อื่นๆ(โปรดระบุ)..

1.3 สาขาวิชาที่สำเร็จการศึกษา

....

....

1.4 ผู้ประเมินมีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง ในด้านใดบ้าง ดังต่อไปนี้ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

❑ การผลิต ❑ วิทยากรและอบรม

❑ ออกแบบแม่พิมพ์ ❑ ออกแบบผลิตภัณฑ์

❑ วิจัยและพัฒนา ❑ อื่นๆ(โปรดระบุ) ....

1.5 ท่านรู้จักระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) มาก่อนหรือไม่

❑ รู้จัก ❑ ไม่รู้จัก

<u>ตอนที่ 2</u> ข้อมูลความคิดเห็นแบบประเมินความพึงพอใจโปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

<u>คำชี้แจง</u> กรุณากรอกข้อมูลในช่องว่าง และขีดเครื่องหมาย ✓ ตามตัวเลือกที่ผู้ประเมินเห็นสมควร

5 หมายความว่า ดีมาก

4 หมายความว่า ดี

3 หมายความว่า ปานกลาง

2 หมายความว่า พอใช้

1 หมายความว่า ปรับปรุง

ส่วนที่ 1 ความพึงพอใจโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

ลำดับที่	หัวข้อการประเมิน	ระดับเกณฑ์การพิจารณา				
		5	4	3	2	1
1	โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้/ใช้งาน					
2	โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาถูกต้องเหมาะสม					
3	โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง					
4	โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที					
5	โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย					
6	โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้/ใช้งาน					
7	โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/การใช้งาน					
8	ผู้ใช้งานจะแนะนำฐานความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์นี้ให้กับผู้อื่น ❑ แนะนำ ❑ ไม่แนะนำ					

<u>ตอนที่ 3</u> ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะ...

....

....

....

....

....

ภาคผนวก ค

แบบประเมินเนื้อหาโปรแกรมเชิงพาณิชย์เกี่ยวกับฐานความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

แบบประเมินเนื้อหาโปรแกรมเชิงพาณิชย์เกี่ยวกับฐานความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

แบบสอบถามสำหรับผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการประเมินเนื้อหาความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง ทั้งในเรื่องความถูกต้องและความเหมาะสมของเนื้อหาเพื่อแก้ไขปรับปรุงฐานข้อมูลความรู้ในด้านเนื้อหาโดยอาศัยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญไปประกอบการประเมินประสิทธิภาพของเนื้อหา

วัตถุประสงค์ของแบบสอบถาม

1. เพื่อประเมินความต้องการของผู้ใช้งานโปรแกรมออกแบบแม่พิมพ์ยางเชิงพาณิชย์เกี่ยวกับฐานข้อมูลความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง
2. เพื่อให้ทราบถึงความคิดเห็นของวิศวกรหรือผู้ใช้งานโปรแกรมในด้านการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางในภาคอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยาง ที่มีต่อฐานข้อมูลความรู้ของโปรแกรมออกแบบเชิงพาณิชย์ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง
3. เพื่อให้ทราบถึงข้อเสนอแนะและเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงเนื้อหาในฐานความรู้ของโปรแกรมที่ผู้วิจัยจะทำการพัฒนา

แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นในการตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 2 ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับเนื้อหาโปรแกรมออกแบบเชิงพาณิชย์สำหรับออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

ผู้จัดทำ

นายชำนาญ ทองมาก

นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาวิศกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

<u>ตอนที่ 1</u> ข้อมูลเบื้องต้นในการตอบแบบสอบถาม

กรุณากรอกข้อมูลในช่องว่าง และขีดเครื่องหมาย ✓ ตามตัวเลือกที่ผู้ประเมินเห็นสมควร

1.1 เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

อายุ ☐ 21 – 30 ปี ☐ 31 – 40 ปี

☐ 41 – 50 ปี ☐ 51 – 60 ปี

1.2 ตำแหน่งปัจจุบัน...

1.2.1 ประสบการณ์การทำงานเกี่ยวกับยาง/ออกแบบ ....ปี

1.3 ภาระหน้าที่รับผิดชอบของผู้ประเมิน คือ

....

....

1.4 ระดับการศึกษา

☐ ปวช ☐ ปวส ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก

☐ อื่นๆ(โปรดระบุ)...

1.5 สาขาวิชาที่สำเร็จการศึกษา

....

....

1.6 ผู้ประเมินมีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง ในด้านใดบ้าง ดังต่อไปนี้ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

☐ การผลิต ☐ วิทยากรและอบรม ☐ ออกแบบแม่พิมพ์ ☐ ออกแบบผลิตภัณฑ์

☐ วิจัยและพัฒนา ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ) ....

1.7 ท่านมีระดับความรู้เกี่ยวกับระบบฐานข้อมูลความรู้ (Knowledge Based System) ระดับใด

☐ ไม่รู้จักเลย ☐ พอใช้ ☐ ปานกลาง ☐ ดี ☐ ดีมาก

1.8 ท่านรู้จักระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) มาก่อนหรือไม่

❑ รู้จัก ❑ ไม่รู้จัก

1.9 ท่านใช้ระบบเพื่อประโยชน์ในด้านใด

❑ ด้านการเรียนรู้ (ตอบเฉพาะตอนที่ 1) ❑ ด้านการใช้งาน (ตอบเฉพาะตอนที่ 2) ❑ ด้านการเรียนรู้และใช้งาน (ตอบทั้งตอนที่ 1 และ 2)

ตอนที่ 2 ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับเนื้อหา

คำชี้แจง กรุณากรอกข้อมูลในช่องว่าง และขีดเครื่องหมาย ✓ ตามตัวเลือกที่ผู้ประเมินเห็นสมควร

5 หมายความว่า ดีมาก

4 หมายความว่า ดี

3 หมายความว่า ปานกลาง

2 หมายความว่า พอใช้

1 หมายความว่า ปรับปรุง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับเนื้อหาสำหรับการเรียนรู้ของโปรแกรมออกแบบเชิงพาณิชย์ในการสนับสนุนออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

ลำดับที่	หัวข้อประเมินด้านเนื้อหาสำหรับการเรียนรู้	ระดับเกณฑ์การพิจารณา				
		5	4	3	2	1
1	เนื้อหามีความน่าสนใจ					
2	เนื้อหามีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน					
3	มีการจัดเรียงเนื้อหาเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง					
4	มีการอธิบายเนื้อหาชัดเจนและเข้าใจง่าย					
5	สามารถเรียนรู้ได้ตลอดเวลา					
6	เนื้อหาสามารถเพิ่มทักษะในการเรียนรู้ด้านการออกแบบแม่พิมพ์					
7	ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบเพื่อการเรียนรู้					

ส่วนที่ 2 ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับเนื้อหาสำหรับการใช้งานของโปรแกรมออกแบบเชิงพาณิชย์ในการสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

ลำดับที่	หัวข้อประเมินด้านเนื้อหาสำหรับการใช้งาน	ระดับเกณฑ์การพิจารณา				
		5	4	3	2	1
1	โปรแกรมมีความน่าสนใจ					
2	โปรแกรมมีองค์ประกอบย่อยครบถ้วน					
3	โปรแกรมใช้งานง่ายและสะดวก					
4	โปรแกรมสามารถรองรับโปรแกรมเชิงพาณิชย์อื่น/ความยืดหยุ่น					
5	โปรแกรมมีการโต้ตอบสามารถให้คำแนะนำในการออกแบบได้					
6	โปรแกรมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบแม่พิมพ์					
7	ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบ					

<u>ตอนที่ 3</u> ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะ...

....

....

....

....

....

....

....

ภาคผนวก ง
แบบประเมินความพึงพอใจโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่ช่วยสนับสนุนการออกแบบ แม่พิมพ์ฉีดยาง

แบบประเมินความพึงพอใจโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่ช่วยสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

แบบสอบถามสำหรับผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

คำชี้แจง แบบสอบถามชุดนี้จัดทำขึ้นโดยผู้ออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อประเมินความพึงพอใจของระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางโดยการใช้โปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์ยางเชิงพาณิชย์

วัตถุประสงค์ของแบบสอบถาม

1. เพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานโปรแกรมออกแบบเชิงพาณิชย์ในการสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง
2. เพื่อให้ทราบถึงความคิดเห็นต่อการใช้งานโปรแกรมเชิงพาณิชย์ในด้านการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง
3. เพื่อให้ทราบถึงข้อเสนอแนะและเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงเนื้อหาในฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยางที่ผู้วิจัยทำการพัฒนา

แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นในการตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 2 ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมเชิงพาณิชย์ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

ผู้จัดทำ
นายชำนาญ ทองมาก
นักศึกษาปริญญาเอก ภาควิชาวิศกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

<u>ตอนที่ 1</u> ข้อมูลเบื้องต้นในการตอบแบบสอบถาม

กรุณากรอกข้อมูลในช่องว่าง และขีดเครื่องหมาย ✓ ตามตัวเลือกที่ผู้ประเมินเห็นสมควร

1.1 ผู้ประเมินมีประสบการณ์ในการทำงานเกี่ยวกับอุตสาหกรรมการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

❑ 0 ปี ❑ 1 – 3 ปี ❑ 4 – 6 ปี ❑ 6 – 9 ปี ❑ มากกว่า 9 ปี

1.2 ระดับการศึกษา

❑ ปวช ❑ ปวส ❑ ปริญญาตรี ❑ ปริญญาโท ❑ ปริญญาเอก

❑ อื่นๆ(โปรดระบุ)..

1.3 สาขาวิชาที่สำเร็จการศึกษา

....

....

1.4 ผู้ประเมินมีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปยาง ในด้านใดบ้าง ดังต่อไปนี้ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

❑ การผลิต ❑ วิทยากรและอบรม

❑ ออกแบบแม่พิมพ์ ❑ ออกแบบผลิตภัณฑ์

❑ วิจัยและพัฒนา ❑ อื่นๆ (โปรดระบุ)...

1.5 ท่านรู้จักระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) มาก่อนหรือไม่

❑ รู้จัก ❑ ไม่รู้จัก

<u>ตอนที่ 2</u> ข้อมูลความคิดเห็นแบบประเมินความพึงพอใจโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่ช่วยสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

<u>คำชี้แจง</u> กรุณากรอกข้อมูลในช่องว่าง และขีดเครื่องหมาย ✓ ตามตัวเลือกที่ผู้ประเมินเห็นสมควร

5 หมายความว่า ดีมาก

4 หมายความว่า ดี

3 หมายความว่า ปานกลาง

2 หมายความว่า พอใช้

1 หมายความว่า ปรับปรุง

ส่วนที่ 1 ความพึงพอใจโปรแกรมเชิงพาณิชย์ในการสนับสนุนการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดยาง

ลำดับที่	หัวข้อการประเมิน	ระดับเกณฑ์การพิจารณา				
		5	4	3	2	1
1	โปรแกรมมีความน่าสนใจต่อการเรียนรู้/ใช้งาน					
2	โปรแกรมมีการจัดหมวดหมู่ของเนื้อหาถูกต้องเหมาะสม					
3	โปรแกรมมีการจัดเรียงเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง					
4	โปรแกรมสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานแบบทันที					
5	โปรแกรมสามารถเรียนรู้ได้เข้าใจง่าย					
6	โปรแกรมตรงตามความต้องการเรียนรู้/ใช้งาน					
7	โปรแกรมสามารถเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้/การใช้งาน					
8	ผู้ใช้งานจะแนะนำฐานความรู้ในการออกแบบแม่พิมพ์นี้ให้กับผู้อื่น ❑ แนะนำ ❑ ไม่แนะนำ					

<u>ตอนที่ 3</u> ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะ...

....

....

....

....

....

ภาคผนวก จ
คู่มือการใช้งานระบบโปรแกรม

USER MANUAL PROGRAM

THE RUBBER INJECTION MOLD DESIGN USING AN EXPERT SYSTEM

CONTENTS

1. PRE-REQUISITION
2. NEW REGISTRATION
3. LOGIN
4. VIEW REPORT ANALYSIS
5. VIEW REPORT ALL
6. PRINT REPORT ANALYSIS
7. PRINT REPORT ALL
8. COMPONENT PART DESIGN
9. CALCULATE MOLD DESIGN

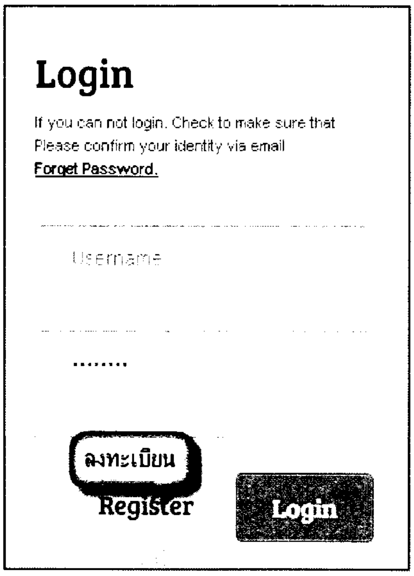
Design Process No.:	Pre-requisition
Description:	ความต้องการเบื้องต้น

1. User จะต้องใช้ Internet Explorer 8 ขึ้นไปในการเปิดไฟล์ Excel เพื่อทำการคำนวณค่าจากระบบ ทั้งนี้เป็นข้อจำกัดของตัว Browser อื่น ๆ ที่ไม่สามารถทำได้ โดยสามารถ download IE 8 ได้จาก Microsoft กรณีเป็น Windows XP สามารถ download ได้ที่ http://www.microsoft.com/en-us/download/confirmation.aspx?id=43
2. กรณีที่ใช้ระบบโปรแกรม Google Chrome สามารถเปิดโปรแกรมได้เลย และระบบจะ Download files มาไว้ที่เครื่องผู้ใช้งาน (User) โดยอัตโนมัติ

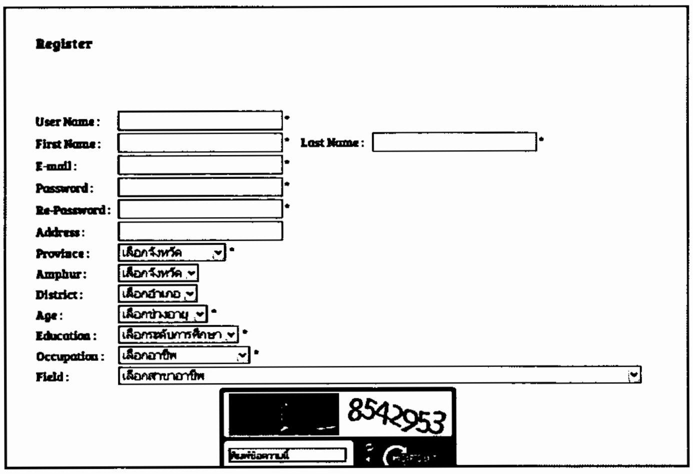
Design Process No.:	New Registration
Description:	การสมัครสมาชิกใหม่

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ประกอบด้วย

1. การเข้าหน้าจอเพื่อสมัครสมาชิก เข้าไปที่ www.rubber-molddesign.com
2. กดปุ่ม Register เพื่อลงทะเบียน



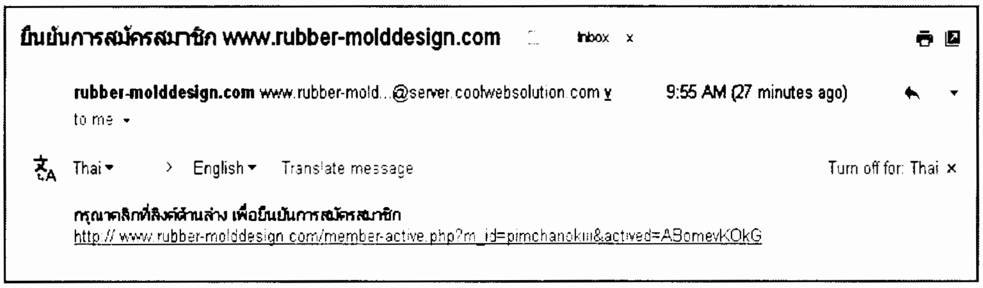
3. กรอกข้อมูลประวัติผู้ใช้งานระบบสนับสนุนการออกแบบตามความเป็นจริง



ตารางที่ 1 คำอธิบายรายละเอียดฟิลด์

Field	**Description**
User Name	ชื่อที่ต้องการใช้เข้า Log in
First Name	ชื่อ
Last Name	นามสกุล
E-mail	อีเมลที่ถูกต้อง
Password	รหัสผ่านที่ต้องการ
Re-Password	ยืนยันรหัสผ่าน
Address	ที่อยู่
Province	เลือกจังหวัด
Amphur	เลือกอำเภอ
District	เลือกตำบล
Age	เลือกช่วงอายุ
Education	เลือกระดับการศึกษา
Occupation	เลือกอาชีพ
Field	เลือกสาขาอาชีพ
รหัสยืนยัน	พิมพ์ตัวเลขยืนยันว่าไม่ใช่หุ่นยนต์

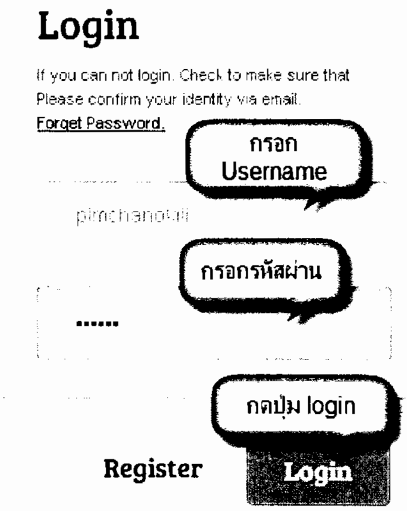
1. เมื่อกรอกข้อมูลครบถ้วน ให้ทำการยืนยัน E-Mail ซึ่งเป็น E-Mail ที่แจ้งไว้ในระบบ แล้วทำการ Login และให้ทำการคลิกลิงค์เพื่อยืนยัน E-Mail เพื่อ Login ระบบโปรแกรม



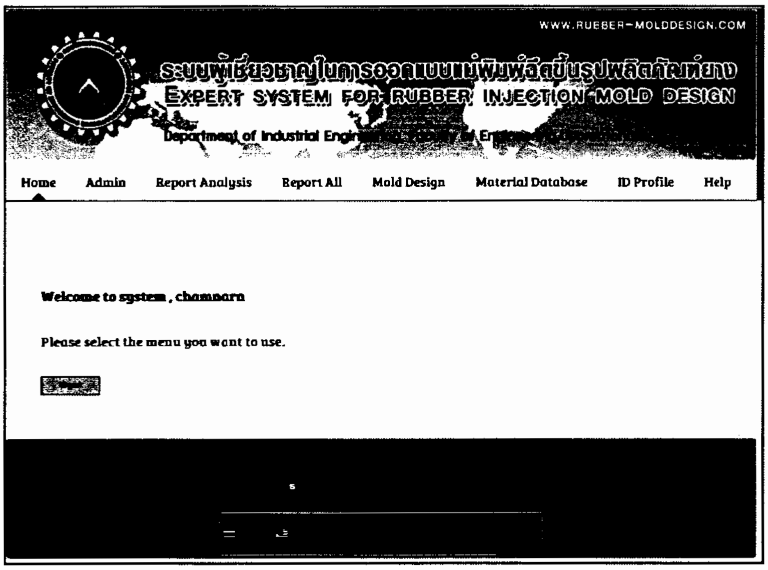
Design Process No.:	**Login**
Description:	การเข้าระบบ

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ประกอบด้วย

1. การเข้าหน้าจอ login เพื่อเข้าสู่ระบบ โดยให้กรอก user name และ password ที่ได้ระบุไว้ตอนสมัครตอนแรก จากนั้นกดปุ่ม login



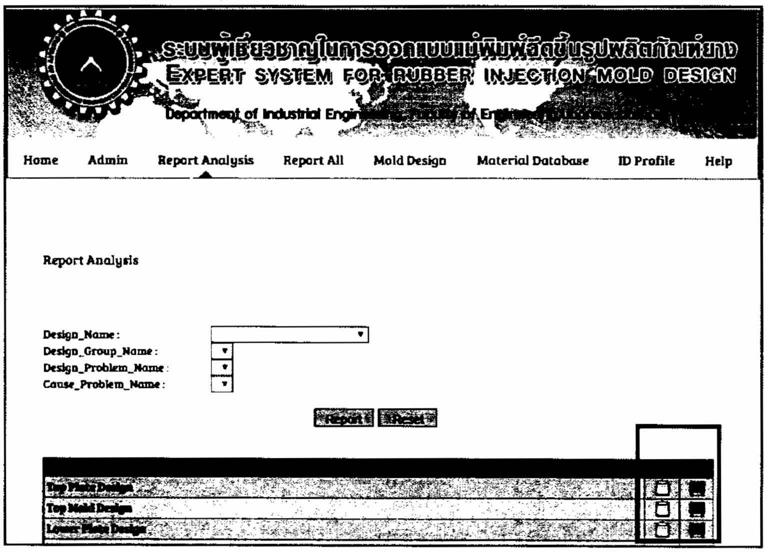
2. เข้าสู่ระบบโปรแกรม ระบบจะแสดงหน้าจอดังภาพ



Design Process No.:	**View Report Analysis**
Description:	ส่วนสนับสนุนการออกแบบ (ดูรายงานวิเคราะห์)

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ประกอบด้วย

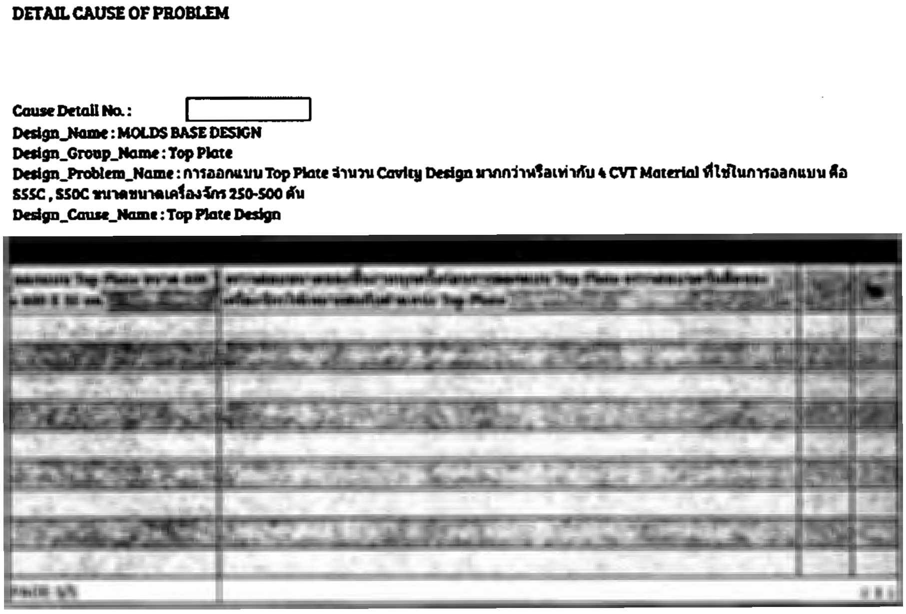
1. เลือกเมนู Report Analysis แล้วดูที่ส่วนของ Cause Problem Name เพื่อเข้าไปดู Cause (สาเหตุของปัญหา) และ Effect (ผลกระทบ)



ตารางที่ 2 คำอธิบายรายละเอียดเมนู Report Analysis

Field	**Description**
No.	แสดงลำดับที่
Cause Problem Name	แสดงชื่อกลุ่มของสาเหตุ
Cause	รายละเอียดของสาเหตุ
Effect	รายละเอียดของผลกระทบ

2. กดปุ่ม Cause เพื่อดูรายละเอียดของสาเหตุของกลุ่มนั้น ๆ แสดงหน้าจอดังรูป

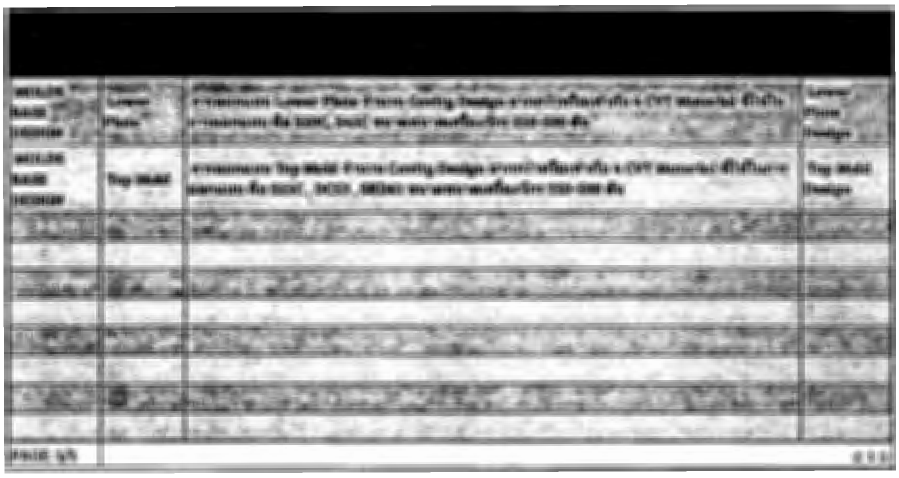


ตารางที่ 3 คำอธิบายรายละเอียดของสาเหตุของการออกแบบ

Field	**Description**
No.	แสดงลำดับที่
Diagnose	แสดงการวินิจฉัย/สาเหตุ
Check	แสดงข้อมูลการตรวจสอบ
Repair	แสดงการแก้ไขข้อมูล

3. กดปุ่ม Effect เพื่อดูผลกระทบของสาเหตุของกลุ่มนั้น ๆ ว่าจะกระทบกับ Design ตัวไหนบ้าง แสดงหน้าจอดังรูป

Design_Name : MOLDS BASE DESIGN
Design_Group_Name : Top Plate
Design_Problem_Name : การออกแบบ Top Plate จำนวน Cavity Design มากกว่าหรือเท่ากับ 4 CVT Material ที่ใช้ในการออกแบบ คือ SS5C , S50C ขนาดขนาดเครื่องจักร 250-500 ตัน
Cause_Problem_Name : Top Plate Design
Effect to



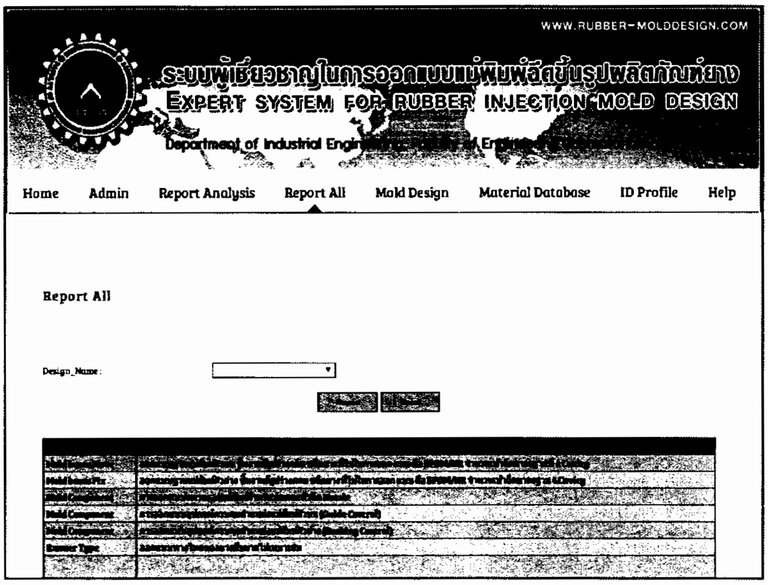
ตารางที่ 4 คำอธิบายรายละเอียดของ Effect เพื่อดูผลกระทบของสาเหตุของการออกแบบ

Field	**Description**
No.	แสดงลำดับที่
Design Name	แสดงชื่อ Design ที่ได้รับผลกระทบ
Design Group Name	แสดงชื่อกลุ่ม Design ที่ได้รับผลกระทบ
Design Problem Name	แสดงชื่อปัญหาที่ได้รับผลกระทบ
Cause Problem Name	แสดงกลุ่มของสาเหตุที่ได้รับผลกระทบ

Design Process No.:	**View Report All**
Description:	ส่วนสนับสนุนการออกแบบ (ดูรายงานทั้งหมด)

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ประกอบด้วย

1. เลือกเมนู Report All ระบบจะแสดงรายการข้อมูล Design ทั้งหมดที่มี



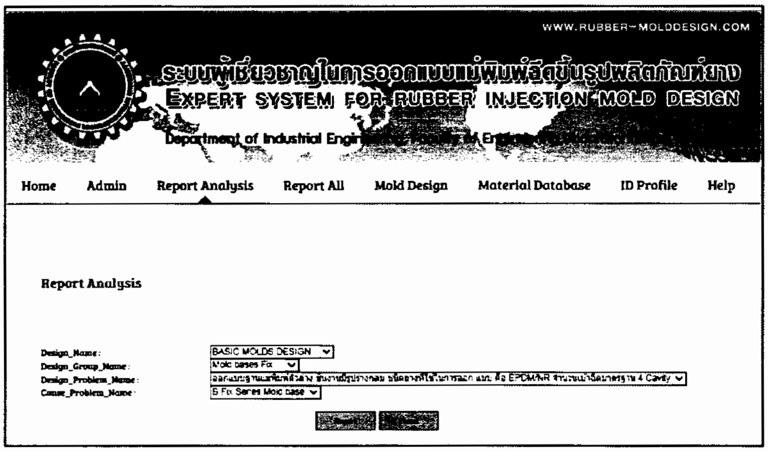
ตารางที่ 5 ความหมายของข้อมูลในระบบเมนู Report All

Field	**Description**
No.	แสดงลำดับที่
Design Group	แสดงชื่อกลุ่ม Design
Design Problem	แสดงชื่อปัญหา

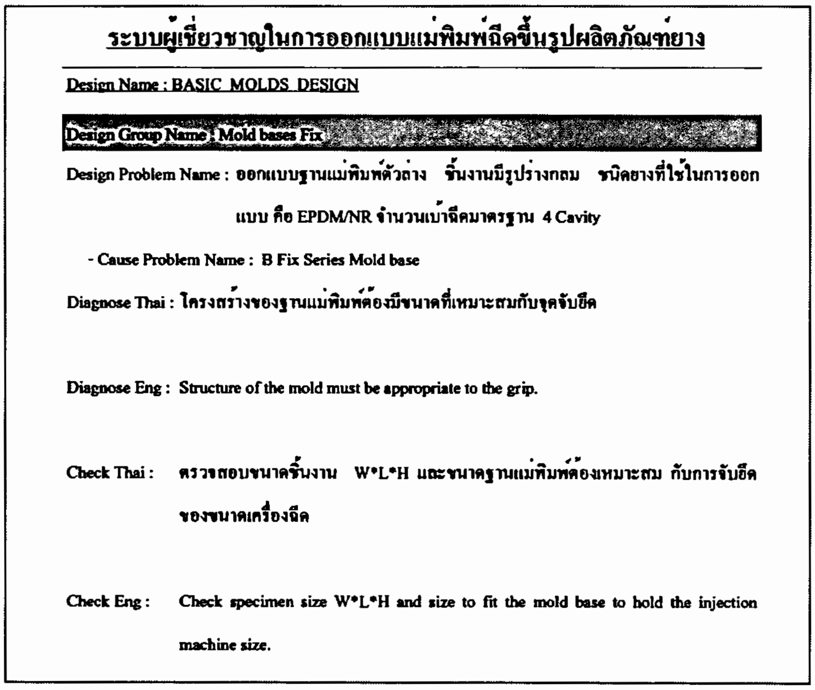
Design Process No.:	Print Report Analysis
Description:	ส่วนสนับสนุนการออกแบบ (พิมพ์รายงานวิเคราะห์)

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ประกอบด้วย

1. เลือกเมนู Report Analysis แล้วเลือก field ทุก field ที่มีข้อมูล



2. กดปุ่ม Report เพื่อ print จะได้ข้อมูลดังรูป



ระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

Design Name : BASIC MOLDS DESIGN

Design Group Name : Mold bases Fix

Design Problem Name : ออกแบบฐานแม่พิมพ์ตัวล่าง ชิ้นงานมีรูปร่างกลม ชนิดยางที่ใช้ในการออกแบบ คือ EPDM/NR จำนวนเบ้าฉีดมาตรฐาน 4 Cavity

- Cause Problem Name : B Fix Series Mold base

Diagnose Thai : โครงสร้างของฐานแม่พิมพ์ต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับจุดจับยึด

Diagnose Eng : Structure of the mold must be appropriate to the grip.

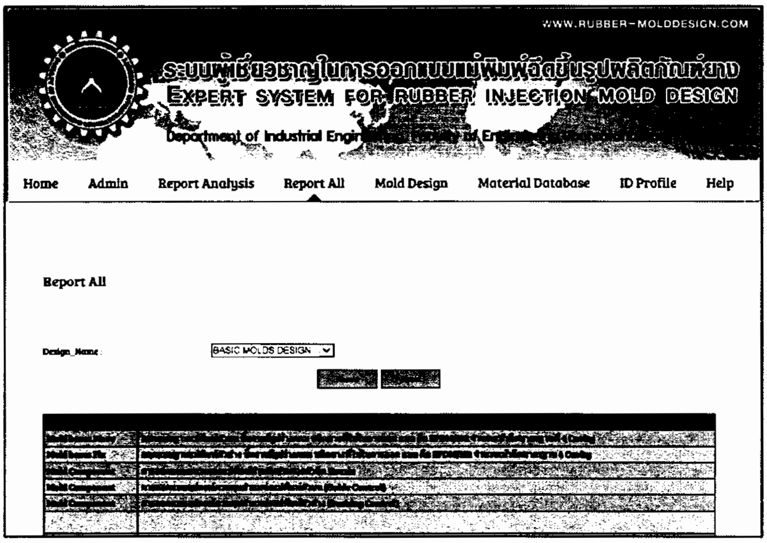
Check Thai : ตรวจสอบขนาดชิ้นงาน W*L*H และขนาดฐานแม่พิมพ์ต้องเหมาะสม กับการจับยึดของขนาดเครื่องฉีด

Check Eng : Check specimen size W*L*H and size to fit the mold base to hold the injection machine size.

Design Process No.:	**Print Report All**
Description:	ส่วนสนับสนุนการออกแบบ (ดูรายงานทั้งหมด)

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ประกอบด้วย

1. เลือกเมนู Report All แล้วเลือก Design ที่ต้องการ (ต้องการดู Report ทั้งหมดในระบบ)



2. เลือกปุ่ม Report เพื่อ Print จะได้ข้อมูลดังรูป

ระบบผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

Design Name : Molds Base Design

Design Group Name : Mold Component

Design Group Name : Mold bases Fix

Design Problem Name : ออกแบบฐานแม่พิมพ์ตัวล่าง ชิ้นงานมีลักษณะกลม ชนิดยางที่ใช้ในการออกแบบ คือ EPDM จำนวนเบ้าฉีด 2 Cavity

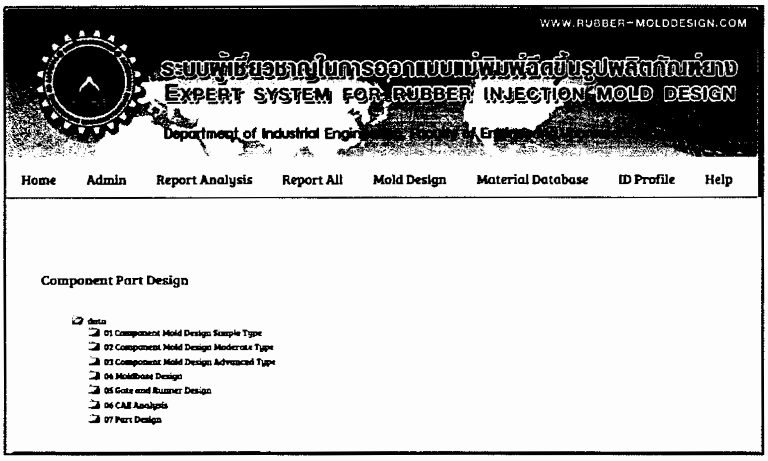
Design Group Name : Mold bases Move

Design Problem Name : ออกแบบฐานแม่พิมพ์ตัวบน ชิ้นงานกลมยางชนิด EPDM จำนวนเบ้า ฉีด 2 Cavity

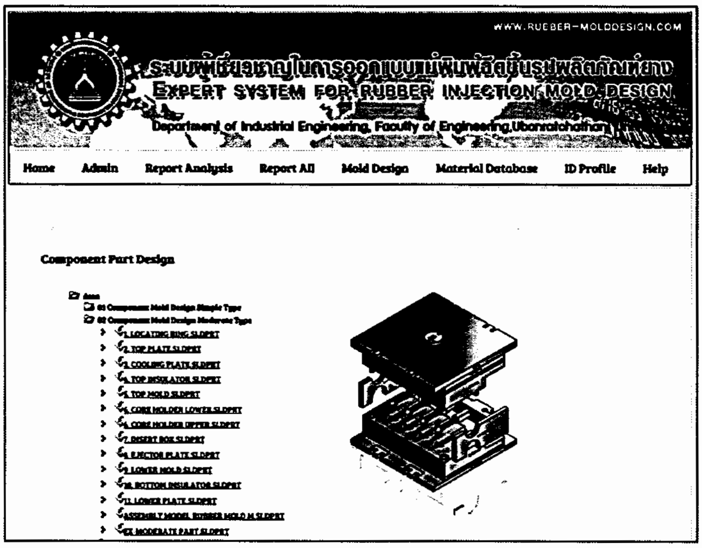
Design Process No.:	Component Part Design
Description:	ส่วนการออกแบบแม่พิมพ์

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ประกอบด้วย

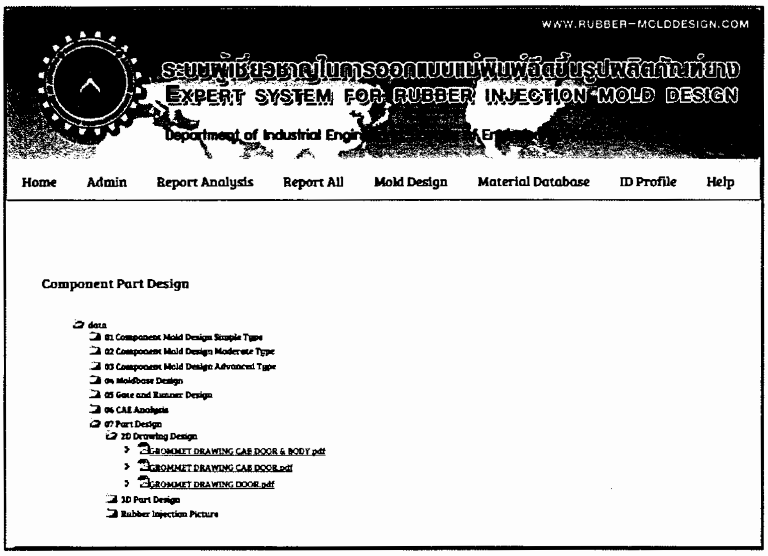
1. เลือกเมนู Mold Design เลือก Sub menu # Component Part Design สามารถเลือกได้โดยการ Interface กับโปรแกรม Solid Work



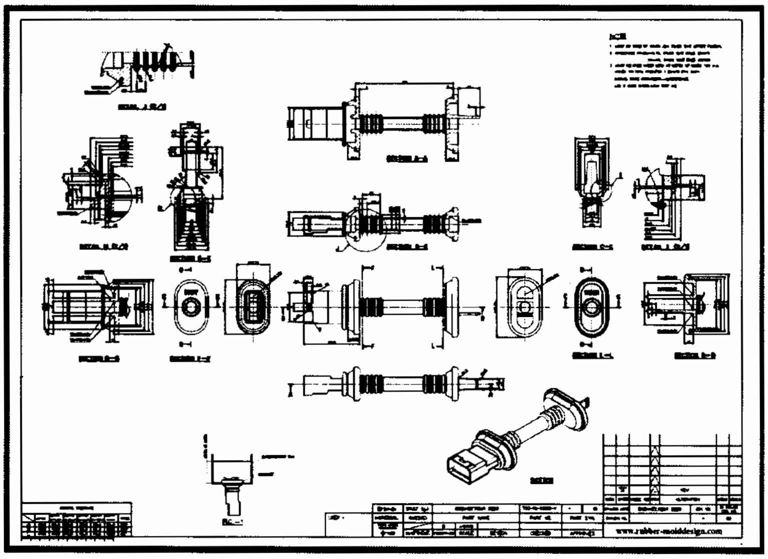
2. เลือกแม่พิมพ์ที่ต้องการตามชิ้นงานโดยแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ Component mold design sample, Component mold design moderate, Component mold design advanced ซึ่งผู้ออกแบบควรเลือกตามความยากง่ายของชิ้นงาน และสามารถปรับเปลี่ยนขนาดของชิ้นส่วนแม่พิมพ์



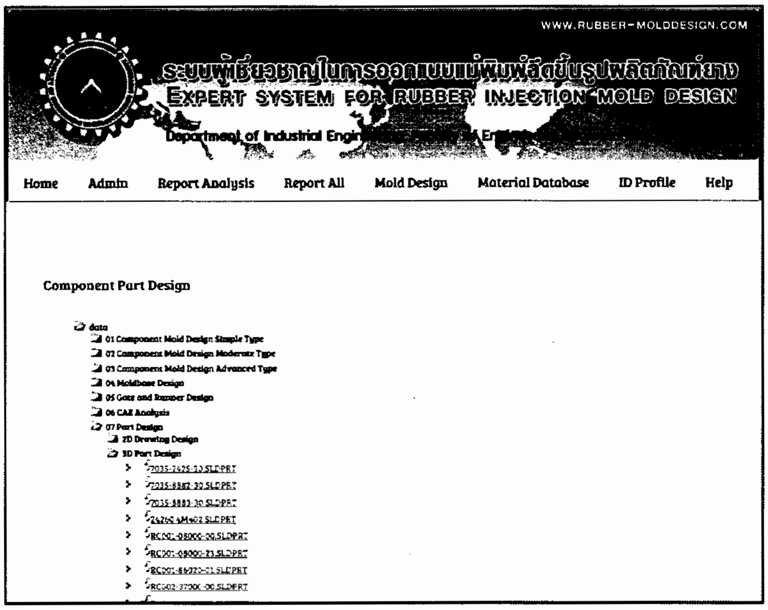
3. เลือกไฟล์ในส่วนของ Part Design เพื่อดูตัวอย่างการทำ drawing rubber part กดเลือกไฟล์ที่ต้องการแล้วเปิดด้วยโปรแกรมที่เปิดไฟล์ drawing ได้



3.1 ตัวอย่าง 2D Drawing ที่แสดงในระบบ ระบบแสดงไฟล์ drawing ขึ้นมา



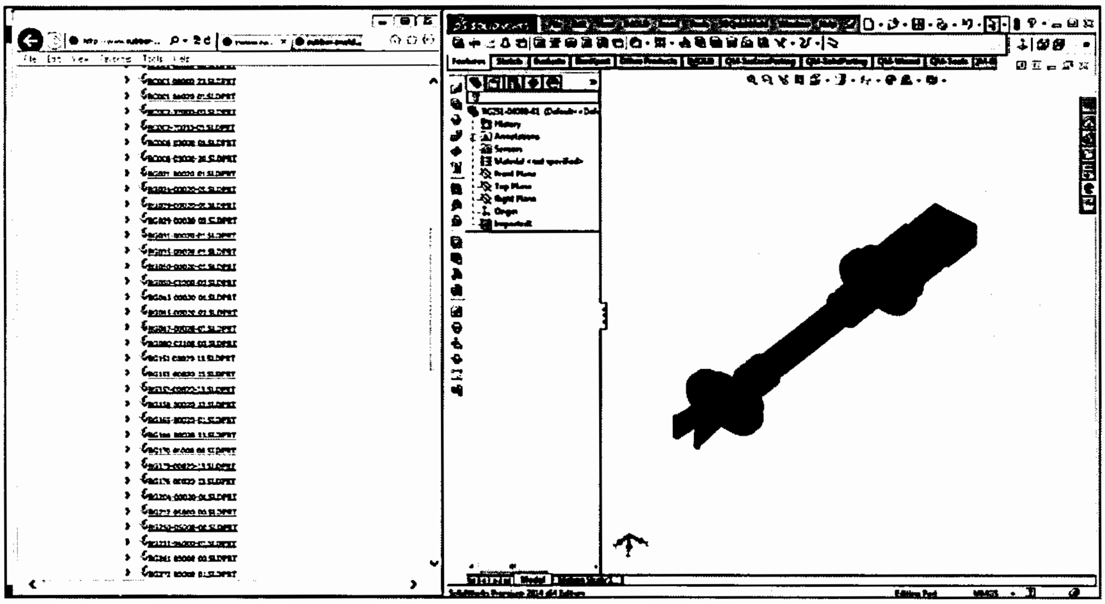
4. โมดูลตัวอย่างการออกแบบผลิตภัณฑ์ยาง 3D Part (3D Part Design) เป็นชิ้นส่วนมาตรฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งเป็นการรวบรวมการออกแบบผลิตภัณฑ์ยาง



4.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยาง 3D Part (3D Part Design) ที่แสดงในฐานข้อมูล ระบบจะแสดงไฟล์ชิ้นงานเพื่อที่ให้ผู้ใช้งานแก้ไขขนาดชิ้นงานตามที่ต้องการ

4.2 Interface โปรแกรม Solid Work Software เพื่อแก้ไขขนาดชิ้นงาน

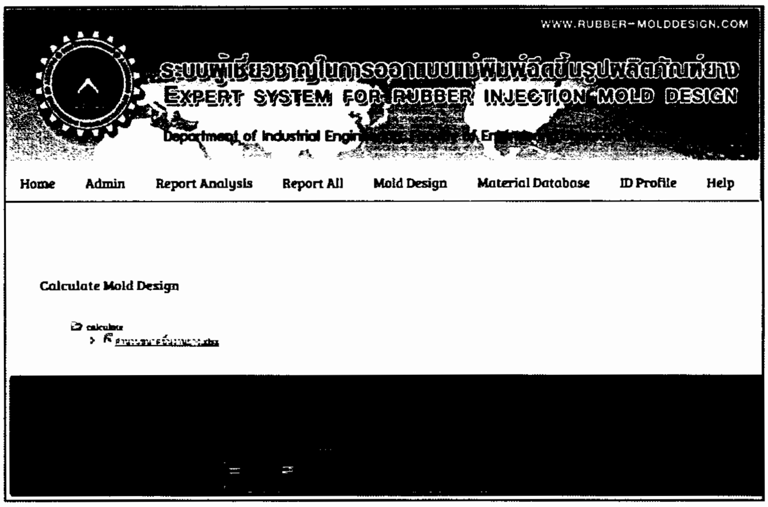
4.3 การออกแบบ Insert Box โดยการเรียกใช้โปรแกรมเชิงพาณิชย์เพื่อสร้างชิ้นส่วน Core และ Cavity ของแม่พิมพ์



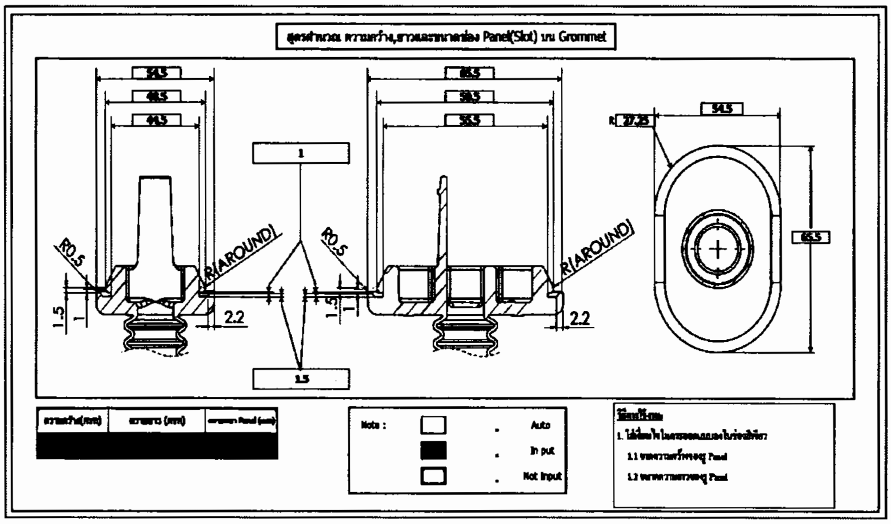
Design Process No.:	**Calculate Mold Design**
Description:	ส่วนการคำนวณ Mold Design

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ประกอบด้วย

1. เลือกเมนู Mold Design เลือก Sub menu Calculate Mold Design



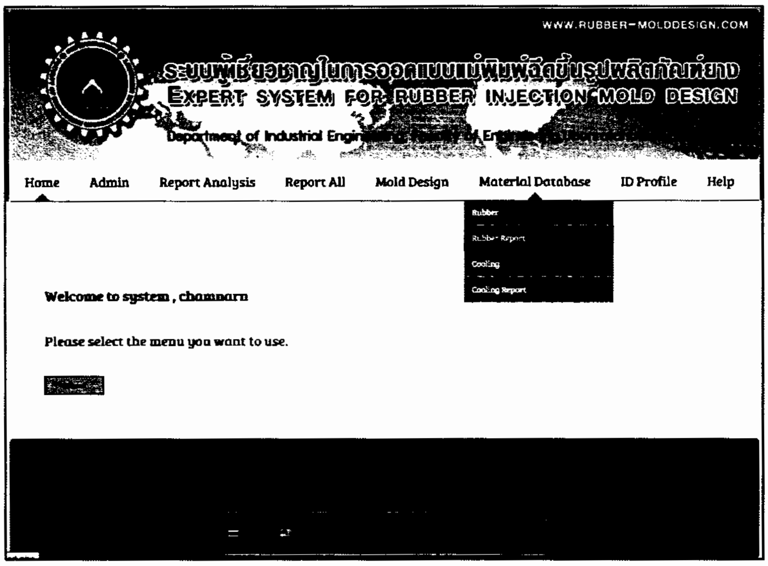
2. เลือกไฟล์ที่ต้องการเปิด ระบบจะแสดงไฟล์ขึ้นมาจากนั้นให้ทำการเปิดไฟล์ โดยการกดปุ่ม Open
3. ระบบเปิดไฟล์ข้อมูลดังรูป และ User สามารถทำการคำนวณ File Excel ในระบบ ดังรูปแสดงการคำนวณการออกแบบขนาดที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ยาง



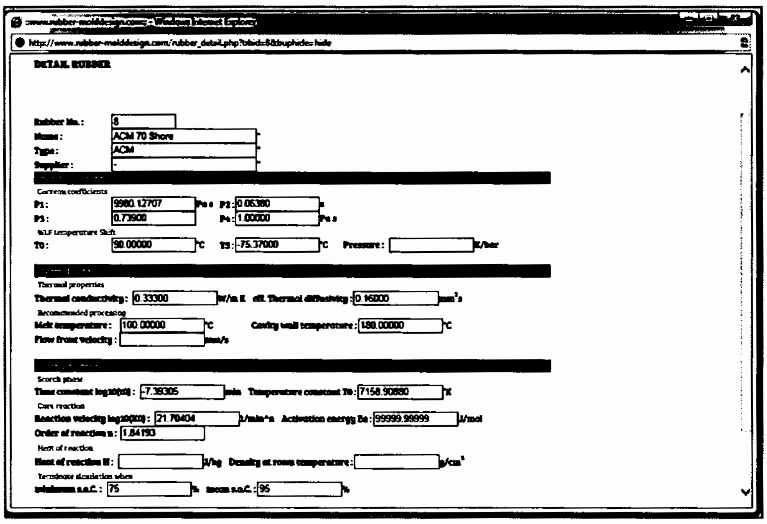
Design Process No.:	**Rubber data report**
Description:	ส่วนฐานข้อมูลคุณสมบัติยาง

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ประกอบด้วย

1. เลือกเมนู Material data base เลือก Rubber data report



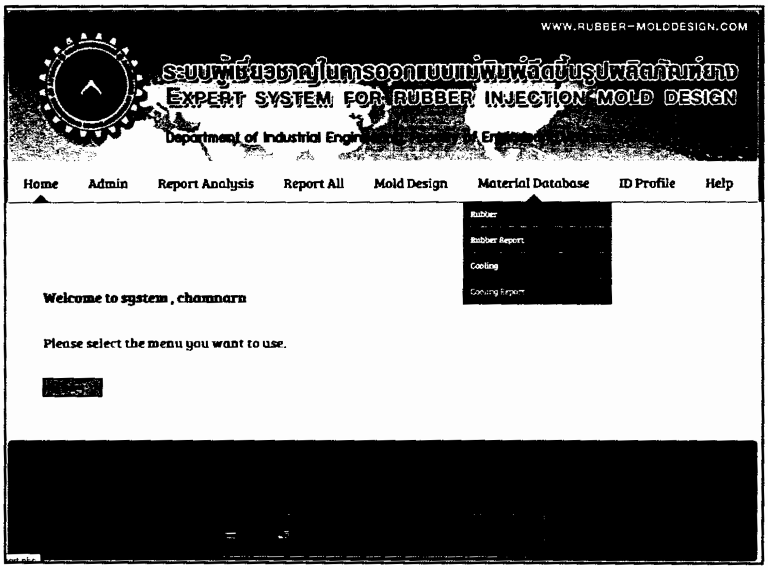
2. เลือกไฟล์ที่ต้องการเปิด ระบบจะแสดงไฟล์ขึ้นมาจากนั้นให้ทำการเปิดไฟล์ โดยการกดปุ่ม Open เข้าระบบ Rubber report



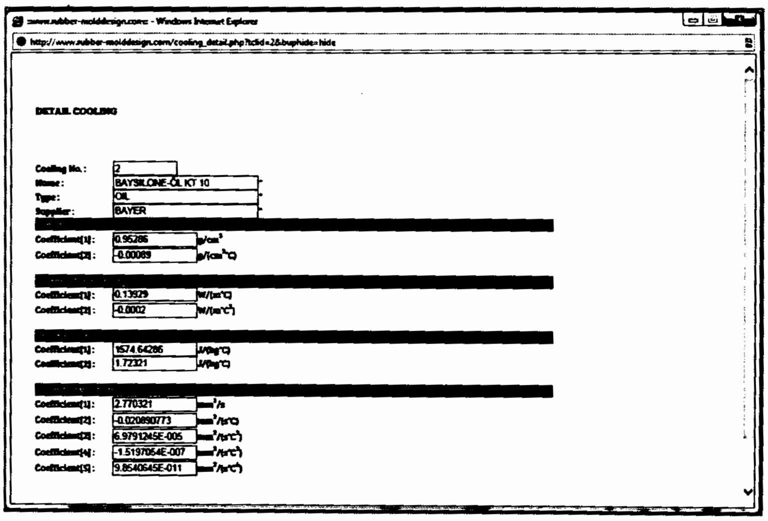
Design Process No.:	**Cooling data report**
Description:	ส่วนฐานข้อมูลระบบหล่อเย็น

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ประกอบด้วย

1. เลือกเมนู Material data base เลือก Rubber data report



2. เลือกไฟล์ที่ต้องการเปิด ระบบจะแสดงไฟล์ขึ้นมาจากนั้นให้ทำการเปิดไฟล์ โดยการกดปุ่ม Open เข้าระบบ Cooling report



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายชำนาญ ทองมาก
วันเกิด	23 พฤษภาคม 2522
สถานที่เกิด	อำเภอสวี จังหวัดชุมพร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	16 หมู่ 3 ตำบลท่าหิน อำเภอสวี จังหวัดชุมพร 86130
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ช่างเชื่อมและโลหะแผ่น) วิทยาลัยเทคนิคชุมพร, พ.ศ. 2540 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ช่างเทคนิคโลหะ) วิทยาลัยเทคนิคชุมพร, พ.ศ. 2542 อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต, พ.ศ. 2545 สาธารณสุขศาสตรบัณฑิต (อาชีวอนามัยความปลอดภัย) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, พ.ศ. 2557 ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, พ.ศ. 2548 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยบูรพา, พ.ศ. 2556 ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ประวัติการทำงาน	วิศวกรส่วนผลิต (Metal Forming), พ.ศ. 2546-2548 หัวหน้าส่วนผลิต (Metal Forming), พ.ศ. 2548-2550 กลุ่มบริษัทไทยรุ่งยูเนี่ยนคาร์ จำกัด มหาชน หัวหน้าฝ่ายวิจัยและพัฒนา, พ.ศ. 2550-ปัจจุบัน กลุ่มบริษัทไทยซัมมิท ฮาร์เนส จำกัด มหาชน

Email: c_thongmark@hotmail.com

Email: c_thongmark@yahoo.com

สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี