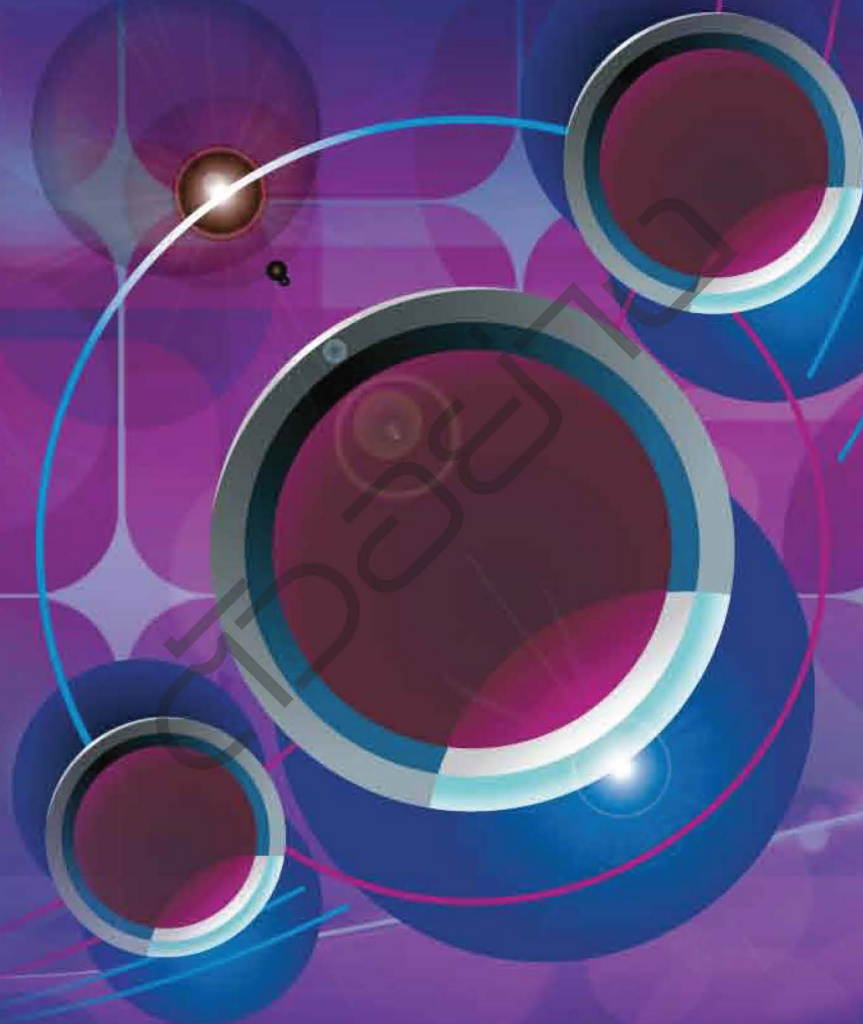


การออกแบบและจำลอง

ระบบพลังงาน

Energy System Design and Modeling



ศิวะ อัจฉริยวิริยะ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



การออกแบบและจำลองระบบพลังงาน

Energy System Design and Modeling

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวะ อัจฉริยะวิริยะ

การออกแบบและจำลองระบบพลังงาน Energy System Design and Modeling

ISBN: 978-974-672-863-8

ผู้เขียน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คีวะ อัจฉริยวิริยะ

เจ้าของและจัดพิมพ์: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศูนย์บริหารงานวิจัย สำนักงานมหาวิทยาลัยเชียงใหม่
โทรศัพท์ 0 5394 3603, 0 5394 3604
โทรสาร 0 5394 3600
<http://cmupress.cmu.ac.th>
E-mail: cmupress.th@gmail.com

บรรณาธิการ: อาจารย์ จิรศักดิ์ วิลาสเดพานนท์

พิมพ์ครั้งแรก: มีนาคม 2557

ราคา: 300 บาท

ข้อมูลทางบรรณานุกรม

คีวะ อัจฉริยวิริยะ.

การออกแบบและจำลองระบบพลังงาน.-- เชียงใหม่ :

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2557.

171 หน้า.

1. วิศวกรรมศาสตร์. I. ชื่อเรื่อง.

620

ISBN 978-974-672-863-8

ออกแบบและพิมพ์: บริษัท วิทอินดีไซน์ จำกัด

© สงวนลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ห้ามลอกเลียนแบบ ทำซ้ำ ดัดแปลง ส่วนหนึ่งส่วนใดของตำราฯ รวมทั้งการจัดเก็บ ถ่ายทอดไม่ว่าในรูปแบบหรือวิธีการใดๆ ด้วยกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ การถ่ายภาพ การบันทึกหรือวิธีการอื่นใด โดยไม่ได้รับอนุญาต

กรณีต้องการสั่งซื้อเป็นจำนวนมาก กรุณาติดต่อ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โทรศัพท์ 0 5394 3605 โทรสาร 0 5394 3600

<http://cmupress.cmu.ac.th>, E-mail: cmupress.th@gmail.com

คำนิยม

ดร. ศิวัะ อัจฉริยวิริยะ กับผมนั้นทำงานร่วมกันในฐานะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มาร่วม 20 กว่าปี จึงคุ้นเคย และพบปะสนทนาทั้งเรื่องทั่วไป และเรื่องวิชาการจนถึงปัจจุบัน แม้ว่าตัวผมเองจะเกษียณจากชีวิตราชการไปแล้วก็ตาม

ดร. ศิวัะ ตอนที่เด็ก ต้องทำงานและศึกษาหาเรียนด้วยตนเอง จนสอบเทียบ ม.ปลาย และสอบติดมหาวิทยาลัย แสดงให้เห็นว่าเป็นคนมุ่งมั่น ใฝ่เรียนรู้ด้วยตนเองได้ เมื่อสนใจอะไรเป็นพิเศษ ก็ไม่ย่อท้อ พยายามจนสำเร็จ เมื่อ ดร. ศิวัะ เขียนตำรา ผมจึงมั่นใจว่า ต้องเป็นตำราที่ดี และมีคุณภาพ สิ่งที่น่าเสียดาย ก็คือ ตำราเล่มนี้น่าจะแล้วเสร็จเพื่อเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาและผู้สนใจมาก่อนหน้าหลายปีแล้ว

แต่ก็ไม่ใช่เรื่องแปลกนัก ด้วยความใกล้ชิดดังกล่าวจึงทราบว่า ช่วงเวลาเกือบครึ่งหนึ่งของชีวิตอาจารย์ ศิวัะ ต้องไปช่วยเรื่องงานบริหาร เป็นหัวหน้าภาควิชาและตำแหน่งสุดท้ายเป็นรองคณบดีฝ่ายวิชาการของคณะอยู่ 2 สมัยจนหมดวาระ

นอกจากงานบริหารแล้ว งานด้านวิศวกรรมในรูปแบบของการบริการทางวิชาการ อีกหลายงาน ทำให้เบียดบังเวลาสำหรับงานวิจัยที่ทำอยู่ไม่ใช่น้อย แต่ความที่มีวิญญูณณ์นักวิชาการ ดร.ศิวัะ ยังสามารถผลิต มหาบัณฑิต และดุษฎีบัณฑิต (ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษา) ออกไปรับใช้สังคมได้ตั้งหลายคน

จากประสบการณ์รอบด้าน ทำให้ตำราเล่มนี้ แม้ว่าอาจจะไม่ครบถ้วนสมบูรณ์เป็นเอกคัมภีร์ (ซึ่งผมก็ไม่เคยพบ) แต่ด้วยประสบการณ์จากงานบริหาร และงานบริการวิชาการมาเสริมกับต้นทุนความรู้ที่เต็มเปี่ยม ทำให้ตำราเล่มนี้ได้เนื้อหาครบถ้วนตามหลักสูตรที่ดีที่สุดเล่มหนึ่ง

ด้วยภาษาที่อ่านเข้าใจง่าย เรียบเรียงความรู้ที่มีผู้ศึกษามาแล้ว เพิ่มเติมด้วยผลงานวิจัยของผู้เขียน และทีมวิจัยร่วม ผมจึงมั่นใจว่า หนังสือ “การออกแบบและจำลองระบบพลังงาน” เล่มนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป



ดร. วิวัฒน์ คล่องพานิช

เมษายน 2557

คำนิยม

หนังสือ "การออกแบบและจำลองระบบพลังงาน" เป็นตำราที่ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวะ อัจฉริยวิริยะ เรียบเรียงขึ้นจากประสบการณ์การทำงานวิจัยด้านพลังงานโดยเฉพาะในเรื่องการอบแห้ง มาอย่างยาวนาน จึงมีเนื้อหาที่ครอบคลุมถึงการนำเอาคณิตศาสตร์มาใช้งานในการออกแบบ จำลอง และวิเคราะห์ระบบจริง เพื่อหาแบบที่เหมาะสมที่สุด และยังได้ผนวกรวมถึงการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นในการที่จะทำให้ระบบที่ออกแบบประสบความสำเร็จในการใช้งานจริง

แม้ว่า ตัวอย่างและเนื้อหาทางทฤษฎีที่ยกมาในหนังสือเล่มนี้ จะเน้นหนักในด้านระบบพลังงาน ก็ตาม แต่วิธีการ แนวคิด ที่นำเสนอ นั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบจำลองและวิเคราะห์ระบบใดๆ ก็ได้ ดังนั้นตำราเล่มนี้ จึงจะเป็นประโยชน์กับนักศึกษา วิศวกร และ นักวิจัย ทุกคนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ จำลอง และวิเคราะห์ระบบ

ผมขอแสดงความชื่นชมกับ ผศ.ดร. ศิวะ ที่ได้ผลิตตำราที่มีคุณภาพ อันจะเป็นประโยชน์ ต่อวงการศึกษาของประเทศไทย

อ.จิรศักดิ์ วิลาสเดชาพันธ์
เมษายน 2557

คำนำ

ตำราเล่มนี้เขียนขึ้นมาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการสอนวิชาการออกแบบและจำลองระบบพลังงานซึ่งเป็นวิชาบังคับในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน เนื้อหาของตำราเล่มนี้มีเป้าประสงค์ให้นักศึกษาเข้าใจการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการจำลองสถานการณ์ระบบพลังงาน ตลอดจนการหาสภาพการทำงานที่เหมาะสมที่สุดซึ่งมีเนื้อหา 5 บท โดยที่บทที่ 1 พื้นฐานการออกแบบทางวิศวกรรม เนื้อหาประกอบด้วยการจัดลีนใจและขั้นตอนในการดำเนินกิจการด้านวิศวกรรม นอกจากนี้ยังกล่าวถึงระบบที่สามารถทำงานได้และระบบที่เหมาะสม การศึกษาบทนี้เพื่อชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการหาสภาพการทำงานที่เหมาะสมที่สุด สำหรับบทที่ 2 เป็นเนื้อหาเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เพื่อให้เข้าใจมูลค่าของเงินที่มีความสัมพันธ์กับเวลา การศึกษาบทนี้เพื่อให้เข้าใจเนื้อหาและสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทางการเงินต่อไป บทที่ 3 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนามาจากข้อมูลการทดลองและจากกฎเกณฑ์ทางทฤษฎี จากนั้นศึกษาการจำลองสถานการณ์ระบบพลังงานและการหาสภาพการทำงานที่เหมาะสมที่สุด ในบทที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

ในการเขียนตำราเล่มนี้ผู้เขียนได้พยายามศึกษาค้นคว้าจากหนังสือหลายเล่ม และได้ทำวิจัยเกี่ยวกับการจำลองสถานการณ์ระบบพลังงาน และได้ทำการสอนรายวิชานี้มาเป็นเวลาประมาณ 10 ปี ติดต่อกันทุกปี ผู้เขียนคิดว่าตำราเล่มนี้เป็นตำราที่ครอบคลุมเนื้อหาการออกแบบและจำลองระบบพลังงานซึ่งเหมาะสำหรับนักศึกษาที่เรียนรายวิชานี้ นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับนักวิจัยและนักศึกษาที่ทำวิจัยเรื่องเกี่ยวกับการจำลองสถานการณ์และการหาสภาพการทำงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบต่างๆ ด้วย

ผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณ คุณครูและอาจารย์ที่ผู้เขียนได้ศึกษาจากโรงเรียนวัดคูหาสวรรค์ โรงเรียนสัทธิพิ (สิงห์สมุทร) โรงเรียนสัทธิพิวิทยาคม โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ Illinois Institute of Technology, USA. ที่ทำให้ผู้เขียนมีความรู้และมีคุณภาพชีวิตที่ดี

ขอขอบพระคุณศูนย์บริหารงานวิจัย สำนักงานมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ดำเนินการจัดหาผู้ทรงคุณวุฒิ และขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่านเมื่อคราวพิจารณาตำราเล่มนี้ในลักษณะของตำราที่จะจัดพิมพ์ของสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากข้อวิจารณ์ของผู้ทรงคุณวุฒินี้ทำให้ผู้เขียนได้มีโอกาสรื้อปรับปรุงข้อผิดพลาดและข้อบกพร่องต่างๆ ซึ่งทำให้คุณภาพของตำราดีขึ้น ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณณัฐวิทย์ ไชยศิริ ที่ช่วยพิมพ์ต้นฉบับ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวะ อัจฉริยวิริยะ

มีนาคม 2557

สารบัญ

บทที่ 1	การออกแบบทางวิศวกรรมและระบบพลังงาน	1
1.1	การจัดตั้งจิตใจในกิจการด้านวิศวกรรม	1
1.2	ขั้นตอนในการดำเนินกิจการด้านวิศวกรรม	3
1.3	ระบบที่สามารถทำงานได้และระบบที่เหมาะสมที่สุด	6
1.4	สรุป	8
บทที่ 2	การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	11
2.1	มูลค่าของเงินที่มีความสัมพันธ์กับเวลา	11
2.2	การประเมินศักยภาพการลงทุน	25
2.3	การนำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ไปใช้	29
2.4	สรุป	32
บทที่ 3	การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	35
3.1	แบบจำลองที่พัฒนามาจากข้อมูลการทดลอง	35
3.2	แบบจำลองที่พัฒนามาจากกฎเกณฑ์ทางทฤษฎี	55
3.3	สรุป	68
บทที่ 4	การจำลองสถานการณ์ระบบพลังงาน	71
4.1	การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบพลังงาน	72
4.2	ประโยชน์และการนำการจำลองสถานการณ์ระบบพลังงานไปใช้	78
4.3	การจำแนกปัญหาของการจำลองสถานการณ์	80
4.4	วิธีการแก้ระบบสมการไม่เชิงเส้น	86
4.5	การจำลองสถานการณ์ระบบพลังงาน	112
4.6	สรุป	119

บทที่ 5	การทำงานแบบเหมาะสมที่สุด	123
5.1	การแทนสมการทางคณิตศาสตร์ของโจทย์การทำงานแบบเหมาะสมที่สุด	124
5.2	ขั้นตอนการหาสภาพการทำงานแบบเหมาะสมที่สุด	134
5.3	การนำไปใช้งานของการหาสภาพการทำงานแบบเหมาะสมที่สุด	160
5.4	สรุป	162
บรรณานุกรมรายนามอ้างอิง		166
อภิธานศัพท์		167
ดัชนี		168
สัญลักษณ์		170
สัญลักษณ์กำกับล่าง		170
คำย่อ		171

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1	แผนผังการดำเนินงานกิจกรรมด้านวิศวกรรม	2
รูปที่ 1.2	การวิเคราะห์ด้านการตลาดที่รวมอิทธิพลของการโฆษณาและยี่ห้อสินค้า	4
รูปที่ 1.3	ราคาและค่าใช้จ่ายหลักของระบบปั๊มและท่อ	7
รูปที่ 2.1	แผนภาพมูลค่าเงินที่แปลงระหว่างมูลค่าเงินในอนาคต (F) กับมูลค่าเงินรายปี (A)	18
รูปที่ 2.2	แผนภาพมูลค่าเงินที่แปลงระหว่างมูลค่าเงินในปัจจุบันและมูลค่าเงินรายคาบ	21
รูปที่ 3.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง z กับ y ที่ค่า x ต่างๆ	54
รูปที่ 3.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง z กับ x ที่ค่า y ต่างๆ	54
รูปที่ 3.3	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางและแบบไหลขนาน	55
รูปที่ 3.4	แผนผังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง	58
รูปที่ 3.5	แผนผังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางที่มีค่าผลคูณของอัตราการไหลกับความร้อนจำเพาะเท่ากันทั้งสองกระแส	60
รูปที่ 3.6	อุณหภูมิของของไหลทั้งสองกระแสในเครื่องควบแน่น	63
รูปที่ 3.7	อุณหภูมิของของไหลทั้งสองกระแสในเครื่องทำระเหย	64
รูปที่ 3.8	แผนผังแสดงอุณหภูมิเข้า-ออก อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง	66
รูปที่ 4.1	แผนผังการทำความเย็นของอากาศ	72
รูปที่ 4.2	ข้อมูลการทดลองของความดันที่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านปั๊มน้ำที่อัตราการไหลต่างๆ	73
รูปที่ 4.3	ข้อมูลการทดลองของความดันลดเมื่อผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่แปรเปลี่ยนอัตราการไหลต่างๆ	73
รูปที่ 4.4	ข้อมูลการทดลองของลักษณะเฉพาะของวาล์วควบคุมการไหลที่แปรเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศขาออกต่างๆ	74
รูปที่ 4.6	แผนภาพเครื่องอบแห้งชนิดลมร้อน	80
รูปที่ 4.7	แผนภาพเครื่องอบแห้งชนิดลมร้อนที่มีการนำลมร้อนที่ทิ้งกลับมาใช้ใหม่	83
รูปที่ 4.8	สัญลักษณ์ปั๊มหอยโข่งและแผนภาพการไหลข้อมูล	87
รูปที่ 4.9	ระบบการจ่ายน้ำสนามหญ้า	87
รูปที่ 4.10	ลักษณะเฉพาะของปั๊มหอยโข่ง	88
รูปที่ 4.11	ลักษณะเฉพาะของหัวจ่าย a และหัวจ่าย b	88
รูปที่ 4.12	แผนภาพการไหลข้อมูลของระบบจ่ายน้ำสนามหญ้า	90
รูปที่ 4.13	ระบบปั๊มส่งน้ำ	91

รูปที่ 4.14 (ก) แผนภาพการไหลข้อมูลของระบบปั๊มส่งน้ำรูปแบบที่ 1	92
รูปที่ 4.14 (ข) แผนภาพการไหลข้อมูลของระบบปั๊มส่งน้ำรูปแบบที่ 2	95
รูปที่ 4.14 (ค) แผนภาพการไหลข้อมูลของระบบปั๊มส่งน้ำรูปแบบที่ 3	97
รูปที่ 4.15 การหาค่าประมาณการตัวใหม่ด้วยกราฟ	104
รูปที่ 4.16 ระบบก๊าซเทอร์โบ	112
รูปที่ 4.17 สมรรถนะของเครื่องอัดอากาศขณะทำงานที่ความเร็ว 120 รอบต่อวินาที ความดันบรรยากาศ (101 kPa)	113
รูปที่ 4.18 สมรรถนะของเทอร์โบ ขณะทำงานที่ความเร็ว 120 รอบต่อวินาที ความดันบรรยากาศ (101 kPa)	113
รูปที่ 4.19 แผนภาพการไหลข้อมูลของระบบก๊าซเทอร์โบ	116
รูปที่ 5.1 แผนผังระบบการให้น้ำเย็น	126
รูปที่ 5.2 แผนผังระบบลดอุณหภูมิอากาศ	128
รูปที่ 5.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง	136
รูปที่ 5.4 วิธีค้นหาโดยการแบ่งพิกัดของตัวแปรอิสระอย่างละเอียด	140
รูปที่ 5.5 จุดที่ทำการคำนวณของตัวอย่างที่ 5.3	141
รูปที่ 5.6 จุดที่ทำการคำนวณของตัวอย่างที่ 5.4	144
รูปที่ 5.7 วิธีค้นหาแบบทวิลักษณะ	146
รูปที่ 5.8 การคำนวณครั้งที่ 1 และ 2	147
รูปที่ 5.9 การคำนวณครั้งที่ 3 และ 4	148
รูปที่ 5.10 การคำนวณครั้งที่ 5 และ 6	148
รูปที่ 5.11 การคำนวณครั้งที่ 7 และ 8	149
รูปที่ 5.12 การค้นหาช่วงของความไม่แน่ใจหลังจากการคำนวณ 2 ครั้ง ของตัวอย่างที่ 5.6	152
รูปที่ 5.13 การค้นหาช่วงของความไม่แน่ใจหลังจากการคำนวณ 3 ครั้ง ของตัวอย่างที่ 5.6	153
รูปที่ 5.14 การค้นหาช่วงของความไม่แน่ใจหลังจากการคำนวณ 4 ครั้ง ของตัวอย่างที่ 5.6	154
รูปที่ 5.15 การค้นหาช่วงของความไม่แน่ใจสุดท้าย (หลังจากการคำนวณ 5 ครั้ง) ของตัวอย่างที่ 5.6	155
รูปที่ 5.16 แผนภาพตำแหน่งการเดินท่อตัวอย่างที่ 5.7	156

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	สูตรการคำนวณหามูลค่าเงินในอนาคตและปัจจุบัน	14
ตารางที่ 2.2	ตัวประกอบการแปลงมูลค่าเงินโดยการคิดดอกเบี้ยแบบทบต้น	23
ตารางที่ 2.3	ข้อมูลและผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 6%	32
ตารางที่ 3.1	ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของตัวแปร z เป็นฟังก์ชันกับ x และ y	53
ตารางที่ 4.1	วิธีการแทนค่าต่อเนื่องของแผนภาพการไหลข้อมูลของระบบปั๊มส่งน้ำ รูปแบบที่ 1 โดยสมมติค่า $\dot{m}_{1(0)} = 1 \text{ kg/s}$ และผลต่างที่ยอมรับได้คือ $ \dot{m}_{1(n-1)} - \dot{m}_{1(n)} \leq 0.0002$	93
ตารางที่ 4.2	วิธีการแทนค่าต่อเนื่องของแผนภาพการไหลข้อมูลระบบปั๊มส่งน้ำรูปแบบที่ 1 สมมติ $\Delta p_{(0)} = 500 \text{ kPa}$ และผลต่างที่ยอมรับได้คือ $ \Delta p_{(n-1)} - \Delta p_{(n)} \leq 0.02$	94
ตารางที่ 4.3	วิธีการแทนค่าต่อเนื่องของแผนภาพการไหลข้อมูลของระบบปั๊มส่งน้ำ รูปแบบที่ 1 โดยสมมติค่า $\dot{m}_{(0)} = 3 \text{ kg/s}$; $\dot{m}_{2(0)} = 1 \text{ kg/s}$ และผลต่าง ที่ยอมรับได้คือ $ \dot{m}_{(n-1)} - \dot{m}_{(n)} \leq 0.0002$ และ $ \dot{m}_{2(n-1)} - \dot{m}_{2(n)} \leq 0.0002$	95
ตารางที่ 4.4	วิธีการแทนค่าต่อเนื่องของแผนภาพการไหลข้อมูลของระบบปั๊มส่งน้ำ รูปแบบที่ 2 โดยสมมติค่า $\dot{m}_{2(0)} = 1.88 \text{ kg/s}$ และผลต่างที่ยอมรับได้ คือ $ \dot{m}_{(n-1)} - \dot{m}_{(n)} \leq 0.0002$	96
ตารางที่ 4.5	วิธีการแทนค่าต่อเนื่องของแผนภาพการไหลข้อมูลของระบบปั๊มส่งน้ำ รูปแบบที่ 3 โดยสมมติค่า $\dot{m}_{(0)} = 5.35 \text{ kg/s}$ และผลต่าง ที่ยอมรับได้คือ $ \dot{m}_{(n-1)} - \dot{m}_{(n)} \leq 0.0002$	97
ตารางที่ 4.6	ผลการคำนวณซ้ำโดยมีค่าประมาณการเริ่มต้นที่ $x_{(1)} = 1$ และ ผลต่าง ที่ยอมรับได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.0001 [$ x_{(n+1)} - x_{(n)} \leq 0.0001$]	103
ตารางที่ 4.7	การคำนวณหาค่า Δp , $\dot{m}_1$, $\dot{m}_2$, $\dot{m}$, f_1 , f_2 , f_3 และ f_4 โดยใช้ค่าประมาณการเริ่มต้น $\Delta p_{(0)} = 500 \text{ kPa}$; $\dot{m}_{1(0)} = 1 \text{ kg/s}$; $\dot{m}_{2(0)} = 2 \text{ kg/s}$; $\dot{m}_{(0)} = 3 \text{ kg/s}$ และกำหนดค่า ที่ยอมรับได้ของ f_1 , f_2 , f_3 และ f_4 ต้องมีค่าสมบูรณ์น้อยกว่าหรือ เท่ากับ 0.001	110

ตารางที่ 4.8	การคำนวณหาค่า Δp , $\dot{m}_1$, $\dot{m}_2$, $\dot{m}$, f_1 , f_2 , f_3 และ f_4 โดยใช้ค่าประมาณการเริ่มต้น $\Delta p_{(1)} = 0 \text{ kPa}$; $\dot{m}_{1(1)} = 0 \text{ kg/s}$; $\dot{m}_{2(1)} = 0 \text{ kg/s}$; $\dot{m}_{(1)} = 0 \text{ kg/s}$ และกำหนดค่าที่ยอมรับได้ของ f_1 , f_2 , f_3 และ f_4 ต้องมีค่าสมบูรณ์น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.001	111
ตารางที่ 4.9	การคำนวณหาค่า Δp , $\dot{m}_1$, $\dot{m}_2$ และ $\dot{m}$ โดยใช้ค่าประมาณการเริ่มต้น $\Delta p_{(1)} = 500 \text{ kPa}$; $\dot{m}_{1(1)} = 1 \text{ kg/s}$; $\dot{m}_{2(1)} = 2 \text{ kg/s}$; $\dot{m}_{(1)} = 3 \text{ kg/s}$ และค่าที่ยอมรับได้ของ $a = \Delta p_{(n+1)} - \Delta p_{(n)} \leq 0.00001$, $b = \dot{m}_{1(n+1)} - \dot{m}_{1(n)} \leq 0.00001$, $c = \dot{m}_{2(n+1)} - \dot{m}_{2(n)} \leq 0.00001$ และ $d = \dot{m}_{(n+1)} - \dot{m}_{(n)} \leq 0.00001$	111
ตารางที่ 4.10	ผลการจำลองสถานการณ์ของระบบก๊าซเทอร์ไบน์ด้วยวิธีแทนค่า ต่อเนื่องโดยใช้ค่าประมาณการเริ่มต้น $\dot{m}_{(1)} = 10 \text{ kg/s}$ และผลต่างสมบูรณ์ ที่ยอมรับได้คือ $ \dot{m}_{(n+1)} - \dot{m}_{(n)} \leq 0.000001$	117
ตารางที่ 4.11	ผลการจำลองสถานการณ์ของระบบก๊าซเทอร์ไบน์ด้วยวิธีแทนค่า ต่อเนื่องโดยใช้ค่าประมาณการเริ่มต้น $\dot{m}_{(1)} = 5.2 \text{ kg/s}$ และผลต่างสมบูรณ์ ที่ยอมรับได้คือ $ \dot{m}_{(n+1)} - \dot{m}_{(n)} \leq 0.000001$	117
ตารางที่ 4.12	ผลของอัตราการไหลพลังงานที่ป้อนเข้าที่ห้องเผาไหม้ที่มีต่อกำลังที่ได้ออกมาที่เพลาลูกเบี้ยว	118
ตารางที่ 5.1	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งการเดินทาง หน่วยเป็นล้านบาท จากเมือง B ถึงเมือง C และ จาก เมือง C ถึงเมือง D โดยที่ หมายเลข 1, 2, 3 และ 4 เป็นตำแหน่งสถานีของแต่ละเมือง	156
ตารางที่ 5.2	ค่าใช้จ่ายการติดตั้งการเดินทางจากเมือง D (จุด D) ถึงเมือง E ตำแหน่งสถานที่ 2 (จุด E2)	157
ตารางที่ 5.3	ค่าใช้จ่ายการติดตั้งการเดินทางจากเมือง C (จุด C) ถึงเมือง E ตำแหน่งสถานที่ 2 (จุด E2)	158
ตารางที่ 5.4	ค่าใช้จ่ายการติดตั้งการเดินทางจากเมือง B (จุด B) ถึงเมือง E ตำแหน่งสถานที่ 2 (จุด E2)	159
ตารางที่ 5.5	ค่าใช้จ่ายการติดตั้งการเดินทางจากเมือง A ตำแหน่งสถานที่ 2 (จุด A2) ถึงเมือง E ตำแหน่งสถานที่ 2 (จุด E2)	159

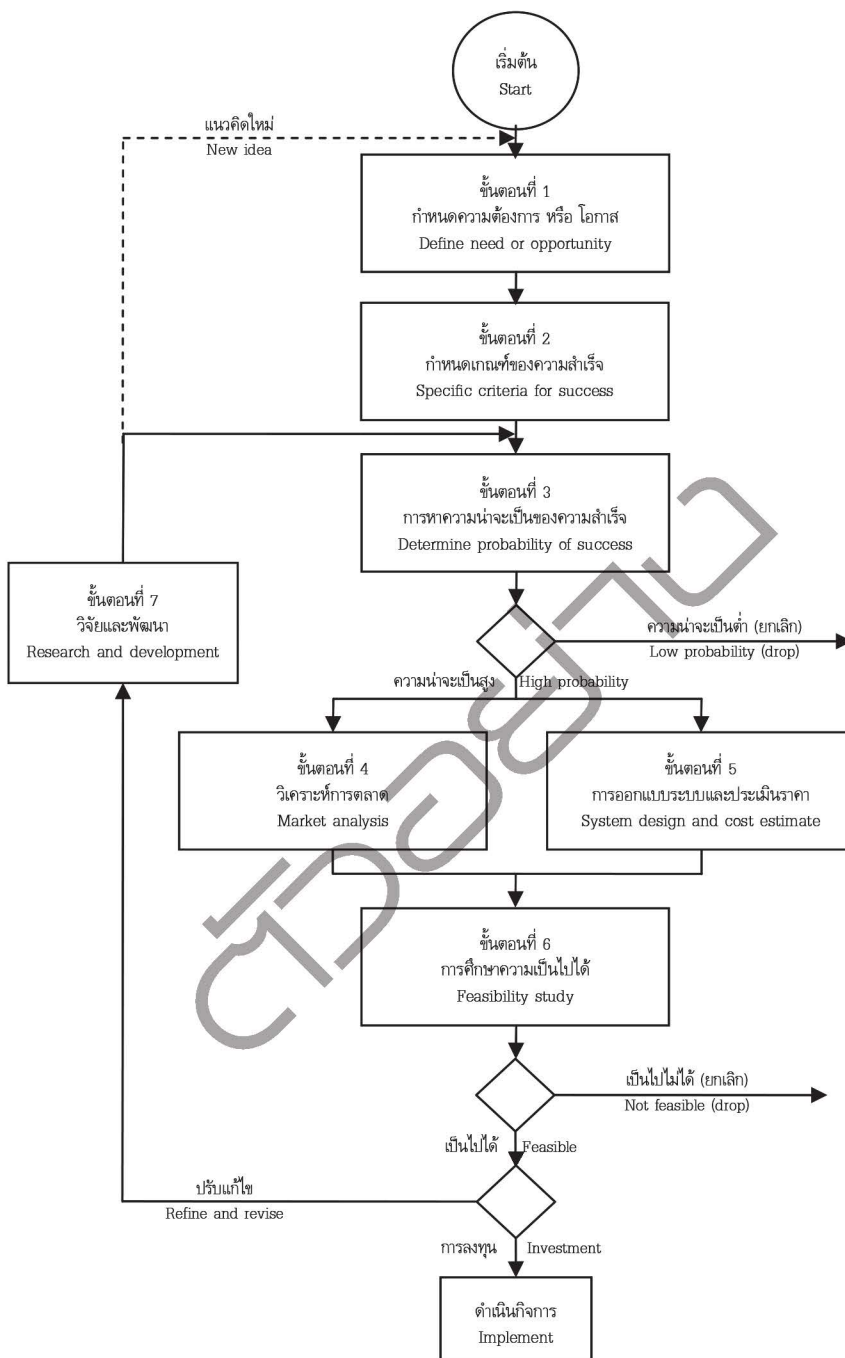
การออกแบบทางวิศวกรรมและระบบพลังงาน

อาชีพวิศวกรเป็นอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง พัฒนา วิจัย และออกแบบ สำหรับตำรานี้เราจะพิจารณาเรื่องของการออกแบบ โดยเฉพาะการออกแบบทางวิศวกรรมระบบพลังงาน การออกแบบทางวิศวกรรมอาจอยู่ในรูปแบบของรูปภาพ แบบแปลน การคำนวณ หรือรายงาน หรืออาจมีอยู่หลายรูปแบบประกอบกัน สิ่งสำคัญสำหรับการออกแบบอาจเป็นกระบวนการตั้งแต่ต้นจนจบ หรือองค์ประกอบสำคัญบางส่วนของระบบก็ได้ สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงการตัดสินใจในการดำเนินกิจกรรมด้านวิศวกรรม ขั้นตอนการดำเนินกิจกรรมด้านวิศวกรรม และระบบที่สามารถทำงานได้และระบบที่เหมาะสม

1.1 การตัดสินใจในกิจการด้านวิศวกรรม

การศึกษาถึงขั้นตอนการดำเนินกิจกรรมด้านวิศวกรรมเพื่อใช้ประกอบในการตัดสินใจมีหลายรูปแบบ รูปที่ 1.1 เป็นแผนภาพขั้นตอนเพื่อใช้ในการตัดสินใจกิจกรรมต่างๆ รูปแบบหนึ่ง ซึ่งรูปแบบที่นำเสนอเป็นรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในงานที่ซับซ้อน ขั้นตอนที่แสดงกระบวนการตัดสินใจในรูปที่ 1.1 จะเป็นการรวบรวมตรรกะต่างๆ ทั้งหมดของแต่ละขั้นตอน เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจ

จากรูปที่ 1.1 แสดงให้เห็นขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆ ในเรื่องของแนวคิด การประเมินผล และการดำเนินการของแผน โดยที่แผนผังรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหมายถึง การดำเนินการทางวิศวกรรม หรือหมายถึงการดำเนินการด้านอื่นๆ สำหรับแผนผังรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนหมายถึง ขั้นตอนการตัดสินใจ โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์ทางเทคนิคด้านวิศวกรรมจะเกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 5 การออกแบบและการประเมินราคาและขั้นตอนที่ 7 การวิจัยและการพัฒนา สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในแต่ละขั้นตอนพอสังเขป และจะกล่าวโดยละเอียดในขั้นตอนที่ 5 ในบทถัดๆ ไป



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินการด้านวิศวกรรม

1.2 ขั้นตอนในการดำเนินกิจการด้านวิศวกรรม

1.2.1 ความต้องการ (Need)

ความต้องการในการดำเนินกิจการ หรือโอกาสที่มี (opportunity) ในการดำเนินกิจการซึ่งเป็นขั้นตอนแรกที่มีความสำคัญขั้นตอนหนึ่ง การกำหนดความต้องการนี้ดูเหมือนว่าจะสามารถทำได้โดยง่าย แต่ในความเป็นจริงอาจไม่ง่ายเสมอไป ตัวอย่างเช่น ทางเทศบาลอาจเสนอความต้องการอ่างเก็บน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ที่ทำให้สามารถบรรจุน้ำได้ตามความต้องการใช้ในเขตเทศบาล การกำหนดความต้องการเช่นนี้อาจจะไม่ใช้ความต้องการที่แท้จริงในการแก้ปัญหาปริมาณน้ำไม่เพียงพอ เพราะถ้าอ่างเก็บน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ไม่มีปริมาณน้ำมาเก็บ การที่มีอ่างเก็บน้ำใหญ่ขึ้นจึงไม่แก้ปัญหามาตรการขาดแคลนน้ำที่จะนำมาใช้ในเขตเทศบาล การกำหนดความต้องการทำอ่างเก็บน้ำให้ใหญ่ขึ้นอาจเป็นการแก้ปัญหาวิธีหนึ่งที่เป็นไปได้ แต่อาจมีวิธีอื่นอีกมากในการแก้ปัญหามาตรการขาดแคลนน้ำเช่น มีกฎเกณฑ์การใช้น้ำให้รัดกุมขึ้น หรือการหาแหล่งน้ำจากแหล่งอื่นมาใช้เพิ่มเติม เป็นต้น บางทีการกำหนดความต้องการที่ไม่สอดคล้องกับปัจจัยอื่นๆ เช่นนี้อาจทำให้การแก้ปัญหาไม่สำเร็จลุล่วงตั้งแต่การกำหนดความต้องการแล้ว สำหรับคำว่าโอกาสนั้น บางครั้งไม่สามารถแยกความแตกต่างจากคำว่าความต้องการได้ ยกตัวอย่างเช่น โรงสีข้าวมีเกลบเป็นของเหลือทิ้งจากการสีข้าว การลงทุนโดยซื้อเครื่องจักรกลผลิตถ่านอัดแท่งจากเกลบอาจเป็นโอกาสที่ดีในการตั้งโรงงานผลิตถ่านอัดแท่ง แต่บางครั้งอาจมองว่าการตั้งโรงงานผลิตถ่านอัดแท่งเป็นความต้องการเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดเกลบ

1.2.2 เกณฑ์ของความสำเเร็จ (Criteria of success)

ขั้นตอนที่ 2 ตามรูปที่ 1.1 นั่นคือ เกณฑ์การตัดสินใจของโครงการที่จะดำเนินการว่าจะประสบความสำเร็จนั้นคืออะไร โดยปกติแล้วทางการค้านั้นจะใช้ผลกำไรเป็นตัววัดความสำเร็จของโครงการ อย่างไรก็ตามโครงการบางอย่างของทางราชการอาจไม่คำนึงถึงผลกำไร แต่อาจอยู่ในรูปของผลตอบแทนทางสังคมและสิ่งแวดล้อม

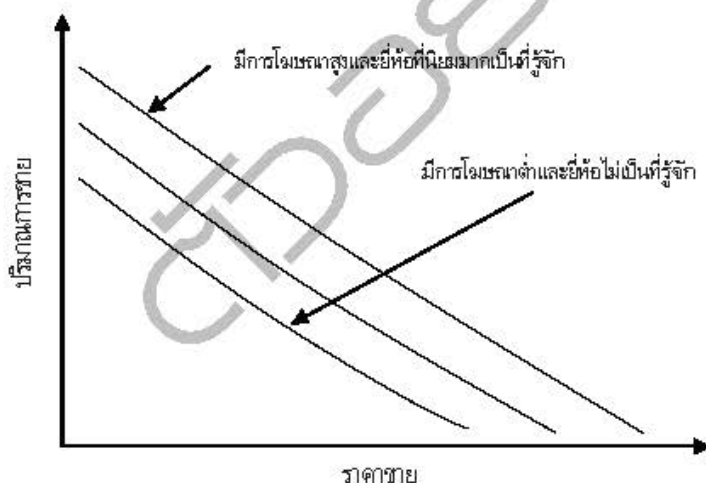
1.2.3 ความน่าจะเป็นของความสำเเร็จ (Probability of success)

เมื่อกำหนดความต้องการและมีเกณฑ์ของความสำเเร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการหาความน่าจะเป็นที่ประสบความสำเร็จได้ตามเกณฑ์ที่วางไว้ในขั้นตอนที่ 2 และได้ตามความต้องการที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1 การหาความน่าจะเป็นของความสำเเร็จเพื่อความมั่นใจก่อนออกแบบและก่อนดำเนินการขั้นตอนอื่นๆ ต่อไป ในขั้นตอนที่ 3 นี้จะต้องใช้สถิติในการวิเคราะห์ เพื่อตัดสินใจในการดำเนินโครงการ กล่าวคือถ้ามีความน่าจะเป็นต่ำ ก็จะยกเลิกดำเนินโครงการ แต่ถ้ามีความน่าจะเป็นเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ทางสถิติก็จะดำเนินขั้นตอนต่อไป อย่างไรก็ตาม การหาความน่าจะเป็นนั้นเป็นการทำนายอนาคตซึ่งอาจไม่เป็นไปตามที่ศึกษา มา ดังนั้น ผู้ลงทุนในกิจการใดก็จะต้องศึกษาความน่าจะเป็นให้รอบคอบและควรมี

ความน่าจะเป็นที่มีค่าความเชื่อมั่นสูง สามารถศึกษาเรื่องความน่าจะเป็นของความสำเร็จได้จากหนังสือเรื่องสถิติเบื้องต้นและวิจัยของคณาจารย์มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัยและหนังสือเรื่อง Probability and statistics for engineers and scientists ของ Ronald, E.

1.2.4 วิเคราะห์การตลาด (Market analysis)

การวิเคราะห์ด้านการตลาดเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของราคาขายสินค้ากับปริมาณการขาย ซึ่งทางเศรษฐศาสตร์ทราบดีว่า ถ้าราคาสินค้าสูงขึ้นปริมาณการขายก็จะลดลง การวิเคราะห์การตลาดนี้จะต้องศึกษาถึงอิทธิพลอื่นๆ ประกอบด้วย เพราะราคาขายที่ราคาหนึ่งๆ นั้นอาจมีปริมาณการขายได้มากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายด้าน ตัวอย่างเช่น การโฆษณาและค่าใช้จ่ายอื่นสินค้า เป็นต้น รูปที่ 1.2 แสดงอิทธิพลของปัจจัยการโฆษณาและค่าใช้จ่ายสินค้าที่มีผลต่อราคาขายและปริมาณการขายสินค้า โดยทั่วไปแล้วจะพบว่าสินค้าที่มีการโฆษณาส่งและค่าใช้จ่ายที่นิยมมากกว่าย่อมให้ราคาขายที่สูงกว่าเมื่อปริมาณการขายที่เท่ากัน หรือในทำนองเดียวกันคือสามารถขายได้ปริมาณมากกว่าเมื่อตั้งราคาขายไว้ที่ราคาหนึ่งๆ ผู้ศึกษาสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสือเรื่อง Investments: principles and concepts ของ Charles, P. J.,



รูปที่ 1.2 การวิเคราะห์ด้านการตลาดที่รวมอิทธิพลของการโฆษณาและค่าใช้จ่ายสินค้า

ในขั้นตอนที่ 4 นี้ เมื่อดำเนินการวิเคราะห์การตลาดจะพบว่ายังไม่เพียงพอที่จะสามารถตัดสินใจดำเนินโครงการได้ เพราะเป็นเพียงการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการขายกับราคาขาย และการดำเนินการทางการตลาดเท่านั้น ดังนั้นจำเป็นต้องดำเนินการทำขั้นตอนที่ 5ควบคู่กันไปพร้อมๆ กัน เพราะว่าการออกแบบระบบและการประเมินราคาขึ้นอยู่กับเทคนิคการผลิตและจำนวนการผลิต

1.2.6 การออกแบบระบบและการประเมินราคา (System design and cost estimates)

ขั้นตอนที่ 5 เป็นขั้นตอนที่สำคัญทางด้านวิศวกรรม ซึ่งต้องใช้วิศวกรดำเนินการออกแบบระบบต่างๆ และประเมินค่าใช้จ่าย ในการผลิตสินค้านั้นๆ ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านในการออกแบบทางเทคนิค ซึ่งต้องศึกษากระบวนการต่างๆ อย่างชัดเจนและเป็นระบบ การดำเนินการในขั้นตอนนี้จะต้องใช้การวิเคราะห์การตลาดมาช่วยในการตัดสินใจเลือกเทคนิคต่างๆ ที่จะต้องใช้ในการผลิตสินค้าหรือดำเนินการออกแบบระบบการผลิตด้วย เพื่อให้ได้ต้นทุนการผลิตและปริมาณการผลิตให้เหมาะสมกับความต้องการของตลาด ขั้นตอนนี้มีความจำเป็นต้องเรียนรู้ในเรื่องของการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการจำลองสถานการณ์ ซึ่งเป็นเนื้อหาหลักของตำราเล่มนี้ที่เราจะได้ศึกษาโดยละเอียดในบทต่อไป

1.2.6 การศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility study)

ขั้นตอนที่ 6 คือ การศึกษาความเป็นไปได้ในการดำเนินโครงการให้บรรลุเกณฑ์ของความสำเร็วจึงจะส่งผลของความเป็นไปได้ของการดำเนินกิจกรรมมีมากมาย เช่น ปัจจัยการลงทุน การหาพื้นที่สร้างโรงงาน การขาดแคลนแรงงาน หรือกฎหมายของบ้านเมือง ถ้าผลของการศึกษาความเป็นไปได้พบว่าการดำเนินโครงการเป็นไปไม่ได้ ก็จะต้องยกเลิกโครงการ ถ้าหากโครงการเป็นไปได้อีกก็ดำเนินการต่อไป ซึ่งอาจจะลงทุนดำเนินกิจการนั้น และหรือ ปรับแก้โดยดำเนินการวิจัยและพัฒนา ตัวอย่างเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากรายงานการศึกษาเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อทดแทนหม้อไอน้ำใช้น้ำเชื้อเพลิงฟอสซิล สิริวิชิต

1.2.7 การวิจัยและการพัฒนา (Research and Development)

หลังจากดำเนินการขั้นตอนที่ 6 ในการศึกษาความเป็นไปได้แล้ว ซึ่งถ้าพบว่าโครงการเป็นไปได้อีกก็ต้องดำเนินการตัดสินใจว่าจะดำเนินกิจการต่อไป หรือปรับแก้ไขโดยการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป หรือบางครั้งก็อาจทำทั้งสองอย่างพร้อมกัน กล่าวคือในระหว่างดำเนินกิจการ ก็ดำเนินการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น หลังจากวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นแล้วก็ต้องย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 3 และขั้นตอนอื่นๆ ต่อไป ตามรูปที่ 1.1 บางครั้งการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดแนวคิดใหม่หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ ดังนั้นเราอาจจะย้อนกลับไปเริ่มขั้นตอนที่ 1 เพื่อกำหนดความต้องการใหม่

1.3 ระบบที่สามารถทำงานได้และระบบที่เหมาะสมที่สุด

1.3.1 ความหมายของระบบที่สามารถทำงานได้

คือ ระบบที่สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการโดยระบบสามารถทำงานได้ภายใต้การออกแบบที่กำหนด เช่น เครื่องทำน้ำอุ่นสามารถทำน้ำอุ่นได้ตามอุณหภูมิ และอัตราการไหลของน้ำตาม ที่ออกแบบไว้ นอกจากนี้ระบบที่สามารถทำงานได้ต้องทำงานได้ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ที่วิศวกรตั้งเป้าไว้ ด้วย เช่น มาตรฐานความปลอดภัย มีขนาดน้ำหนักไม่เกินมาตรฐาน เป็นต้น

1.3.2 ความหมายของระบบที่เหมาะสมที่สุด

คือ ระบบที่สามารถทำงานได้ตามที่ผู้ใช้งานพิจารณาตั้งเกณฑ์การตัดสินใจว่าเป็นระบบที่เหมาะสมที่สุด เกณฑ์ที่ใช้ส่วนมากใช้ราคาเป็นบรรทัดฐานของการตัดสินใจว่าเป็นระบบที่เหมาะสมที่สุด

จากความหมายที่อธิบายข้างต้นจะพบว่าข้อแตกต่างระหว่างระบบที่สามารถทำงานได้กับระบบที่เหมาะสมที่สุด คือ ระบบที่เหมาะสมที่สุดจะมีเพียงหนึ่งวิธีที่เป็นระบบที่เหมาะสมกับเกณฑ์การตัดสินใจที่กำหนดไว้ แต่ระบบที่สามารถทำงานได้จะมีหลายวิธีที่เป็นระบบที่ทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เพื่อให้เข้าใจความหมายของระบบที่สามารถทำงานได้ และระบบที่เหมาะสมที่สุดให้ดียิ่งขึ้นสามารถศึกษาได้จากตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1.1 ต้องการออกแบบระบบการส่งน้ำจากแหล่งน้ำไปยังบ้านพักที่อยู่สูงกว่าแหล่งน้ำ 10 เมตร ซึ่งต้องใช้ระบบท่อความยาวรวม 200 เมตร จงออกแบบระบบที่สามารถทำงานได้ของระบบการส่งน้ำนี้ น้ำมีความหนาแน่น (ρ) เท่ากับ 1000 kg/m^3 และจงหาระบบที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด

วิธีทำ การออกแบบระบบที่ส่งน้ำที่สามารถทำงานได้มีอยู่หลายวิธี ซึ่งอาจใช้ปั้มน้ำที่สามารถสร้างความดันได้หลายขนาดที่ขึ้นอยู่กับขนาดท่อที่ใช้

ความดัน (p) ที่ยกกระตบน้ำสูงขึ้น (h) 10 เมตร มีค่า

$$\begin{aligned} p &= \rho gh \\ &= (1000 \text{ kg/m}^3) (9.81 \text{ m/s}^2) (10 \text{ m}) \\ &= 98,100 \text{ N/m}^2 \text{ หรือ} \\ &= 98.1 \text{ kPa} \end{aligned}$$

สำหรับความดันสูญเสียเนื่องจากการไหลในท่อขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของท่อ สมมติเช่น

ขนาดท่อ 1 นิ้ว ความยาว 200 เมตร ความดันสูญเสีย = 190 kPa

ขนาดท่อ 2 นิ้ว ความยาว 200 เมตร ความดันสูญเสีย = 60 kPa

ขนาดท่อ 3 นิ้ว ความยาว 200 เมตร ความดันสูญเสีย = 10 kPa

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การตัดสินใจในการดำเนินกิจการด้านวิศวกรรมที่ได้ศึกษามาในบทที่ 1 แล้วนั้น เป็นที่ทราบกันดีว่าขั้นตอนของการกำหนดเกณฑ์ความสำเร็จส่วนใหญ่ จะกำหนดโดยคำนึงถึงผลตอบแทนเป็นหลัก ดังนั้นการวิเคราะห์ทาง เศรษฐศาสตร์การเงินจะช่วยให้ในการกำหนดเกณฑ์ความสำเร็จของการลงทุนให้ ผลตอบแทนที่คุ้มค้ำคุ้มทุน การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แบบนี้จะกล่าวถึงมูลค่า ของเงินที่มีความสัมพันธ์กับเวลา และการประเมินศักยภาพของการลงทุน

2.1 มูลค่าของเงินที่มีความสัมพันธ์กับเวลา

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการแปลงมูลค่าของเงินที่มีความสัมพันธ์กับเวลาในรูปแบบของดอกเบี้ย และความหมายของตัวประกอบของการแปลงมูลค่าเงินชนิดต่างๆ โดยจะกล่าวถึงวิธีการคำนวณดอกเบี้ย แบบต่างๆ

2.1.1 วิธีการคำนวณดอกเบี้ยแบบต่างๆ

ดอกเบี้ย คือผลตอบแทนที่ได้รับจากลูกหนี้ในการที่ให้ใช้ทรัพย์สินในช่วงเวลาที่กำหนด วิธีการ คำนวณดอกเบี้ยขึ้นอยู่กับข้อตกลงระหว่างเจ้าหนี้กับลูกหนี้ ซึ่งโดยทั่วไปมีวิธีการคำนวณดอกเบี้ย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

2.1.1.1 ดอกเบี้ยแบบง่าย

วิธีนี้เป็นวิธีการคำนวณดอกเบี้ยที่ง่ายที่สุด โดยคิดเงินต้น ณ วันที่ได้รับเงินและคืนเงินต้น พร้อมดอกเบี้ย ณ วันที่ครบกำหนดตามสัญญาโดยคำนวณดอกเบี้ยจากการนำเงินต้น (บาท) คูณด้วย อัตราดอกเบี้ย (หน่วยเป็นทศนิยม บาท/ปี-บาท) แล้วคูณด้วยจำนวนปีตามสัญญา

ตัวอย่างที่ 2.1 นายดำให้นายแดงกู้ยืมเงิน 15,000 บาท โดยคิดอัตราดอกเบี้ย 8% ต่อปี โดยทำสัญญาการกู้ยืมเป็นเวลา 4 ปี จงหาว่า นายแดงต้องคืนเงินให้นายดำเป็นเงินเท่าไร ในปลายปีที่ 4

วิธีทำ กำหนดให้ $P =$ เงินต้น = 15,000 บาท

$i =$ อัตราดอกเบี้ย = 8% = 0.08 บาท/ปี-บาท

$n =$ จำนวนปี = 4 ปี

$F =$ เงินที่ปลายปีที่ 4 = ?

ดังนั้น นายดำต้องคืนเงินให้นายแดง = F

$$\begin{aligned} F &= P + nPi \\ &= 15,000 \text{ บาท} + (4 \text{ ปี})(15,000 \text{ บาท})(0.08 \text{ บาท/ปี-บาท}) \\ &= 19,800 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ตอบ นายแดงต้องคืนเงินปลายปีที่ 4 เป็นเงิน 19,800 บาท

2.1.1.2 ดอกเบี้ยแบบทบต้นรายคาบ

การคำนวณดอกเบี้ยด้วยวิธีนี้เป็นการนำดอกเบี้ยมารวมกับเงินต้นตามระยะเวลาที่กำหนดในแต่ละคาบเวลา ซึ่งระยะเวลาในแต่ละคาบอาจจะเป็นรายปี รายครึ่งปี รายเดือน รายสัปดาห์ หรือรายวัน ก็ได้ ในระบบการเงินและการธนาคาร ส่วนใหญ่นิยมบอกอัตราดอกเบี้ยเป็นร้อยละหรือเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อปี ดังนั้นการคิดอัตราดอกเบี้ยตามรายคาบที่ไม่ใช่ คาบละ 1 ปี จะต้องนำจำนวนคาบใน 1 ปี ไปหารอัตราดอกเบี้ยจึงจะได้อัตราดอกเบี้ยรายคาบ

ตัวอย่างที่ 2.2 จงหามูลค่าเงินที่ต้องคืนปลายปีที่ 4 ของตัวอย่างที่ 2.1 โดยคิดดอกเบี้ยแบบทบต้นรายปี

วิธีทำ จากข้อมูลในตัวอย่างที่ 2.1

อัตราดอกเบี้ย = $i = 0.08$ ต่อปี

เงินต้น = $P = 15,000$ บาท

จำนวนปีที่กู้ยืม = $n = 4$ ปี

หามูลค่าเงินปลายปีที่ 4 โดยคิดดอกเบี้ยแบบทบต้นรายปี

เงินต้นปีที่ 1 = $P = 15,000$ บาท

ดอกเบี้ยปีที่ 1 = $Pi = (15,000)(0.08) = 1,200$ บาท

เงินปลายปีที่ 1 = $P + Pi = P(1+i) = (15,000)(1+0.08) = 16,200$ บาท

$$\begin{aligned}
 \text{เงินต้นปีที่ 2} &= \text{เงินปลายปีที่ 1} = P(1+i) = 16,200 \text{ บาท} \\
 \text{ดอกเบี้ยปีที่ 2} &= P(1+i)i = (15,000)(1+0.08)(0.08) = 1,296 \text{ บาท} \\
 \text{เงินปลายปีที่ 2} &= P(1+i)+P(1+i)i = P(1+i)^2 = (15,000)(1+0.08)^2 = 17,496 \text{ บาท} \\
 \text{เงินต้นปีที่ 3} &= \text{เงินปลายปีที่ 2} = P(1+i)^2 = 17,496 \text{ บาท} \\
 \text{ดอกเบี้ยปีที่ 3} &= P(1+i)^2i = (15,000)(1+0.08)^2(0.08) = 1,399.68 \text{ บาท} \\
 \text{เงินปลายปีที่ 3} &= P(1+i)^2+P(1+i)^2i = P(1+i)^3 = (15,000)(1+0.08)^3 = 18,895.68 \text{ บาท} \\
 \text{เงินต้นปีที่ 4} &= \text{เงินปลายปีที่ 3} = P(1+i)^3 = 18,895.68 \text{ บาท} \\
 \text{ดอกเบี้ยปีที่ 4} &= P(1+i)^3i = (15,000)(1+0.08)^3i = 1,511.65 \text{ บาท} \\
 \text{เงินปลายปีที่ 4} &= P(1+i)^3+P(1+i)^3i = P(1+i)^4 = 20,407.33 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

ตอบ ดังนั้น เงินรวมที่จะต้องคืนในปลายปีที่ 4 โดยคิดดอกเบี้ยแบบทบต้นรายปี เท่ากับ 20,407.33 บาท ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่ามากกว่าการคิดดอกเบี้ยแบบง่าย

จากตัวอย่างที่ 2.1 เห็นได้ว่าการคำนวณมูลค่าเงินในปลายปีที่ 4 โดยคิดดอกเบี้ยแบบทบต้นรายปีมีค่าเท่ากับ $P(1+i)^4$ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การคำนวณมูลค่าเงินปลายปีที่ n โดยคิดดอกเบี้ยแบบทบต้นรายปี สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$F = P(1+i)^n$$

โดยที่ F คือ มูลค่าเงินในปลายปีที่ n

P คือ เงินต้นในต้นปีที่ 1

i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี (หน่วยเป็นทศนิยม)

n คือ จำนวนปี

ตัวอย่างที่ 2.3 จงหามูลค่าเงินที่ต้องคืนปลายปีที่ 4 ของตัวอย่างที่ 2.1 โดยคิดอัตราดอกเบี้ยแบบทบต้นรายเดือน

วิธีทำ จากข้อมูลในตัวอย่างที่ 2.1

อัตราดอกเบี้ย $= i = 0.08$ ต่อปี

เงินต้น $= P = 15,000$ บาท

จำนวนปีที่กู้ยืม $= n = 4$ ปี

จำนวนคาบต่อปี $= m = 12$ เดือนต่อปี

จากเดิมสูตร $F = P(1+i)^n$ นั้นเป็นสูตรที่นำมาใช้ในการคำนวณดอกเบี้ยแบบทบต้นรายปี ถ้าต้องการคำนวณดอกเบี้ยแบบทบต้นรายคาบ จะต้องเปลี่ยนค่า i เป็นอัตราดอกเบี้ยต่อคาบโดยการนำจำนวนคาบต่อปี (m) ไปหารอัตราดอกเบี้ยต่อปี และเปลี่ยนค่า n เป็นจำนวนคาบ โดยการนำจำนวนคาบต่อปี (m) ไปคูณกับค่า n จะได้

$$F = P(1 + \frac{i}{m})^{nm}$$

ดังนั้นมูลค่าเงินปลายปีที่ 4 เท่ากับ

$$F = 15,000(1 + \frac{0.08}{12})^{4 \times 12}$$

$$F = 20,635 \text{ บาท}$$

ตอบ เงินรวมที่จะต้องคืนในปลายปีที่ 4 โดยคิดดอกเบี้ยแบบทบต้นรายเดือนเท่ากับ 20,635 บาท ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่ามากกว่าการคำนวณดอกเบี้ยแบบทบต้นรายปี จากหัวข้อเรื่องดอกเบี้ยสามารถสรุปสูตรที่ใช้ในการคำนวณมูลค่าเงินได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สูตรการคำนวณหามูลค่าเงินในอนาคตและปัจจุบัน

สูตร	วิธีการคำนวณดอกเบี้ย
1. $F = P(1 + in)$	ดอกเบี้ยแบบง่าย
2. $P = \frac{F}{(1 + in)}$	ดอกเบี้ยแบบง่าย
3. $F = P(1 + i)^n$	ดอกเบี้ยแบบทบต้นรายปี
4. $P = \frac{F}{(1 + i)^n}$	ดอกเบี้ยแบบทบต้นรายปี
5. $F = P(1 + \frac{i}{m})^{nm}$	ดอกเบี้ยแบบทบต้นรายคาบ
6. $P = \frac{F}{(1 + \frac{i}{m})^{nm}}$	ดอกเบี้ยแบบทบต้นรายคาบ

โดยที่ F คือมูลค่าเงินปลายคาบสุดท้าย, P คือ เงินต้นในต้นปีที่ 1, i คืออัตราดอกเบี้ยต่อปี, n คือ จำนวนปี, m คือ จำนวนคาบต่อปี

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์ หมายถึงการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อแทนลักษณะการปฏิบัติงานของอุปกรณ์ รวมทั้งพฤติกรรมของกระบวนการทำงาน และสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารต่างๆ มีเหตุผลและความจำเป็นมากมายในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทางวิศวกรรม แต่ที่สำคัญคือ เพื่อนำไปช่วยในการออกแบบอุปกรณ์ภายในระบบ โดยการนำแบบจำลองนี้ไปจำลองสถานการณ์การทำงานของระบบเพื่อให้ทราบ ขนาด ความสามารถของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ เป็นต้น หรือจำลองสถานการณ์การทำงานเพื่อหาเงื่อนไขการทำงานแบบเหมาะสมที่สุด ในบทนี้จะได้เรียนรู้การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์ในระบบพลังงาน ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 หมวด คือ แบบจำลองที่พัฒนามาจากข้อมูลการทดลอง และแบบจำลองที่พัฒนามาจากกฎเกณฑ์ทางทฤษฎี

3.1 แบบจำลองที่พัฒนามาจากข้อมูลการทดลอง

การพัฒนาแบบจำลองจากข้อมูลการทดลองเพื่อนำไปใช้นั้นมีความจำเป็นอย่างมากเพราะโดยทั่วไปแล้วการจำลองสถานการณ์การทำงานของระบบต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณ ดังนั้นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลการทดลองจะสะดวกต่อการนำไปใช้มากกว่าการใช้ข้อมูลการทดลองที่อยู่ในรูปแบบตาราง

ปกติแล้วระบบทุกระบบจะสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มาจากทางทฤษฎีได้ แต่บางครั้งระบบที่มีความซับซ้อนนี้ จะมีความยุ่งยากในการสร้างแบบจำลองจากการใช้ทฤษฎี ดังนั้นการสร้างแบบจำลองจากข้อมูลการทดลองจึงมีความจำเป็นเพราะสร้างแบบจำลองได้ง่ายกว่า ยกตัวอย่างระบบปั๊มความร้อน ซึ่งมีส่วนประกอบอุปกรณ์หลายอย่าง เช่น เครื่องอัดไอ เครื่องควบแน่น เป็นต้น กรณีเครื่องอัดไออาจมีความซับซ้อน จึงอาจใช้วิธีสร้างแบบจำลองจากข้อมูลการทดลองเพื่อหาสมรรถนะหรือสมบัติต่างๆ ของสารทำงานขณะเครื่องอัดไอทำงาน โดยเก็บข้อมูลจากการทดลองแล้วนำมาสร้างสมการหาความสัมพันธ์ตามต้องการ ซึ่งข้อดีของแบบจำลองที่สร้างมาจากข้อมูลการทดลองนี้คือ มีความถูกต้องแม่นยำในช่วงของเงื่อนไขการทดลอง แต่จะไม่สามารถนำไปใช้ในสถานการณ์อื่นๆ ที่ไม่อยู่ภายใต้เงื่อนไขการทดลองได้ สำหรับเครื่องควบแน่นซึ่งเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ซับซ้อนมากนัก ดังนั้นจึงสามารถสร้างแบบจำลองจากทฤษฎีได้สะดวกและสามารถใช้งานได้ดีกว่าการสร้างจากข้อมูลการทดลอง

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลการทดลองนี้ เป็นการหาค่าคงตัว หรือค่าสัมประสิทธิ์ในสมการรูปแบบต่างๆ โดยการพิชข้อมูลลงในสมการที่เหมาะสม การศึกษาในหัวข้อนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องมีความรู้พื้นฐานการแก้ระบบสมการเชิงเส้นก่อน

3.1.1 การหาคำตอบของระบบสมการเชิงเส้น

การหาคำตอบของระบบสมการเชิงเส้นสามารถทำได้หลายวิธี สำหรับตำรานี้จะใช้วิธีการของคราเมอร์ (Cramer's rule) และวิธีการกำจัดของเกาส์เซียน (Gaussian elimination) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้สะดวกที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการแก้ระบบสมการได้

3.1.1.1 การหาคำตอบของระบบสมการเชิงเส้นโดยวิธีการของคราเมอร์

ระบบสมการเชิงเส้นสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบสมการได้ดังสมการที่ (3.1)

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 &= b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 &= b_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 &= b_3 \end{aligned} \quad (3.1)$$

สมการที่ (3.1) เป็นระบบสมการเชิงเส้นโดยมีค่า x_1 , x_2 และ x_3 เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่า a_{ij} เป็นสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ไม่ทราบค่า และ b_i เป็นค่าคงตัว เรานิยมเขียนระบบสมการเชิงเส้นนี้ให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังสมการที่ (3.2)

$$AX = B$$

(3.2)

โดยที่

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

คราเมอร์กล่าวไว้ว่า ค่า x_i มีค่าเท่ากับ determinant ของเมทริกซ์ A ที่ถูกแทนด้วยเมทริกซ์ B ในคอลัมน์ที่ i ทหารด้วย determinant ของเมทริกซ์ A สามารถเขียนได้ตามสมการ (3.3), (3.4), (3.5)

$$x_1 = \frac{\begin{vmatrix} b_1 & a_{12} & a_{13} \\ b_2 & a_{22} & a_{23} \\ b_3 & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}} \quad (3.3)$$

$$x_2 = \frac{\begin{vmatrix} a_{11} & b_1 & a_{13} \\ a_{21} & b_2 & a_{23} \\ a_{31} & b_3 & a_{33} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}} \quad (3.4)$$

$$x_3 = \frac{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & b_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}} \quad (3.5)$$

ตัวอย่างที่ 3.1 จงหาคำตอบของระบบสมการข้างล่างนี้ โดยใช้วิธีกฎของคราเมอร์

$$2x_1 + x_2 - x_3 = 3$$

$$x_1 - 2x_2 + 2x_3 = 9$$

$$-x_1 + 3x_3 = 0$$

วิธีทำ

$$x_1 = \frac{\begin{vmatrix} 3 & 1 & -1 \\ 9 & -2 & 2 \\ 0 & 0 & 3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & 2 \\ -1 & 0 & 3 \end{vmatrix}} = \frac{-45}{-15} = 3$$

$$x_2 = \frac{\begin{vmatrix} 2 & 3 & -1 \\ 1 & 9 & 2 \\ -1 & 0 & 3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & 2 \\ -1 & 0 & 3 \end{vmatrix}} = \frac{30}{-15} = -2$$

$$x_3 = \frac{\begin{vmatrix} 2 & 1 & 3 \\ 1 & -2 & 9 \\ -1 & 0 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & 2 \\ -1 & 0 & 3 \end{vmatrix}} = \frac{-15}{-15} = 1$$

ตอบ $x_1 = 3, x_2 = -2, x_3 = 1$

3.1.1.2 การหาคำตอบของระบบสมการเชิงเส้นโดยวิธีการกำจัดของเกาส์เซียน

หลักการแก้ปัญหาโจทย์ของระบบสมการเชิงเส้นโดยวิธีการกำจัดของเกาส์เซียน มีอยู่ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่หนึ่ง เปลี่ยนเมทริกซ์สัมประสิทธิ์ให้อยู่ในรูปแบบเมทริกซ์สามเหลี่ยม (Triangular Matrix) จากนั้นขั้นตอนที่สอง หาคำตอบของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าโดยการแทนย้อนกลับจาก x_n จนถึง x_1

ตัวอย่างที่ 3.2 จงหาคำตอบระบบสมการเชิงเส้นโดยวิธีการกำจัดของเกาส์เซียน

$$-x_1 + x_2 + 2x_3 = 2 \quad (3.6)$$

$$3x_1 - x_2 + x_3 = 6 \quad (3.7)$$

$$-x_1 + 3x_2 + 4x_3 = 4 \quad (3.8)$$

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1

กำจัด x_1 ของสมการที่ (3.7) โดยการนำสมการที่ (3.6) บวกด้วยสามเท่าของสมการที่ (3.6) จะได้สมการที่ (3.10) และกำจัด x_1 ของสมการที่ (3.8) โดยการนำสมการที่ (3.8) ลบด้วยสมการที่ (3.6) จะได้สมการที่ (3.11)

$$-x_1 + x_2 + 2x_3 = 2 \quad (3.9)$$

$$2x_2 + 7x_3 = 2 \quad (3.10)$$

$$2x_1 + 2x_2 = 2 \quad (3.11)$$

จากนั้นกำจัด x_2 ของสมการที่ (3.11) โดยการนำสมการที่ (3.11) ลบด้วยสมการที่ (3.10) จะได้สมการที่ (3.14)

$$-x_1 + x_2 + 2x_3 = 2 \quad (3.12)$$

$$2x_2 + 7x_3 = 12 \quad (3.13)$$

$$-5x_3 = -10 \quad (3.14)$$

ขั้นตอนที่ 2

จากสมการที่ (3.14) สามารถหาคำตอบได้โดยการแก้สมการที่ (3.14) จะได้ $x_3 = 2$ นำค่า $x_3 = 2$ แทนย้อนกลับลงในสมการที่ (3.13) แล้วแก้สมการ จะได้ $x_2 = -1$ นำค่า $x_3 = 2$ และ $x_2 = -1$ แทนย้อนกลับลงในสมการที่ (3.12) แล้วแก้สมการจะได้ $x_1 = 1$

ตอบ $x_1 = 1, x_2 = -1, x_3 = 2$

บทที่ 4

การจำลองสถานการณ์ระบบพลังงาน

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) หมายถึง การคำนวณหาตัวแปรที่ไม่ทราบค่าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมาแทนการทำงานของระบบจริง เพื่อนำผลการคำนวณจากการจำลองสถานการณ์ของระบบไปช่วยในการออกแบบหรือการหาเงื่อนไขการทำงานแบบเหมาะสมที่สุด

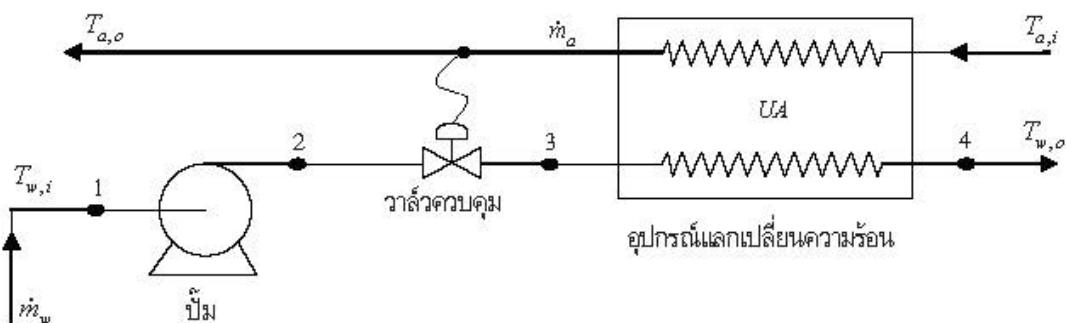
การจำลองสถานการณ์ของระบบนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจและมีความรู้ของอุปกรณ์ต่างๆ ทุกชิ้นที่ประกอบเป็นระบบที่สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแท้ เนื่องจากการจำลองสถานการณ์เป็นการเลียนแบบการทำงานจริงของระบบ การศึกษาการจำลองสถานการณ์ในบทนี้จะรวบรวมขั้นตอน และวิธีการตั้งแต่ 4.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบพลังงาน 4.2 ประโยชน์และการนำการจำลองสถานการณ์ระบบพลังงานไปใช้ 4.3 การจำแนกปัญหาของการจำลองสถานการณ์ 4.4 วิธีการแก้ระบบสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น และ 4.5 การจำลองสถานการณ์ระบบพลังงาน

4.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบพลวัต

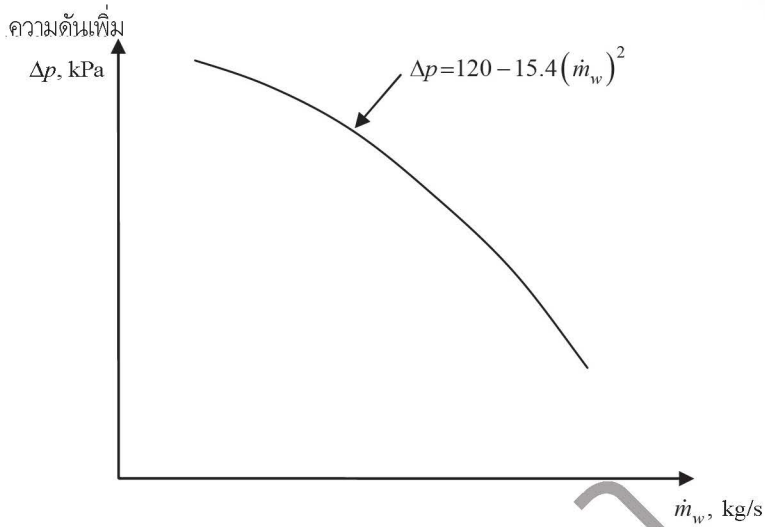
บทเรียนที่ผ่านมา (บทที่ 3) เราได้เรียนรู้การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์มาประกอบกันเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ โดยการนำเสนอการสร้างแบบจำลองจากตัวอย่างระบบการทำงาน ความเย็นของอากาศ ซึ่งมีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 4.1

พิจารณารูปที่ 4.1 ระบบการทำงานความเย็นของอากาศประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้ คือ 1) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 2) วาล์วควบคุมอัตราการไหล และ 3) ปั๊มน้ำ ระบบนี้มีขั้นตอนการทำงานดังนี้คือ ปั๊มน้ำทำหน้าที่ขับให้น้ำเย็นเคลื่อนที่ไปในระบบโดยผ่านวาล์วควบคุมซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำเย็นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยต้องการอุณหภูมิอากาศออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปใช้ในช่วง $10-12^{\circ}\text{C}$ สำหรับข้อมูลต่างๆ ของอุปกรณ์มีข้อมูลที่ทราบดังต่อไปนี้

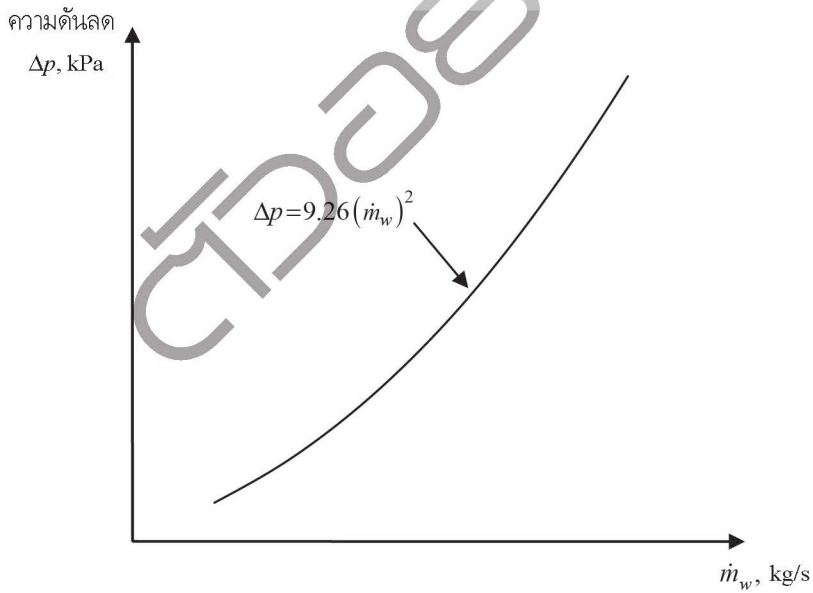
1. อุณหภูมิอากาศเข้า, $T_{a,i} = 30^{\circ}\text{C}$
2. อุณหภูมิน้ำขาเข้า, $T_{w,i} = 5^{\circ}\text{C}$
3. อัตราการไหลของอากาศ, $\dot{m}_a = 5 \text{ kg/s}$
4. ความดันเพิ่มโดยปั๊มน้ำเป็นไปตามกราฟรูปที่ 4.2
5. ความดันลดเมื่อน้ำไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นไปตามกราฟรูปที่ 4.3
6. ความดันลดเมื่อน้ำไหลผ่านวาล์วควบคุมจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำ ดังสมการ $\dot{m}_w = C_v \sqrt{p_2 - p_3}$ โดยที่ค่าของ C_v เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิขาออกของอากาศ ตามกราฟรูปที่ 4.4



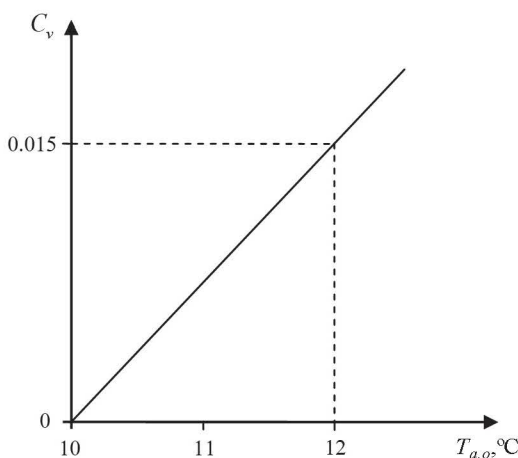
รูปที่ 4.1 แผนผังการทำงานความเย็นของอากาศ



รูปที่ 4.2 ข้อมูลการทดลองของความดันที่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านปั๊มน้ำที่อัตราการไหลต่างๆ



รูปที่ 4.3 ข้อมูลการทดลองของความดันลดเมื่อผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่แปรเปลี่ยนอัตราการไหลต่างๆ



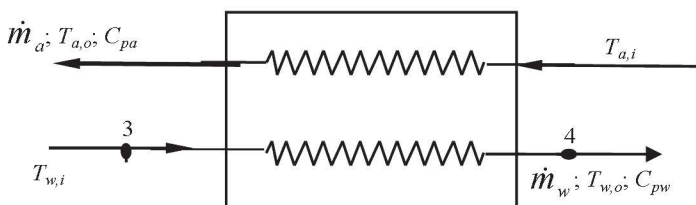
รูปที่ 4.4 ข้อมูลการทดลองของลักษณะเฉพาะของวาล์วควบคุมการไหลที่แปรเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศขาออกต่างๆ

เราต้องการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบการทำความเย็นของอากาศ โดยใช้ข้อมูลที่กล่าวมา เพื่อจำลองสถานการณ์สำหรับศึกษาอิทธิพลของ UA (ผลคูณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกับพื้นที่) ที่มีต่อ $\dot{m}_w$ (อัตราการไหลของน้ำ)

ตัวอย่างวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบการทำความเย็นของอากาศ

ระบบการทำความเย็นของอากาศนี้ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ย่อย 3 ส่วน คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน วาล์วควบคุมอัตราการไหล และปั้มน้ำ โดยมีรายละเอียดในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ดังนี้

1. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



จากบทที่แล้ว (บทที่ 3 หัวข้อ 3.2) เราได้เรียนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางที่พัฒนามาจากทฤษฎีตามรูปแบบสมการที่ (3.64) ถึง สมการที่ (3.66) เราสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (4.1) ถึง สมการที่ (4.4) ดังนี้

$$\dot{Q} = \dot{m}_a c_{pa} (T_{a,o} - T_{a,i}) \quad (4.1)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_w c_{pw} (T_{w,i} - T_{w,o}) \quad (4.2)$$

$$\dot{Q} = UA(LMTD) \quad (4.3)$$

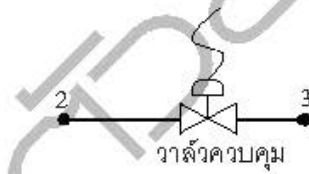
โดยที่
$$LMTD = \frac{(T_{a,o} - T_{w,i}) - (T_{a,i} - T_{w,o})}{\ln[(T_{a,o} - T_{w,i}) / (T_{a,i} - T_{w,o})]} \quad (4.4)$$

จากกราฟรูปที่ 4.3 เป็นข้อมูลความดันลดเมื่อน้ำไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งความดันลดเป็นฟังก์ชันกับอัตราการไหลของน้ำ จากความรู้ในบทที่แล้ว (หัวข้อ 3.1) สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาจากข้อมูลการทดลองโดยการฟิตข้อมูลการทดลองกับสมการพหุนามดีกรีสอง จะได้สมการที่ (4.5)

$$p_3 - p_4 = 9.26 \dot{m}_w^2 \quad (4.5)$$

2. วาล์วควบคุมอัตราการไหล

จากความสัมพันธ์ที่ให้มาระหว่างความดันลดที่ผ่านวาล์วกับอัตราการไหลของน้ำ สามารถเขียนเป็นสมการที่ (4.6)



$$\dot{m}_w = C_v \sqrt{p_2 - p_3} \quad (4.6)$$

จากกราฟรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเฉพาะของวาล์วควบคุมการไหล (C_v) กับอุณหภูมิอากาศของอากาศ ($T_{a,o}$) สามารถนำข้อมูลการทดลองฟิตกับสมการเชิงเส้นได้ดังสมการที่ (4.7)

$$C_v = 0.015 + 0.0075(T_{a,o} - 12) \quad (4.7)$$

3. ปั๊มน้ำ

จากลักษณะข้อมูลเฉพาะของปั๊มน้ำที่ให้ไว้ตามกราฟรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านปั๊มน้ำที่อัตราการไหลต่างๆ สามารถนำมาฟิตกับสมการพหุนามได้ดังสมการที่ (4.8)

บทที่ 5

การทำงานแบบเหมาะสมที่สุด

การทำงานแบบเหมาะสมที่สุด หมายถึง กระบวนการหาเงื่อนไขหรือองค์ประกอบของอุปกรณ์ที่จะให้ค่าสูงสุดหรือให้ค่าต่ำสุด ซึ่งค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดอาจเป็นเงินลงทุน เงินดำเนินการหรืออื่นๆ เช่น เงื่อนไขการออกแบบให้มีขนาดเล็กสุด น้ำหนักเบาสุด สมรรถนะสูงสุด เป็นต้น นอกจากนี้การทำงานแบบเหมาะสมที่สุดอาจหมายถึงกระบวนการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์ประกอบของระบบเพื่อให้ได้ระบบที่เหมาะสมที่สุด

เราได้เรียนรู้ระบบที่สามารถทำงานได้ในบทที่ 1 ซึ่งระบบที่ทำงานได้อาจมีอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ที่ไม่เหมาะกับการใช้งานบางอย่าง ยกตัวอย่างเช่น ออกแบบระบบแสงสว่างซึ่งอาจมีระบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกําลังก็สามารถทำงานได้ แต่ระบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์คงไม่เหมาะกับพื้นที่ที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย เราอาจใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกําลังดีกว่า แต่ถ้ต้องการใช้ระบบแสงสว่างบนพื้นที่สูงซึ่งไม่สามารถเข้าถึงได้ง่ายหรือสามารถเข้าถึงได้เป็นบางครั้งก็อาจใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นระบบที่เหมาะสมกว่า ดังนั้นการหาระบบที่สามารถทำงานได้เหมาะสมที่สุด จะต้องมีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยทั่วไปแล้วค่าใช้จ่ายจะเป็นบรรทัดฐานของการหาระบบที่ทำงานเหมาะสมที่สุด แต่อย่างไรก็ตามบางครั้งการออกแบบอาจมุ่งเน้นให้มีต้นทุนการผลิตต่ำสุดโดยไม่คำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ยกตัวอย่างเช่น การออกแบบเครื่องปรับอากาศที่ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำสุด แต่มีความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูง ดังนั้นการใช้เครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งานอาจมีค่าใช้จ่ายรวมที่สูง ที่ออกแบบเช่นนั้นเพื่อที่จะสามารถขาย แข่งขันในตลาดได้มากกว่า ซึ่งผู้ซื้ออาจคำนึงถึงเฉพาะค่าใช้จ่ายเริ่มต้นเท่านั้น

5.1 การแทนสมการทางคณิตศาสตร์ของโวกัยการคำนวณแบบเหมาะที่สุด

องค์ประกอบของสมการทางคณิตศาสตร์ของโวกัยปัญหาของการทำงานแบบเหมาะที่สุด รวมทั้งลักษณะเฉพาะของฟังก์ชัน และเงื่อนไขบังคับ ประกอบด้วย

$y(x)$ แทนฟังก์ชันที่จะถูกหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเราจะเรียกสมการนี้ว่าสมการวัตถุประสงค์ โดยที่ y เป็นฟังก์ชันของ $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ซึ่งค่าเหล่านี้เรียกว่า ตัวแปรอิสระ สามารถเขียนสมการวัตถุประสงค์ได้ดังสมการที่ (5.1)

$$\text{Optimize: } y(x) = y(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (5.1)$$

สมการที่ (5.1) เป็นสมการวัตถุประสงค์โดยที่ต้องการหาค่า $y(x)$ ที่เหมาะสมที่สุด นั่นคือต้องหาค่า $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ มีค่าเท่าไรที่จะทำให้ค่า $y(x)$ เหมาะที่สุด (มากที่สุดหรือน้อยที่สุด) โดยทั่วไปแล้ว อาจมีเงื่อนไขบังคับ ซึ่งเงื่อนไขบังคับสามารถหาได้จากเงื่อนไขทางกายภาพ ลักษณะเฉพาะ หรือข้อจำกัดต่างๆ ของระบบ เงื่อนไขบังคับอาจเป็นสมการหรืออสมการก็ได้ สามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์แสดงเป็นสมการและอสมการได้ดังสมการที่ (5.2)–(5.7)

$$\phi_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (5.2)$$

$$\phi_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (5.3)$$

$$\phi_m(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad (5.4)$$

$$\phi_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq L_1 \quad (5.5)$$

$$\phi_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq L_2 \quad (5.6)$$

$$\phi_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq L_j \quad (5.7)$$

โดยที่ $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_m$ คือ เงื่อนไขบังคับของสมการ
 $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_j$ คือ เงื่อนไขบังคับของอสมการ
 $L_1, L_2, \dots, L_j$ คือ ค่าคงตัว

สำหรับค่าคงตัวที่เพิ่มเข้าไปในสมการวัตถุประสงค์จะไม่ส่งผลกระทบต่อค่าของตัวแปรอิสระที่จะทำให้เกิดค่าเหมาะที่สุดยกตัวอย่าง เช่น ถ้า a คือ ค่าคงตัว สามารถเขียนสมการวัตถุประสงค์ได้ดังสมการที่ (5.8)

$$\text{Optimize: } y(x) = a + Y(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (5.8)$$

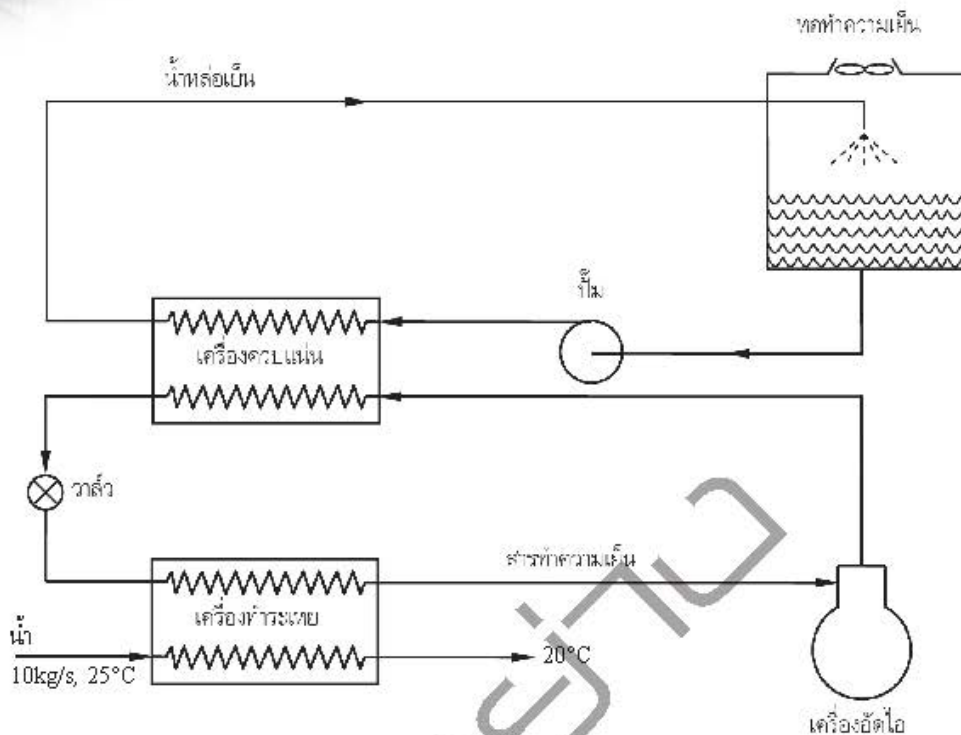
$$\text{Optimize: } [a + Y(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)] = \text{Optimize: } [Y(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)] \quad (5.9)$$

ดังนั้น ค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ $y(x)$ ของสมการที่ (5.8) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$y(x) = a + \text{Optimize: } Y(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (5.10)$$

ตัวอย่างการหาค่าเหมาะสมที่สุดและสมการเงื่อนไขบังคับ โดยพิจารณาตัวอย่างระบบการทำความเย็น (water-chilling system) แสดงดังรูปที่ 5.1

รูปที่ 5.1 เป็นแผนผังระบบการทำความเย็น โดยมีความสามารถในการทำให้ น้ำที่อัตราการไหล 10 kg/s เย็นลงจาก 25°C เป็น 20°C โดยใช้ระบบทำความเย็นที่ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้ 1) เครื่องทำระเหยทำหน้าที่ดึงความร้อนออกจากน้ำที่ต้องการทำให้เย็นซึ่งทำให้สารทำงานเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซ 2) เครื่องอัดไอทำหน้าที่อัดสารทำงานที่ออกจากเครื่องทำระเหยให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น 3) เครื่องควบแน่นทำหน้าที่ระบายความร้อนของสารทำงานให้กับน้ำหล่อเย็น 4) ปั๊มน้ำทำหน้าที่ขับให้น้ำหล่อเย็นไหลในระบบ และ 5) หอทำความเย็นทำหน้าที่ระบายความร้อนของน้ำหล่อเย็นสู่บรรยากาศแวดล้อม



รูปที่ 5.1 แผนผังระบบการทำน้ำเย็น

วัตถุประสงค์ของตัวอย่างนี้เพื่อต้องการหาราคาดำเนินทุนที่ต่ำที่สุดที่สามารถทำงานได้ตามความต้องการ กล่าวคือสามารถทำให้น้ำเย็นลงจาก 25°C เป็น 20°C โดยมีอัตราการไหล 10 kg/s ก่อนอื่นกำหนดสัญลักษณ์ของขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบการทำน้ำเย็นดังนี้

x_{com}	คือ ขนาดของเครื่องอัดไอน้ำ
x_{evap}	คือ ขนาดของเครื่องทำระเหย
x_{con}	คือ ขนาดของเครื่องควบแน่น
x_p	คือ ขนาดของปั๊ม
x_{tower}	คือ ขนาดของหอทำความเย็น

นอกจากนี้กำหนดให้ $y(x)$ คือ ราคาดำเนินทุนของระบบทำน้ำเย็น ซึ่งเป็นผลรวมของราคาก่อสร้างของอุปกรณ์ย่อยต่างๆ ในระบบรวมทั้งค่าใช้จ่ายในการดำเนินการติดตั้ง จากโจทย์ต้องการหาราคาดำเนินทุนต่ำที่สุดที่สามารถทำน้ำเย็นได้ตามวัตถุประสงค์ ถ้าราคาของอุปกรณ์ต่างๆ ขึ้นอยู่กับขนาดของอุปกรณ์นั้นๆ

การออกแบบและจำลองระบบพลังงาน



CHIANG MAI
UNIVERSITY PRESS

การออกแบบและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
เพื่อการจำลองสถานการณ์
และหาสภาพการทำงานแบบเหมาะสมที่สุด
ของระบบพลังงาน



ราคา 300 บาท