

การประยุกต์โปรแกรมเชิงเป้าหมาย
ในกระบวนการออกแบบสินค้าอุตสาหกรรมกรณีศึกษา
**Application of Goal Programming on
Engineering Design Process: A Case Study**

กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์¹

Kanokporn Sripathomswat¹

¹ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

ผู้นิพนธ์ประสานงาน: kanokporn.s@cit.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ โปรแกรมเชิงเป้าหมายเป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจเลือกคุณลักษณะสำคัญของสินค้าอุตสาหกรรมในกระบวนการออกแบบสินค้าที่ถูกค้าเป็นโรงงานอุตสาหกรรม บทความนี้นำเสนอกรณีศึกษาการออกแบบ ถังแรงดันและใบกวน ที่จะนำไปใช้ในการผลิตซูปไก่สกัด ซึ่งมีคุณลักษณะเชิงปริมาณทางเทคนิคที่ยากต่อการตัดสินใจเลือกออกแบบให้ตรงกับจุดประสงค์ที่มีความขัดแย้งกัน ได้แก่ ชนิดของถังแรงดัน ราคา คุณลักษณะในการรับและการนำความร้อน คุณลักษณะในการรับแรงดันไอน้ำ คุณลักษณะการไหลของของเหลว อัตราการไหล และขนาดบรรจุ เป็นต้น ผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงเป้าหมายนี้ ช่วยให้ผู้ตัดสินใจเลือกแนวทางที่น่าพอใจที่สุด แก้ปัญหาความลำเอียงในการตัดสินใจ หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการตัดสินใจเลือกที่เบี่ยงเบนจากเป้าหมายรวมน้อยที่สุด นอกจากนี้ ผลลัพธ์ของการเลือกดังกล่าวยังช่วยในการสื่อสารระหว่างผู้ออกแบบ ผู้ผลิต และลูกค้าอุตสาหกรรม ให้เข้าใจในจุดมุ่งหมายเดียวกันง่ายขึ้น

คำสำคัญ : การโปรแกรมเชิงเป้าหมาย กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม การกำหนดคุณลักษณะสินค้าอุตสาหกรรม

Abstract Goal Programming is a decision making support tool in order to select the critical specifications in an engineering design process of industrial goods. This article presents a case study on engineering design process of a pressure tank and an agitator to produce the essence of chicken. This decision making is difficult to make an appropriate design of product with multiple conflict objectives such as type of chamber, cost, heating capacity, stream capacity, stream density, stream mass flow rate, heat up rate, tank

volume, etc. The result aids decision making for best solutions without bias and it supports communication manner among designers, producers and users.

Keywords: Goal Programming, Engineering Design Process, Specification of Industrial Goods

1. บทนำ

จากสภาวะการแข่งขันที่รุนแรงของธุรกิจอุตสาหกรรมในปัจจุบัน สินค้าหรือบริการที่มีคุณภาพ และสามารถส่งถึงมือลูกค้าได้ก่อนหมายถึงความได้เปรียบทางธุรกิจของผู้ขาย ด้วยเหตุนี้ผู้ขายอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตภาคอุตสาหกรรม จึงต้องมีการบริหารจัดการที่ดีเพื่อสร้างความได้เปรียบคู่แข่งที่นับวันยิ่งจะมีจำนวนมากขึ้น ความรวดเร็วในการนำเสนอผลิตภัณฑ์สู่ตลาดเป็นการสร้างโอกาสในการขายผลิตภัณฑ์ให้ได้ก่อนคู่แข่งรายอื่นและสามารถกำหนดราคาในระดับที่สูงกว่าได้ งานวิจัยนี้เป็นการนำเครื่องมือเชิงปริมาณที่ช่วยในการตัดสินใจ นั่นคือ การโปรแกรมเชิงเป้าหมาย (Goal Programming) [1] มาช่วยในการวิเคราะห์การตัดสินใจในปัญหาที่มีหลายเป้าหมายและหลายเกณฑ์การตัดสินใจ (Multi-Criteria Decision Making Problem: MCDM)[2] ใช้เกณฑ์และเป้าหมายด้วยข้อมูลเชิงปริมาณ ทำการศึกษากับงานออกแบบทางวิศวกรรม [3] ในงานนี้เป็นกรณีศึกษาการออกแบบถังแรงดันและใบกวนที่ใช้ในการผลิตซูบไล์สกัด ขนาด 1,200 ลิตร ซึ่งมีคุณลักษณะเชิงปริมาณทางเทคนิคที่ยากต่อการตัดสินใจเลือกให้เป็นไปตามเป้าหมายที่มีหลายข้อ และบางข้อขัดแย้งกัน ทำให้ในการทำงานจริงบางครั้งผู้ออกแบบเกิดความลำเอียงในการตัดสินใจ ผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้การ โปรแกรมเชิงเป้าหมายจะช่วยให้ผู้ตัดสินใจเลือกผลลัพธ์ที่น่าพอใจที่สุด หรืออีกนัยหนึ่ง คือ เบี่ยงเบนจากเป้าหมาย

รวมน้อยที่สุด แก้ปัญหาความลำเอียงในการตัดสินใจของผู้ออกแบบ นอกจากนี้ผลลัพธ์ของเกณฑ์การตัดสินใจเลือกดังกล่าวยังช่วยในการสื่อสารระหว่างผู้ออกแบบ ผู้ผลิต และลูกค้า ให้เข้าใจในจุดมุ่งหมายเดียวกันง่ายขึ้น และสนองความต้องการของลูกค้าหรือกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด [3-6]

โปรแกรมเชิงเป้าหมายเป็นเทคนิคหนึ่งของการวิจัยดำเนินงาน ที่พัฒนาจากโปรแกรมเชิงเส้น [1-2] ใช้ในการแก้ปัญหาหรือจัดระบบงานที่มีเป้าหมายเพียงเป้าหมายเดียว แต่ในงานจริงเป้าหมายของการจัดการมักมีมากกว่าหนึ่งเป้าหมาย ซึ่งอาจมีผลลัพท์ตามกัน เช่น ต้องการค่าสูงสุดหรือต่ำสุดทั้งหมด หรืออาจมีทิศทางตรงข้ามกันได้ กล่าวคือในบางเป้าหมายต้องการค่าสูงสุดบางเป้าหมายต้องการค่าต่ำสุด กรณีที่ปัญหามีหลายเป้าหมายจึงมีการประยุกต์การ โปรแกรมเชิงเป้าหมายมาช่วยในการตัดสินใจแทนการ โปรแกรมเชิงเส้น โดยใช้การพิจารณาจากค่าต่ำสุดของผลรวมค่าเบี่ยงเบนไปจากเป้าหมายแทน เนื่องจากโปรแกรมเชิงเป้าหมายพิจารณาหลายเป้าหมายประกอบกัน จึงต้องมีการจัดเป้าหมายเรียงตามลำดับความสำคัญจากมากไปน้อย ที่เรียกว่า Preemptive priority factors โดยเป้าหมายที่สำคัญที่สุดจะถูกพิจารณาให้บรรลุตามเป้าหมายก่อน ส่วนเป้าหมายที่สำคัญรองลงมาพิจารณาให้บรรลุเป็นลำดับถัดไป เป้าหมายแต่ละเป้าหมายจะมีเงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่แตกต่างกันซึ่งยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงได้บ้าง วิธีการ โปรแกรมเชิงเป้าหมายจะพยายามให้บรรลุเป้าหมายตามเงื่อนไขให้มากที่สุดเท่าที่

จะเป็นไปได้ นั่นคือพยายามให้มีค่าเบี่ยงเบนจากเงื่อนไขที่ตั้งไว้ให้น้อยที่สุด ค่าเบี่ยงเบนนี้จัดเป็นตัวแปรที่เรียกว่า ตัวแปรเบี่ยงเบน ซึ่งอาจมีค่าเบี่ยงเบนสูงหรือต่ำกว่าเงื่อนไขก็ได้[7-9]

รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของโปรแกรมเชิงเป้าหมายโดยทั่วไป มีโครงสร้างดังนี้

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$\text{Minimize } z = \sum_{i=1}^n (d_i^- + d_i^+) \quad (1)$$

สมการข้อจำกัดเป้าหมาย (Goal Constraints)

$$\sum_{j=1}^m (a_{ij}x_j + d_i^- + d_i^+) = g_i \quad ; \quad \forall i \quad (2)$$

$$d_i^-, d_i^+, x_j \geq 0 \quad ; \quad \forall i, \forall j \quad (3)$$

กำหนดให้

$$x_j = \text{ตัวแปรตัดสินใจที่ } j$$

$$a_{ij} = \text{สัมประสิทธิ์ของตัวแปรตัดสินใจที่ } j$$

เป็นค่าคงที่ของเป้าหมายที่ i ตัวแปรตัดสินใจที่ j

d_i^- = ค่าเบี่ยงเบนทางด้านต่ำกว่าเป้าหมายของเป้าหมายที่ i (Negative Deviation Variable)

d_i^+ = ค่าเบี่ยงเบนทางด้านสูงกว่าเป้าหมายของเป้าหมายที่ i (Positive Deviation Variable)

$$g_i = \text{target value ของเป้าหมายที่ } i$$

ในการแก้ปัญหาการโปรแกรมเชิงเป้าหมายโดยการจัดลำดับความสำคัญของเป้าหมาย (pre-emptive method) สามารถเขียนรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$\text{Minimize } z = \sum_{i=1}^n p_i (d_i^- + d_i^+) \quad (4)$$

สมการข้อจำกัดเป้าหมาย (Goal Constraints)

$$\sum_{j=1}^m (a_{ij}x_j + d_i^- + d_i^+) = g_i \quad ; \quad \forall i \quad (5)$$

$$d_i^-, d_i^+, x_j \geq 0 \quad ; \quad \forall i, \forall j \quad (6)$$

กำหนดให้

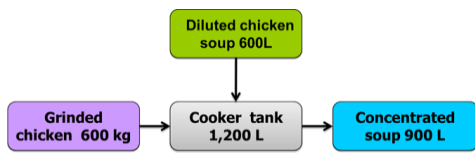
p_i = ค่า Preemptive priority factors ของเป้าหมายที่ i ($p_1 > p_2 > \dots > p_n$)

2. วิธีการวิจัย

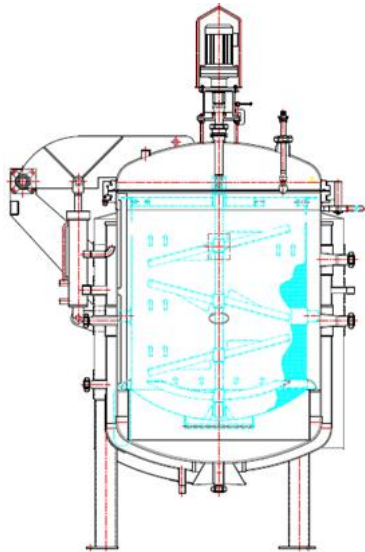
รูปแบบการตัดสินใจการออกแบบแบบเดิมวิศวกรผู้ออกแบบจะเป็นผู้วิเคราะห์ความต้องการของระบบที่จะทำการออกแบบ และกำหนดค่าขนาดบรรจุสมบัติที่สำคัญได้แก่ ชนิดของถังแรงดัน ราคา ลักษณะในการรับและการถ่ายเทความร้อน การรับแรงดัน อัตราการไหลและลักษณะการไหลของของเหลว เป็นต้น จากนั้น ผู้ออกแบบจะทำการเปรียบเทียบทางเลือกระบบถึงและใบกวนที่มีอยู่ในตลาด ในงานวิจัยนี้ใช้การตัดสินใจโดยโปรแกรมเชิงเป้าหมาย เพื่อแก้ปัญหาค่าเฉลี่ยในการตัดสินใจอย่างเป็นระบบ ดังนั้นการวิจัยจึงเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดตัวแปรตัดสินใจ กำหนดเป้าหมายและค่าเป้าหมายที่ต้องการบรรจุ เรียงลำดับตามความสำคัญ หลังจากนั้นจัดให้เข้าสู่รูปแบบของสมการและสมการทางคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเป้าหมาย แล้วจึงนำไปแก้ปัญหาคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของการตัดสินใจ มีขั้นตอนในการดำเนินงานโดยสรุปดังนี้

2.1 รวบรวมข้อมูลทั่วไปและความต้องการในการออกแบบ

ขั้นตอนแรกนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตซูปไก่สกัดเข้มข้น (สรุปดังในรูปที่ 1) เริ่มจากการนำเนื้อไก่มาสับให้ละเอียด นำมาต้มกับน้ำซูปไก่ในถังแรงดัน เพื่อผลิตซูปไก่สกัดเข้มข้น โดยจะต้องทำการออกแบบถังแรงดัน (cooker tank) และใบกวนที่ใช้ร่วมกับถังดังกล่าวที่ปริมาตร 1,200 ลิตร ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตกรณีศึกษา



รูปที่ 2 ตัวอย่างถังแรงดันและใบกวน

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการออกแบบถังแรงดันเบื้องต้น

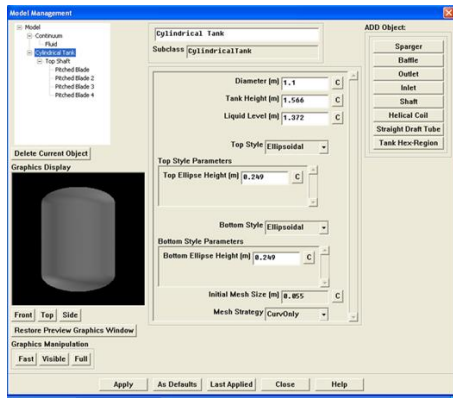
ทำการศึกษารูปแบบของถังและใบกวน โดยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบหล่อเลี้ยงถัง (jacket tank) จำนวน 4 รูปแบบได้แก่ รูปแบบ spiral รูปแบบ chamber รูปแบบ half tube และรูปแบบ dimple ในแต่ละรูปแบบเปรียบเทียบจากขนาดแรงดัน 3 บาร์และแรงดัน 6 บาร์ ดังสรุปในตารางที่ 1 หลังจากนั้นจะทำการคำนวณขนาดของท่อไอน้ำ (steam inlet) และขนาดของท่อไอน้ำควบแน่น (condensate outlet) หลังจากนั้นจะนำไปคำนวณอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน (heat up rate) และอัตราการผลิต (production rate) และนำมาเปรียบเทียบเพื่อเลือกถังแรงดัน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบหล่อเลี้ยงถัง

TYPE	Heating Capacity (KW)	Heating Capacity (Minute)	Steam Mass Flow Rate (Kg/Hr)
SPIRAL @ 3 Bar G	81.20	81.04	136.88
CHAMBER @ 3 Bar G	78.20	84.07	131.92
HALF TUBE @ 3 Bar G	33.87	161.09	51.85
DIMPLE @ 3 Bar G	35.53	187.77	53.95
DIMPLE @ 6 Bar G	54.00	100.23	92.36
SPIRAL @ 3 Bar G	73.90	70.96	125.00
CHAMBER @ 3 Bar G	68.50	76.57	116.00
HALF TUBE @ 3 Bar G	33.04	159.96	54.00
DIMPLE @ 3 Bar G	31.09	162.28	52.00
DIMPLE @ 6 Bar G	52.65	99.58	94.11

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการออกแบบใบกวน

ในการวิเคราะห์ข้อมูลการออกแบบใบกวน จะนำข้อมูลของถังแรงดันไปจำลองรูปแบบการผสม โดยใช้โปรแกรมการจำลองพลศาสตร์การไหล (computational fluid dynamics simulation program) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3 โดยจำลองใน 3 รูปแบบได้ผลลัพธ์การจำลองโดยสรุปแสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 3 ตัวอย่างการจำลองรูปแบบการผสม

ตารางที่ 2 ผลการจำลองรูปแบบการผสม

Item	Case 1	Case 2	Case 3
Boundary conditions			
Tank volume (liters)	1,200	1,200	1,200
Impeller type	Pitched Blade 4	Pitched Blade 4	Helical 1
Speed of Agitator (rpm)	16	20	16
Report			
Turbulent kinetic energy (m ² /s ²)	Max2.98x10 ⁵	Max3.02x10 ⁵	Max9.76x10 ⁵
Flow rate (m ³ /s)	0.0406	0.0508	-
Shaft torque(n-m)	50.44	63.43	149.39
Shaft power (w)	84.51	132.84	250.30
Impeller torque (n-m)			
Number_1	12.88	16.20	149.39
Number_2	12.74	16.03	-
Number_3	12.38	15.57	-
Number_4	12.42	15.63	-
Total Impeller torque (n-m)	50.42	63.43	149.39
Impeller power (w)			
Number_1	21.59	33.92	250.30
Number_2	21.35	33.57	-
Number_3	20.75	32.62	-
Number_4	20.82	32.73	-
Total impeller power (w)	84.51	132.89	250.30

เมื่อได้ทำการเปรียบเทียบการทำงานของถังแรงดัน และทำการจำลองรูปแบบของใบกวนแล้ว โดยทั่วไปวิศวกรที่ทำการออกแบบระบบจะเลือกกระบวนถึงและใบกวนเพื่อนำไปเสนอกับลูกค้า มักขึ้นกับประสบการณ์และการตัดสินใจของผู้ออกแบบ โดยเลือกอุปกรณ์ตามค่าที่คำนวณได้และราคา ในการเลือกครั้งนี้ จะเห็น ได้ว่าการตัดสินใจทำได้โดยยากลำบาก เพราะแต่ละระบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป และมีราคาที่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จึงได้นำโปรแกรมเชิงเป้าหมายมาช่วยในการตัดสินใจ ในลำดับถัดไปจะทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาเข้าสู่รูปแบบของการ โปรแกรมเชิงเป้าหมาย

2.4 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเป้าหมาย

นำข้อมูลที่รวบรวมและคำนวณได้ มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการ โปรแกรมเชิงเป้าหมาย โดยเริ่มจากการกำหนดเป้าหมายและ target value ของแต่ละเป้าหมายก่อน ซึ่งในที่นี้ ผู้วิจัยใช้การกำหนดเป็น 2 เป้าหมายใหญ่ โดยเป้าหมายแรกคือเป้าหมายของการเลือกถังแรงดัน (แบ่งออกเป็น 2 เป้าหมายย่อย ได้แก่ Sub-Goal 1.1 และ Sub-Goal 1.2) และเป้าหมายที่ 2 (Goal 2) คือเป้าหมายในการเลือกใบกวน ในเป้าหมายแรกผู้วิจัยได้กำหนดเป้าหมายย่อยเป็น 2 เป้าหมายย่อยตามลำดับความสำคัญได้แก่ การเลือกระบบหล่อเลี้ยงถัง (Sub-Goal 1.1) และการเลือกสมรรถนะการทำงานของถัง (Sub-Goal 1.2) โดยทุกเป้าหมายมี target value (กำหนดให้ t_i แทนค่า target value ของเป้าหมายที่ i) เป็นสมรรถนะที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่ทำการเปรียบเทียบ ในส่วนเกณฑ์ทางด้านราคาใช้ราคาที่ถูกที่สุดเป็น target value

ผู้วิจัยสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เป็น 3 ชุด นั่นคือ Sub-Goal 1.1, Sub-Goal 1.2 และ Goal 2 โดย

กำหนดความสำคัญของเป้าหมายตามลำดับ และกำหนดสัญลักษณ์ของแต่ละเป้าหมายเรียงลำดับความสำคัญจากมากไปหาน้อย

Goal 1 คือการเลือกถังแรงดัน

Sub-Goal 1.1 คือการเลือกประเภทของถังแรงดันในส่วนนของระบบหล่อเลี้ยงถึง

โดย x_j = ตัวแปรตัดสินใจที่ j

กำหนดให้ j เท่ากับ 1,2,3,4,5 ตามชนิดของรูปแบบระบบหล่อเลี้ยงถึง spiral, chamber, haft tube, dimple (3 bar), dimple (6 bar) ตามลำดับ หากโปรแกรมเลือกรูปแบบถังดังกล่าวให้มีค่าตัวแปรตัดสินใจ เท่ากับ 1 และหาก ไม่เลือกให้มีค่าเท่ากับ 0

t_i = target value ของเป้าหมายที่ i

d_i^- = ค่าเบี่ยงเบนทางด้านต่ำกว่าเป้าหมาย ของเป้าหมายที่ i (Negative Deviation Variable)

d_i^+ = ค่าเบี่ยงเบนทางด้านสูงกว่าเป้าหมาย ของเป้าหมายที่ i (Positive Deviation Variable)

กำหนดให้

- $i = 1$ เป้าหมายเกี่ยวกับราคา (Cost) ของถัง
- $i = 2$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Heating Capacity (KW)
- $i = 3$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Heating Capacity (Min.)
- $i = 4$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Tank Volume (Liter)
- $i = 5$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Heat Up Rate (L/Min)
- $i = 6$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Production Rate (L/Min)
- $i = 7$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Steam Mass Flow Rate (Kg/Hr)
- $i = 8$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Steam Pressure (Bar g)
- $i = 9$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Steam Density (Kg/m³)

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$\text{Minimize } z = \sum_{i=1}^9 \left(\frac{1}{t_i}\right) (d_i^- + d_i^+) \quad (7)$$

โดยมีเงื่อนไข:

$$890,000x_1 + 850,000x_2 + 900,000x_3 + 910,000x_4 + 950,000x_5 + d_1^- + d_1^+ = 850,000 \quad (8)$$

$$81.2x_1 + 78.2x_2 + 33.87x_3 + 35.53x_4 + 54x_5 + d_2^- + d_2^+ = 76 \quad (9)$$

$$81.04x_1 + 84.07x_2 + 161.09x_3 + 187.77x_4 + 100.23x_5 + d_3^- + d_3^+ = 80 \quad (10)$$

$$1,200x_1 + 1,200x_2 + 1,200x_3 + 1,200x_4 + 1,200x_5 + d_4^- + d_4^+ = 1,200 \quad (11)$$

$$14.27x_1 + 14.81x_2 + 7.45x_3 + 6.49x_4 + 11.97x_5 + d_5^- + d_5^+ = 15 \quad (12)$$

$$1.69x_1 + 1.69x_2 + 1.47x_3 + 1.42x_4 + 1.64x_5 + d_6^- + d_6^+ = 1.69 \quad (13)$$

$$136.88x_1 + 131.92x_2 + 51.85x_3 + 53.95x_4 + 92.36x_5 + d_7^- + d_7^+ = 130 \quad (14)$$

$$3x_1 + 3x_2 + 3x_3 + 3x_4 + 6x_5 + d_8^- + d_8^+ = 3 \quad (15)$$

$$2.16x_1 + 2.16x_2 + 2.16x_3 + 2.16x_4 + 3.67x_5 + d_9^- + d_9^+ = 2.5 \quad (16)$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, d_1^-, d_1^+, d_2^-, d_2^+, d_3^-, d_3^+, d_4^-, d_4^+, d_5^-, d_5^+, d_6^-, d_6^+, d_7^-, d_7^+, d_8^-, d_8^+, d_9^-, d_9^+ \geq 0 \quad (17)$$

Sub-Goal 1.2 คือการเลือกประเภทของถังแรงดัน ในส่วนสมรรถนะการทำงานของถัง

โดย x_j = ตัวแปรตัดสินใจที่ j

โดยค่า j เท่ากับ 6,7,8,9,10 ตามรูปแบบถังผสม spiral, chamber, haft tube, dimple (3 bar), dimple (6 bar) ตามลำดับ หากโปรแกรมเลือกรูปแบบถังดังกล่าวให้มีค่าตัวแปรตัดสินใจ เท่ากับ 1 และหากไม่เลือกให้มีค่าเท่ากับ 0

กำหนดให้

$i = 10$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Steam Volume Flow rate (m³/Hr)

$i = 11$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Velocity Steam Supply (m/s)

$i = 12$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Steam Supply Surface Area (m²)

$i = 13$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Steam Tube Size

Standard (Inch)

$i = 14$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Water Density (Kg/m³)

$i = 15$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Water Volume Flow Rate (m³/Hr)

$i = 16$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Condensate Outlet

Velocity (m/s)

$i = 17$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Condensate Surface

Area (m²)

$i = 18$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Condensate Tube size

Standard (Inch)

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$\text{Minimize } z = \sum_{i=10}^{18} \left(\frac{1}{t_i}\right) (d_i^- + d_i^+) \quad (18)$$

โดยมีเงื่อนไข:

$$63.1x_6 + 60.82x_7 + 23.9x_8 + 24.87x_9 + 25.15x_{10} + d_{10}^- + d_{10}^+ = 60 \quad (19)$$

$$18.15x_6 + 17.49x_7 + 19.25x_8 + 20.03x_9 + 20.26x_{10} + d_{11}^- + d_{11}^+ = 18 \quad (20)$$

$$0.000966x_6 + 0.00097x_7 + 0.000345x_8 + 0.00035x_9 + 0.00035x_{10} + d_{12}^- + d_{12}^+ = 0.0009 \quad (21)$$

$$1.25x_6 + 1.25x_7 + 0.75x_8 + 0.75x_9 + 0.75x_{10} + d_{13}^- + d_{13}^+ = 1.25 \quad (22)$$

$$920.79x_6 + 920.79x_7 + 920.79x_8 + 920.79x_9 + 895.4x_{10} + d_{14}^- + d_{14}^+ = 920 \quad (23)$$

$$0.15x_6 + 0.14x_7 + 0.06x_8 + 0.06x_9 + 0.10x_{10} + d_{15}^- + d_{15}^+ = 0.14 \quad (24)$$

$$0.18x_6 + 0.17x_7 + 0.10x_8 + 0.11x_9 + 0.13x_{10} + d_{16}^- + d_{16}^+ = 0.15 \quad (25)$$

$$0.000229x_6 + 0.00023x_7 + 0.00015x_8 + 0.00015x_9 + 0.00023x_{10} + d_{17}^- + d_{17}^+ = 0.00025 \quad (26)$$

$$0.5x_6 + 0.5x_7 + 0.375x_8 + 0.375x_9 + 0.375x_{10} + d_{18}^- + d_{18}^+ = 0.5 \quad (27)$$

$$x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, d_{10}^-, d_{10}^+, d_{11}^-, d_{11}^+, d_{12}^-, d_{12}^+, d_{13}^-, d_{13}^+, d_{14}^-, d_{14}^+, d_{15}^-, d_{15}^+, d_{16}^-, d_{16}^+, d_{17}^-, d_{17}^+, d_{18}^-, d_{18}^+ \geq 0 \quad (28)$$

Goal 2 คือการเลือกใบกวน

โดย x_j = ตัวแปรตัดสินใจที่ j

โดยค่า j เท่ากับ 11,12,13 ตามผลการจำลองการผสมในใบกวนแต่ละรูปแบบ ได้แก่ case 1, case 2 และ case 3 ตามลำดับ หากโปรแกรมเลือกรูปแบบถึงดังกล่าวให้มีค่าตัวแปรตัดสินใจ เท่ากับ 1 และหากไม่เลือกให้มีค่าเท่ากับ 0

กำหนดให้

$i = 19$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Speed of Agitator (rpm)

$i = 20$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Turbulent Kinetic

Energy (m²/s²)

$i = 21$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Flow Rate (m³/s)

$i = 22$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Shaft Torque (n-m)

$i = 23$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Total Shaft & Impeller

Power (w)

$i = 24$ เป้าหมายเกี่ยวกับ Total Impeller Torque

(n-m)

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$\text{Minimize } z = \sum_{i=19}^{24} \left(\frac{1}{t_i}\right) (d_i^- + d_i^+) \quad (29)$$

โดยมีเงื่อนไข:

$$16x_{11} + 16x_{12} + 20x_{13} + d_{19}^- + d_{19}^+ = 16 \quad (30)$$

$$0.0000298x_{11} + 0.0000302x_{12} + 0.0000976x_{13} + d_{20}^- + d_{20}^+ = 0.00003 \quad (31)$$

$$0.0406x_{11} + 0.0508x_{12} + Mx_{13} + d_{21}^- + d_{21}^+ = 0.04 \quad (32)$$

$$50.44x_{11} + 63.43x_{12} + 149.39x_{13} + d_{22}^- + d_{22}^+ = 50 \quad (33)$$

$$84.51x_{11} + 132.84x_{12} + 250.30x_{13} + d_{23}^- + d_{23}^+ = 90 \quad (34)$$

$$50.42x_{11} + 63.43x_{12} + 149.39x_{13} + d_{24}^- + d_{24}^+ = 55 \quad (35)$$

$$x_{11}, x_{12}, x_{13}, d_{19}^-, d_{19}^+, d_{20}^-, d_{20}^+, d_{21}^-, d_{21}^+, d_{22}^-, d_{22}^+, d_{23}^-, d_{23}^+, d_{24}^-, d_{24}^+ \geq 0 \quad (36)$$

3. ผลการวิจัย

เมื่อนำแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเป้าหมายทั้ง 3 ชุดไปทำการสร้างรูปแบบการหาผลเฉลย โดยใช้ Microsoft excel solver ได้ผลของการตัดสินใจในการเลือกรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด นั่นคือ ให้ผลรวมของค่าเบี่ยงเบนต่ำที่สุด ดังนี้ ผลการคำนวณของเป้าหมายเลือกถังแรงดัน (Goal 1.1 และ Goal 1.2) การโปรแกรมเชิงเป้าหมายเลือกรูปแบบถัง Chamber ที่มีคุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการเลือกถังแรงดัน

Chamber Type	ค่าจริง	ค่าเบี่ยงเบน (d ⁺ ,d ⁻)	ค่าเป้าหมาย ที่ได้
Cost (Baht)	850,000	0	850,000
Heating Capacity (KW)	78.2	+0.2	78
Heating Capacity (Minute)	84.07	-0.93	85
Tank Volume (Litre)	1,200	0	1,200
Heat Rate Up (L/Min)	14.81	-0.19	15
Production Rate (L/Min)	1.69	0	1.69
Steam Mass Flow Rate (Kg/Hr)	131.92	+1.92	130
Steam Pressure (Bar g)	3	0	3
Steam Density (Kg/m ³)	2.16	-0.34	2.5
Steam Volume Flow Rate (m ³ /Hr)	60.82	+0.82	60
Velocity Steam Supply (m/s)	17.49	-0.51	18
Steam Supply Surface Area (m ²)	0.00097	0.00087	0.00010
Steam Tube Size Standard (Inch)	1.25	0	1.25
Water Density (Kg/m ³)	920.79	+0.79	920
Water Volume Flow Rate(m ³ /Hr)	0.14	0	0.14
Condensate Outlet Velocity (m/s)	0.17	+0.02	0.15
Condensate Surface Area (m ²)	0.00023	-0.00002	0.00025
Condensate Tube Size Standard (Inch)	0.50	0	0.50

โดยพบว่าได้ค่าผลรวมของความเบี่ยงเบนเป้าหมาย (ค่า minimize z) เท่ากับ 0.176946 ใน Goal 1.1 และ 0.33353 ใน Goal 1.2 และผลการคำนวณของเป้าหมายเลือกใบกวน (Goal 2) การโปรแกรมเชิงเป้าหมายเลือกใบกวนแบบ Pitched Blade 4 Type (16 rpm) ที่อยู่ในการจำลองรูปแบบการผสมแบบที่ 1 ดังคุณสมบัติในตารางที่ 5 โดยพบว่าได้ค่าผลรวมของความเบี่ยงเบนเป้าหมาย (ค่า minimize z) เท่ากับ 0.423468

ตารางที่ 5 ผลการเลือกรูปแบบถังผสมและใบกวนโดยใช้การโปรแกรมเชิงเป้าหมาย

แบบ Pitched Blade 4 Type (16 rpm)	ค่าจริง	ค่าเบี่ยงเบน (d ⁺ ,d ⁻)	ค่าเป้าหมาย ที่ได้
Speed of Agitator (rpm)	16	0	16
Turbulent Kinetic Energy (m ² /s ²)	0.0000298	0.0000002	0.000030
Flow Rate (m ³ /s)	0.0406	+0.0006	0.04
Shaft Torque (n-m)	50.44	+0.44	50
Total Shaft & Impeller Power (w)	84.51	-5.49	90
Total Impeller Torque (n-m)	50.42	-4.58	55

4. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการนำเอาโปรแกรมเชิงเป้าหมาย มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการออกแบบถังผสมและใบกวน เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกการออกแบบที่เหมาะสมจากหลายคุณสมบัติ หลายเป้าหมาย และเลือกจากความเบี่ยงเบนจากเป้าหมายโดยรวมน้อยที่สุด ความยากของการออกแบบอยู่ตรงที่สินค้าดังกล่าวมีราคา มีข้อมูลเชิงปริมาณ และข้อมูลทางเทคนิค ที่ยากต่อการตัดสินใจเลือกสิ่งที่ดีที่สุด เพราะมีข้อมูลจำนวนมาก และหลายเป้าหมาย ที่อาจจะ

เป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือมีความขัดแย้งกัน เช่น รูปแบบที่มีราคาถูก ก็อาจจะได้บางคุณลักษณะที่พอใช้ได้แต่ไม่ดีเท่าที่ผู้ออกแบบหรือลูกค้าต้องการ ผู้วิจัยได้ประยุกต์จากตัวอย่างการออกแบบดังผสมและไบกวนสำหรับถังแรงดันผลิตชุปใก่สกัดขนาด 1,200 ลิตร ซึ่งได้มีการกำหนดวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตให้เป็นไปอย่างเหมาะสม แต่ก็ต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นด้วย เช่น อุปกรณ์ประกอบ ค่าพารามิเตอร์ที่ช่วยตรวจสอบระหว่างผลิต อัตราการผลิต ทั้งนี้อาจหมายรวมถึงความยากง่ายในการบำรุงรักษาเพื่อจะได้เลือกออกแบบให้ดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ภายใต้ราคาที่เหมาะสม ในงานวิจัยนี้ได้มีการพิจารณาจากข้อมูลเป้าหมาย ได้แก่ ชนิดของถังแรงดัน ขนาดบรรจุ ราคา คุณลักษณะด้านความสามารถในการรับและการถ่ายเทความร้อน คุณลักษณะด้านการรับแรงดันไอน้ำ อัตราการไหลและคุณลักษณะการไหลของของเหลว เป็นต้น ผลการเลือกพบว่าโปรแกรมเชิงเป้าหมายได้เลือกรูปแบบของไบกวนแบบ Pitched Blade 4 Type (16 rpm) ที่อยู่ในการจำลองรูปแบบการผสมแบบที่ 1 และเลือกรูปแบบถัง Chamber @ 3 Bar G ซึ่งมีต้นทุนต่ำที่สุด ตรงกับการตัดสินใจเลือกโดยผู้ออกแบบ และลูกค้า แต่ที่เพิ่มเติมคือความมั่นใจในผลลัพธ์ของการเลือกรูปแบบสินค้านี้ ด้วยความเชื่อมั่นในวิธีการคัดเลือกที่ไม่มีความลำเอียงในเฉพาะเกณฑ์ทางด้านราคาแต่เพียงอย่างเดียว

จากผลของการตัดสินใจโดยใช้การโปรแกรมเชิงเป้าหมาย พบว่าสามารถนำไปต่อยอดและประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจได้ดีในการออกแบบเทคโนโลยีที่เหมาะสมในระบบอุตสาหกรรม ที่มีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนได้ดี

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (สัญญาเลขที่ Res-CIT0311/2017) และได้รับการอนุเคราะห์ทางด้านข้อมูลกรณีศึกษาจากคุณณัฐพงษ์ พลมณี

เอกสารอ้างอิง

- [1] F.S. Hillier, "Introduction to Mathematical Programming", McGraw-Hill Inc, Singapore, 1990.
- [2] P. Neammanee, "Resource Allocation Models", National Institute of Development Administration (NIDA), Bangkok, Thailand, 2008 (In Thai).
- [3] R.T. Marler and J.S. Arora, "Survey of multi-objective optimization methods for engineering", Structural and Multidisciplinary Optimization, Volume 26, Issue 6, pp 369–395, April 2004.
- [4] N. Koothongsumrit, "Selecting Optimal Distribution Route by Zero-one Goal Programming Model", Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology) Vol.12(2), pp.78-91, 2017 (In Thai).
- [5] Y. Pleumpirom and S. Amornsawadwatana, "Multiobjective Optimization of Aircraft Maintenance in Thailand Using Goal Programming: A Decision-Support Model", Advances in Decision Sciences, Vol.2012, Article ID 128346, 17 pages, doi:10.1155/2012/128346.
- [6] A. R. da Silva, F. R. de Almeida, and P. R. Pinheiro, "Applying a Goal Programming Model to Support the Selection of Artifacts in a Testing

- Process”, *Advances in Software Engineering*, Vol.2012, Article ID 765635, 10 pages, doi:10.1155/2012/765635.
- [7] M. Meenabun and K. Asawarungsangkul, “Competency based job rotation by using fuzzy weighted goal programming”, *Proceedings of 51st Kasetsart University Annual Conference: Architecture and Engineering*, Bangkok, 2013 (In Thai).
- [8] E.B. Kenneth and E.T. Bartlett, “Resource Allocation through Goal Programming”. *Journal of range management*, Volume 28(6), pp 442-447, 1975.
- [9] E. Dan Dan and O. Desmond, “Goal Programming -An Application to Budgetary Allocation of an institution of higher learning”, *Research Journal in Engineering and Applied Sciences*, Volume 2(2), pp.95-105, 2013.

ประวัติผู้ประพันธ์ :



กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ สำเร็จ
การศึกษาระดับปริญญาเอก
ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ภาควิชา
เทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาห
การ วิทยาลัยเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระ
นครเหนือ