ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)

ปริญญา

วิศวกรรมอุตสาหการ	วิศวกรรมอุตสาหการ
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเพียงแห่งเดียวภายใต้ความไม่แน่นอนของแหล่งวัตถุดิบ

Determination of Single Facility Location under Uncertain Supply

นามผู้วิจัย นางสาวธิติมา วงศ์พระเวทย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(รองศาสตราจารย์อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ....

(อาจารย์จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน, วศ.ด.)

หัวหน้าภาควิชา ....

(รองศาสตราจารย์อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเพียงแห่งเดียวภายใต้ความไม่แน่นอนของแหล่งวัตถุดิบ

Determination of Single Facility Location under Uncertain Supply

โดย

นางสาวธิติมา วงศ์พระเวทย์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)
พ.ศ. 2556

ธิติมา วงศ์พระเวทย์ 2556: การตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเพียงแห่งเดียวภายใต้ความไม่แน่นอนของแหล่งวัตุดิบ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อนันต์ มุ่งวัฒนา, Ph.D. 66 หน้า

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาสถานที่ตั้งโรงงานเพียงแห่งเดียวภายใต้ความไม่แน่นอนของแหล่งวัตถุดิบที่เป็นผลิตภัณฑ์การเกษตรโดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะขึ้นกับสภาพอากาศเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในการตั้งโรงงานจึงควรพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของแหล่งวัตถุดิบโดยโรงงานจัดซื้อวัตถุดิบจากจุดรับซื้อที่ต่างกัน 8 จุด ทำการแปรรูปวัตถุดิบให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ แล้วส่งต่อไปยังท่าเรือโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะลดลงครึ่งหนึ่งหลังผ่านกระบวนการแปรรูปจากโรงงาน เราทราบตำแหน่งที่แน่นอนของท่าเรือและจุดรับซื้อวัตถุดิบ แต่ไม่ทราบความต้องการที่แน่ชัดของปริมาณวัตถุดิบที่จะส่งเข้าโรงงงาน ซึ่งปริมาณวัตถุดิบนี้จะถูกประมาณค่าโดยผู้เชี่ยวชาญและถูกแทนด้วยจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนในงานวิจัย ผู้วิจัยนำเสนอวิธีการเชิงทนทาน (Robust Approach) และวีธีการใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่ (Fuzzy Number) เพื่อจัดการกับความไม่แน่นอนของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนในทุกจุดรับซื้อโดยค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุด (Low, Median, High) ของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนจะถูกใช้แทนในวิธีการแก้ปัญหาเชิงทนทาน และจะถูกแทนด้วยค่าน้อยสุด ค่าที่มีโอกาสเกิดมากที่สุด และค่ามากสุด (Min, Mode, Max) ในวีธีการใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่ กำหนดให้การวัดระยะทางเป็นแบบเส้นตรง (Rectilinear) โดยมีวัตถุประสงค์ให้ระยะทางรวมมีค่าน้อยที่สุด ผลการวิจัยพบว่าทั้งวิธีการเชิงทนทานและวิธีการใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่ต่างให้พิกัดในการตั้งโรงงานที่เหมือนกัน แม้ว่าทั้ง 2 วิธีจะมีการจัดการกับความไม่แน่นอนของข้อมูลที่ต่างกัน โดยวิธีเชิงทนทานนั้นจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนที่เกิดขึ้นแต่ละค่ามีโอกาสเกิดเท่ากัน จึงต้องสร้างรอบเหตุการณ์ที่เป็นได้ทั้งหมดแล้วพิจารณาค่าระยะทางรวมเฉลี่ยและค่าระยะทางรวมกรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case) ให้น้อยที่สุดเพื่อเป็นพิกัดที่ตั้งโรงงาน ส่วนวิธีตัวเลขแบบฟัซซี่นั้นจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนที่เกิดขึ้นแต่ละค่ามีโอกาสเกิดไม่เท่ากันโดยค่าที่ใช้ต้องได้มาจากการประเมินของผู้มีประสบการณ์หรือผู้เชี่ยวชาญในปัญหา จึงทำให้เกิดรอบเหตุการณ์ในการพิจารณาเพียงรอบเดียว จากนั้นสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนแล้วทำการหาพิกัดที่ตั้งโรงงานที่ให้ค่าระยะทางรวมน้อยที่สุด

____________________ ____________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Titima Wongphrawet 2013: Determination of Single Facility Location under Uncertain Supply. Master of Engineering (Industrial Engineering), Major Field: Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anan Mungwattana, Ph.D. 66 pages.

This research aims at solving a single facility location problem under uncertainty for a manufacturing factory. The cause of uncertainty comes from suppliers of this factory because raw materials are agricultural products in which their yields rely heavily on the weather. Thus, building the new factory must take this uncertainty into account. The factory receives raw materials from eight different locations, then manufactures, and transports them to a port. Usually, after the raw materials are manufactured in the factory, the weight is reduced by half. The locations of suppliers for raw materials and the port are known, however, the supplies of raw materials are not known with certainty as discussed earlier. The suppliers of raw materials are approximately given by experts. In this research, the uncertainty is handled by using the concept of fuzzy number and robust optimization approach in order to determine the location of the factory. The low, median and high values of supplies for each location of raw materials are used to solve in robust approach, and the min, mode and max values are used to solve in fuzzy number approach. The rectilinear distance is assumed with the minisum objective. The goal of the research is to determine an appropriate location using robust approach in order to deal with uncertainty of supplies. The results show that although there is same decision process in robust and fuzzy number approach, solutions are different. In the robust approach, every scenario has the same probability. Then, the solution which has the minimum value from all maximize value of all scenarios is selected. For the fuzzy number approach, experts provide the probability of each scenario. The location selected is the scenario with minimum distance.

____________________ ____________________ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของงานวิจัยนี้มาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รวมทั้งคณะกรรมการในการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้ายทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.เสาวณีย์ เลิศวรสิริกุล อาจารย์ประจำภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำงานวิจัย

ท้ายที่สุดข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนด้านการศึกษาเสมอมา รวมทั้งเพื่อนๆ ที่ได้ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนลุล่วงไปได้ด้วยดี

ธิติมา วงศ์พระเวทย์

เมษายน 2556

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	54
สรุปและข้อเสนอแนะ	60
สรุป	60
ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	62
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	66

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตัวอย่างการคำนวณผลรวมความเหนือกว่าระหว่าง A_1 และ A_2	31
2	การกำหนดพิกัด (x, y) และจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนของแต่ละจุดรับซื้อ	39
3	การคำนวณหาค่าพิกัด X	40
4	การคำนวณหาค่าพิกัด Y	41
5	รอบเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นเมื่อมี 2 จุดรับซื้อ	43
6	รอบเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นเมื่อมี 8 จุดรับซื้อ	43
7	การนำแต่ละชุดคำตอบแทนในทุกเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้	45
8	การหาระยะทางรวมเฉลี่ยของแต่ละพิกัด	46
9	การคำนวณหาค่าพิกัด X ด้วยตัวเลขฟัซซี่	49
10	การคำนวณหาค่าพิกัด Y ด้วยตัวเลขฟัซซี่	51
11	การเปรียบเทียบการถ่วงน้ำหนักของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนระหว่างการใช้ค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดค่าใดค่าหนึ่งกับการใช้ทั้งสามค่าในวิธีเชิงทนทาน	54
12	การเปรียบเทียบผลระหว่างวิธีเชิงทนทานและวิธีการใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่	56

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เส้นทางแบบเส้นตรงที่แตกต่างระหว่าง X และ P_i	4
2	ระยะทางที่คาดหวังระหว่างความต้องการและการให้บริการ	6
3	ตัวอย่างเซตแบบดั้งเดิม	16
4	ตัวอย่างฟัซซี่เซต	17
5	ฟัซซี่เซตที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยม	18
6	ฟัซซี่เซตที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู	18
7	ฟัซซี่เซตที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูประฆังคว่ำ	18
8	ส่วนประกอบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในฟัซซี่เซต	19
9	อัลฟาคัทของฟัซซี่เซตคนสูง	20
10	ฟัซซี่เซตแบบปกติและคอนเว็กซ์	21
11	ฟัซซี่เซตแบบปกติและไม่คอนเว็กซ์	21
12	ตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยม $\tilde{P} = (a,b,c)$	22
13	ตัวเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู $\tilde{\mathrm{M}} = (a,b,c,d)$	23
14	กระบวนการทางฟัซซี่ลอจิก	25
15	การทำฟัซซิฟิเคชั่น	26
16	การทำคณิตศาสตร์ทางฟัซซี่	26
17	การทำดีฟัซซิฟิเคชั่น	27
18	ระยะกว้างด้านซ้ายและขวาของตัวเลขฟัซซี่ $\tilde{A}_i$ และ $\tilde{A}_j$	30
19	ตำแหน่งของจุดรับซื้อวัตถุดิบและท่าเรือ	36
20	ตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนของสถานที่ (1)	48
21	ความที่สะสมของตัวเลขฟัซซี่แต่ละชั้นในการหาพิกัด x	49
22	ความที่สะสมของตัวเลขฟัซซี่แต่ละชั้นในการหาพิกัด y	51
23	ตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมของระยะทางรวมแกน x และแกน y	53
24	ค่าพิกัดที่เหมาะกับการตั้งโรงงานที่ได้จากวิธีแก้ปัญหาโดยใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่	57
25	แสดงพิกัดที่ตั้งโรงงานของวิธีการเชิงทนทานและวิธีการใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่	58

การตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเพียงแห่งเดียวภายใต้ความไม่แน่นอนของแหล่งวัตถุดิบ

Determination of Single Facility Location under Uncertain Supply

คำนำ

การขยายตัวของเศรษฐกิจในปัจจุบัน ทำให้มีธุรกิจใหม่ๆเกิดมากมาย ปฏิเสธไม่ได้เลยว่าหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้ธุรกิจประสบความสำเร็จนั้นคือการเลือกถานที่ตั้ง ทำเลหรือสถานที่ตั้งนั้นหมายถึงแหล่งที่จะทำให้ธุรกิจสามารถประกอบกิจกรรมได้สะดวก โดยคำนึงถึงผลกำไร ค่าใช้จ่ายและสภาพแวดล้อมภายนอกอื่นๆตลอดระยะเวลาที่ประกอบธุรกิจนั้น การตัดสินใจในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานปีนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ซึ่งมีผลกระทบต่อองค์กรและการบริหารในหลายด้านเช่น การบริหารห่วงโซ่อุปทาน โลจิสติกส์ การบริหารความสัมพันธ์กับลูกค้าและการปฏิบัติการ การเลือกสถานที่ตั้งเป็นเรื่องที่มีความสำคัญและมีผลต่อการดำเนินงานขององค์กรทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ทั้งในด้านของรายได้ ค่าใช้จ่าย บริษัทจะได้รับผลกระทบทันทีหากทำการเลือกที่ตั้งโรงงานไม่เหมาะสม การเลือกสถานที่ตั้งโรงงานจะต้องพิจารณาปัจจัยหลายอย่างทั้งในด้านที่ดิน แรงงาน โครงสร้างพื้นฐานสาธารณูปโภค สิ่งแวดล้อม ระบบภาษี ตลาด แหล่งวัตถุดิบและ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าขนส่งสินค้าซึ่งเป็นต้นทุนแปรผันและเป็นต้นทุนด้านโลจิสติกส์อย่างหนึ่งที่มีสัดส่วนถึงร้อยละ 7.2 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (Gross Domestic Product: GDP)

ในการศึกษาหาสถานที่ตั้งโรงงานครั้งนี้มีเงื่อนไขอยู่ว่าน้ำหนักของวัตถุดิบเปลี่ยนแปลงไปมากเมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิต กล่าวอีกนัยหนึ่งคือน้ำหนักของวัตถุดิบกับสินค้าสำเร็จมีค่าต่างกันมาก ในกรณีนี้โรงงานควรจะอยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัตถุดิบ แต่เนื่องจากแหล่งวัตุดิบมีการกระจายตัวอยู่หลายแห่งโดยแต่ละแห่งมีปริมาณการส่งวัตถุดิบที่ไม่แน่นอนทำให้ยากต่อการตัดสินใจในการเลือกสถานที่ตั้ง

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหาสถานที่ตั้งโรงงานเพียงแห่งเดียวภายใต้ความไม่แน่นอนของปริมาณวัตถุดิบที่ส่งเข้าโรงงาน

2. นำเสนอกระบวนการจัดการกับความไม่แน่นอนของปริมาณวัตถุดิบที่ส่งเข้าโรงงาน 2 วิธี ได้แก่ วิธีการเชิงทนทาน (Robust Approach) และวิธีการใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่ (Fuzzy Number)

3. กำหนดกระบวนการตัดสินใจให้ระยะทางรวมในการขนส่งสินค้าระหว่างแหล่งวัตถุดิบกับโรงงาน และระยะทางระหว่างโรงงานกับท่าเรือส่งสินค้ามีค่าน้อยที่สุด

ขอบเขตของงานวิจัย

1. หาสถานที่ตั้งโรงงานเพียงแห่งเดียว (Single Facility Location)
2. ขนส่งสินค้าประเภทเดียว (Single Product)
3. รถที่ใช้ในการขนส่งมีประเภทเดียว (Single - Capacitated Vehicle)
4. การส่งสินค้าเต็มคันรถ (Full Truck Load)
5. กำหนดให้การวัดระยะทางเป็นแบบเส้นตรง คือวัดระยะทางตามแนวแกน x และ y โดยให้ระยะทางรวมมีค่าน้อยที่สุด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้คือ เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ใช้ประกอบการตัดสินใจเพื่อเลือกสถานที่ตั้งโรงงงานภายใต้สถานการณ์ที่ไม่แน่นอน อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับองค์กรอื่นๆ ได้

การตรวจเอกสาร

การตรวจเอกสารแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเลือกตำแหน่งที่ตั้ง หมายถึง การจัดหาสถานที่สำหรับประกอบธุรกิจหรือกิจการให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยคำนึงถึงกำไร ค่าใช้จ่าย ความสัมพันธ์กับลูกค้า ความสะดวก ตลอดจนสภาพแวดล้อมต่างๆที่ดี ตลอดระยะเวลาที่ประกอบกิจการ โดยการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมจะมีบทบาทโดยตรงต่อขีดความสามารถในการให้บริการ ศักยภาพในการแข่งขันและความอยู่รอดขององค์กร ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งมีการศึกษาอย่างมากมาย ตัวอย่างเช่น การหาที่ตั้งโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋อง โดยมากมักต้องการให้โรงงานอยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบ เพราะน้ำหนักของสินค้าก่อนและหลังแปรรูปมีความต่างกันมาก ดังนั้นการที่โรงงานอยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบจะช่วยให้ประหยัดต้นทุนค่าขนส่งไปได้มาก ในส่วนของโรงพยาบาลและสถานีดับเพลิงเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมบริการที่ต้องอยู่ใกล้กับผู้ใช้บริการให้มากที่สุดเพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นอย่างทันท่วงที ส่วนการหาที่ตั้งคลังสินค้าควรอยู่ในที่ที่สามารถรับและกระจายสินค้าสินค้าจากผู้ผลิตสู่ลูกค้าได้รวดเร็ว เป็นต้น

แนวทางที่เป็นที่นิยมในการแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม (Facility Location Problem) หรือปัญหา FLP คือ การจำลองปัญหาและเงื่อนไขในการตัดสินใจในสถานการณ์จริงให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ จากนั้นใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์แก้สมการเพื่อหาคำตอบให้กับปัญหาจริง (จันทร์ศิริ, 2554) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนที่ 1 จะกล่าวถึงรูปแบบทั่วไปของระยะทางในปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการเดินทาง ส่วนที่ 2 กล่าวถึงประเภทของปัญหา FLP และส่วนที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีฟัซซี่เซต ตามลำดับ

1. รูปแบบทั่วไปของระยะทางในปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการเดินทาง (General Formulation of the Problem)

$$f(X) = \sum_{i=1}^{n} w_i d(X, P_i) \tag{1}$$

โดย $f(X)$ คือ ค่าขนส่งต่อปี

$X = (x, y)$ คือ พิกัดของสถานที่ตั้งแห่งใหม่

$d = (x_i, y_i)$ คือ ระยะทางระหว่างสถานที่ตั้งใหม่กับสถานที่ตั้งเดิม i

$P_i = (a_i, b_i)$ คือ พิกัดของสถานที่ตั้งเดิม i

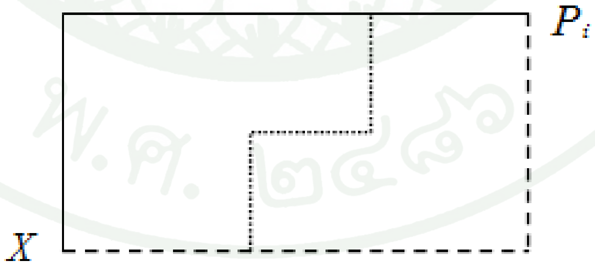
w_i คือ การถ่วงน้ำหนักของสถานที่ตั้งเดิม i

i คือ ตำแหน่งที่ i ของสถานที่ทั้งหมด

n คือ จำนวนของสถานที่ทั้งหมด

Farahani and Hekmatfar (2009) กล่าวว่าปัญหาที่เกี่ยวข้องกับระยะทางในการเดินทางจะประกอบไปด้วยระยะทางแบบเส้นตรง (Rectilinear) แบบยูคลิเดียนยกกำลังสอง (Square Euclidean) แบบยูคลิเดียน (Euclidean) แบบแอลพีนอม (LP-Norm) และแบบพื้นที่ (Regional Facilities)

1.1 ระยะทางแบบเส้นตรงโดยพิจารณาสถานที่เป็นแบบจุด (Rectilinear Distance with Point Facilities) ระยะทางในแนวแกน x และ y เป็นอิสระต่อกันเหมาะสำหรับปัญหาการหาสถานที่ตั้งขนาดใหญ่และง่ายสำหรับการคำนวน ภาพที่ 1 แสดงระยะทางแบบเส้นตรงที่เท่ากันของแต่ละเส้นทางที่แตกต่างระหว่าง X และ P_i (Francis and White, 1974) ให้ฟังก์ชันราคาค่าขนส่งเป็นสัดส่วนระยะทางแบบเส้นตรงระหว่าง X และ P_i จะได้



ภาพที่ 1 เส้นทางแบบเส้นตรงที่แตกต่างระหว่าง X และ P_i

ที่มา: Farahani and Hekmatfar (2009)

$$\text{Min } f(x,y) = \sum_{i=1}^{n} w_j \left[|x-a_j| + |y-b_j| \right] \tag{2}$$

โดยสมการ (2) สามารถแบ่งเป็นสองปัญหาที่อิสระต่อกันได้ คือ

$$\text{Min } f(x,y) = \text{Min } \sum_{j=1}^{n} w_j |x-a_j| + \sum_{j=1}^{n} w_j |y-b_j| \tag{3}$$

และสมการ (3) สามารถแยกได้เป็น

$$\text{Min } f(x) = \sum_{i=1}^{n} w_j |x-a_j| \tag{4}$$

และ

$$\text{Min } f(y) = \sum_{i=1}^{n} w_j |y-b_j| \tag{5}$$

1.2 ระยะทางแบบยูคลิเดียนยกกำลังสองโดยพิจารณาสถานที่เป็นแบบจุด (Square Euclidean Distance with Point Facilities) เหมาะสำหรับฟังก์ชันราคาค่าขนส่งที่ไม่เป็นเส้นตรง เช่น ราคาเกี่ยวกับการตอบสนองของรถดับเพลิง โดยจะขึ้นกับปัญหาของแต่ละสถานที่ รูปแบบหนึ่งของ $f(x)$ แบบ ที่ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear) ในที่นี้คือปัญหาการถ่วงน้ำหนัก (Gravity Problem) ถ้าสมมติให้ฟังก์ชันราคาค่าขนส่งเป็นสัดส่วนระยะทางแบบยูคลิเดียนระหว่าง X และ P_i (Francis and White, 1974) จะได้

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n} w_j \left[(x-a_j)^2 + (y-b_j)^2 \right] \tag{6}$$

1.3 ระยะทางแบบยูคลิเดียนโดยพิจารณาสถานที่เป็นแบบจุด (Euclidean Distance with Point Facilities) ระยะทางแบบยูคลิดจะประยุกต์ใช้กับปัญหา Network Location Problem เกี่ยวกับสายพาน การเดินทางทางอากาศ และปัญหาการออกแบบการเดินท่อ (Pipeline) เป็นต้น สมมติให้ฟังก์ชันราคาค่าขนส่งเป็นสัดส่วนระยะทางแบบยูคลิเดียนระหว่าง X และ P_i (Francis and White, 1974) จะได้

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n} w_j \left[(x-a_j)^2 + (y-b_j)^2 \right]^{0.5} \tag{7}$$

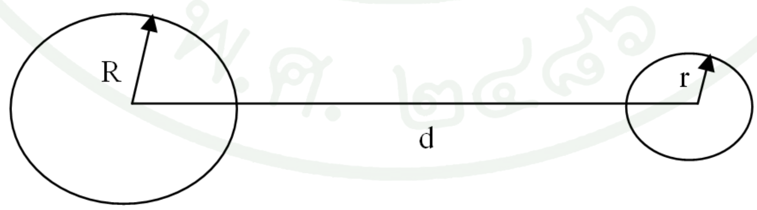
1.4 ระยะทางแบบแอลพีนอมโดยพิจารณาสถานที่เป็นแบบจุด (LP-Norm Distance with Point Facilities) นอมมักจะถูกใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการทำนายฟังก์ชันระยะทางใน continuous location model (Uster and Love, 2002) ระยะทางแบบ l_p- norm ระหว่างจุดสองจุด $u = (u_1,u_2)$ และ $v = (v_1,v_2)$ คือ

$$l_p(u,v) = \left[|u_1 - v_1|^p + |u_2 - v_2|^p\right]^{1/p}, p \geq 1 \tag{8}$$

1.5 ขอบเขตของสถานที่อำนวยความสะดวก (Regional Facilities Problem) หากพิจารณาสถานที่ตั้งสิ่งอำนวยความสะดวกแห่งเดียวบนระนาบในปัญหาประเภทระยะทางรวมน้อยที่สุด (Minisun) ทั้งสถานที่ที่ต้องการ (Demand Location) และ สิ่งอำนวยความสะดวกที่ตั้งอยู่ (Facilities to be located) จะถูกสมมติให้เป็นรูปวงกลมโดยความต้องการและการให้บริการจะถูกสมมติให้มีความน่าจะเป็นแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Probability) ภายในรูปวงกลม โดย d_e (Effective Distance) คือระยะทางที่คาดหวังระหว่างความต้องการและการให้บริการดังแสดงในภาพที่ 2 โดย R แทนสิ่งอำนวยความสะดวก r แทนพื้นที่ความต้องการ d แทนระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของวงกลมทั้งสอง ให้ $d(x,y)$ เป็นระยะทางระหว่างจุด X และ Y (ในเมทริกใดๆ) F แทนสิ่งอำนวยความสะดวก และ D แทนความต้องการ ความน่าจะเป็นของการให้บริการและความต้องการคือ $dF / \int x \in F \; dF$ และ $dD / \int x \in F \; dD$ ตามลำดับ

$$d_e = \frac{\int_{x \in F} \int_{y \in D} d(X,Y)\, dF\, dD}{\int_{x \in F} dF \int_{y \in D} dD} \tag{9}$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาระยะทางรวมน้อยที่สุด (Minisun) คือ ผลรวมที่เชื่อมโยงหระหว่างจุดความต้องการ (Demand Point) และ สถานที่อำนวยความสะดวก (Facilities) d_e คือระยะทางที่เชื่อมโยงหระหว่างพื้นที่ความต้องการ (D) และ สถานที่อำนวยความสะดวก (F) ระยะทางนี้จะถูกทำให้เพิ่มขึ้นโดยการถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมและจะถูกทำให้มีค่าน้อยที่สุด (Drezner, 1986)



ภาพที่ 2 ระยะทางที่คาดหวังระหว่างความต้องการและการให้บริการ

ที่มา: Farahani and Hekmatfar (2009)

2. ประเภทของปัญหา FLP

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงประเภทของปัญหา FLP โดยพิจารณาจากปัจจัยที่มีผลต่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้แก่ วัตถุประสงค์ในการตั้งสถานที่ให้บริการ สภาวการณ์ในการตัดสินใจ ภายใต้ความแน่นอน ความเสี่ยง หรือความไม่แน่นอนของข้อมูลนำเข้าและช่วงระยะเวลาที่พิจารณาความเหมาะสมของสถานที่ให้บริการซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก คือ ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบดีเทอร์มินิสติก แบบพลวัต แบบสโตแคสติก และแบบเชิงทนทาน (จันทร์ศิริ, 2554) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic Facility Location Problems)

เป็นปัญหา FLP ที่เลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมโดยพิจารณา ณ เวลาใดเวลาหนึ่งที่ทำการตัดสินใจและพิจารณาปัจจัยนำเข้าเช่น ความต้องการของลูกค้า ตำแหน่งของลูกค้า ต้นทุนการขนส่ง เป็นต้น เป็นค่าที่ทราบค่าแน่นอนและมีค่าคงที่ ซึ่งปัญหานี้เป็นปัญหาพื้นฐานที่จะถูกนำไปขยายผลเป็นปัญหาในหัวข้อ 2.1-2.4 ต่อไป ปัญหานี้สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทย่อยตามวัตถุประสงค์ในการตั้งสถานที่ให้บริการ ดังต่อไปนี้

2.1.1 ปัญหาระยะทางรวมน้อยที่สุด (Minisum Facility Location Problems)

เป็นปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการจำนวน P แห่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวม (ซึ่งหมายรวมถึง ระยะทาง หรือ เวลาในการขนส่ง ซึ่งอาจมีการถ่วงน้ำหนักตามความต้องการของลูกค้าหรือไม่ก็ได้) ระหว่างสถานที่ให้บริการกับลูกค้าทุกคนมีค่าน้อยที่สุด มีรูปแบบทั่วไปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$\text{Min} \quad \sum_i \sum_j w_j d_{ij} Y_{ij} \tag{10}$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_j X_j = P \tag{11}$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \qquad ;\forall i \tag{12}$$

$$\sum_i w_i Y_{ij} \le s_j X_j \qquad ;\forall j \tag{13}$$

$$X_j \in \{0,1\} \qquad ;\forall j \qquad (14)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \qquad ;\forall i, \forall j \qquad (15)$$

โดยข้อมูลนำเข้าคือ

w_j คือ ปริมาณสินค้าหรือบริการของลูกค้าที่ตำแหน่งที่ i

d_{ij} คือ ระยะทางระหว่าลูกค้าที่อยู่ตำแหน่งที่ i กับสถานที่ให้บริการตำแหน่ง j

s_j คือ ขีดความสามารถในการให้บริการของสถานที่ให้บริการที่อยู่ตำแหน่งที่ j และมีตัวแปรตัดสินใจคือ

$$X_j = \begin{cases} 1 \text{ ถ้าเลือกตั้งสถานที่ให้บริการที่ตำแหน่งที่ j} \\ 0 \text{ ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ ถ้าลูกค้าตำแหน่งที่ i ได้รับบริการจากสถานที่ให้บริการที่ตำแหน่งที่ j} \\ 0 \text{ ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$$

สมการเป้าหมาย (10) เป็นการหาค่าระยะทางรวมระหว่างลูกค้าและสถานที่ให้บริการ สมการข้อจำกัด (11) เป็นข้อจำกัดในการเลือกจำนวนตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งให้บริการให้เท่ากับจำนวนแหล่งให้บริการที่กำหนด (P แห่ง) สมการข้อจำกัด (12) รับประกันว่าลูกค้าทุกคนจะได้รับการให้บริการจากแหล่งให้บริการ สมการข้อจำกัด (13) แสดงถึงว่าลูกค้าที่ตำแหน่ง i จะรับบริการจากสถานที่ให้บริการที่ตำแหน่ง j ได้ก็ต่อเมื่อตำแหน่งที่ j มีสถานที่ให้บริการตั้งอยู่และสถานที่ให้บริการจะให้บริการได้ไม่เกินขีดความสามารถในการให้บริการที่มีอยู่ ถ้าหากสถานที่ให้บริการที่พิจารณานั้นไม่มีข้อจำกัดด้านขีดความสามารถในการให้บริการจะแทนสมการนี้ด้วยสมการ $Y_{ij} \le X_j ;\forall i, \forall j$ (Owen and Daskin, 1998) ส่วนสมการที่ (14-15) แสดงข้อจำกัดเชิงตัวเลขของตัวแปรในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งและการจัดสรรบริการ

หากพิจารณาตำแหน่งที่ตั้งเป็นพิกัดใด ๆ บนพื้นระนาบ ปัญหานี้เป็นที่รู้จักกันดีในชื่อปัญหาเวเบอร์ (Weber Problems) โดยระยะทางระหว่างสถานที่ให้บริการกับลูกค้า (d_{ij}) จะถูกพิจารณาเป็นฟังก์ชันของระยะทางระหว่างพิกัดบนระนาบซึ่งมีอยู่ 3 รูปแบบด้วยกันคือ แบบเส้นตรง (Rectilinear) แบบยุคลิเดียน (Euclidean) และ แบบยุคลิเดียนยกกำลังสอง (Squared Euclidean) ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ในการเลือกใช้ฟังก์ชันระยะทางควรเลือกให้สอดคล้องและเหมาะสมกับลักษณะของปัญหาจริง เช่น หากพิจารณาสถานที่ตั้งของเครื่องจักรตัวใหม่ ระยะทางระหว่างเครื่องจักรไปยังสถานีงานที่รับชิ้นส่วนก็มักจะถูกพิจารณาเป็นแบบเส้นตรง เนื่องจากการขนย้ายมักเดินตามเส้นกรอบพื้นที่ที่จัดวางเครื่องจักร เป็นต้น

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งที่มีฟังก์ชันระยะทางเป็นแบบเส้นตรงโดยที่ระยะทางรวมมีค่าน้อยที่สุด เป็นไปดังสมการ (10)-(15) แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้ยังไม่มีสถานที่ตั้งโรงงานสมการในการแก้ปัญหาจึงลดรูปเป็นไปดังสมการ (2)-(5) โดย (x, y) คือ ตำแหน่งของโรงงาน (a_j, b_j) คือ ตำแหน่งลูกค้าหรือตำแหน่งจุดรับซื้อที่ j w_j คือ ความต้องการลูกค้าหรือการถ่วงน้ำหนักของจุดรับซื้อที่ j และ n คือ จำนวนลูกค้า ใช้คุณสมบัติของ Median Location (ชญานี, 2553) ในการแก้สมการ (2) ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ระบุพิกัด a ของลูกค้าทั้งหมดและเรียงจากน้อยไปมาก
2. หาพิกัด a ลำดับที่ g ซึ่งผลรวมสะสมของ w_j เท่ากับหรือมากกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำหนักรวมในครั้งแรกโดย

$$(\sum_{j=1}^{g-1} w_j) < (\frac{\sum_{j=1}^{n} w_j}{2}) \tag{16}$$

และ

$$(\sum_{j=1}^{g} w_j) \geq (\frac{\sum_{j=1}^{n} w_j}{2}) \tag{17}$$

3. ทำเหมือนข้อ 1 โดยเปลี่ยนพิกัดของ a เป็น b
4. ทำเหมือนข้อ 2 โดยเปลี่ยนพิกัด g เป็นพิกัด h
5. ตำแหน่งที่ดีที่สุดของโรงงานคือพิกัด a ลำดับที่ g และพิกัด b ตำแหน่งที่ h ที่ระบุไว้ในข้อ 2 และ 4 ตามลำดับ

2.1.2 ปัญหาครอบคลุมความต้องการของลูกค้า (Covering Problem)

เป็นปัญหาที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ลูกค้าสามารถเข้ารับบริการได้อย่างทั่วถึงด้วยระยะทางหรือระยะเวลาที่ยอมรับได้ โดยในที่นี้การให้บริการจะครอบคลุมความต้องการของลูกค้า ก็ต่อเมื่อสถานที่ให้บริการอยู่ห่างจากลูกค้าในระยะที่กำหนดไว้หรือลูกค้าสามารถเดินทางมารับบริการได้ในระยะเวลาที่กำหนด เช่น สถานีดับเพลิง โรงพยาบาล ปัญหาประเภทนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.1.2.1 ปัญหาครอบคลุมความต้องการของลูกค้าทุกคนด้วยต้นทุนน้อยที่สุด (Set Covering Problem) เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการโดยใช้จำนวนหรือต้นทุน

ในการสร้างสถานที่ให้บริการที่น้อยที่สุดเพื่อให้ครอบคลุมกลุ่มลูกค้าทั้งหมด ซึ่งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั่วไปดังนี้ (Owen and Daskin, 1998)

$$\text{Min} \sum_{j} c_j X_j \tag{18}$$

$$\text{subject to} \sum_{j \in N_i} X_j \geq 1 \;\; ; \forall i \tag{19}$$

$$X_j \in \{0,1\} \; ; \forall j \tag{20}$$

โดยข้อมูลนำเข้า

c_j คือ ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสถานที่ให้บริการ

S คือ ระยะทางที่ไกลหรือเวลาที่นานที่สุดที่ยอมรับได้จากสถานที่ให้บริการไปยังลูกค้า

N_i คือ เซตของตำแหน่งที่ตั้งที่อยู่ห่างจากลูกค้าที่ตำแหน่งที่ i ด้วยระยะทางที่ยอมรับได้

สมการ (18) แสดงเป้าหมายการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเพื่อให้ต้นทุนก่อสร้างหรือจำนวนสถานที่ให้บริการน้อยที่สุด สมการข้อจำกัด (19) รับประกันว่าลูกค้าทุกคนจะได้รับบริการจากสถานที่ให้บริการที่อยู่ภายในระยะทางที่กำหนดอย่างน้อยหนึ่งแห่ง ส่วนสมการข้อจำกัดที่ (20) เป็นข้อจำกัดเชิงตัวเลข

2.1.2.2 ปัญหาครอบคลุมความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด (Maximal Covering Problem) เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งให้กับสถานที่ให้บริการจำนวน P แห่ง เพื่อให้สามารถครอบคลุมความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด ซึ่งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{Max} \sum_{i} w_i Z_i \tag{21}$$

$$\text{subject to} \sum_{j \in N_i} X_j \geq Z_i \;\; ; \forall i \tag{22}$$

$$\sum_{j} X_j = P \tag{23}$$

$$X_j \in \{0,1\} \qquad ; \forall j \tag{24}$$

$$Z_i \in \{0,1\} \qquad ; \forall i \tag{25}$$

โดยมีตัวแปรตัดสินใจเพิ่มเติม คือ

$$Z_i = \begin{cases} 1 \text{ ถ้าความต้องการของลูกค้าที่ตำแหน่ง i ถูกครอบคลุม} \\ 0 \text{ ถ้าความต้องการของลูกค้าที่ตำแหน่ง i ไม่ถูกครอบคลุม} \end{cases}$$

สมการที่ (21) เป็นการครอบคลุมความต้องการของลูกค้าให้มากที่สุด โดยมีสมการข้อจำกัด (22) รับประกันว่าลูกค้าที่ถูกครอบคลุมจะได้รับการให้บริการจากสถานที่ให้บริการที่ตั้งอยู่ภายในระยะทางที่กำหนดสมการข้อจำกัด (23) แสดงถึงข้อจำกัดของจำนวนของตำแหน่งที่ตั้งที่จะถูกเลือกจะมีจำนวนเท่ากับ P แห่งเท่านั้น และสมการ (24-25) เป็นข้อจำกัดเชิงตัวเลข

2.1.3 ปัญหาระยะทางไกลที่สุดน้อยที่สุด (Minimax Facility Location Problems)

เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมให้กับสถานีที่ให้บริการ P แห่ง เพื่อให้ลูกค้าที่อยู่ไกลที่สุดได้อยู่ใกล้สถานที่ให้บริการมากที่สุด มักพบในกรณีที่ต้องการประกันความเสี่ยงในการเข้าถึงสถานที่ให้บริการของลูกค้าที่อยู่ห่างไกลจากสถานที่ให้บริการมากที่สุด ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉิน ซึ่งจะไม่เหมือนกับกรณีที่พิจารณาเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ โดยทั่วไป เช่น คลังสินค้า ศูนย์การค้า เป็นต้น เหมือนในประเภทปัญหาระยะทางรวมน้อยที่สุด และแม้จะมีเป้าหมายที่คล้ายคลึงกับปัญหาประเภทปัญหาครอบคลุมความต้องการของลูกค้า แต่กลับพิจารณาในมุมมองตรงกันข้ามคือ แทนที่จะกำหนดระยะครอบคลุมที่ยอมรับได้เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งและจำนวนของสถานที่ให้บริการหรือจำนวนลูกค้าที่ถูกครอบคลุมความต้องการ กลับเป็นการกำหนดจำนวนสถานที่ให้บริการมา เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งที่จะทำให้ระยะครอบคลุมของลูกค้าที่อยู่ห่างไกลจากสถานที่ให้บริการที่ใกล้ที่สุดมีค่าต่ำที่สุด โดยทั่วไปจะเรียกปัญหานี้ว่า ปัญหา p-Center ซึ่งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{Min D} \tag{26}$$

$$\text{subject to} \sum_j X_j = P \tag{27}$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \qquad ;\forall i \tag{28}$$

$$Y_{ij} \le X_j \qquad ;\forall i, \forall j \tag{29}$$

$$D \ge \sum_j d_{ij} Y_{ij} \qquad ;\forall i \tag{30}$$

$$X_j \in \{0,1\} \qquad ;\forall j \tag{31}$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \qquad ;\forall i, \forall j \tag{32}$$

โดยกำหนดตัวแปรตัดสินใจเพิ่ม คือ D เป็นระยะทางที่ไกลที่สุดระหว่างลูกค้ากับสถานที่ให้บริการที่อยู่ใกล้ที่สุด ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในสมการ (26) เป็นการทำให้ระยะทางที่ไกลที่สุดมีค่าน้อยที่สุด สมการ (27) – (29) แสดงเงื่อนไขเดียวกันกับสมการ (11) – (13) ในกรณีที่ไม่มีข้อจำกัดด้านขีดความสามารถในการให้บริการของสถานที่ให้บริการ สมการ (30) เป็นการจำกัดระยะทางที่ไกลที่สุดของลูกค้าและสมกา (31) – (32) เป็นข้อจำกัดเชิงตัวเลข

2.1.4 ปัญหาสถานที่ให้บริการที่ไม่พึงประสงค์ (Obnoxious Facility Location Problems)

สถานที่ให้บริการที่กล่าวถึงในปัญหาข้างต้น นั้นเป็นสถานที่ให้บริการที่มีลักษณะทั่วไปคือ ยิ่งลูกค้าอยู่ใกล้ยิ่งสะดวกและดี แต่ปัญหาในประเภทนี้เกิดขึ้นกรณีที่สถานที่ให้บริการไม่เป็นที่พึงประสงค์ให้มีที่ตั้งอยู่ใกล้กับกลุ่มลูกค้า เนื่องจากอาจเป็นอันตรายต่อสุขอนามัยหรือสวัสดิภาพของสถานที่ใกล้เคียง แต่ก็เป็นสถานที่ที่มีประโยชน์และยังคงไม่ต้องการให้อยู่ห่างจากลูกค้าจนเกินไปเนื่องจากเหตุผลด้านต้นทุนการขนส่ง เช่น โรงงานกำจัดขยะ โรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ บ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น ปัญหาประเภทนี้มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งสถานที่ให้บริการคล้ายคลึงกับปัญหาประเภท 2.1.1 -2.1.4 แต่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในทิศทางตรงกันข้าม ได้แก่

(Church and Garfinkel, 1978) ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเพื่อให้ระยะทางรวมระหว่างสถานที่ให้บริการกับลูกค้ามีค่ามากที่สุดแต่อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด (Maxisum Facility Location Problems)

(Berman et al., 1996) ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเพื่อให้มีลูกค้าอยู่ในพื้นที่รอบสถานที่ให้บริการน้อยที่สุด (Minimum Covering Problems)

(Drezner and Wesolowsky, 1980) ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเพื่อให้ลูกค้าที่อยู่ใกล้ที่สุดมีระยะห่างจากสถานที่ให้บริการมากที่สุด (Maximin Facility Location Problem)

2.1.5 ปัญหาอื่น ๆ

ปัญหาที่ขยายผลมาจากปัญหาทั้ง 4 ประเภทข้างต้นมีความหลากหลายตามรายละเอียดเพิ่มเติมของปัญหา ยกตัวอย่าง เช่น กรณีที่สถานที่ให้บริการที่พิจารณาให้บริการหรือขายสินค้าที่มีความหลากหลาย (Multicommodity) หรือกรณีที่มีการส่งมอบสินค้าในหลายระดับ (Muti-level) เช่นอาจมีสินค้าบางส่วนถูกส่งมอบโดยตรงจากโรงงานไปยังลูกค้าและอาจมีบางส่วนถูกส่งจากโรงงานไปยังศูนย์กระจายสินค้าก่อนแล้วจึงกระจายสินค้าจากศูนย์นี้ไปยังลูกค้าอีกครั้งหนึ่ง หรือในกรณีที่มีเป้าหมายในการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งสถานที่ให้บริการมากกว่าหนึ่ง (Multi-objective) หรือ ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเพื่อให้ต้นทุนรวม เช่น ด้านการก่อสร้าง การดำเนินการและการขนส่งต่ำที่สุด (Fixed Charged Facility Location Problems)

2.2 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบพลวัต (Dynamic Facility Location Problems)

ปัญหา FLP ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง แต่ในความเป็นจริงแล้วปัญหา FLP เป็นการตัดสินใจที่ส่งผลในระยะยาวซึ่งข้อมูลนำเข้าอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา เช่นความต้องการของลูกค้าที่อาจเพิ่มขึ้นจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจ เป็นต้น ปัญหาประเภทนี้จึงคำนึงถึงการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง โดยในแต่ละขณะเวลาที่ตัดสินใจจะพิจารณาปัจจัยนำเข้าเป็นค่าที่ทราบค่าแน่นอนแต่ไม่คงที่เมื่อระยะเวลาเปลี่ยนไป

2.3 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบสโตแคสติก (Stochastic Facility Location Problems)

เป็นปัญหา FLP ที่พิจารณาปัจจัยนำเข้าเป็นค่าไม่แน่นอนที่สามารถอธิบายได้ด้วยความน่าจะเป็น โดยมีทั้งปัญหาที่ขยายผลจากปัญหาในประเภทที่ 2.1 และปัญหาที่ถูกพัฒนาขึ้นในรูปแบบที่แตกต่างออกไป เพื่อสะท้อนถึงสภาพที่แท้จริงของปัญหา วิธีการแก้ปัญหาขึ้นอยู่กับลักษณะของพารามิเตอร์ที่มีความไม่แน่นอน โดยหากพารามิเตอร์ที่ไม่แน่นอนนั้นเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง วิธีการที่ใช้จะอยู่ภายใต้แนวคิดการหาคำตอบที่ดีที่สุดภายใต้สภาวการณ์ต่าง ๆ ที่พิจารณา (The Scenario Approach) แต่ถ้าหากค่าพารามิเตอร์ที่ไม่แน่นอนนั้นเป็นค่าต่อเนื่องซึ่งมักจะกำหนดช่วงของค่าพารามิเตอร์ ซึ่งการตัดสินใจจะพิจารณาภายใต้สภาวการณ์ที่เลวร้ายที่สุด (Worst Case Scenario)

2.4 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเชิงทนทาน (Robust Facility Location Problems)

เป็นปัญหา FLP ที่พิจารณาปัจจัยนำเข้าเป็นค่าไม่แน่นอนที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยความน่าจะเป็น โดยเป้าหมายก็คือต้องการให้ผลของการตัดสินใจเป็นการตัดสินใจที่ดีแม้ค่าพารามิเตอร์จะเปลี่ยนไปตามความไม่แน่นอนที่พิจารณา ตัววัดส่วนใหญ่ที่ใช้ในการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นมักจะใช้อยู่สองตัววัด ได้แก่ ค่าเสียโอกาสจากการตัดสินใจที่ผิดพลาด (Regret) และ ค่าใช้จ่าย โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะอยู่ในรูปแบบที่ต้องการทำให้ค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการตัดสินใจผิดพลาดหรือค่าใช้จ่ายที่มากที่สุดมีค่าน้อยที่สุด และมักจะเป็นการขยายผลจากปัญหาแบบ p-Median (Minimax Regret Median Location Problems) (Averbakh and Berman, 2000) หรือ แบบ p-Center (Minimax Regret p-Center Location Problems) (Averbakh and Berman, 1997)

3. ทฤษฎีฟัซซี่เซต

ทฤษฎีฟัซซี่เซต (Fuzzy Set Theory หรือ FST) ถูกคิดค้นขึ้นในปี 1965 โดย Lotfi Zadeh เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในกรณีที่ปัจจัยหรือปัญหาที่พิจารณาแสดงหรืออยู่ในรูปความไม่แน่นอนแบบไม่สุ่ม ทฤษฎีฟัซซี่เซตสามารถใช้วิธีทางคณิตศาสตร์จำลองความไม่แน่นอนที่อยู่ในรูปของความคลุมเครือ (Vagueness or Fuzziness) และ ความไม่แม่นยำ (Impression) และหรือการขาดข้อมูลบางส่วน โดยใช้ตัวแปรที่มีลักษณะคำอธิบายเป็นภาษาพูดของมนุษย์ (Linguistic Variables) หรือตัวแปรเชิงปริมาณคุณภาพ (Qualitative Variables) เพื่อที่จะอธิบายความไม่แน่นอนนั้น (ฐิติมาภรณ์, 2549)

ตัวอย่างเช่น การหาความหมายของ “คนที่อ้วน” เราไม่สามารถนิยามค่าความอ้วนที่ตรงกันและระบุเป็นหนึ่งเดียว (Identical) สำหรับคนที่อ้วน นาย ก. จะให้ความหมายของ “ คนอ้วน ” หมายถึงคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 70 กิโลกรัม นาย ข. ให้ความหมายว่าเป็นคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม ซึ่งทั้งสองคนต่างแสดงความหมายของคำว่าคนที่อ้วนโดยเปรียบเทียบในมุมมองของตัวเองตามน้ำหนักของตน ในการทำงานในมุมมองแบบฐานสอง (Binary sense) จะได้ผลเป็น ใช่ หรือ ไม่ใช่ เพียง 2 กรณี ซึ่งหากกำหนดว่า คนที่อ้วนคือคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม คอมพิวเตอร์จะให้ผลว่าคนที่มีน้ำหนัก 74.50 กิโลกรัม ไม่จัดเป็นคนที่อ้วน แต่จะเห็นว่าบุคคลนี้

เป็นคนอ้วนน้ำหนักเกือบจะ 75 กิโลกรัม และถึงแม้ว่าบุคคลนี้จะน้ำหนัก 75 กิโลกรัม แต่หากพิจารณาจากกลุ่มคนที่น้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัม บุคคลนี้ก็จะไม่จัดอยู่ในกลุ่มคนที่อ้วน แสดงให้เห็นว่า ความอ้วนไม่ได้มีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่ม (พยุง, ม.ป.ป.)

โสภณ (2543) กล่าวถึงความแตกต่างระหว่างทฤษฎีฟัซซี่เซตกับทฤษฎีความน่าจะเป็นว่า ทฤษฎีความน่าจะเป็นเป็นทฤษฎีว่าด้วยความไม่แน่นอนของการคาดหมาย (Expectation) เหตุการณ์ในอนาคตโดยใช้พื้นฐานจากข้อมูลที่มีอยู่ ตัวอย่างเช่น ความน่าจะเป็นของคนถัดไปที่จะเข้ามาในห้องที่มีน้ำหนักเกิน 80 กิโลกรัม ในทีมนักกีฬาเพาะกายทีมหนึ่ง โดยเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะใช้หลักการสุ่ม (Randomness) แต่ทฤษฎีฟัซซี่เซตจะเป็นการกล่าวถึงความไม่แน่นอนที่เกิดจากการตีความความหมายของคำนั้นๆ ตัวอย่างเช่น คนที่น้ำหนักเกิน 80 กิโลกรัม จัดว่าเป็นคนที่มีน้ำหนักมากหรือไม่ จะเห็นได้ว่าถ้าพิจารณากับทีมนักกีฬาเพาะกายแล้วจะจัดอยู่ในเกณฑ์ปกติ แต่ถ้าพิจารณากับบุคคลทั่วไปจะจัดอยู่ในเกณฑ์น้ำหนักมากซึ่งลักษณะดังกล่าวจัดเป็นความคลุมเครือ (Fuzzyness) ที่เกิดจากการตีความหมายสิ่งที่พิจารณา

3.1 ความแตกต่างระหว่างฟัซซี่เซตกับเซตดั้งเดิม

Zadeh ได้นำเสนอฟัซซี่เซต (Fuzzy Set) ที่แตกต่างไปจากเซตดั้งเดิม (Classical Set) หรือที่เรียกกันว่า Crisp Set กล่าวคือฟัซซี่เซตเป็นเซตที่ไม่มีขอบเขตแน่นอน (Imprecise Boundary Set) ไม่สามารถระบุสมาชิกที่แน่นอนได้เหมือนกับเซตที่มีขอบเขตที่แน่นอน (Precise Boundary Set) ลักษณะความไม่แน่นอนของฟัซซี่เซตนี้จะเป็นความไม่แน่นอนที่อยู่ในรูปของภาษา (Linguistic) หรือความคลุมเครือ (Vagueness) (โสภณ, 2543)

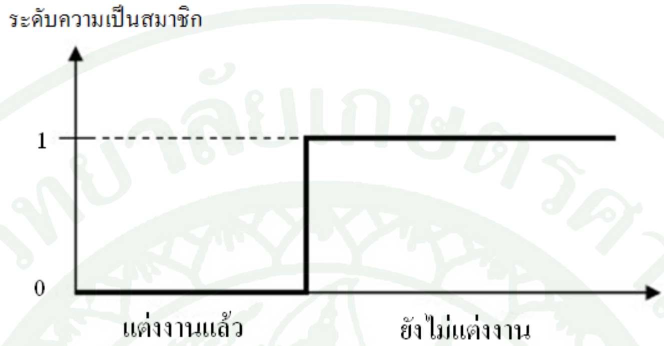
3.2 ระดับความเป็นสมาชิกในฟัซซี่เซต

จากการเป็นเซตที่มีขอบเขตที่ไม่แน่นอนของฟัซซี่เซตทำให้ไม่สามารถระบุสมาชิกที่แน่นอนของฟัซซี่เซตได้ ดังนั้นสมาชิกในฟัซซี่เซตหนึ่งๆจึงมีระดับการเป็นสมาชิกในฟัซซี่เซต (Membership Degree) ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น เซตของอุณหภูมิที่อบอุ่น จะพบว่าเป็นไปได้ทั้งที่อุณหภูมิ 25°c 30°c หรือ 35°c ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของแต่ละบุคคล โดยในแต่ละค่าจะมีระดับของการเป็นสมาชิกที่แตกต่างกันไปจากน้อยไปมากตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งมีความหมายดังนี้(โสภณ, 2543)

ระดับ 0 หมายถึง ค่านั้นๆไม่เป็นสมาชิกในเซต

ระดับ 1 หมายถึง ค่านั้นๆเป็นสมาชิกในเซต

ระดับระหว่าง 0 ถึง 1 หมายถึง ค่านั้นๆบางส่วนเป็นสมาชิกในเซตและบางส่วนไม่เป็นไม่เป็นสมาชิกในเซต



ภาพที่ 3 ตัวอย่างเซตแบบดั้งเดิม

ที่มา: พยุง (ม.ป.ป.)

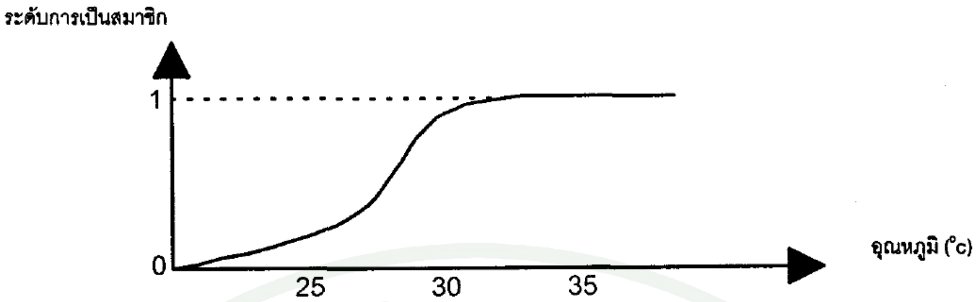
ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างเซตแบบดั้งเดิม ถ้าเราสนใจระดับความเป็นสมาชิกของเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน จากภาพจะเห็นได้ว่า ผู้ที่แต่งงานแล้วจะมีระดับความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ไม่แต่งงานเป็น 0 ส่วนผู้ที่ไม่แต่งงานมีระดับความเป็นสมาชิกภาพของเซตผู้ที่ไม่แต่งงานเป็น 1 ระดับความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะตัดขาดจากกันอย่างทันทีทันใด รูปแบบคณิตศาสตร์ของเซตแบบฉบับแสดงดังนี้

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (33)$$

โดยที่ A เป็นเซตแบบฉบับ (Classical Set)

x เป็นสมาชิกในเซต (Set Member)

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A (Membership Function)



ภาพที่ 4 ตัวอย่างฟัซซี่เซต

ที่มา: โสภณ (2543)

ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างระดับการเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตอุณหภูมิที่อบอุ่น จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 25°c มีระดับค่าความเป็นสมาชิกน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 30°c รูปแบบคณิตศาสตร์ของฟัซซี่เซตแสดงดังนี้

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1] \tag{34}$$

เมื่อ $\mu_{A}(x)$ สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ในฟัซซี่เซต $\tilde{A}$ สำหรับแต่ละ ฟัซซี่เซต สามารถเขียนเป็นเซตของคู่ลำดับ (tuples) (พยุง, ม.ป.ป.)

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\} \tag{35}$$

โดยที่ $\tilde{A}$ เป็นฟัซซี่เซต $\tilde{A}$

x เป็นสมาชิกของเซต

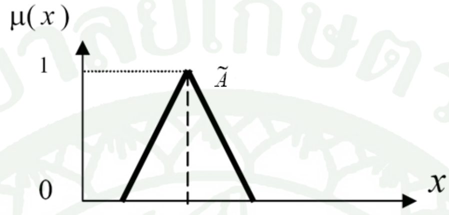
$\mu_{\tilde{A}}(x)$ เป็นค่าของความเป็นสมาชิก

X เป็นประชากร

3.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

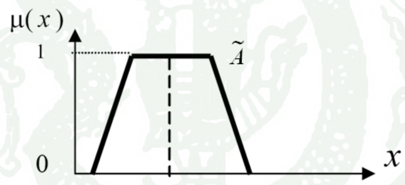
ฐิติมาภรณ์ (2549) กล่าวว่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่

กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจนและคลุมเครือ เป็นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟัซซี่ เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิดอาจอยู่ในรูปฟังก์ชันที่ต่อเนื่อง (Continuous) หรือไม่ต่อเนื่อง (Discrete) รูปแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่นิยมคือ รูปสามเหลี่ยม (Triangular) รูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal) และรูปโค้งระฆังคว่ำ (Bell - Shaped) ดังแสดงในภาพที่ 5-7



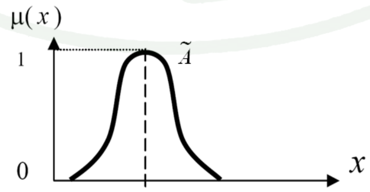
ภาพที่ 5 ฟัซซี่เซตที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยม

ที่มา: ฐิติมาภรณ์ (2549)



ภาพที่ 6 ฟัซซี่เซตที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

ที่มา: ฐิติมาภรณ์ (2549)



ภาพที่ 7 ฟัซซี่เซตที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูประฆังคว่ำ

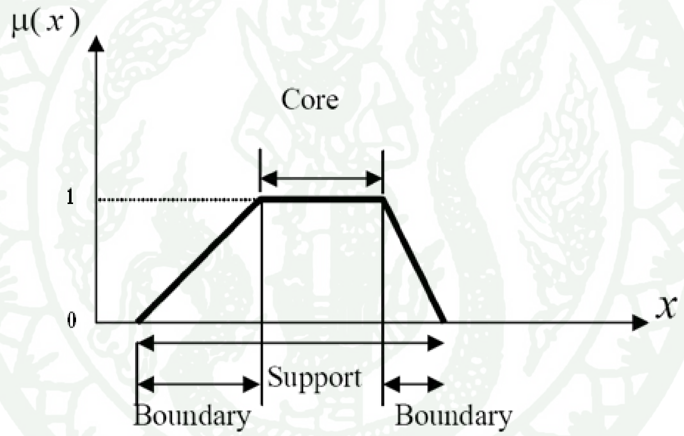
ที่มา: ฐิติมาภรณ์ (2549)

3.3.1 ลักษณะเฉพาะของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Features of Membership Function) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Ross, 1995) ประกอบด้วย

1.ส่วนแกน (The Core) คือ ส่วนที่มีระดับความเป็นสมาชิกเต็ม หรือสมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 1 หรือ $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ สำหรับเซต $\tilde{A}$

2.ส่วนสนับสนุน (The Support) คือส่วนที่มีระดับความเป็นสมาชิกมีค่าไม่เท่ากับ 0 หรือ $\mu_{\tilde{A}}(x) > 0$ สำหรับเซต $\tilde{A}$

3.ส่วนขอบ (The Boundaries) คือ ส่วนที่มีระดับความเป็นสมาชิกไม่เท่ากับ 0 แต่ต้องไม่มีระดับความเป็นสมาชิกเต็ม ที่มีค่าเท่ากับ 1 หรือ $0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1$ สำหรับเซต $\tilde{A}$ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ส่วนประกอบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในฟัซซี่เซต

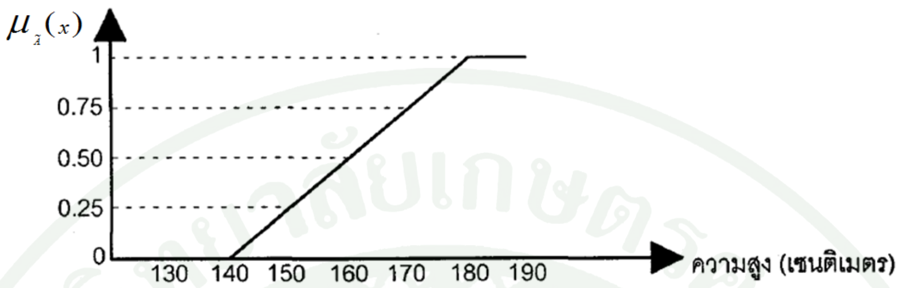
ที่มา: ฐิติมาภรณ์ (2549)

3.4 อัลฟาคัทและสตรองอัลฟาคัท

อัลฟาคัท (α-cut) และสตองอัลฟาคัท (strong α-cut) เป็นวิธีการหนึ่งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟัซซี่เซตและเซตดั้งเดิม โดยระดับของ α ในฟัซซี่เซต $\tilde{A}$ เป็นระดับความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ในฟัซซี่เซต $\tilde{A}$ สำหรับแต่ละฟัซซี่เซต ดังแสดงในสมการ(36), (37) ตามลำดับ(โสภณ, 2543)

$$A^{\alpha} = \{x \in X | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\} \quad (36)$$

$$A'^{\alpha} = \{x \in X | \mu_{\tilde{A}}(x) > \alpha\} \quad \text{โดยที่ } \alpha \in [0,1] \quad (37)$$



ภาพที่ 9 อัลฟาคัทของฟัซซี่เซตคนสูง

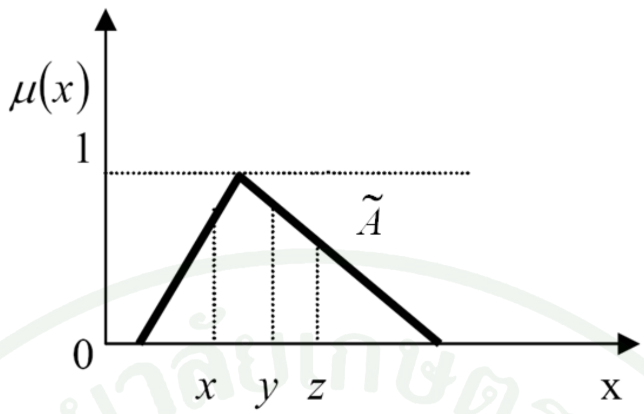
ที่มา: โสภณ (2543)

จากภาพที่ 9 จะพบว่าอัลฟาคัท $A^{0} = [130,190]$ $A^{0.25} = [150,190]$ $A^{0.5} = [160,190]$ $A^{0.75} = [170,190]$ และ $A^{1} = [180,190]$ ซึ่งจะพบว่า ถ้า $\alpha 1 < \alpha 2$ แล้ว $A^{\alpha 1} \supseteq A^{\alpha 2}$ และจะได้ว่า $A^{\alpha 1} \cap A^{\alpha 2} = A^{\alpha 2}$ และ $A^{\alpha 1} \cup A^{\alpha 2} = A^{\alpha 1}$ ส่วนสตองอัลฟาคัทสตรอง $A'^{0} = (140,190]$ $A'^{0.25} = (150,190]$ $A'^{0.5} = (160,190]$ $A'^{0.75} = (170,190]$ และ $A'^{1} = \varnothing$ และเช่นเดียวกับอัลฟาคัท ถ้า $\alpha 1 < \alpha 2$ แล้ว $A'^{\alpha 1} \supseteq A'^{\alpha 2}$ และจะได้ว่า $A'^{\alpha 1} \cap A'^{\alpha 2} = A'^{\alpha 2}$ และ $A'^{\alpha 1} \cup A'^{\alpha 2} = A'^{\alpha 1}$

3.5 ตัวเลขฟัซซี่ (Fuzzy Number)

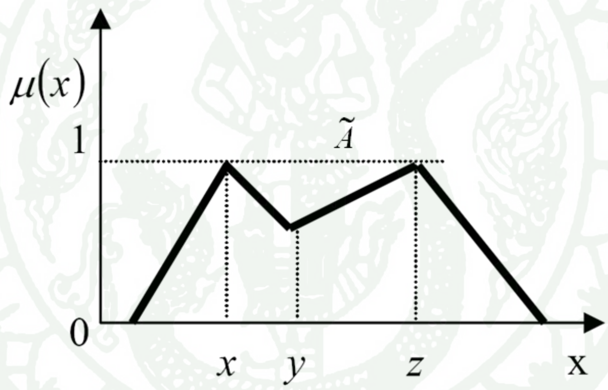
ฐิติมาภรณ์ (2549) กล่าวว่าตัวเลขฟัซซี่เป็นฟัซซี่เซตที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบปกติ (Normal) และแบบคอนเว็กซ์ (Convex) ฟัซซี่เซตปกติ (Normal Fuzzy Set) คือ เซตที่มีอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ ที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีค่าเท่ากับ 1 หรือมีความเป็นสมาชิกแบบเต็มสมบูรณ์ ส่วนฟัซซี่เซตคอนเว็กซ์ (Convex Fuzzy Set) คือ เซตที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกหนึ่งใน 3 ลักษณะ ดังนี้คือ

1. เพิ่มขึ้นอย่างเดียว หรือ
2. ลดลงเพียงอย่างเดียว หรือ
3. เพิ่มขึ้นแล้วลดลงตามค่าของสมาชิกที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 10 ฟัซซี่เซตแบบปกติและคอนเว็กซ์

ที่มา: ฐิติมาภรณ์ (2549)



ภาพที่ 11 ฟัซซี่เซตแบบปกติและไม่คอนเว็กซ์

ที่มา: ฐิติมาภรณ์ (2549)

หรือสำหรับองค์ประกอบ x, y และ z ในฟัซซี่เซต $\tilde{A}$ โดย x < y < z แล้ว

$$\mu_{\tilde{A}}(y) \geq \min\left[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{A}}(z)\right] \tag{38}$$

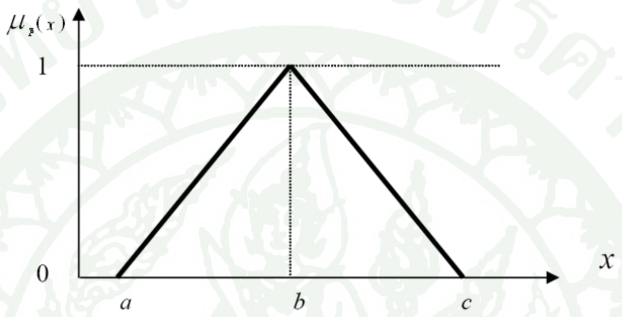
โดย $\mu_{\tilde{A}}(y)$ คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขององค์ประกอบ y ในฟัซซี่เซต $\tilde{A}$

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขององค์ประกอบ x ในฟัซซี่เซต $\tilde{A}$

$\mu_{\tilde{A}}(z)$ คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขององค์ประกอบ z ในฟัซซี่เซต $\tilde{A}$

ฟัซซี่เซตคอนเว็กซ์และไม่คอนเว็กซ์แสดงดังในภาพที่ 10 และ 11 ตามลำดับ

ตัวเลขฟัซซี่มีหลายรูปแบบ แต่ที่พบมากที่สุดคือตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยม (Triangular Fuzzy Number, TFN) ซึ่งเป็นตัวเลขฟัซซี่แบบจำเพาะชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการสรุปและอธิบายความกำกวมของตัวแปรทางภาษา ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตแบบสามเหลี่ยม $\tilde{P}$ ขององค์ประกอบหรือตัวแปร x หรือ $\mu_{\tilde{P}}(x)$ ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวคือ (a, b, c) กำกับ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรทางภาษาที่กำกวมกับระดับความเป็นสมาชิก ตัวอย่างของตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยม $\tilde{P} = (a,b,c)$ ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยม $\tilde{P} = (a,b,c)$

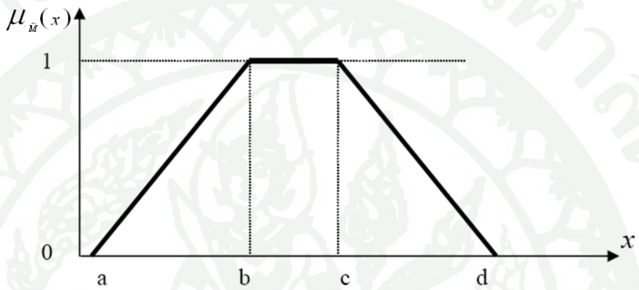
ที่มา: ฐิติมาภรณ์ (2549)

พารามิเตอร์ a b และ c แสดงค่าน้อยที่สุด ค่าที่เป็นไปได้มากที่สุด และค่าที่มากที่สุดตามลำดับ ตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมใช้สำหรับอธิบายเหตุการณ์ที่เป็นฟัซซี่ (Fuzzy Event) และมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกขององค์ประกอบหรือตัวแปร x ใด ๆ แสดงดังสมการดังสมการ (39) โดย $\mu_{\tilde{P}}(x)$ คือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร x ในฟัซซี่เซต $\tilde{P}$

$$\mu_{\tilde{P}}(x) = \begin{cases} 0 & ; x < a \\ (x-a)/(b-a) & ; a \le x \le b \\ (c-x)/(c-b) & ; b \le x \le c \\ 0 & ; x > c \end{cases} \tag{39}$$

จากภาพ ตัวเลขฟัซซี่ $\tilde{P}$ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ $\tilde{P}$ จะแสดงให้เห็นว่า การที่ค่า x เพิ่มจาก a ไป b สอดคล้องกับระดับความเป็นสมาชิกเพิ่มเป็นเส้นตรงจาก 0 ไป 1 และการที่ค่า x เพิ่มจาก b ไป c สอดคล้องกับระดับความเป็นสมาชิกลดเป็นเส้นตรงจาก 1 ไป 0

ตัวเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Fuzzy Number) เป็นตัวเลขฟัซซี่อีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้ ในการสรุปและอธิบายความกำกวมของตัวแปรทางภาษา ในกรณีที่สมาชิกของฟัซซี่เซต มีค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่มีค่าสูงสุดมากกว่า 1 ตัว ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซตแบบสี่เหลี่ยมคางหมู $\tilde{M}$ ของตัวแปร x หรือ $\mu_{\tilde{M}}(x)$ ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ 4 ตัว คือ (a,b,c,d) ตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยม จัดเป็นกรณีพิเศษของตัวเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมูโดยสามารถเขียนได้เป็น (a,b,b,c) ตัวอย่างของตัวเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู $\tilde{M} = (a,b,c,d)$ ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ตัวเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู $\tilde{M} = (a,b,c,d)$

ที่มา: ฐิติมาภรณ์ (2549)

พารามิเตอร์ a b c และ d แสดงค่าน้อยที่สุด ค่าที่เป็นไปได้มากที่สุด 2 ค่าและค่าที่มากที่สุดตามลำดับ ตัวเลขฟัซซี่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู มีฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิก แสดงดังสมการ (40)

$$\mu_{\tilde{M}}(x) = \begin{cases} 0 & ; x < a \\ (x-a)/(b-a) & ; a \le x < b \\ 1 & ; b \le x \le c \\ (d-x)/(d-c) & ; c < x \le d \end{cases} \tag{40}$$

3.6 การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ของตัวเลขฟัซซี่ แบบสามเหลี่ยม

การดำเนิการขั้นพื้นฐานประกอบไปด้วยการบวก การลบ การคูณและการหาร (Gani and Assarudeen, 2012) กำหนด $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ และ $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$

1.การบวก (Addition):

$$\tilde{A}+\tilde{B}=\left(a_1+b_1, a_2+b_2, a_3+b_3\right)$$

2.การลบ (Subtraction):

$$\tilde{A}-\tilde{B}=\left(a_1-b_3, a_2-b_2, a_3-b_1\right)$$

3.การคูณ (Multiplication):

$$\tilde{A}*\tilde{B}=\left(\min\left(a_1b_1, a_1b_3, a_3b_1, a_3b_3\right)\right),$$
$$a_2b_2, \left(\max\left(a_1b_1, a_1b_3, a_3b_1, a_3b_3\right)\right)$$

4.การหาร (Division):

$$\tilde{A}/\tilde{B}=\left(\min\left(a_1/b_1, a_1/b_3, a_3/b_1, a_3/b_3\right)\right),$$
$$a_2/b_2, \left(\max\left(a_1/b_1, a_1/b_3, a_3/b_1, a_3/b_3\right)\right)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนด $\tilde{A}=(2,4,6)$ และ $\tilde{B}=(1,2,3)$

1.การบวก (Addition):

$$\tilde{A}+\tilde{B}=(3,6,9)$$
$$\tilde{A}+\tilde{A}=(4,8,12)$$

2.การลบ (Subtraction):

$$\tilde{A}-\tilde{B}=(-1,2,5)$$

$$\tilde{A}-\tilde{A}=(-4,0,4)$$

3.การคูณ (Multiplication):

$$\tilde{A}*\tilde{B}=(2,8,18)$$

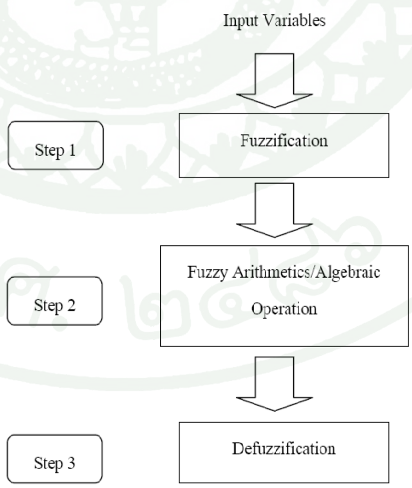
4.การหาร (Division):

$$\tilde{A}/\tilde{B}=\left(\frac{2}{3},\frac{4}{2},\frac{6}{1}\right)$$

$$\tilde{A}/\tilde{A}=\left(\frac{2}{6},\frac{4}{4},\frac{6}{2}\right)$$

3.7 **กระบวนการใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตในการตัดสินใจ**

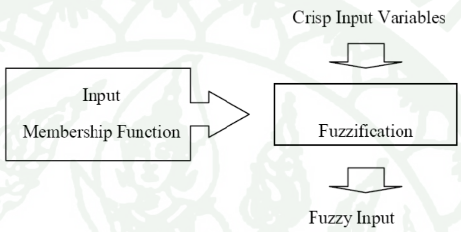
การนำทฤษฎีฟัซซี่เซตไปใช้ในกระบวนการตัดสินใจกับปัญหาหรือสถานการณ์ที่คลุมเครือ กำกวมหรือไม่แน่นอนนั้นมีขั้นตอนดังภาพที่ 14 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (ฐิติมาภรณ์, 2549)



ภาพที่ 14 กระบวนการทางฟัซซี่ลอจิก

ที่มา: ฐิติมาภรณ์ (2549)

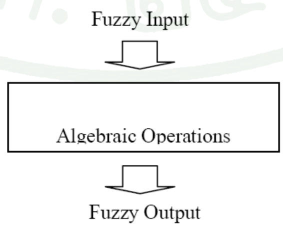
ขั้นตอนที่ 1 ฟัซซิฟิเคชั่น (Fuzzification) ได้แก่ การแปลงตัวแปรนำเข้าแบบคริสพ (Crisp Input) ให้เป็นตัวแปรนำเข้าแบบฟัซซี่ (Fuzzy Input) โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) หรือคือการแปลงตัวแปรให้อยู่ในรูปตัวเลขฟัซซี่ การที่ทำเช่นนี้เป็นเพราะตัวแปรนำเข้าที่เราถือว่าเป็นแบบคริสพหรือมีความแน่นอนนั้น โดยความเป็นจริงแล้วมีองค์ประกอบของความไม่แน่นอนอยู่ด้วย ซึ่งอาจเกิดมาจากความไม่แม่นยำ ความกำกวมหรือความคลุมเครือ โดยเฉพาะตัวแปรที่ได้มาจากการรับรู้ของมนุษย์ที่อยู่ในรูปของคำอธิบายทางภาษา (Linguistic Term) หรือภาษาพูดทั่วไป (Natural Language) ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 การทำฟัซซิฟิเคชั่น

ที่มา: ฐิติมาภรณ์ (2549)

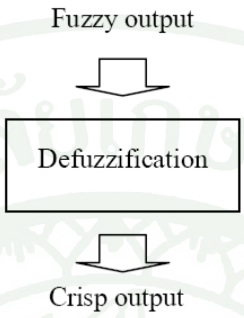
ขั้นตอนที่ 2 คณิตศาสตร์ทางฟัซซี่ (Fuzzy Arithmetics หรือ Algebraic Operations) ได้แก่การนำเอาตัวเลขฟัซซี่มาผ่านกระบวนการคำนวณทางคณิตศาสตร์ทางฟัซซี่ เช่น การบวก (+) การลบ (-) การคูณ (*) การหาร (/) การทำอินเวิร์ส (Inverse) และผลลัพธ์ที่ได้ยังอยู่ในรูปตัวเลขฟัซซี่ ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 การทำคณิตศาสตร์ทางฟัซซี่

ที่มา: ฐิติมาภรณ์ (2549)

ขั้นตอนที่ 3 ดีฟัซซิฟิเคชั่น (Defuzzification) ได้แก่การแปลงตัวแปรผลลัพธ์แบบฟัซซี่ (Fuzzy Output) ให้เป็นตัวแปรผลลัพธ์แบบคริสพ (Crisp Output) หรือให้อยู่ในรูปตัวเลขเดี่ยวด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 การทำดีฟัซซิฟิเคชั่น

ที่มา: ฐิติมาภรณ์ (2549)

ผลลัพธ์จากกระบวนการฟัซซี่ (Fuzzy Process) นั้นอาจอยู่ในรูปของตัวเลขฟัซซี่ตัวเดียวหรืออยู่ในรูปของยูเนียนของตัวเลขฟัซซี่ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปก็ได้ ถ้าให้ฟัซซี่เซต $\tilde{C}$ เป็นผลลัพธ์จากกระบวนการฟัซซี่แล้ว สามารถดีฟัซซิฟิเคชั่นให้อยู่ในรูปของตัวเลขเดี่ยวหรือคริสพได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือวิธีการหาเซนทรอยด์ (Centroid Method) หรือ Center of Gravity เป็นวิธีดีฟัซซิฟิเคชั่นที่นิยมใช้มากที่สุดโดยการคำนวณหาศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วงของฟัซซี่เซตผลลัพธ์ สามารถแสดงดังสมการ (41)

$$Z^{*} = \frac{\int \mu_{\tilde{C}}(z)\cdot z\,dz}{\int \mu_{\tilde{C}}(z)\,dz} \tag{41}$$

Z^{*} คือ ผลลัพธ์ที่อยู่ในรูปตัวเลขตัวเดี่ยวหรือคริสพ

$\mu_{\tilde{C}}(z)$ คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร Z ในฟัซซี่เซต $\tilde{C}$

3.8 การจัดลำดับตัวเลขแบบฟัซซี่ (Ranking Fuzzy Numbers)

ตัวเลขฟัซซี่ส่วนใหญ่มักใช้ในการตัดสินใจที่เกณฑ์การตัดสินใจเป็นเกณฑ์เชิงคุณภาพที่มีความไม่ชัดเจนสำหรับผู้ทำการตัดสินใจ ดังนั้นกระบวนการจัดลำดับตัวเลขฟัซซี่จึงถูกเสนอขึ้นเพื่อช่วยพิจารณาการตัดสินใจ (Chang, Cheng and Kuo, 2006)

แนวคิดการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimum) หรือทางเลือกที่ดี (Best Choice) มาจากการจัดลำดับหรือการเปรียบเทียบ ดังนั้นการสร้างระบบในการจัดลำดับตัวเลขฟัซซี่จึงเป็นหนึ่งในปัญหาที่สำคัญ การทบทวนวรรณกรรมและการเปรียบเทียบกระบวนการที่มีมาก่อนสามารถพบได้ใน Cheng and Hwang (1992), Lee and Li (1988) และ Zimmermann (1987) โดยกระบวนการจัดลำดับเหล่านั้นสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ดังนี้ (Chen and Hwang, 1992)

1. Preference relation
    a. Degree of optimality
    b. Hamming distance
    c. a-cut
    d. Comparison function
2. Fuzzy mean and spread
    a. Probability distribution
3. Fuzzy scoring
    a. Proportion to optimal
    b. Left/right scores
    c. Centroid index
    d. Area measurement
4. Linguistic expression
    a. Intuition
    b. Linguistic approximation

การจัดลำดับตัวเลขฟัซซี่บางกระบวนการสมมติให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นปกติ แต่ในหลายกรณีที่การสมมติให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นปกติไม่เพียงพอต่อการแก้ปัญหาหรือตัดสินใจตัวอย่างเช่น Yager (1980) วัดค่าเฉลี่ยตัวเลขฟัซซี่ในดัชนี $\bar{x}$ ซึ่งให้ค่าความสามารถในการแบ่งแยกค่อนข้างต่ำ

Murakami et al.'s (1983) วัดค่าเฉลี่ยตัวเลขฟัซซี่ในดัชนี $\tilde{x}$ และ $\tilde{y}$ แต่ใช้ได้เฉพาะเมื่อ $g(x) = x$ และ $g(x) = \frac{1}{2}\mu_{\tilde{A}}(x)$

Cheng (1998) นำเสนอการจัดลำดับตัวเลขฟัซซี่ภายใต้การคำนวณทั้งดัชนี $\tilde{x}$ และ $\tilde{y}$ แต่ไม่สามารถจัดลำดับตัวเลขฟัซซี่ที่มีค่าเป็นลบได้

Chen and Cheng (2005) นำเสนอการจัดลำดับตัวเลขฟัซซี่โดยใช้เมทริกระยะทาง (Matric Distance) ที่สามารถแก้ปัญหาได้ทั้งตัวเลขฟัซซี่แบบที่มีค่าบวก ค่าลบ ตัวเลขฟัซซี่รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยมคางหมู ตัวเลขฟัซซี่ที่สมมาตรและไม่สมมาตร ตัวเลขฟัซซี่แบบทั่วไปและแบบปกติในเวลาเดียวกัน

Lee and Li's (1998) ใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการจัดลำดับตัวเลขฟัซซี่บนหลักการของ 2 ประเภทการกระจายตัวของความน่าจะเป็น (การกระจายตัวแบบยุนิฟอร์มและการกระจายตัวแบบสัดส่วน)

Chen and Lu (2001) เสนอกระบวนการประมาณการจัดลำดับตัวเลขฟัซซี่บนหลักการของความเหนือกว่าหรือการให้ความสำคัญมากกว่าของระยะกว้างด้านซ้ายและขวา (Left and Right Dominance) กระบวนการนี้ต้องการข้อมูลของระยะกว้างด้านซ้ายและขวาที่ระดับอัลฟา (α-*level*) เพื่อหาว่าตัวเลขฟัซซี่ชุดใดเหนือกว่าชุดใด แต่กระบวนการนี้ไม่สามารถใช้ได้กับการจัดลำดับตัวเลขฟัซซี่ที่ไม่เป็นปกติ Chen and Lu ได้นิยามขอบเขตล่างและขอบเขตบนของอัลฟาลำดับที่ k สำหรับตัวเลขฟัซซี่ $\tilde{A}_i$ ดังนี้

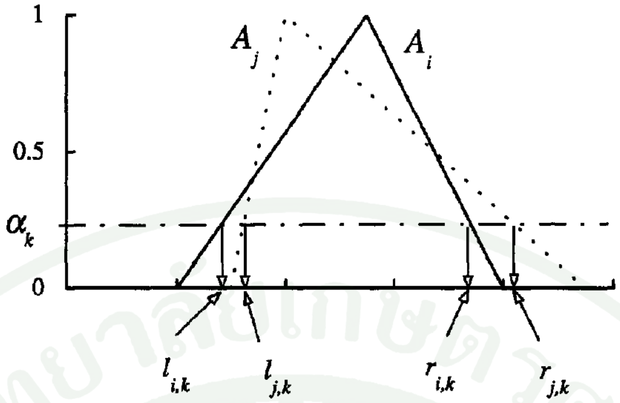
$$l_{i,j} = \inf_{x \in R}\left\{x \middle| \mu_{\tilde{A}_i}(x) \geq \alpha_k\right\} \tag{42}$$

$$r_{i,j} = \sup_{x \in R}\left\{x \middle| \mu_{\tilde{A}_i}(x) \geq \alpha_k\right\} \tag{43}$$

เมื่อ $l_{i,j}$ และ $r_{i,j}$ คือระยะกว้างด้านซ้ายและขวาตามลำดับ ภาพที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบระยะกว้างด้านซ้ายและขวาของตัวเลขฟัซซี่ $\tilde{A}_i$ และ $\tilde{A}_j$ ความเหนือกว่าด้านซ้าย (Left Dominance) เมื่อ $\tilde{A}_i$ เหนือกว่า $\tilde{A}_j$ ถูกอธิบายด้วย $D^L_{i,j}$ และ ความเหนือกว่าด้านขวา (Right Dominance) เมื่อ $\tilde{A}_i$ เหนือกว่า $\tilde{A}_j$ ถูกอธิบายด้วย $D^R_{i,j}$ ดังแสดงในสมการ (44)-(45)เมื่อ $n+1$ α-*cut* ใช้ในการคำนวณความเหนือกว่า และ α_k คือ อัลฟาลำดับที่ k

$$D^L_{i,j} = \frac{1}{n+1}\sum_{k=0}^{n}(l_{i,k} - l_{j,k}) \tag{44}$$

$$D^R_{i,j} = \frac{1}{n+1}\sum_{k=0}^{n}(r_{i,k} - r_{j,k}) \tag{45}$$



ภาพที่ 18 ระยะกว้างด้านซ้ายและขวาของตัวเลขฟัซซี่ $\widetilde{A}_i$ และ $\widetilde{A}_j$

ที่มา: Chen and Lu (2001)

ผลรวมความเหนือกว่า (Total Dominance) ของ $\widetilde{A}_i$ เหนือกว่า $\widetilde{A}_j$ ในตัวชี้วัดของการมองปัญหาในแง่ดี $\beta \in [0,1]$ สามารถนิยามการรวมกันของคอนเว็ก $D^L_{i,j}$ และ $D^R_{i,j}$ ได้ดังสมการ

$$
\begin{aligned}
D_{i,j}(\beta) &= \beta D^R_{i,j} + (1-\beta) D^L_{i,j} \\
&= \beta\left[\frac{1}{n+1}\sum_{k=0}^{n}(r_{i,k} - r_{j,k})\right] + (1-\beta)\left[\frac{1}{n+1}\sum_{k=0}^{n}(l_{i,k} - l_{j,k})\right] \qquad (46) \\
&= \frac{1}{n+1}\left\{\left[\beta\sum_{k=0}^{n} r_{i,k} + (1-\beta)\sum_{k=0}^{n} l_{i,k}\right] - \left[\beta\sum_{k=0}^{n} r_{j,k} + \sum_{k=0}^{n} l_{j,k}\right]\right\}
\end{aligned}
$$

สมการผลรวมความเหนือกว่าข้างต้นเป็นฟังก์ชันการเปรียบเทียบ ตัวชี้วัดของการมองปัญหาในแง่ดี (β) จะสะท้อนถึงการมองปัญหาของผู้ตัดสินใจ โดยค่าตัวชี้วัดของการมองปัญหาในแง่ดีที่มากจะหมายถึง การให้ความสำคัญกับความเหนือกว่าด้านขวา ผู้ตัดสินใจสามารถจัดลำดับคู่ตัวเลขฟัซซี่ $\widetilde{A}_i$ และ $\widetilde{A}_j$ โดยใช้ $D_{i,j}(\beta)$ ตามกฎดังต่อไปนี้

(1) if $D_{i,j}(\beta) > 0$, then $A_i > A_j$

(2) if $D_{i,j}(\beta) = 0$, then $A_i = A_j$

(3) if $D_{i,j}(\beta) < 0$, then $A_i < A_j$

ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนด $A_1 = [201,225,249]$ $A_2 = [212,240,268]$ โดยให้ α = 0,0.2,0.4,0.6,0.8 และ 1 กำหนดค่า β = 0.5 และ n = 5 คำนวณตามสมการ (46) โดยวิธีการคำนวณแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณผลรวมความเหนือกว่าระหว่าง A_1 และ A_2

k	α	$l_{1,k} = 24\alpha + 201$	$r_{1,k} = 249 - 24\alpha$	$l_{2,k} = 28\alpha + 212$	$r_{2,k} = 268 - 28\alpha$
0	0	201	249	212	268
1	0.2	205.8	244.2	217.6	262.4
2	0.4	210.6	239.4	223.2	256.8
3	0.6	215.4	234.6	228.8	251.2
4	0.8	220.2	229.8	234.4	245.6
5	1	225	225	240	240
	รวม	1,278	1,422	1,356	1,524

ผลรวมความเหนือกว่าของ A_1 เหนือกว่า A_2 คือ

$$D_{1,2}(0.5) = \frac{1}{5+1}\{[0.5(1,422)+0.5(1,278)]-[0.5(1,524)+0.5(1,356)]\}$$
$$= -15$$

จากการคำนวณที่ตัวชี้วัดของการมองปัญหาในแง่ดี β = 0.5 สามารถสรุปผลรวมความเหนือกว่าของ A_1 เหนือกว่า A_2 ได้ว่า A_1 ไม่เหนือกว่า A_2 หรือ $A_1 < A_2$

ในงานวิจัยนี้ปริมาณวัตถุดิบที่ส่งเข้าโรงงานมีความไม่แน่นอนและไม่สามารถอธิบายได้ด้วยความน่าจะเป็น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการเชิงทนทานทำการประเมินทางเลือกที่มีโอกาสเกิดขึ้นทั้งหมดจากปริมาณวัตถุดิบที่เปลี่ยนไปตามความไม่แน่นอน และเลือกใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่เป็นตัวแทนความไม่แน่นอนของปริมาณวัตถุดิบที่ส่งเข้าโรงงาน จากนั้นพิจารณาทางเลือกที่ให้ระยะทางรวมระหว่างที่ตั้งโรงงานกับจุดรับซื้อและระยะทางระหว่างที่ตั้งโรงงานกับท่าเรือให้มีค่าน้อยที่สุดของทั้ง 2 วิธี เพื่อหาพิกัดในการตั้งโรงงาน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกที่ตั้ง

จักรพงษ์ (2545) ได้ศึกษาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานที่มีกำลังผลิตจำกัดภายใต้ความต้องการที่ไม่แน่นอนโดยใช้วิธีแยกปัญหาของแบนเดอร์แบ่งปัญหาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่ภายใต้ความแน่นอนและส่วนที่อยู่ภายใต้ความไม่แน่นอน โดยใช้เทคนิคการเลือกสุ่มเฉพาะที่สำคัญ (Monte Carlo Importance Sampling Technique) พบว่าผลเฉลยที่ได้สามารถลดต้นทุนและให้ค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดโดยมีเวลาการทำงานที่รวดเร็วภายใต้ขอบเขตของเวลาพหุนาม

ชญานี (2553) ได้ศึกษาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานที่เหมาะสมด้วยวิธีการแบ่งแยกปัญหาโดยกำหนดตำแหน่งที่ตั้งโรงงานจำนวน m โรงงาน บนระนาบต่อเนื่อง (Continuous Plane) และจัดสรรลูกค้าจำนวน n ราย ซึ่งมีความต้องการคงที่ให้กับโรงงาน วัตถุประสงค์ของการศึกษาคือให้ระยะทางรวมระหว่างโรงงานกับลูกค้ามีค่าน้อยที่สุด โดยใช้ระยะทางแบบ Rectilinear ภายใต้แนวคิดการแยกปัญหาออกเป็น 2 ปัญหาย่อย นั่นคือ ปัญหาการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งและปัญหาจัดสรรลูกค้า จากนั้นทำการแก้ปัญหาสลับไปมาโดยคำตอบของปัญหาย่อยหนึ่งจะนำมาปรับปรุงคำตอบของอีกปัญหาย่อยหนึ่ง จนกระทั่งไม่สามารถปรับปรุงคำตอบ

ณัฐพร (2545) ศึกษาทำเลที่ตั้งและขนาดที่เหมาะสมของอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษา คือ 1.เพื่อทราบลักษณะโครงสร้างของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย 2.เพื่อทราบจำนวน ขนาด และที่ตั้งของโรงงานน้ำตาลทรายที่เหมาะสม และ 3.เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย โดยใช้วิธีลิเนียร์โปรแกรมมิ่งในการวิเคราะห์หาคำตอบ โดยเริ่มหาคำตอบของแหล่งที่ตั้ง ขนาด และจำนวนโรงงานน้ำตาลทรายที่เหมาะสมจากแบบจำลองพื้นฐานที่สถานการณ์การผลิตปัจจุบัน

ปกรณ์ (2552) ศึกษาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานีแม่สำหรับบริการก๊าซเอ็นจีวี โดยใช้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ ประยุกต์ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ของ Daskin เพื่อหาผลรวมของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการขนส่งทั้งหมดในการตั้งจัดตั้งสถานีแม่ก๊าซเอ็นจีวีแต่ละแห่งที่เพิ่มขึ้น โดยได้นำข้อมูลทั้งหมดไปใส่ในโปรแกรม ArcGIS และใช้การวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analysis) การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ 1) การวิเคราะห์

ค่าใช้จ่ายในการขนส่งก๊าซเอ็นจีวี ซึ่งคิดจากสถานีแม่ก๊าซเอ็นจีวีไปยังสถานีให้บริการก๊าซเอ็นจีวี 2) การวิเคราะห์ถึงตำ แหน่งที่ตั้งของสถานีแม่ก๊าซเอ็นจีวี และ 3) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นเมื่อมีการจัดตั้งสถานีแม่ก๊าซเอ็นจีวีแห่งใหม่กับการขยายสถานีแม่แห่งเดิม โดยมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพ

วรุจิรัตน์ (2548) ใช้แนวคิดการหาที่ตั้งโรงงานที่เหมาะสมตามทฤษฎีของเวเบอร์ เพื่อหาที่ตั้งโรงงานน้ำตาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และอัลกอริทึมวิถีที่สั้นที่สุด ตำแหน่งที่มีค่าขนส่งวัตถุดิบรวมต่ำที่สุดเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมในการตั้งโรงงาน ตัวแปรสำคัญในการพิจารณา คือ ปริมาณวัตถุดิบและระยะทางระหว่างที่ตั้งโรงงานกับที่ตั้งของพื้นที่ปลูกอ้อย จากการศึกษาพบว่าตำแหน่งที่ตั้งโรงงานน้ำตาลที่ได้จากการหาจุดศูนย์กลางของกลุ่มพื้นที่ปลูกอ้อยในเขตเกษตรเศรษฐกิจ มีความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ตั้งโรงงานน้ำตาลที่มีอยู่ปัจจุบัน และเมื่อเปรียบเทียบที่ตั้งโรงงานน้ำตาลที่เหมาะสมตามทฤษฎีของเวเบอร์ (ที่ตั้งที่มีค่าขนส่งวัตถุดิบต่ำที่สุด) กับที่ตั้งโรงงานน้ำตาลที่มีอยู่ปัจจุบัน พบว่าที่ตั้งที่ได้จากการศึกษา ส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับที่ตั้งในพื้นที่จริง แสดงว่า ที่ตั้งโรงงานน้ำตาลที่ได้จากการศึกษาสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการตัดสินใจเลือกที่ตั้งโรงงานน้ำตาลและสามารถนำไปประยุกต์ใช้หาที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมที่มีวัตถุดิบเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นๆ ที่มีความคล้ายคลึงกันได้

Sonmez and Lim (2010) เสนอกระบวนการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบใหม่ (FLRP-U) วัตถุประสงค์ของการศึกษา คือ ทำให้น้ำหนักของผลรวมระยะทางในปัจจุบันมีค่าน้อยที่สุดและคาดการณ์ระยะทางในอนาคตภายใต้งบประมาณในการเปิด ปิดของสถานที่ให้บริการ โดยพิจารณาความต้องการที่เปลี่ยนของลูกค้าในอนาคตและความไม่แน่นอนของจำนวนสถานที่ให้บริการในอนาคต จากนั้นนำเสนอปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มและผลเชิงตัวเลขเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน (FLRP-U) กับกระบวนการอื่น(FLRP-D) จากน้ำหนักของผลรวมระยะทางเฉลี่ยพบว่ากระบวนการ FLRP-U ให้ค่างบประมาณน้อยกว่ากระบวนการ FLR -D เนื่องจากพิจารณาค่าความต้องการที่เปลี่ยนของลูกค้าในอนาคตและความไม่แน่นอนไปแล้ว

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความคลุมเครือ

จิตตรัตน์ (2553) ทำการศึกษาการประมาณต้นทุนและการกำหนดราคาการบริการซ่อมบำรุงเครื่องจักรอุตสาหกรรม โดยวิธีการคิดต้นทุนตามกิจกรรมและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

ระหว่างต้นทุน ปริมาณ และกำไร (Cost-Volume-Profit Relationship) ภายใต้ความไม่แน่นอน และความคลุมเครือของต้นทุน ตามลำดับ ผลจากการศึกษาพบว่าการประยุกต์ใช้การคำนวณต้นทุนตามกิจกรรม ส่งผลให้ต้นทุนการบริการซ่อมบำรุงมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากกว่าการประมาณต้นทุนแบบเดิมของกรณีศึกษา ส่งผลให้การกำหนดราคาค่าบริการซ่อมบำรุงซึ่งอยู่ภายความคลุมเครือของต้นทุนการให้บริการและความถี่ของการให้บริการ สามารถสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถในการทำกำไรสำหรับแต่ละประเภทของการให้บริการซ่อมบำรุง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ เพื่อสร้างความได้เปรียบทางด้านการแข่งขัน

ฐิติมาภรณ์ (2549) เสนอแนวทางการวิเคราะห์กระบวนการเรียงลำดับความชอบสำหรับผลิตภัณฑ์ชาเขียวพร้อมดื่มภายใต้ความไม่แน่นอนและกำกวม โดยใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตประเมินระดับความสำคัญของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทั้ง 5 ประการ พร้อมกับประเมินอัตราความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ชาเขียวแต่ละตัวอย่างในรูปคำอธิบายทางภาษาที่สอดคล้องกับระบบตัวเลขฟัซซี่ที่ถูกพัฒนามาแล้วเบื้องต้น นำมาประมวลผลหาดัชนีความชอบรวมเปรียบเทียบระหว่างวิธีการทางทฤษฎีฟัซซี่ของ Wang and Chen วิธีของ Chen และวิธีการเรียงลำดับความชอบโดยตรงที่ใช้กันทั่วไปพบว่า ขนาดของสเกลมีผลต่อการเรียงลำดับความชอบมากที่สุด ที่สเกลขนาดระดับเดียวกันการใช้สเกลรับรู้แบบสเกลคะแนนและสเกลเชิงเส้นแบบไม่มีโครงสร้างให้ผลการเรียงลำดับที่เหมือนกัน ในทำนองเดียวกันที่สเกลขนาดระดับเดียวกันวิธีการของ Wang and Chen และวิธีของ Chen ให้ผลการเรียงลำดับความชอบที่เหมือนกันและให้ผลสอดคล้องกับการเรียงลำดับความชอบโดยตรงที่สเกลขนาดระดับ 9

ธนรัฐ (2550) เสนอวิธีการใช้ขั้นตอนวิธีฟัซซี่ลอจิกเพื่อจำแนกประเภทข้อมูลทางการแพทย์ ซึ่งกระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธีนี้สามารถสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้อย่างอัตโนมัติ โดยใช้ต้นไม้ช่วยตัดสินใจในการออกแบบฟัซซี่ลอจิก โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบด้านประสิทธิภาพของจุดตัดค่าความเป็นสมาชิก ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลโดยใช้ขั้นตอนวิธีฟัซซี่ลอจิกนั้นให้ประสิทธิภาพที่ดีโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยความรู้จากผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการจำแนกประเภทข้อมูลอื่นๆได้

ภัททิตา (2540) เสนอกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่มีพื้นฐานมาจากวิธีวิเคราะห์แบบลำดับชั้นแบบฟัซซี่ 3 กฎ ได้แก่ FuzzyAHP FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ เพื่อนำมา

เปรียบเทียบกับกฎการจัดเส้นทางของงานแบบดั้งเดิม โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพ คือ เวลาในการไหลของชิ้นงานเฉลี่ย เวลาที่ชิ้นงานล่าช้าเฉลี่ยต่อชิ้นงานทั้งหมด ผลรวมของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จก่อนหรือหลังกำหนดส่งต่อชิ้นงานทั้งหมด สัดส่วนของชิ้นงานล่าช้าและการใช้สอยของระบบ ผลการพิจารณาสามารถสรุปได้ว่ากฎการจัดเส้นทางของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ เป็นกฎที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบอื่นๆ

ภัทรวดี (2553) ทำการใช้การกระจายตัวของแอททริบิวท์และทำการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปรเพื่อหาค่าความชันและเลือกรูปแบบของกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้สอดคล้องกับแต่ละแอททริบิวท์ โดยใช้กราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยมและรูปประฆังคว่ำได้อย่างอัตโนมัติ เพื่อทำการแจกแจงประเภทข้อมูลของไวน์และข้อมูลของผู้ป่วยโรคมะเร็งเต้านม ผลการทดลองพบว่าวิธีที่เสนอสามารถจำแนกประเภทข้อมูลโดยให้ประสิทธิภาพดีกว่า เมื่อเทียบกับการจำแนกข้อมูลโดยใช้กราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยมหรือรูปประฆังเพียงอย่างเดียว

ศันสนีย์ (2550) ศึกษาเกี่ยวกับการตัดสินใจแบบหลายปัจจัยโดยมีความคลุมเครือเข้ามาเกี่ยวข้องในกรณีศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งจากตอนเหนือของประเทศไทยไปยังตอนใต้ของประเทศจีนซึ่งมีทั้งหมด 3 ทางเลือกคือ เส้นทางไทย-ลาว-จีน, เส้นทางไทย-พม่า-จีน และเส้นทางแม่น้ำโขง โดยใช้เทคนิค Simple Additive Weighting ในการวิเคราะห์ปัจจัยรูปธรรมที่มีลักษณะความชัดเจน เช่น ระยะทาง เวลา ค่าขนส่ง เป็นต้น และใช้เทคนิค Analytic Hierarchy Process ในการวิเคราะห์ปัจจัยนามธรรมที่มีลักษณะคลุมเครือและแปรเปลี่ยนตามความรู้สึกของผู้ประเมิน เช่น คุณภาพสินค้าและความน่าเชื่อถือ เป็นต้น และใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบเส้นโค้ง S มาใช้ในการวิเคราะห์ความคลุมเครือของข้อมูลเพื่อให้ได้ค่าดัชนีในการเลือกเส้นทางที่เหมาะสม ผลการประเมินพบว่าโดยภาพรวมแล้วเส้นทางการขนส่งทางเรือผ่านทางแม่น้ำโขงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการวิจัยเกิดขึ้นจากทัศนคติในการประเมินทางเลือกต่างๆของผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น จึงเป็นการชี้ให้เห็นถึงความคลุมเครือที่ซ่อนเร้นอยู่ในปัญหาได้

โสภณ (2543) กล่าวว่าในปัญหาการทดแทนเครื่องจักรข้อมูลที่มีความจำเป็นต่อการพิจารณาคือข้อมูลต้นทุนรวมของเครื่องจักรเก่าที่ประสิทธิภาพต่ำลงและต้นทุนรวมของการซื้อเครื่องจักรใหม่มาทดแทน แต่เนื่องจากข้อมูลทั้งสองเป็นข้อมูลที่ไม่แน่นอนหรืออยู่ในรูปของภาษาทำให้ยากต่อการพิจารณาและการเปรียบเทียบ จึงทำการประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตในการวิเคราะห์

การทดแทนเครื่องจักร โดยพิจารณาครอบคลุมทุกขั้นตอนของการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักร ได้แก่ การหาอายุการใช้งานที่มีต้นทุนต่ำที่สุดของเครื่องจักร (Economic Life Analysis) การเปรียบเทียบระหว่างการใช้งานเครื่องจักรเก่าและเครื่องจักรใหม่ (Defender and Challenger Comparison) และการหาทางเลือกในการทดแทนเครื่องจักร (Alternatives Analysis) โดยต้นทุนแต่ละชนิดจะถูกวิเคราะห์ถึงความไม่แน่นอนของข้อมูลและถูกแทนค่าด้วยจำนวนฟัซซี่แบบสามเหลี่ยม (Triangular Fuzzy Number) โดยเครื่องจักรที่นำมาวิเคราะห์คือเครื่องตัดงานโลหะ (Metal Cutting Process)

อนุรักษ์ (2552) ศึกษาการคัดเลือกพื้นที่ในการจัดตั้งสถานีขนส่งแห่งที่ 3 ของจังหวัดเชียงใหม่และทำการคัดเลือกระบบเชื่อมต่อกับตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่ โดยหลักเกณฑ์ที่มีผลต่อการตัดสินใจได้มาจากแบบสอบถามจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องและผู้เชี่ยวชาญในการสร้างสถานีขนส่งประกอบด้วย 4 หลักเกณฑ์ได้แก่ หลักเกณฑ์ด้านวิศวกรรม ด้านกายภาพ ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ได้มาซึ่งพื้นที่ที่เหมาะสมจึงประยุกต์ใช้ Fuzzy AHP และ Fuzzy TOPSIS มาเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ โดยพื้นที่ทางเลือกแบ่งออกได้ 5 กลุ่ม พบว่าพื้นที่ที่เหมาะในการจัดตั้งสถานีขนส่งคือ กลุ่มพื้นที่ด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่ จากนั้นทำการคัดเลือกระบบเชื่อมต่อที่เหมาะสมโดยมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาคือ ค่าโดยสาร เวลาในการคอยรถ เวลาในการเดินทางบนรถ ความสะดวกสบาย และความปลอดภัยจากอุบัติเหตุ ซึ่งระบบเชื่อมต่อแบ่งออกเป็น 6 ประเภท พบว่าระบบเชื่อมต่อที่เหมาะสมคือรถสี่ล้อแดง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

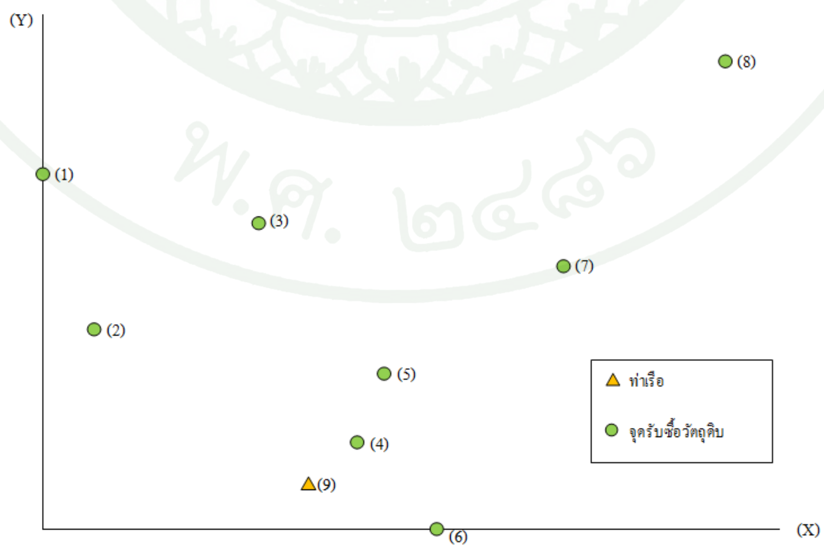
1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel 2007
3. โปรแกรม C#

วิธีการ

1. การรวบรวมข้อมูล

1.1 การกำหนดพิกัด (x,y) ของจุดรับซื้อวัตถุดิบและท่าเรือ

เนื่องจากบริษัททราบตำแหน่งที่แน่นอนของจุดรับซื้อวัตถุดิบและท่าเรือ โดยบริษัททำการจัดซื้อวัตถุดิบจากจุดรับซื้อที่แตกต่างกัน 8 จุด ได้แก่ (1) อ.คลองลาน จ.กำแพงเพชร (2) อ.บ่อ-พลอย จ.กาญจนบุรี (3) อ.ชนแดน จ.เพชรบูรณ์ (4) อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา (5) อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี (6) อ.แก่งหางแมว จ.จันทบุรี (7) อ.จักราช จ.นครราชสีมา (8) อ.พึญ จ.อุดรธานี และ (9) ท่าเรือรับส่งสินค้า อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ตำแหน่งของจุดรับซื้อวัตถุดิบและท่าเรือ

ในการคำนวณหาสถานที่ตั้งโรงงานเราพิจารณาระยะทางเป็นแบบเส้นตรงตามแนวแกน x และ y จึงกำหนดให้ตำแหน่งต่างๆของจุดรับซื้อวัตถุดิบและท่าเรืออยู่ในรูปพิกัด (x,y) โดยวิธีในการหาพิกัด (x,y) แสดงดังต่อไปนี้

1.หาค่าละติจูดและลองติจูดของท่าเรือและจุดรับซื้อวัตถุดิบทุกจุด

2.ใช้โปรแกรม ArcGis ระบุพิกัด (x,y) ของท่าเรือและจุดรับซื้อวัตถุดิบทุกจุด ซึ่งพิกัดนี้ก็คือระยะทางตามแนวแกน x และy ที่วัดจากพิกัด (0,0) ของระบบ โดยพิกัด (0,0) ของระบบนี้คือจุดตัดระหว่างเส้นศูนย์สูตรและเส้นเมอริเดียนศูนย์กลาง (เส้นแบ่งเวลาโลก) นั้นเอง

3.กำหนดพิกัด (0,0) ของระบบใหม่เพื่อสะดวกต่อการคำนวณเนื่องจากจุดต่างๆที่เราพิจารณาอยู่ในบริเวณที่ใกล้กัน โดยพิจารณาระยะทางแต่ละแนวแกน กำหนดให้ระยะทางในแนวแกน x ที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นจุดกำเนิดหรือจุด 0 ของแนวแกน x และ ระยะทางในแนวแกน y ที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นจุดกำเนิดหรือจุด 0 ของแนวแกน y

1.2 การกำหนดค่าจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j)

ในสถานการณ์จริงเราไม่ทราบความต้องการที่แน่ชัดของปริมาณวัตถุดิบที่จะส่งเข้าโรงงาน ปริมาณวัตถุดิบนี้จะถูกคาดการณ์จากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ โดยงานวิจัยนี้เราจะนำเสนอปริมาณวัตถุดิบที่จะส่งเข้าโรงงานให้อยู่ในรูปของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) ซึ่งถือเป็นค่าถ่วงน้ำหนักในการคำนวณหาระยะทางรวม ตารางที่ 2 แสดงพิกัด (x,y) และจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนของแต่ละจุดรับซื้อ โดยจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนของแต่ละจุดมีโอกาสเกิดเป็นค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุด (Low, Median, High) ในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการเชิงทนทาน และเป็นค่าน้อยสุด ค่าที่มีโอกาสเกิดมากสุด และค่ามากสุด (Min, Mode, Max) ในการแก้ปัญหาโดยใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่

จากตารางที่ 2 จะสังเกตว่าท่าเรือรับส่งสินค้า (9) อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา ไม่ปรากฏจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน เนื่องจากหลังการแปรรูปวัตถุดิบให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์น้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะลดลงครึ่งหนึ่ง ดังนั้นจำนวนเที่ยวรถขนส่งที่ออกจากโรงงานไปยังท่าเรือจะเป็นครึ่งหนึ่งของจำนวนเที่ยวรถขนส่งที่วิ่งเข้าโรงงาน ซึ่งจำนวนเที่ยวรถขนส่งที่วิ่งไปยังท่าเรือนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามรอบเหตุการณ์ (Scenario) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าการถ่วงน้ำหนักของแต่ละสถานที่

ตารางที่ 2 การกำหนดพิกัด (x, y) และจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนของแต่ละจุดรับซื้อ

สถานที่	พิกัด		จำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน			
			วิธีการเชิงทนทาน			วิธีตัวเลขแบบฟัซซี่
	x	y	Low	Med	High	(Min, Mode, Max)
(1)	0	364	28	30	32	(28,30,32)
(2)	22	148	56	60	64	(56,60,64)
(3)	171	363	11	15	19	(11,15,19)
(4)	226	81	11	15	19	(11,15,19)
(5)	228	116	28	30	32	(28,30,32)
(6)	287	0	11	15	19	(11,15,19)
(7)	344	227	56	60	64	(56,60,64)
(8)	399	538	11	15	19	(11,15,19)
(9)	186	58	-	-	-	-

2. การคำนวณหาที่ตั้งโรงงานโดยใช้วิธีเชิงทนทาน

วิธีเชิงทนทานนั้นมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่ในรูปที่ต้องการทำให้ค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการตัดสินใจผิดพลาดหรือค่าใช้จ่ายที่มากที่สุดมีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้เราจะเลือกค่าพิกัด (x,y) ที่ให้ระยะทางรวมมากที่สุดให้มีค่าน้อยที่สุด (Minimax) เป็นสถานที่ในการตั้งโรงงาน โดยก่อนพิจารณาปัญหาด้วยวิธีการเชิงทนทานนั้นเราต้องทำการหาพิกัด (x,y) และหาระยะทางรวมโดยพิจารณาให้ระยะทางรวมน้อยที่สุดจากนั้นจึงแก้ปัญหาด้วยวิธีการเชิงทนทาน

พิจารณาข้อมูลจากตารางที่ 2 กำหนดให้พิกัด (x,y) แทนด้วย (a_j, b_j) โดยตำแหน่งสถานที่ในแนวแกน x แทนด้วย a_j และตำแหน่งสถานที่ในแนวแกน y แทนด้วย b_j ในตัวอย่างการคำนวณ

นี้กำหนดให้จุดรับซื้อทั้ง 8 จุด มีจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) เป็นค่ากลาง (Median) คือ (M, M, M, M, M, M, M, M)

2.1 การคำนวณหาค่าพิกัด

ขั้นตอนการคำนวณแนวแกน x

1. เรียงพิกัด a_j จากน้อยไปมาก โดยจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนของท่าเรือรับส่งสินค้า (9) อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา คือครึ่งหนึ่งของจำนวนเที่ยวรถขนส่งที่วิ่งเข้าโรงงานหรือ ครึ่งหนึ่งของผลรวมจำนวนเที่ยวรถขนส่งของจุดรับซื้อทั้ง 8 จุด (w_4) เท่ากับ (30+60+15+15+30+15+60+15)/2 = 120

2. หาค่าจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) สะสมหรือค่าถ่วงน้ำหนักสะสมของแต่ละชั้น ดังแสดงในตารางที่ 3

3. หาพิกัด a_j ลำดับที่ g ซึ่งผลรวมสะสมของ w_j เท่ากับหรือมากกว่าครึ่งหนึ่งของค่าถ่วงน้ำหนักรวมดังแสดงตามเงื่อนไขในสมการ (16)-(17) จะได้ $(105) < (\frac{360}{2})$ และ $(225) \geq (\frac{360}{2})$ ดังนั้น a_4 หรือ x = 186 คือค่าพิกัดที่เหมาะสมในการตั้งโรงงาน

ตารางที่ 3 การคำนวณหาค่าพิกัด X

สถานที่	j	a_j	w_j	$\sum_{j=1}^{n} w_j$
(1)	1	0	30	30
(2)	2	22	60	30+60 = 90
(3)	3	171	15	90+15 = 105
(9)	4	186	120	105+120 = 225
(4)	5	226	15	225+15 = 240
(5)	6	228	30	240+30 = 270
(6)	7	287	15	270+15 = 285
(7)	8	344	60	285+60 = 345
(8)	9	399	15	345+15 = 360

ขั้นตอนการคำนวณแนวแกน y

1. เรียงพิกัด b_j จากน้อยไปมาก โดยจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนของท่าเรือรับส่งสินค้า (9) อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา คือครึ่งหนึ่งของจำนวนเที่ยวรถขนส่งที่วิ่งเข้าโรงงานหรือ ครึ่งหนึ่งของผลรวมจำนวนเที่ยวรถขนส่งของจุดรับซื้อทั้ง 8 จุด (w_2) เท่ากับ (15+15+30+60+60+15+30+15)/2 = 120

2. หาค่าจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) สะสมหรือค่าถ่วงน้ำหนักสะสมของแต่ละชั้น ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การคำนวณหาค่าพิกัด Y

สถานที่	j	b_j	w_j	$\sum_{j=1}^{n} w_j$
(6)	1	0	15	15
(9)	2	58	120	15+120 = 135
(4)	3	81	15	135+15 = 150
(5)	4	116	30	150+30 = 180
(2)	5	148	60	180+60 = 240
(7)	6	227	60	240+60 = 300
(3)	7	363	15	300+15 = 315
(1)	8	364	30	315+30 = 345
(8)	9	538	15	345+15 = 360

3. หาพิกัด b_j ลำดับที่ h ซึ่งผลรวมสะสมของ w_j เท่ากับหรือมากกว่าครึ่งหนึ่งของค่าถ่วงน้ำหนักรวม ดังแสดงตามเงื่อนไขในสมการ (16)-(17) จะได้ $(150) < (\frac{360}{2})$ และ $(180) \geq (\frac{360}{2})$ ดังนั้น b_4 หรือ y = 116 คือค่าพิกัดที่เหมาะสมในการตั้งโรงงาน

2.2 การคำนวณหาระยะทางรวม

2.2.1 หาระยะทางรวมในแนวแกน x โดยนำค่าพิกัด x ที่ได้จากการคำนวณ (x=186) และค่าจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) จากตารางที่ 3 แทนในสมการ (4) จะได้

$f(x)=30|x-0|+60|x-22|+15|x-171|+120|x-186|+15|x-226|+30|x-228|+15|x-287|$

$+60|x\text{-}344|+15|x\text{-}399|$

$f(x)=31{,}695$

2.2.2 หาระยะทางรวมในแนวแกน y โดยนำค่าพิกัด y ที่ได้จากการคำนวณ (y=116) และค่าจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) จากตารางที่ 4 แทนค่าในสมการ (5) จะได้

$f(y)=15|y-0|+120|y-58|+15|y-81|+30|y-116|+60|y-148|+60|y-227|+15|y-363|$

$+30|y\text{-}364|+15|y\text{-}538|$

$f(y)=35{,}280$

2.2.3 หาระยะทางรวมของแกน x และแกน y โดยคำนวณจากสมการ (3) จะได้

$$f(x,y) = 31{,}695+35{,}280 = 66{,}975$$

เมื่อคำนวณครบทั้งแนวแกน x และ y จะสรุปได้ว่าการถ่วงน้ำหนักโดยให้จุดรับซื้อทั้ง 8 จุด มีจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) เป็นค่ากลาง (Median) จะให้ค่า (x,y) = (186,116) ในการตั้งโรงงาน โดยจะตั้งห่างจาก อ.คลองลาน จ.กำแพงเพชร ที่เป็นจุดศูนย์ของแนวแกน x เป็นระยะทาง 186 กม. และตั้งห่างจาก อ.แก่งหางแมว จ.จันทบุรีที่เป็นจุดศูนย์ของแนวแกน y เป็นระยะทาง 116 กม. ระยะทางรวมในแนวแกน x คือ 31,695 กม. ระยะทางรวมในแนวแกน y คือ 35,280 กม. และระยะทางรวมทั้งหมดคือ 66,975 กม.

2.3 การคำนวณหาค่าพิกัดและระยะทางรวมด้วยวิธีเชิงทนทาน

1. สร้างรอบเหตุการณ์ที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมดจากจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) ที่เปลี่ยนแปลง คือ ค่าต่ำสุด (Low), ค่ากลาง (Median) และค่าสูงสุด (High) อีกนัยหนึ่งคือ สร้างทุกรอบเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นจากความไม่แน่นอนของปริมาณวัตถุดิบที่จะส่งเข้าโรงงาน ตัวอย่างเช่น หากมีจุดรับซื้อ 1 จุด ก็สามารถเกิดรอบเหตุการณ์ได้ทั้งหมด $3^1 = 3$ เหตุการณ์ หากมีจุดรับซื้อ 2 จุด ก็สามารถเกิดรอบเหตุการณ์ได้ทั้งหมด $3^2 = 9$ เหตุการณ์ หากมีจุดรับซื้อ n จุด ก็สามารถเกิดรอบเหตุการณ์ได้ทั้งหมด 3^n เหตุการณ์

ตารางที่ 5 รอบเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นเมื่อมี 2 จุดรับซื้อ

Scenario	**Location**	
	(1)	(2)
1	L	L
2	L	M
3	L	H
4	M	L
5	M	M
6	M	H
7	H	L
8	H	M
9	H	H

ตารางที่ 5 แสดงตัวอย่างรอบเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นเมื่อมี 2 จุดรับซื้อ โดยที่แต่ละจุดรับซื้อ มีโอกาสเกิดค่าของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) ได้สามค่าคือ ค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุด ในงานวิจัยนี้เรามีจุดรับซื้อทั้งหมด 8 จุด จึงสามารถเกิดเหตุการณ์ได้ทั้งหมด $3^8 = 6,561$ เหตุการณ์ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 รอบเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นเมื่อมี 8 จุดรับซื้อ

Scenario	**Location**							
	(1)	**(2)**	**(3)**	**(4)**	**(5)**	**(6)**	**(7)**	**(8)**
1	L	L	L	L	L	L	L	L
2	L	L	L	L	L	L	L	M
3	L	L	L	L	L	L	L	H
⋮								
6561	H	H	H	H	H	H	H	H

2. คำนวณหาพิกัด (x,y) และระยะทางรวมในการตั้งโรงงานจากทุกรอบเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นทั้งหมด 6,561 เหตุการณ์ ตามหัวข้อ 2.1 – 2.2 จะได้พิกัด (x,y) ในการตั้งโรงงานทั้งหมด 6,561 พิกัด และได้สมการการหาระยะทางในแนวแกน x, y และระยะทางรวมอย่างละ 6,561 สมการดังแสดงในตัวอย่างข้างล่าง สมการที่ (4) สมการหาระยะทางในแนวแกน x ทั้งหมด 6,561 สมการ

$$f_1(x)=28|x-0|+56|x-22|+11|x-171|+106|x-186|+11|x-226|+28|x-228|$$
$$+11|x-287|+56|x-344|+11|x-399|$$

$$f_2(x)=28|x-0|+56|x-22|+11|x-171|+108|x-186|+11|x-226|+28|x-228|$$
$$+11|x-287|+56|x-344|+15|x-399|$$

$$f_3(x)=28|x-0|+56|x-22|+11|x-171|+110|x-186|+11|x-226|+28|x-228|$$
$$+11|x-287|+56|x-344|+19|x-399|$$

•
•
•

$$f_{6561}(x)=32|x-0|+64|x-22|+19|x-171|+134|x-186|+19|x-226|+32|x-228|$$
$$+19|x-287|+64|x-344|+19|x-399|$$

สังเกตได้ว่าจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนของท่าเรือ (w_4) ในทุกสมการ $f(x)$ มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) ของแต่ละจุดรับซื้อจะเปลี่ยนไปตามรอบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นดังแสดงในตารางที่ 6 และสมการที่ (5) สมการหาระยะทางในแนวแกน y ทั้งหมด 6,561 สมการ

$$f_1(y)=11|y-0|+106|y-58|+11|y-81|+28|y-116|+56|y-148|+56|y-227|$$
$$+11|y-363|+28|y-364|+11|y-538|$$

$$f_2(y)=11|y-0|+108|y-58|+11|y-81|+28|y-116|+56|y-148|+56|y-227|$$
$$+11|y-363|+28|y-364|+15|y-538|$$

$$f_3(y)=11|y-0|+110|y-58|+11|y-81|+28|y-116|+56|y-148|+56|y-227|$$
$$+11|y-363|+28|y-364|+19|y-538|$$

•
•
•

$$f_{6561}(y)=19|y-0|+134|y-58|+19|y-81|+32|y-116|+64|y-148|+64|y-227|$$
$$+19|y-363|+32|y-364|+19|y-538|$$

สังเกตได้ว่าจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนของท่าเรือ (w_2) ในทุกสมการ $f(y)$ มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) ของแต่ละจุดรับซื้อจะเปลี่ยนไปตามรอบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นดังแสดงในตารางที่ 6 และสมการที่ (3) สมการหาระยะทางรวมทั้งหมด 6,561 สมการ

$$f_1(x,y)=f_1(x)+f_1(y)$$
$$f_2(x,y)=f_2(x)+f_2(y)$$
$$f_3(x,y)=f_3(x)+f_3(y)$$
•
•
•
$$f_{6561}(x,y)=f_{6561}(x)+f_{6561}(y)$$

3. นำพิกัด (x, y) ทุกพิกัดที่คำนวณได้ไปคำนวณหาระยะทางรวม $f_j(x,y)$ ในทุกเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้จากความไม่แน่นอนของปริมาณวัตถุดิบที่จะส่งเข้าโรงงานทั้งหมด 6,561 เหตุการณ์ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การนำแต่ละชุดคำตอบแทนในทุกเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้

	(x_1,y_1)	(x_2,y_2)	(x_3,y_3)		(x_{6560},y_{6560})	(x_{6561},y_{6561})
f_1	$f_1(x_1,y_1)$	$f_1(x_2,y_2)$	$f_1(x_3,y_3)$	• • •	$f_1(x_{6560},y_{6560})$	$f_1(x_{6561},y_{6561})$
f_2	$f_2(x_1,y_1)$	$f_2(x_2,y_2)$	$f_2(x_3,y_3)$	• • •	$f_2(x_{6560},y_{6560})$	$f_2(x_{6561},y_{6561})$
f_3	$f_3(x_1,y_1)$	$f_3(x_2,y_2)$	$f_3(x_3,y_3)$	• • •	$f_3(x_{6560},y_{6560})$	$f_3(x_{6561},y_{6561})$
• • •						
f_{6560}	$f_{6560}(x_1,y_1)$	$f_{6560}(x_2,y_2)$	$f_{6560}(x_3,y_3)$	• • •	$f_{6560}(x_{6560},y_{6560})$	$f_{6560}(x_{6561},y_{6561})$
f_{6561}	$f_{6561}(x_1,y_1)$	$f_{6561}(x_2,y_2)$	$f_{6561}(x_3,y_3)$	• • •	$f_{6561}(x_{6560},y_{6560})$	$f_{6561}(x_{6561},y_{6561})$

แต่เนื่องจากพิกัด (x,y) ทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณ 6,561 เหตุการณ์ เกิดการซ้ำกันจึงตัดพิกัดที่ซ้ำกันออก เหลือพิกัดที่ไม่ซ้ำกันสองชุดคือ พิกัด (186, 116) และพิกัด (186,148) นำชุดคำตอบทั้งสองมาคำนวณหาระยะทางรวมในทุกเหตุการณ์ แล้วพิจารณาระยะทางรวมกรณีที่แย่ที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในวิธีเชิงทานทานหรือระยะทางรวมที่มีค่ามากที่สุดจากรอบเหตุการณ์ทั้งหมดของแต่ละชุดคำตอบ ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การหาระยะทางรวมของแต่ละพิกัด

ฟังก์ชันระยะทางรวมของรอบเหตุการณ์ที่	**(186,116)**	**(186,148)**
1	$f_1(186,116)$	$f_1(186,148)$
2	$f_2(186,116)$	$f_2(186,148)$
3	$f_3(186,116)$	$f_3(186,148)$
⋮	⋮	⋮
6561	$f_{6561}(186,116)$	$f_{6561}(186,148)$
ระยะทางรวมกรณีที่แย่ที่สุด (กม.)	**75,355**	75,547

จากตารางที่ 8 สมการในการคำนวณระยะทางรวม คือสมการที่ (3)โดยสามารถแยกออกเป็นการคำนวณระยะทางในแนวแกน x และการคำนวณระยะทางในแนวแกน y ดังแสดงในตัวอย่างการคำนวณที่พิกัด (186,116) โดยแทนค่า x = 186 ในสมการ (4) จะได้

$$f_1(x) = 28|186-0| + 56|186-22| + 11|186-171| + 106|186-186| + 11|186-226| + 28|186-228|$$
$$+ 11|186-287| + 56|186-344| + 11|186-399|$$

$$f_2(x) = 28|186-0| + 56|186-22| + 11|186-171| + 108|186-186| + 11|186-226| + 28|186-228|$$
$$+ 11|186-287| + 56|186-344| + 15|186-399|$$

$$f_3(x) = 28|186-0| + 56|186-22| + 11|186-171| + 110|186-186| + 11|186-226| + 28|186-228|$$
$$+ 11|186-287| + 56|186-344| + 19|186-399|$$

$$\vdots$$

$$f_{6561}(x) = 32|186-0| + 64|186-22| + 19|186-171| + 134|186-186| + 19|186-226| + 32|186-228|$$
$$+ 19|186-287| + 64|186-344| + 19|186-399|$$

และการคำนวณที่พิกัด (186,116) โดยแทนค่า y = 116 ในสมการ (5) จะได้

$$f_1(y) = 11|116-0| + 106|116-58| + 11|116-81| + 28|116-116| + 56|116-148| + 56|116-227|$$
$$+ 11|116-363| + 28|116-364| + 11|116-538|$$

$$f_2(y) = 11|116-0| + 108|116-58| + 11|116-81| + 28|116-116| + 56|116-148| + 56|116-227|$$
$$+ 11|116-363| + 28|116-364| + 15|116-538|$$

$$f_3(y) = 11|116-0| + 110|116-58| + 11|116-81| + 28|116-116| + 56|116-148| + 56|116-227|$$
$$+ 11|116-363| + 28|116-364| + 19|116-538|$$

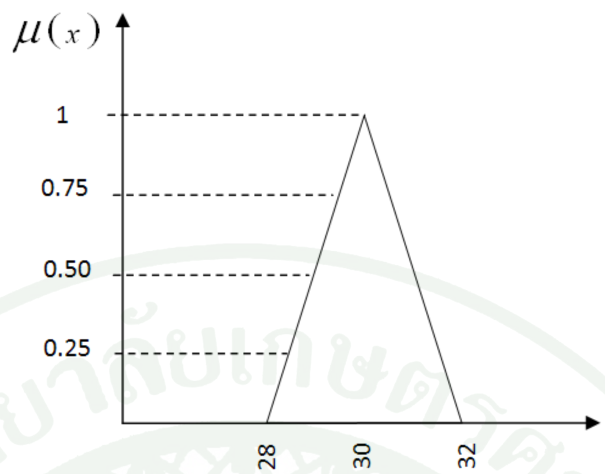
$$\vdots$$

$$f_{6561}(y) = 19|116-0| + 134|116-58| + 19|116-81| + 32|116-116| + 64|116-148| + 64|116-227|$$
$$+ 19|116-363| + 32|116-364| + 19|116-538|$$

ทำเช่นเดียวกันกับพิกัด (186,148) จากนั้นหาระยะทางรวมของแต่ละพิกัดโดยใช้สมการ (3) แล้วพิจารณาว่าในแต่ละพิกัดคำตอบ (พิกัด (186,116) และ (186,148)) ที่แทนทั้งหมด 6,561 รอบเหตุการณ์ จะมีหนึ่งเหตุการณ์ที่เป็นรอบเหตุการณ์ที่แย่ที่สุด โดยรอบเหตุการณ์นั้นจะให้ค่าระยะทางรวมที่มากที่สุด ทำการเปรียบเทียบค่าระยะทางรวมที่มากที่สุดของแต่ละพิกัด จากนั้นเลือกระยะทางรวมน้อยที่สุดจากระยะทางรวมที่มากที่สุด (Minimax) เป็นที่ตั้งโรงงาน จากตารางที่ 8 พบว่าพิกัด (186,116) ให้ระยะทางรวมในกรณีที่แย่ที่สุด 75,355 กม. ซึ่งน้อยกว่าระยะทางรวมในกรณีที่แย่ที่สุดของพิกัด (186, 148) ดังนั้นในวิธีการเชิงทนทานโดยใช้การถ่วงน้ำหนักแบบ ค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดจะเลือกชุดคำตอบ (186,116) เป็นค่าพิกัดในการจัดตั้งโรงงาน

3. การคำนวณหาที่ตั้งโรงงานโดยใช้ตัวเลขฟัซซี่

ตัวอย่างการคำนวณนี้จะแสดงการคำนวณหาค่าพิกัด (x,y) ที่เหมาะสมในการตั้งโรงงาน โดยที่ระยะทางรวมในแนวแกน x และ y มีค่าน้อยที่สุด (Minisum) กำหนดให้พิกัด (x,y) แทนด้วย (a_j,b_j) โดยตำแหน่งสถานที่ในแนวแกน x แทนด้วย a_j และตำแหน่งสถานที่ในแนวแกน y แทนด้วย b_j กำหนดให้จุดรับซื้อทั้ง 8 จุด มีจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) เป็นตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมดังแสดงตารางที่ 2 และ ภาพที่ 20 แสดงตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนของสถานที่ (1)



ภาพที่ 20 ตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนของสถานที่ (1)

ภาพที่ 20 แสดงตัวเลขฟัซซี่และระดับความเป็นสมาชิกของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนของสถานที่ (1) จะเห็นว่าการที่จำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนเพิ่มขึ้นจาก 28 เที่ยวต่อเดือนไปเป็น 30 เที่ยวต่อเดือน นั้นมีโอกาสเกิดมากขึ้นเนื่องจากระดับความเป็นสมาชิก $\mu(x)$ เพิ่มขึ้น จาก 0 ไป 1 และการที่จำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน เพิ่มขึ้นจาก 30 เที่ยวต่อเดือนไปเป็น 32 เที่ยวต่อเดือนนั้นมีโอกาสเกิดน้อยลงเนื่องจากระดับความเป็นสมาชิก $\mu(x)$ ลดลง จาก 1 ไป 0

3.1 การคำนวณหาค่าพิกัดโดยใช้ตัวเลขฟัซซี่

ขั้นตอนการคำนวณแนวแกน x

1. เรียงพิกัด a_j จากน้อยไปมาก โดยจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนของท่าเรือรับส่งสินค้า (9) อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา คือครึ่งหนึ่งของจำนวนเที่ยวรถขนส่งที่วิ่งเข้าโรงงานหรือ ครึ่งหนึ่งของผลรวมจำนวนเที่ยวรถขนส่งของจุดรับซื้อทั้ง 8 จุด (w_4) เท่ากับ [(28,30,32) + (56,60,64) + (11,15,19) + (11,15,19) + (28,30,32) + (11,15,19) + (56,60,64) + (11,15,19)]/2 = (106,120,134)

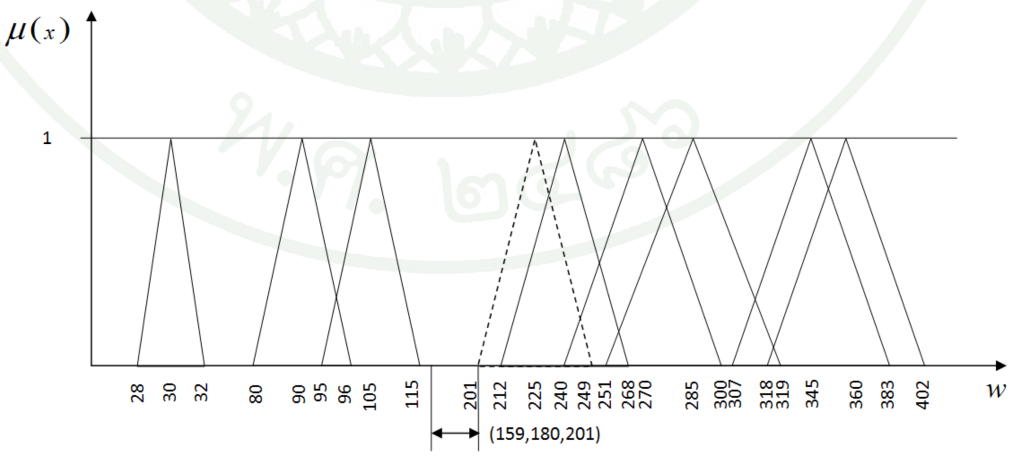
2. หาค่าจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) สะสมหรือค่าถ่วงน้ำหนักสะสมของแต่ละชั้น ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การคำนวณหาค่าพิกัด X ด้วยตัวเลขฟัซซี่

Location	j	a_j	w_j	$\sum_{j=1}^{n} w_j$
(1)	1	0	(28,30,32)	(28,30,32)
(2)	2	22	(56,60,64)	(84,90,96)
(3)	3	171	(11,15,19)	(95,105,115)
(9)	4	186	(106,120,134)	(201,225,249)
(4)	5	226	(11,15,19)	(212,240,268)
(5)	6	228	(28,30,32)	(240,270,300)
(6)	7	287	(11,15,19)	(251,285,319)
(7)	8	344	(56,60,64)	(307,345,383)
(8)	9	399	(11,15,19)	(318,360,402)

3. หาพิกัด a_j ลำดับที่ g ซึ่งผลรวมสะสมของ w_j เท่ากับหรือมากกว่าครึ่งหนึ่งของค่าถ่วงน้ำหนักรวม ดังแสดงตามเงื่อนไขในสมการ (16)-(17) เนื่องจากครึ่งหนึ่งของค่าถ่วงน้ำหนักรวม คือ $(\frac{318}{2},\frac{360}{2},\frac{402}{2}) = (159,180,201)$ จะได้ว่า $(95,105,115) < (159,180,201)$

และ $(201,225,249) \geq (159,180,201)$



ภาพที่ 21 ความถี่สะสมของตัวเลขฟัซซี่แต่ละชั้นในการหาพิกัด x

ครึ่งหนึ่งของค่าถ่วงน้ำหนักรวม (159,180,201) ตกอยู่ในชั้นความถี่สะสมชั้นที่ 4 (201,225,249) ดังนั้น a_4 หรือ x = 186 คือค่าพิกัดที่เหมาะสมในการตั้งโรงงานดังแสดงในภาพที่ 21

ขั้นตอนการคำนวณแนวแกน y

1. เรียงพิกัด b_j จากน้อยไปมาก โดยจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนของท่าเรือรับส่งสินค้า (9) อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา คือครึ่งหนึ่งของจำนวนเที่ยวรถขนส่งที่วิ่งเข้าโรงงานหรือ ครึ่งหนึ่งของผลรวมจำนวนเที่ยวรถขนส่งของจุดรับซื้อทั้ง 8 จุด (w_2) เท่ากับ [(11,15,19) + (11,15,19) + (28,30,32) + (56,60,64) + (56,60,64) + (11,15,19) + (28,30,32) + (11,15,19)]/2 = (106,120,134)

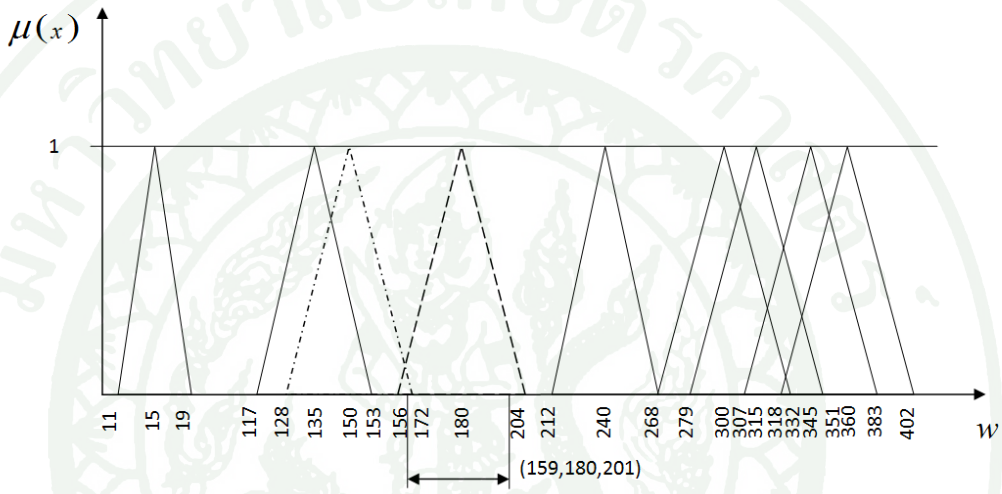
2. หาค่าจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) สะสมหรือค่าถ่วงน้ำหนักสะสมของแต่ละชั้น ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การคำนวณหาค่าพิกัด Y ด้วยตัวเลขฟัซซี่

Location	j	b_j	w_j	$\sum_{j=1}^{n} w_j$
(6)	1	0	(11,15,19)	(11,15,19)
(9)	2	58	(106,120,134)	(117,135,153)
(4)	3	81	(11,15,19)	(128,150,172)
(5)	4	116	(28,30,32)	(156,180,204)
(2)	5	148	(56,60,64)	(212,240,268)
(7)	6	227	(56,60,64)	(268,300,332)
(3)	7	363	(11,15,19)	(279,315,351)
(1)	8	364	(28,30,32)	(307,345,383)
(8)	9	538	(11,15,19)	(318,360,402)

3. หาพิกัด b_j ลำดับที่ h ซึ่งผลรวมสะสมของ w_j เท่ากับหรือมากกว่าครึ่งหนึ่งของค่าถ่วงน้ำหนักรวม ดังแสดงตามเงื่อนไขในสมการ (16)-(17) จากการคำนวณครึ่งหนึ่งของค่าถ่วงน้ำหนักรวม คือ $(\frac{318}{2},\frac{360}{2},\frac{402}{2}) = (159,180,201)$ ในกรณีนี้เราไม่สามารถสรุปได้ในทันทีว่า $(95,105,115) < (159,180,201)$ และ $(201,225,249) \geq (159,180,201)$ เนื่องจากจำนวนเที่ยวรถรถขนส่งต่อเดือนหรือค่าการถ่วงน้ำหนักที่เป็นตัวเลขฟัซซี่ เกิดการซ้อนทับของชั้นความถี่สะสม

ดังนั้นเพื่อง่ายต่อการหาค่าพิกัด ควรพิจารณากราฟประกอบการตัดสินใจดังแสดงในภาพที่ 22 จากภาพครึ่งหนึ่งของค่าถ่วงน้ำหนักรวมตกอยู่ในชั้นความถี่สะสมชั้นที่ 3 (128,150,172) และ ชั้นที่ 4 (156,180,204) แต่เนื่องจากครึ่งหนึ่งของค่าถ่วงน้ำหนักรวมตกอยู่ในชั้นความถี่สะสมชั้นที่ 4 มากกว่า ดังนั้น b_4 หรือ y = 116 คือค่าพิกัดที่เหมาะสมในการตั้งโรงงาน ในกรณีที่เกิดการซ้อนทับกันของชั้นความถี่สะสมแล้วไม่สามารถตัดสินได้จากกราฟให้ใช้วิธีการจัดลำดับตัวเลขฟัซซี่ ดังได้กล่าวมาแล้วเบื้องต้น



ภาพที่ 22 ความถี่สะสมของตัวเลขฟัซซี่แต่ละชั้นในการหาพิกัด y

3.2 การคำนวณหาระยะทางรวมโดยใช้ตัวเลขฟัซซี่

3.2.1 หาระยะทางรวมในแนวแกน x โดยนำค่าพิกัด x ที่ได้จากการคำนวณ (x=186) และค่าจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) จากตารางที่ 9 แทนในสมการ (4) จะได้

$$
\begin{aligned}
f(x) = {} & (28,30,32)|x-0| + (56,60,64)|x-22| + (11,15,19)|x-171| \\
& + (106,120,134)|x-186| + (11,15,19)|x-226| + (28,30,32)|x-228| \\
& + (11,15,19)|x-287| + (56,60,64)|x-344| + (11,15,19)|x-399|
\end{aligned}
$$

$$f(x) = (28475,\ 31695,\ 34915)$$

จากการคำนวณโดยใช้ตัวเลขฟัซซี่ในการถ่วงน้ำหนักพบว่าระยะทางในแนวแกน x ที่น้อยที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นคือ 28,475 กม. ระยะทางในแนวแกน x ที่มีโอกาสเกิดมากที่สุดคือ 31,695 กม. และระยะทางในแนวแกน x ที่มากที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นคือ 34,915 กม.

3.2.2 หาระยะทางรวมในแนวแกน y โดยนำค่าพิกัด y ที่ได้จากการคำนวณ (y = 116) และค่าจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน (w_j) จากตารางที่ 10 แทนค่าในสมการ (5) จะได้

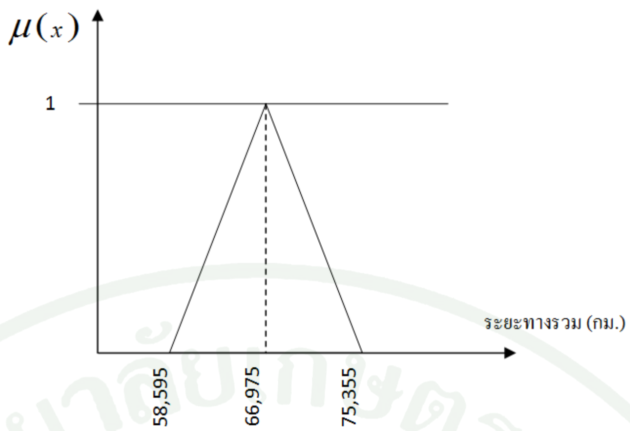
$$f(y) = (11,15,19)|y-0| + (106,120,134)|y-58| + (11,15,19)|y-81|$$
$$+ (28,30,32)|y-116| + (56,60,64)|y-148| + (56,60,64)|y-227|$$
$$+ (11,15,19)|y-363| + (28,30,32)|y-364| + (11,15,19)|y-538|$$
$$f(y) = (30120,\ 35280,\ 40440)$$

จากการคำนวณโดยใช้ตัวเลขฟัซซี่ในการถ่วงน้ำหนักพบว่าระยะทางในแนวแกน y ที่น้อยที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นคือ 30,120 กม. ระยะทางในแนวแกน y ที่มีโอกาสเกิดมากที่สุดคือ 35,280 กม.และระยะทางในแนวแกน y ที่มากที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นคือ 40,440 กม.

3.2.3 หาระยะทางรวมของแกน x และแกน y โดยคำนวณจากสมการ (3) จะได้

$$f(x,y) = (28475,\ 31695,\ 34915) + (30120,\ 35280,\ 40440) = (58595,\ 66975,\ 75355)$$

เมื่อคำนวณครบทั้งแนวแกน x และ y จะสรุปได้ว่าการใช้ตัวเลขฟัซซี่ในการถ่วงน้ำหนักจะให้ค่าพิกัด (186,116) ในการตั้งโรงงาน โดยจะตั้งห่างจาก อ.คลองลาน จ.กำแพงเพชร ที่เป็นจุดศูนย์ของแนวแกน x เป็นระยะทาง 186 กม. และตั้งห่างจาก อ.แก่งหางแมว จ.จันทบุรีที่เป็นจุดศูนย์ของแนวแกน y เป็นระยะทาง 116 กม. ระยะทางรวมที่น้อยที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นคือ 58,595 กม. ระยะทางรวมที่มีโอกาสเกิดมากที่สุดคือ 66,975 กม. และระยะทางรวมที่มากที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นคือ 75,355 กม.



ภาพที่ 23 ตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมของระยะทางรวมแกน x และแกน y

3.2.4 แปลงระยะทางรวมของแนวแกน x และ y จากผลลัพธ์แบบฟัซซี่ให้เป็นผลลัพธ์แบบคริสพ ภาพที่ 23 แสดงตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมของระยะทางรวมแกน x และแกน y จากนั้นทำการสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทางรวมนี้โดยใช้สมการ (39) กำหนดให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทางรวมแกน x และแกน y คือ $\tilde{P} = (58595,66975,75355)$ จะได้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระยะทางรวมดังแสดง

$$\mu_{\tilde{P}}(x) = \begin{cases} 0 & ; x < 58595 \\ (x-58595)/(66975-58595) & ; 58595 \leq x \leq 66975 \\ (75355-x)/(75355-66975) & ; 66975 \leq x \leq 75355 \\ 0 & ; x > 75355 \end{cases}$$

จากนั้นแปลงผลลัพธ์แบบฟัซซี่ให้เป็นผลลัพธ์แบบคริสพโดยใช้สมการ (41) จะได้

$$Z^* = \frac{\int_{58595}^{66975}\left(\frac{x-58595}{8380}\right)xdx + \int_{66975}^{75355}\left(\frac{75355-x}{8380}\right)xdx}{\int_{58595}^{66975}\left(\frac{x-58595}{8380}\right)dx + \int_{66975}^{75355}\left(\frac{75355-x}{8380}\right)dx}$$

$Z^* = 66,975$

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในการตั้งโรงงานที่พิกัด (186,116) โดยใช้จำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนเป็นตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมจะให้ค่าระยะทางรวมของแนวแกน x และ y 66,975 กม.

ผลและวิจารณ์

ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการการหาสถานที่ตั้งโรงงงานภายใต้ความไม่แน่นอนของปริมาณวัตถุดิบที่ส่งเข้าโรงงานซึ่งในที่นี้แทนด้วยจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน ผู้วิจัยเสนอ 2 ทางเลือกในการจัดการกับความไม่แน่นอนของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนคือวิธีการเชิงทนทานที่ใช้ค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดแทนการใช้ค่าใดค่าหนึ่งของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนและการใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมแทนความคลุมเครือไม่แน่ชัดของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนเพื่อคำนวณหาพิกัดที่ตั้งโรงงานและระยะทางรวมทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นหากตั้งโรงงาน ณ พิกัดใดๆ

ผลการคำนวณโดยใช้วิธีเชิงทนทาน

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบการถ่วงน้ำหนักของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนระหว่างการใช้ค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดค่าใดค่าหนึ่งกับการใช้ทั้งสามค่าในวิธีเชิงทนทาน

การเปรียบเทียบ	การถ่วงน้ำหนัก				
	ใช้ค่าใดค่าหนึ่ง			ใช้ทั้ง 3 ค่า	
	L	M	H	(L,M,H)	
รอบเหตุการณ์ (รอบ)	1	1	1	6,561	
จำนวนชุดคำตอบ	1	1	1	2	
พิกัดคำตอบ	(186, 148)	(186, 116)	(186, 116)	(186, 116)	(186, 148)
ระยะทางรวมเฉลี่ย (กม.)	58,403	66,974	75,355	66,975	66,975
ระยะทางรวมกรณีแย่ที่สุด (กม.)	-	-	-	75,355	75,547

จากตารางเปรียบเทียบผลการถ่วงน้ำหนักของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนระหว่างการใช้ค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดค่าใดค่าหนึ่งกับการใช้ทั้งสามค่าจะพบความต่างของจำนวนรอบเหตุการณ์ ชุดคำตอบและระยะทางรวม โดยการเลือกใช้การถ่วงน้ำหนักแบบค่าต่ำสุด ค่ากลาง หรือค่าสูงสุดเพียงค่าใดค่าหนึ่งนั้นจะหมายถึงจุดรับซื้อแต่ละจุดส่งวัตถุดิบที่มีปริมาณคงที่เข้าโรงงาน

ซึ่งไม่สอดคล้องกับสภาพปัญหาและการทำงานจริง ตัวอย่างที่พบในปัญหาจริง คือ บางจุดรับซื้อไม่สามารถหาวัตถุดิบที่ตรงตามสเป็คที่โรงงานออกแบบไว้หรืออาจได้แต่ไม่ครบตามจำนวนที่ต้องการ บางจุดจุดรับซื้ออาจไม่มีวัตถุดิบเนื่องจากวัตถุดิบเป็นที่ต้องการสูงหรือวัตถุดิบเป็นผลผลิตตามฤดูกาล เป็นต้น แม้ว่าระยะทางรวมของการถ่วงน้ำหนักแบบค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดสามค่าจะให้ค่าที่สูงกว่าระยะทางรวมของการถ่วงน้ำหนักแบบใช้ค่าต่ำสุดหรือค่ากลางเพียงค่าเดียว แต่ก็มีความสมเหตุสมผลมากกว่าเนื่องจากการถ่วงน้ำหนักแบบนี้จะทำการพิจารณาทุกรอบเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นจากความไม่แน่นอนของปริมาณวัตถุดิบที่จะส่งเข้าโรงงาน ซึ่งตรงกับสภาพการทำงานจริง ที่ว่าเราไม่ทราบถึงปริมาณที่แน่ชัดของวัตถุดิบในแต่ละจุดรับซื้อ แม้ว่าจำนวนรอบในการคำนวณค่าระยะทางรวมของการถ่วงน้ำหนักแบบใช้ค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดค่าใดค่าหนึ่งจะต่างกับจำนวนรอบในการคำนวณค่าระยะทางรวมของการถ่วงน้ำหนักแบบค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดสามค่าถึง 6,561 เท่า แต่ในการตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานนั้นมีความเสี่ยงและเป็นการลงทุนระยะยาว ดังนั้นในการหาค่าพิกัดที่เหมาะสมในการตั้งโรงงานจึงควรพิจารณาทุกรอบเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นจากความไม่แน่นอนของปริมาณวัตถุดิบ จึงเป็นหตุผลให้เราเลือกใช้ค่าการถ่วงน้ำหนักของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนเป็นแบบค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดสามค่าในงานวิจัยนี้นั่นเอง

การใช้การถ่วงน้ำหนักแบบค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดสามค่าจะให้รอบเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นทั้งหมด 6,561 รอบเหตุการณ์ เกิดพิกัดคำตอบ 6,561 พิกัด เมื่อตัดพิกัดคำตอบที่ซ้ำกันออกจะเหลือพิกัดที่ไม่ซ้ำกัน 2 พิกัด คือ (186, 116) และ (186, 148) นำค่าระยะทางรวมที่เกิดจากเหตุการณ์ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยแล้วพิจารณาว่าแต่ละพิกัดให้ระยะทางรวมเฉลี่ยที่รถขนส่งจะต้องวิ่งเป็นระยะทางเท่าไรหากเลือกพิกัดนั้นๆเป็นที่ตั้งโรงงาน โดยเราควรเลือกพิกัดที่ให้ระยะทางรวมเฉลี่ยที่มีค่าน้อยที่สุด (Minisum) เป็นที่ตั้งโรงงานเพื่อประหยัดต้นทุนค่าขนส่ง จากนั้นทำการหาค่าระยะทางรวมในกรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case) จากรอบเหตุการณ์ทั้งหมดซึ่งก็คือรอบเหตุการ์ที่ให้ค่าระยะทางรวมมากสุดในวิธีการเชิงทนทานเพื่อพิจารณาระยะทางรวมที่มากที่สุดที่อาจเกิดขึ้นจากการเลือกพิกัดนั้นๆเป็นที่ตั้งซึ่งในกรณีนี้เราควรเลือกระยะทางรวมที่มากที่สุดให้มีค่าสุดน้อยที่สุด (Minimax) ในการตั้งโรงงาน ดังนั้นจากตารางที่ 11 การใช้การถ่วงน้ำหนักแบบค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดสามค่าสามารถเลือกพิกัด (186, 116) หรือ (186, 148) เป็นที่ตั้งโรงงานจากการพิจารณาค่าระยะทางรวมเฉลี่ยเนื่องจากทั้งสองพิกัดให้ค่าระยะทางรวมเฉลี่ยเท่ากันคือ 66,974 กม. และเลือกพิกัด (186, 116) เป็นที่ตั้งโรงงานจากการพิจารณาค่าระยะทางรวมกรณีที่แย่ที่สุดในวิธีการ

เชิงทนทานเนื่องจากให้ระยะทางรวมกรณีที่แย่ที่สุดเป็น 75,355 กม. ซึ่งน้อยกว่าระยะทางรวมกรณีที่แย่ที่สุดของพิกัด (186, 148) ซึ่งให้ระยะทางรวม 75,547 กม.

ผลการคำนวณโดยใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่

ในการถ่วงน้ำหนักจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน โดยใช้ตัวเลขฟัซซี่นั้นเราต้องสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและใช้ตัวเลขฟัซซี่ แทนการใช้ตัวเลขแบบธรรมดา เนื่องจากตัวเลขธรรมดาไม่สามารถอธิบายถึงความคลุมเครือของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนในแต่ละจุดรับซื้อได้ ในงานวิจัยนี้เราเลือกใช้ตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมเนื่องจากในขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลเจ้าของกิจการได้ประมาณค่าปริมาณวัตถุดิบที่จะส่งเข้าโรงงานของแต่ละจุดรับซื้อ ไว้ 3 ค่า คือค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุด ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับค่าน้อยที่สุด ค่าที่มีโอกาสเกิดมากที่สุด และค่ามากที่สุดในตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยม ต่างกันที่ตัวเลขฟัซซี่จะมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่จะบอกถึงระดับความเป็นสมาชิกของข้อมูล โดยยิ่งระดับความเป็นสมาชิกเข้าใกล้ค่า 1 มากเท่าไรข้อมูลชุดนั้นก็มีโอกาสเกิดมากขึ้นเท่านั้น

ผลเปรียบเทียบระหว่างวิธีเชิงทนทานและวิธีตัวเลขแบบฟัซซี่

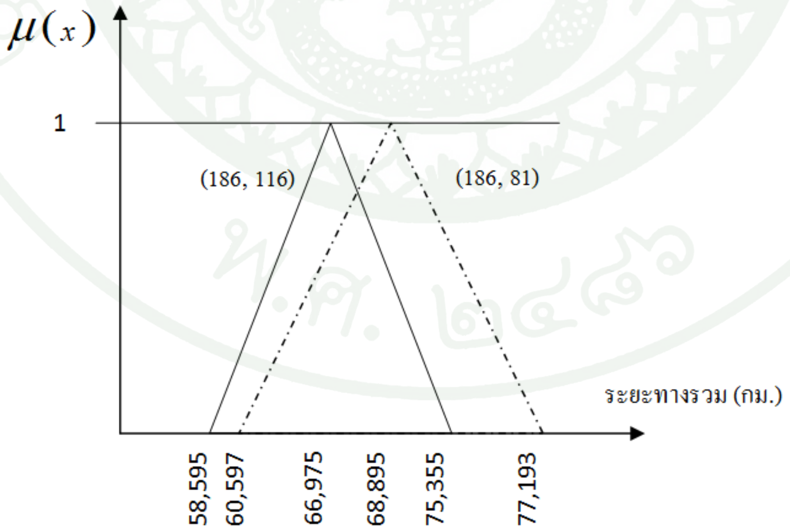
ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบผลระหว่างวิธีเชิงทนทานและวิธีการใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่

การถ่วงน้ำหนัก	วิธีเชิงทนทาน Low, Median, High		วิธีตัวเลขฟัซซี่ Min, Mode, Max	
รอบเหตุการณ์ (รอบ)	6,561		1	
จำนวนชุดคำตอบ	2		2	
พิกัดคำตอบ	**(186, 116)**	(186, 148)	(186, 81)	**(186, 116)**
ระยทางรวมเฉลี่ย (กม.)	66,975	66,975	68,895	66,975
ระยทางรวมกรณีแย่ที่สุด (กม.)	75,355	75,547	-	-

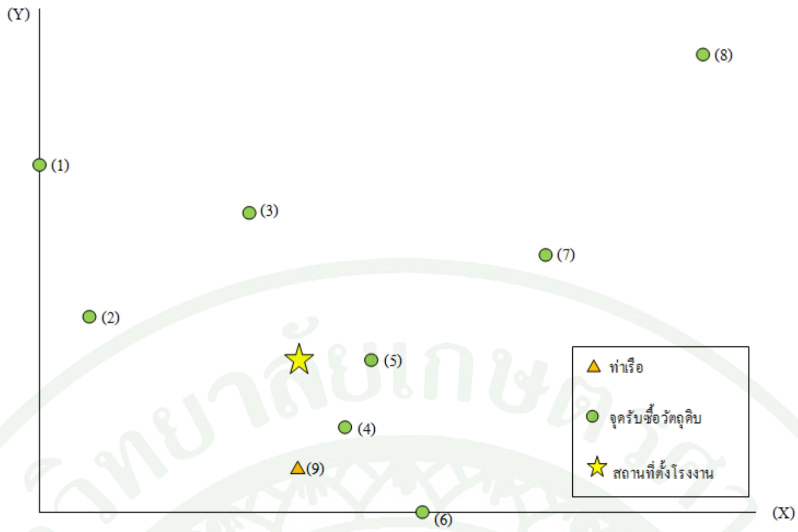
จากตารางที่ 12 พบว่าการถ่วงน้ำหนักโดยใช้ค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดในวิธีเชิงทนทานและการถ่วงน้ำหนักโดยใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่ต่างให้พิกัดที่เหมาะกับการตั้งโรงงานอย่างละ 2

ชุดคำตอบ การถ่วงน้ำหนักโดยใช้ค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดจะพิจารณาระยะทางรวมเฉลี่ยและระยะทางรวมกรณีที่แย่ที่สุดจากรอบเหตุการณ์ทั้งหมด 6,561เหตุการณ์ ส่วนการถ่วงน้ำหนักโดยใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่นั้นจะพิจารณาระยะทางรวมจากรอบเหตุการ์ที่เกิดขึ้นเพียงรอบเหตุการณ์เดียว โดยการถ่วงน้ำหนักแบบค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดพิกัด (186, 116) และ (186, 148) ต่างให้ระยะทางรวมเฉลี่ยเท่ากันแต่พิกัด (186, 116) ให้ระยะทางรวมกรณีที่แย่ที่สุดน้อยกว่าพิกัด (186, 148) ดังนั้นในวิธีเชิงทนทาน เราจึงเลือกพิกัด (186, 116) เป็นที่ตั้งโรงงาน

ส่วนการถ่วงน้ำหนักโดยใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่นั้นเราได้พิกัด (186, 81) และ (186, 116) เป็นพิกัดคำตอบโดยพิกัด (186, 81) ให้ค่าระยะทางรวมน้อยที่สุด 60,597 กม. ค่าระยะทางรวมที่มีโอกาสเกิดมากที่สุด 68,895 กม. และค่าระยะทางรวมมากที่สุด 77,193 กม. ส่วนพิกัด (186, 116) ให้ค่าระยะทางรวมน้อยที่สุด 58,595 กม. ค่าระยะทางรวมที่มีโอกาสเกิดมากที่สุด 66,975 กม. และค่าระยะทางรวมมากที่สุด 75,355 กม. ดังแสดงในภาพที่ 24 จากนั้นทำการแปลงผลลัพธ์แบบฟัซซี่ของแต่ละพิกัดให้เป็นผลลัพธ์แบบคริสพจะได้ว่าที่พิกัด (186, 81) ให้ระยะทางรวมเท่ากับ 68,895 กม. และที่พิกัด (186, 116) ให้ระยะทางรวมเท่ากับ 66,975 กม. ดังนั้นเราจึงเลือกพิกัด (186, 116) เป็นที่ตั้งโรงงานเนื่องจากให้ค่าระยะทางรวมน้อยกว่า ส่วนภาพที่ 25 แสดงพิกัดที่ตั้งโรงงานของการถ่วงน้ำหนักทั้งสองแบบ



ภาพที่ 24 ค่าพิกัดที่เหมาะกับการตั้งโรงงานที่ได้จากวิธีแก้ปัญหาโดยใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่



ภาพที่ 25 แสดงพิกัดที่ตั้งโรงงานของวิธีการเชิงทนทานและวิธีการใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่

แม้ว่าการแก้ปัญหาของทั้งสองวิธีจะให้พิกัดในการตั้งโรงงานเหมือนกันคือพิกัด (186, 116) แต่กระบวนการในการถ่วงน้ำหนักของทั้งสองวิธีนั้นต่างกัน โดยในวิธีเชิงทนทานนั้นจะถ่วงน้ำหนักของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนเป็นค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุด แต่ละค่าเท่ากันทั้งหมด 6,561 เหตุการณ์ ส่วนการถ่วงน้ำหนักโดยใช้ตัวเลขฟัซซี่นั้นการถ่วงน้ำหนักของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนที่เกิดขึ้นแต่ละค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับรูปร่างและฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวเลขฟัซซี่ดังเช่นตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยมที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะให้เป็นค่าน้อยที่สุด ค่าที่มีโอกาสเกิดมากที่สุด และค่ามากที่สุด

การถ่วงน้ำของทั้งสองวิธีต่างมีลักษณะเด่นของการใช้งานที่ต่างกันไป การถ่วงน้ำหนักแบบค่าต่ำสุด ค่ากลางและค่าสูงสุดในวิธีการเชิงทนทานจะสามารถพิจารณาระยะทางรวมของรอบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดและระยะทางรวมกรณีที่แย่ที่สุดได้ ซึ่งวิธีการเชิงทนทานนี้เหมาะกับข้อมูลที่มีค่าไม่แน่นอนที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยความน่าจะเป็น จุดมุ่งหมายคือต้องการให้ผลของการตัดสินใจเป็นการตัดสินใจที่ดีและสามารถยอมรับได้แม้ว่าค่าพารามิเตอร์จะเปลี่ยนไปตามความไม่แน่นอนที่พิจารณา ฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะอยู่ในรูปแบบที่ต้องการทำให้ค่าเสียโอกาสที่เกิดจากการตัดสินใจผิดพลาดหรือค่าใช้จ่ายที่มากที่สุดมีค่าน้อยที่สุด ส่วนวิธีใช้ตัวเลขฟัซซี่เหมาะกับข้อมูลที่อยู่ในรูปความไม่แน่นอนแบบไม่สุ่ม ความไม่แน่นอนที่เกิดจากการตีความความหมายของคำ ความไม่แน่นอนที่อยู่ในรูปของความคลุมเครือ ความไม่แม่นยำ หรือการขาดข้อมูลบางส่วน ข้อมูลส่วนใหญ่มักได้มาจากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญคือทราบว่าข้อมูลใดมีโอกาสเกิดขึ้นมาก เกิดขึ้น

น้อยหรือข้อมูลใดมีโอกาสเกิดขึ้นได้หลายค่า เนื่องจากรูปร่างและฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวเลขฟัซซี่มีผลต่อการคิดและตัดสินใจในการแก้ปัญหา

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสถานที่ตั้งโรงงานเพียงแห่งเดียวโดยให้ระยะทางรวมในการขนส่งมีค่าน้อยที่สุดภายใต้ความไม่แน่นอนของปริมาณวัตถุดิบที่ส่งเข้าโรงงานซึ่งในที่นี้แทนด้วยจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน งานวิจัยได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา 2 วิธี คือ วิธีการเชิงทนทานและวิธีการใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่ ทั้งสองวิธีใช้กระบวนการตัดสินใจในการเลือกที่ตั้งโรงงานโดยให้ระยะทางรวมน้อยที่สุดเหมือนกัน ต่างกันที่แต่ละวิธีมีการจัดการกับความไม่แน่นอนของข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงไม่สามารถกล่าวได้ว่าวิธีแก้ปัญหาใดให้ผลดีกว่า โดยในวิธีการเชิงทนทานจะทำการสร้างและพิจารณาเหตุการณ์ที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมดจากจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือนที่เปลี่ยนแปลง (โดยใช้ค่าการถ่วงน้ำหนักแบบค่าต่ำสุด, ค่ากลาง และค่าสูงสุด) พิจารณาระยะทางรวมฉลี่ยและระยะทางรวมกรณีที่แย่ที่สุดแล้วเลือกพิกัดที่ให้ค่าระยะทางรวมที่น้อยที่สุดเป็นพิกัดในการตั้งโรงงาน ส่วนวีธีการใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่จะใช้ตัวเลขฟัซซี่แบบสามเหลี่ยม (โดยใช้ค่าการถ่วงน้ำหนักแบบค่าน้อยที่สุด ค่าที่มีโอกาสเกิดมากที่สุด และค่ามากที่สุด) แทนความคลุมเครือหรือความไม่แน่นอนของจำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อเดือน จากนั้นหาพิกัดที่ให้ระยะทางรวมที่น้อยที่สุดเลือกเป็นพิกัดที่ตั้งโรงงาน โดยข้อมูลที่นำมาพิจารณานั้นควรได้มาจากประสบการณ์ของผู้ทำงานหรือผู้เชี่ยวชาญในปัญหานั้นๆ เนื่องจากรูปร่างและฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวเลขฟัซซี่มีผลต่อการคิดและตัดสินใจในการแก้ปัญหา

โดยพิกัดที่เหมาะสมในการตั้งโรงงานของวิธีการเชิงทนทานและวีธีการใช้ตัวเลขแบบฟัซซี่ คือ พิกัด (186, 116) ซึ่งตั้งห่างจาก (1) อ.คลองลาน จ.กำแพงเพชร ที่เป็นจุดศูนย์ของแนวแกน x เป็นระยะทาง 186 กม. และตั้งห่างจาก (6) อ.แก่งหางแมว จ.จันทบุรีที่เป็นจุดศูนย์ของแนวแกน y เป็นระยะทาง 116 กม.หรือตั้งที่ อ.องครักษ์ จ.นครนายก

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้จำนวนเที่ยวรถขนส่งที่ออกจากโรงงานไปยังท่าเรือจะเป็นครึ่งหนึ่งของจำนวนเที่ยวรถขนส่งที่วิ่งเข้าโรงงานเนื่องจากหลังการแปรรูปวัตถุดิบให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะลดลงครึ่งหนึ่ง หากพิจารณาการคำนวณหาค่าพิกัด (x,y) ในหัวข้อการคำนวณหาพิกัดที่ตั้งโรงงานจะพบว่าค่าถ่วงน้ำหนักของท่าเรือมีค่าสูงมากกว่าค่าถ่วงน้ำหนักของทุกจุดรับซื้อ ดังนั้นเมื่อทำการหาพิกัด (x, y) ในการหาที่ตั้งโรงงานจึงมักจะตกลงที่ตำแหน่งของท่าเรือเป็นส่วนมาก หากลองเกลี่ยหรือปรับให้ค่าถ่วงน้ำหนักของท่าเรือมีความใกล้เคียงกับค่าถ่วงน้ำหนักของจุดรับซื้อจะทำให้ได้ชุดคำตอบเพิ่มมากขึ้นและคำตอบก็จะไม่ตกอยู่เฉพาะท่าเรือ แต่การปรับค่าการถ่วงน้ำหนักของท่าเรือนั้นควรปรับให้สอดคล้องกับเงื่อนไขหรือปัญหาที่เราต้องการแก้ไขจึงจะก่อให้เกิดประโยชน์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จิตตรัตน์ มณีวรรณ์. 2553. **การกำหนดค่าบริการซ่อมบำรุงหลังการขายของเครื่องจักรอุตสาหกรรมภายใต้ความคลุมเครือของต้นทุน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จักรพงษ์ พันธุ์ศิริ. 2545. **การการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานที่มีกำลังผลิตจำกัดภายใต้ความต้องการที่ไม่แน่นอน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน. 2554. การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการด้วยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด. **วิศวกรรมสาร มก.** 24: 107-122.

ชญานี เล้าสุขสุวรรณ์. 2553**. การเลือกสถานที่ตั้งโรงงานที่เหมาะสมด้วยวิธีการแบ่งแยกปัญหา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฐิติมาภรณ์ เยาวรัตน์. 2549. **การใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตในการเรียงลำดับความชอบสำหรับผลิตภัณฑ์ชาเขียวพร้อมดื่ม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนรัฐ รัตนอุบล. 2550. **การสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกโดยอัตโนมัติสำหรับฟัซซี่ลอจิกเพื่อการวินิจฉัยโรคกล้ามเนื้ออ่อนแรงและโรคมะเร็งเต้านม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปกรณ์ เกตุแย้ม. 2552. **การวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตั้งสถานีแม่สำหรับบริการก๊าซ NGV ในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

พยุง มีสัจ. ม.ป.ป. **ฟัซซี่ลอจิก**. แหล่งที่มา: http://alaska.reru.ac.th/text/fuzzylogic.pdf, 15 มกราคม 2556.

ภัททิตา สุวรรณรุจิ. 2540. **การประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซี่ลอจิกกับการตัดสินใจแบบหลายปัจจัยสำหรับการจัดเส้นทางเดินของงานในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภัทรวดี เตียวเตชะเดชา. 2553. **การเลือกกราฟฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในฟัซซี่ลอจิก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุจิรัตน์ รุจิรกุล. 2548. **การคำนวณที่ตั้งโรงงานน้ำตาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และอัลกอริทึมวิถีที่สั้นที่สุด** . วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศันสนีย์ ตรีอารยะพงศ์. 2550. **การใช้วิธีการทางฟัซซี่ในการเลือกเส้นทางการขนส่งจากตอนเหนือของประเทศไทยไปยังตอนใต้ของประเทศจีน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

โสภณ ฉัตรวัฒนานนท์. 2543. **การประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซี่เซตในการวิเคราะห์การทดแทนเครื่องจักร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

อนุรักษ์ สว่างวงศ์. 2552. **การประยุกต์ใช้กระบวนการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์แบบฟัซซี่ในการคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งและระบบเชื่อมต่อของสถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดเชียงใหม่แห่งที่ 3**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Averbakh, I. and O. Berman. 1997. Minimax Regret p-Center Location on a Network with Demand Uncertainty. **Location Science**. 5 (4): 247-254.

Averbakh, I. and O. Berman. 2000. Minmax Regret Median Location on a Network under Uncertainty, **INFORMS Journal on Computing**. 12 (2): 104-110.

Berman, O., Z. Drezner and G.O. Wesolowsky. 1996. Minimum Covering Criterion for Obnoxious Facility Location on a Network. **Networks**. 28 (1): 1-5.

Chang, J.R., C.H. Cheng and C.Y. Kuo. 2006. Conceptual Procedure for Ranking Fuzzy Numbers Based on Adaptive Two-Dimensions Dominance. **Soft Compt**. 10: 94-103.

Chen, L.H. and H.W. Lu. 2001. An Approximate Approach for Ranking Fuzzy Numbers Based on Left and Right Dominance. **Computers and Mathematics with Applications**. 41: 1589-1602.

Chen, L.S. and C.H. Cheng. 2005. Selecting IS Personnel Use Fuzzy GSS Based on Metric Distance Method. **European Journal of Operational Research**. 160: 803–820

Chen, S.J. and C.L. Hwang. 1992. **Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications,** Lecture notes in economics and mathematical systems. Springer, New York

Cheng, C.H. 1998. A New Approach For Ranking Fuzzy Numbers by Distance Method. **Fuzzy Sets Syst**. 95: 307–317

Church, R.L. and R.S. Garfinkel. 1978. **Locating** an Obnoxious Facility on a Network. **Transportation Science**. 12: 107-118.

Drezner, Z. 1986. Location of regional facilities. **Naval Research Logistics Quarterly**. 33: 523–529.

Drezner, Z. and G.O. Wesolowsky. 1980. A Maximin Location Problem with Maximum Distance Constraints, **AIIIE Transactions**. 12: 249-252.

Farahani, R.Z. and M. Hekmatfar. 2009. **Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.

Francis, R.L. and J.A. White. 1974. **Facility Layout and Location an Analytical Approach**. Prentice Hall, New Jersey

Gani, A.N. and S.N.M. Assarudeen. 2012. A New Operation on Triangular Fuzzy Number for Solving Fuzzy Linear Programming Problem. **Applied Mathematical Sciences**. 6 (11): 525-532.

Lee, E.S. and R.L. Li. 1988. Comparison of Fuzzy Numbers Based on The Probability Measure of Fuzzy Events. **Comput Math Appl**. 15: 887–896.

Murakami, S., S. Maeda and S. Imamura. 1983. Fuzzy decision analysis on the development of centralized regional energy control system. **IFAC symposium on fuzzy information knowledge representation and decision analysis**, pp 363–368

Owen, S.H. and M.S. Daskin. 1998. Strategic facility location: A review. **European Journal of Operational Research.** 111: 423-447.

Uster, H. and R.F. Love. 2002. A Generalization of the Rectangular Bounding Method for Continuous Location Models. **Comput Math Appl.** 44: 181–191.

Yager, R.R., 1980. On a General Class of Fuzzy Connectives. **Fuzzy Sets Syst**. 4: 235–242.

Zimmermann, H.J., 1987. **Fuzzy set, decision making and expert system**. Kluwer Academic Publishers, Boston

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวธิติมา วงศ์พระเวทย์
เกิดวันที่	23 สิงหาคม พ.ศ.2531
สถานที่เกิด	จังหวัดสุราษฎธานี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ.(วิศวกรรมการผลิต) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-

ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ -

ทุนการศึกษาที่ได้รับ -