

การประเมินระบบโครงข่ายที่มีความไม่แน่นอนด้วยต้นทุนเฉลี่ย และการประยุกต์ใช้

วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์, เจริญชัย โขมพัตรภรณ์*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

โทร 0-2470-9172 โทรสาร 0-2872-9081 E-mail {viboon, *ckhomp}@gmail.com

บทคัดย่อ

ในการประเมินระบบโครงข่ายที่มีความไม่แน่นอนนั้น โดยส่วนมากจะทำการประเมินผ่านความน่าเชื่อถือของระบบโครงข่ายเป็นหลักและกำหนดให้ปัจจัยอื่นๆ เป็นเพียงข้อจำกัดของโครงข่าย ซึ่งในบางครั้งการประเมินระบบโครงข่ายด้วยวิธีการเช่นนี้ไม่เพียงพอที่จะนำไปตัดสินใจได้ว่าระบบโครงข่ายดังกล่าวดีมาน้อยเพียงใด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการประเมินระบบโครงข่ายที่มีความไม่แน่นอนผ่านต้นทุนเฉลี่ย (Expected Cost) ซึ่งเป็นการประเมินต้นทุนที่เกิดจากการใช้ระบบโครงข่ายด้วยเส้นทางต่างๆ ร่วมกับความน่าจะเป็นที่จะใช้เส้นทางนั้นๆ โดยต้นทุนที่นำมาพิจารณาสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ ต้นทุนจากการขนส่งสินค้าและต้นทุนจากการที่ไม่สามารถขนส่งสินค้าผ่านระบบโครงข่ายได้ ส่วนการหาความน่าจะเป็นของเส้นทางในระบบโครงข่ายได้ใช้การวิเคราะห์ด้วยการถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression) จากนั้นได้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีต้นทุนเฉลี่ยด้วยตัวอย่างจริงของระบบโครงข่ายการขนส่งที่มีความไม่แน่นอน

คำสำคัญ: ต้นทุนเฉลี่ย; ความน่าเชื่อถือ; ระบบโครงข่ายที่มีความไม่แน่นอน; การถดถอยโลจิสติก; มินิมัลพาท

1. ที่มาและความสำคัญ

ธุรกิจและอุตสาหกรรมในปัจจุบันมีการแข่งขันที่สูงขึ้น การลดต้นทุนจึงเป็นสิ่งสำคัญในการแข่งขันกับคู่แข่ง แต่องค์กรในธุรกิจประเภทเดียวกันมักใช้เทคโนโลยีในการผลิตสินค้าที่คล้ายคลึงกัน ส่งผลให้การลดต้นทุนการผลิตมีลักษณะที่คล้ายกันด้วย เมื่อทำการลดต้นทุนการผลิตจนถึงจุดจุดหนึ่งต้นทุนการผลิตขององค์กรในธุรกิจประเภทเดียวกันมักไม่มีความแตกต่างกันมาก หลายองค์กรจึงหันมาสนใจการลดต้นทุนในด้านการจัดส่งสินค้าต่อจากการลดต้นทุนการผลิตซึ่งถือว่าเป็นต้นทุนที่สำคัญอีกหมวดหนึ่ง เนื่องจากต้นทุนในการจัดส่งสินค้านั้นเป็นต้นทุนในเชิงการจัดการโดยแต่ละองค์กรอาจมีนโยบายที่แตกต่างกันไป บางองค์กรมีหน่วยงานขนส่งสินค้าเป็นของตนเองแต่บางองค์กรจะทำการจ้างบริษัทขนส่งภายนอกให้ทำการขนส่งสินค้าให้ส่งผลให้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าของแต่ละองค์กรมีความแตกต่าง

เมื่อพิจารณาถึงระบบในการขนส่งสินค้าซึ่งรวมถึงตั้งแต่ โรงงาน โกดัง ศูนย์กระจายสินค้า จนถึงลูกค้าตลอดจนเส้นทางต่างๆ ในการขนส่งสินค้า พบว่าระบบดังกล่าวมีลักษณะเชื่อมโยงกันเป็นระบบโครงข่าย (Network) และงานวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาเพื่อค้นหาเส้นทางที่จะทำให้เกิดต้นทุน (หรือ ระยะเวลา) ในการขนส่งสินค้าที่น้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไข (Constraints) ต่างๆ ที่ถูกกำหนดขึ้น โดยมีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีที่เหมาะสมกับระบบโครงข่ายนั้นๆ เช่น Dijkstra's Algorithm (Misra, 2001) Linear Programming (Avella, et al. 2006) และ Neural Network (Horiguchi, et al. 2004)

ในการศึกษาเพื่อค้นหาเส้นทางที่มีต้นทุนต่ำสุดในงานวิจัยเหล่านี้กำหนดให้เส้นทางต่างๆ ในระบบโครงข่ายที่ทำการศึกษาไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Deterministic Model) แต่ในความเป็นจริงนั้นระบบโครงข่ายมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้นได้เช่น เส้นทางบางเส้นทางไม่สามารถใช้การได้ชั่วคราวอันเนื่องจากปัจจัยบางอย่าง ซึ่งจะส่งผลให้เส้นทางที่ทำการเลือกไว้ไม่สามารถใช้ขนส่งสินค้าได้ หรืออาจส่งผลให้ทั้งระบบโครงข่ายนี้ไม่สามารถขนส่งสินค้าได้เลย เนื่องจากไม่สามารถเชื่อมต่อระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดปลายได้ ดังนั้นเมื่อระบบโครงข่ายเกิดความไม่แน่นอนขึ้น การค้นหาเส้นทางที่มีต้นทุนที่ต่ำที่สุดเพื่อนำมาใช้กำหนดต้นทุนในการขนส่งจึงไม่สามารถนำมาใช้ได้

เมื่อทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินระบบโครงข่ายที่มีความไม่แน่นอน พบว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ การค้นหาจำนวนของระบบย่อยของระบบอนุกรม-ขนาน (Series-Parallels System) เพื่อให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด (Optimum Redundant System) และการประเมินหาความน่าเชื่อถือของระบบโครงข่าย (Network Reliability) โดยค่าความน่าเชื่อถือที่ได้จากการประเมินระบบการขนส่งที่มีความไม่แน่นอนนั้น จะถูกนำไปใช้ประเมินว่าระบบโครงข่ายการขนส่งที่มีอยู่นั้นมีประสิทธิภาพเป็นอย่างไร ถ้าระบบมีความน่าเชื่อถือต่ำแสดงว่ามีโอกาสที่ระบบจะไม่สามารถขนส่งสินค้าได้ตามที่ต้องการ จำเป็นต้องทำการปรับปรุงระบบโครงข่ายให้มีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในการปรับปรุงระบบโครงข่ายนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ส่วนจะใช้วิธีใดในการปรับปรุงโครงข่ายนั้นอาจพิจารณาจากความน่าเชื่อถือของระบบโครงข่ายที่ทำการปรับปรุงโดยเลือกวิธีที่ให้ค่าความน่าเชื่อถือที่ดีกว่า แต่การพิจารณาจากค่าความน่าเชื่อถือเพียงอย่างเดียวอาจจะไม่ได้วิธีที่ดีที่สุดเสมอไป เนื่องจากระบบโครงข่ายที่มีความน่าเชื่อถือใกล้เคียงกันอาจมีต้นทุนในการใช้ระบบแตกต่างกันได้ ดังนั้นในการประเมินระบบโครงข่ายควรนำเอาต้นทุนในการขนส่งมาร่วมพิจารณาด้วยเพื่อให้สามารถเลือกวิธีในการปรับปรุงระบบโครงข่ายที่ดีที่สุด

ในงานวิจัยที่ผ่านมา มีงานวิจัยหลายชิ้น เช่น Lin (2006) หรือ Yeh (2004) ได้นำต้นทุนในการใช้เส้นทางขนส่งมาเป็นข้อจำกัดในการประเมินความน่าเชื่อถือ กล่าวคือเป็นการประเมินหาความน่าเชื่อถือของระบบโดยมีเงื่อนไขว่าเส้นทางที่จะใช้ในการขนส่งจะต้องมีต้นทุนไม่เกินที่กำหนดไว้ด้วย แต่ยังไม่มียานวิจัยที่นำต้นทุนในการใช้ระบบโครงข่ายมาร่วมพิจารณากับความน่าเชื่อถือแต่อย่างใด

ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงทำการพัฒนาตัวชี้วัดที่เรียกว่า “ต้นทุนเฉลี่ย” (Expected Cost) ซึ่งเป็นการนำต้นทุนในการใช้ระบบโครงข่ายมาร่วมพิจารณากับความน่าเชื่อถือของระบบโครงข่ายระบบการขนส่งที่มีความไม่แน่นอนนี้ โดยมีพื้นฐานจากการหาค่าคาดหวัง (Expected Value) ซึ่งเกิดจากผลรวมของต้นทุนที่เกิดขึ้นคูณกับความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์นั้นจะเกิดขึ้น

2. ทฤษฎีพื้นฐาน

ในการคำนวณต้นทุนเฉลี่ยนั้นมีแนวคิดพื้นฐานมาจากการหาค่าคาดหวัง ซึ่งจำเป็นต้องหาค่าความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ก่อนจึงจะสามารถหาค่าคาดหวังได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาถึงวิธีการประเมินค่าความน่าเชื่อถือของระบบโครงข่ายที่มีความไม่แน่นอน ซึ่งพบว่ามีอยู่ 2 วิธี (Billinton, 1992) ได้แก่ 1) การคำนวณโดยตรง (Analytical Calculation) และ 2) คือการจำลองเหตุการณ์โดยใช้หลักการของการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) โดยค่าความน่าเชื่อถือที่ได้จากการคำนวณโดยตรงจะเป็นค่าที่ถูกต้องแต่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการคำนวณเมื่อระบบโครงข่ายมีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น มีจำนวนโหนด (Nodes) หรือ ทางเชื่อม (Edges) มากขึ้น ส่วนของการจำลองเหตุการณ์เป็นการประมาณค่าความเชื่อถือได้ของระบบโดยการสุ่มจำลองเหตุการณ์ของแต่ละระบบย่อยว่าเป็นสถานการณ์ใด

แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดมาประเมินระบบโดยรวมเป็นเช่นไร การจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกในการประมาณค่าผ่านการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แต่ค่าความน่าเชื่อถือของระบบที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์จะเป็นค่าโดยประมาณ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีการคำนวณโดยตรง

อย่างไรก็ตามการประเมินค่าความน่าจะเป็นของระบบโครงข่ายที่มีความไม่แน่นอนนี้ จำเป็นต้องทำการประเมินความน่าเชื่อถือของทางเชื่อมต่างๆ ในระบบโครงข่ายก่อน โดยสามารถทำการประเมินได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูล ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression Analysis) มาช่วยในการประเมินค่าความน่าจะเป็นของทางเชื่อม

2.1 การประเมินค่าความน่าเชื่อถือ

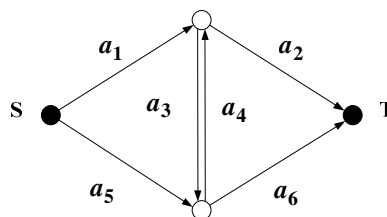
สำหรับวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการคำนวณความน่าเชื่อถือของโครงข่ายมีหลายวิธีเช่น วิธีมินิมัลคัต (Minimal Cut) วิธีมินิมัลพาท (Minimal Path) และวิธีการวิเคราะห์แผนภาพต้นไม้ของข้อผิดพลาด (Fault Tree Analysis) ฯลฯ ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอเฉพาะวิธีมินิมัลพาท เนื่องจากเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินต้นทุนเฉลี่ยของระบบโครงข่ายต่อไป

การใช้วิธีมินิมัลพาทเพื่อทำการประเมินค่าความน่าเชื่อถือนั้นจะต้องเริ่มต้นจากการค้นหามินิมัลพาทก่อน ซึ่งจะมีนิยามดังนี้

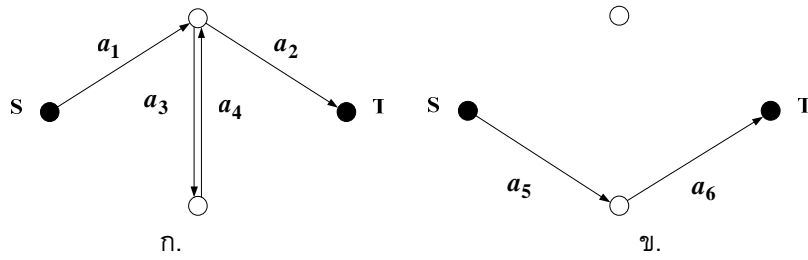
นิยาม

- พาท (Path) คือ กลุ่มหรือเซตของทางเชื่อม (Edges) ใดๆ ในระบบโครงข่าย ซึ่งสามารถใช้เชื่อมโยงโครงข่ายจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายที่กำหนดได้
- มินิมัลพาท (Minimal Path : MP) คือ พาทที่มีจำนวนสมาชิกน้อยที่สุด โดยที่หากมีทางเชื่อมใดทางเชื่อมหนึ่งในพาทนี้ไม่สามารถใช้งานได้แล้ว จะทำให้ไม่เป็นพาทอีกต่อไป ซึ่งหมายความว่าไม่สามารถเชื่อมจุดเริ่มต้นและจุดปลายได้

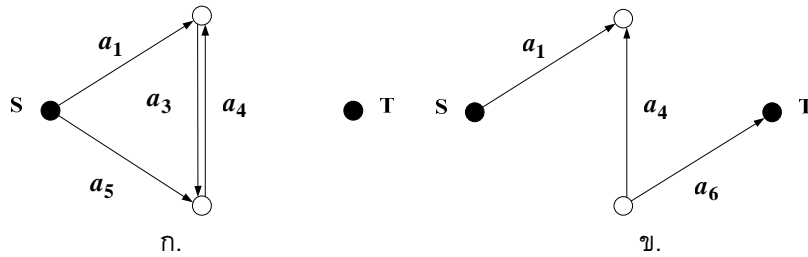
ยกตัวอย่างเช่นระบบโครงข่ายในรูปที่ 1 (Lin, 2001) ซึ่งเป็นระบบโครงข่ายที่มี 4 โหนด และ 6 ทางเชื่อม มีจุดเริ่มต้นที่ S และจุดปลายที่ T เราจะได้ว่า $\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ และ $\{a_5, a_6\}$ เป็นพาท เนื่องจากทางเชื่อมดังกล่าวสามารถเชื่อมโยงระบบโครงข่ายจาก S ไปยัง T ได้ดังแสดงในรูปที่ 2ก. และ 2ข. ในขณะที่ $\{a_1, a_3, a_4, a_5\}$ และ $\{a_1, a_4, a_6\}$ ไม่ถือว่าเป็นพาท เนื่องจากไม่สามารถเชื่อมโยงระบบโครงข่ายจาก S ไปยัง T ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3ก. และ 3ข. และเมื่อทำการพิจารณาพาท $\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ และ $\{a_5, a_6\}$ จะพบว่า $\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ ไม่เป็นมินิมัลพาท เนื่องจากเมื่อทำการตัดทางเชื่อม a_3 หรือ a_4 ทิ้งไป เซตของทางเชื่อมที่เหลือก็ยังคงเชื่อมโยง S กับ T ได้ ส่วน $\{a_5, a_6\}$ เป็นมินิมัลพาทเนื่องจากไม่ว่าตัดทางเชื่อมใดทิ้งไปก็ทำให้เซตของทางเชื่อมที่เหลือไม่สามารถเชื่อมโยง S กับ T ได้



รูปที่ 1: ตัวอย่างระบบโครงข่ายที่ 1



รูปที่ 2: ตัวอย่างของพาทในตัวอย่างระบบโครงข่ายที่ 1



รูปที่ 3: ตัวอย่างของกลุ่มทางเชื่อมที่ไม่ใช่พาทในตัวอย่างระบบโครงข่ายที่ 1

จากตัวอย่างโครงข่ายในรูปที่ 1 มีมินิมัลพาททั้งหมด 4 มินิมัลพาทคือ $\{a_1, a_2\}$, $\{a_5, a_6\}$, $\{a_1, a_3, a_6\}$ และ $\{a_2, a_4, a_5\}$ และสามารถหาความน่าเชื่อถือของระบบโครงข่ายได้เป็นดังสมการที่ (1)

$$R = \Pr(\{a_1, a_2\} \cup \{a_5, a_6\} \cup \{a_1, a_3, a_6\} \cup \{a_2, a_4, a_5\}) \quad (1)$$

โดยที่ R = ความน่าเชื่อถือของระบบโครงข่าย

$\Pr(\cdot)$ = ความน่าจะเป็น

ดังนั้นถ้าเรากำหนดให้ X_i แทนมินิมัลพาทที่ i ของระบบโครงข่ายและ n เป็นจำนวนมินิมัลพาททั้งหมดที่มีในระบบโครงข่าย จะสามารถแสดงความน่าเชื่อถือของระบบโครงข่ายที่จะสามารถเชื่อมโยงจุด S ไปยัง T ได้เป็น

$$R = \Pr(X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_i \cup \dots \cup X_n) \quad (2)$$

2.2 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression Analysis)

ในปัจจุบันการพยากรณ์ได้เข้ามามีบทบาทในการวิจัยสาขาต่างๆ โดยวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดวิธีหนึ่งในการพยากรณ์คือ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งคือตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ซึ่งอาจเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ (Qualitative Variables) หรือตัวแปรเชิงคุณภาพ (Quantitative Variables) ก็ได้ และอีกกลุ่มหนึ่งคือ ตัวแปรตาม (Dependent Variables) ซึ่งต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณเท่านั้น แต่ปัญหาที่พบในความเป็นจริงนั้นมีหลายปัญหาที่ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพเช่น ปัญหาทางการแพทย์ ปัญหาทาง

สังคมศาสตร์ และปัญหาทางเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ มักมีตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพที่มีค่าที่เป็นไปได้เพียง 2 ค่า (Dichotomous Dependent Variables) เช่น การเกิดโรค (เกิด-ไม่เกิด) ผลการสอบเข้ามหาวิทยาลัย (ได้-ไม่ได้) การตัดสินใจ (เลือก-ไม่เลือก) เป็นต้น ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น เนื่องจากตัวแปรตามมีค่าเป็นไปได้อย่างเพียง 2 ค่าซึ่งไม่ใช้การแจกแจงปกติตรงตามข้อสมมติพื้นฐานทั่วไปของสมการถดถอยเชิงเส้น และทำให้ความคลาดเคลื่อนที่ได้ไม่มีการแจกแจงแบบปกติด้วย จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการวิเคราะห์อื่นแทน โดยวิธีการหนึ่งที่น่าจะใช้กันคือ การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Hosmer and Lemeshow, 2000)

ในการวิเคราะห์การถดถอยเมื่อตัวแปรตาม Y มีการแจกแจงแบบ Bernoulli; $Y \sim b(1, \pi(x))$ โดย $\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ คือกลุ่มของตัวแปรอิสระ ซึ่ง Y มีค่าเป็น 1 แทน "ใช้หรือสิ่งที่สนใจ" หรือ 0 แทน "ไม่ใช่หรือสิ่งที่ไม่สนใจ" ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$Y = \begin{cases} 1 & \text{ด้วยความน่าจะเป็น } \pi(\underline{x}) \\ 0 & \text{ด้วยความน่าจะเป็น } 1 - \pi(\underline{x}) \end{cases}$$

โดยฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของการแจกแจงโลจิสติก มีรูปแบบดังนี้

$$\pi(\underline{x}) = E(Y | \underline{x}) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_l x_l)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_l x_l)} \quad (3)$$

โดยที่ $E(Y | \underline{x})$ = ค่าพยากรณ์ของ Y เมื่อกำหนดตัวแปรอิสระ \underline{x} ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็น $\pi(\underline{x})$

x_1, x_2, \dots, x_l = ตัวแปรอิสระที่ 1, 2, ..., l

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_l$ = สัมประสิทธิ์การถดถอย

3. การประเมินต้นทุนเฉลี่ย

ต้นทุนเฉลี่ย (Expected Cost) มีพื้นฐานมาจากการคำนวณค่าคาดหวัง ซึ่งเกิดจากผลคูณของต้นทุน C_i และความน่าจะเป็นที่จะเกิดต้นทุนดังกล่าว $\Pr(C_i)$ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E(\text{Cost}) = \sum_{i=1}^m C_i \Pr(C_i) \quad (4)$$

โดยที่ $E(\text{Cost})$ = ต้นทุนเฉลี่ย

C_i = ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ i ใดๆ

$\Pr(C_i)$ = ความน่าจะเป็นที่จะเกิดต้นทุน C_i

m = จำนวนเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในระบบโครงข่าย

จากการประเมินต้นทุนเฉลี่ยด้วยการแจกแจง พบว่าต้นทุนที่ใช้ในการประเมินต้นทุนเฉลี่ยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ต้นทุนจากการใช้เส้นทางที่เลือก และต้นทุนอันเกิดจากการที่ไม่สามารถขนส่งโดยใช้ระบบโครงข่าย เช่น ค่าปรับอันเนื่องมาจากการที่ไม่สามารถส่งมอบสินค้าได้ตามเวลา หรือค่าเสียโอกาสในการขายสินค้า จึงกำหนดให้ $C(Y_i)$ แทนต้นทุนที่เกิดจากการใช้เส้นทางมินิลพาท Y_i โดยเรียงลำดับตาม

ต้นทุนที่น้อยสุดไปถึงมากที่สุด ดังนั้นจะได้ว่าต้นทุนมีนิมัลพาท Y_i จะมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าต้นทุนของมีนิมัลพาท Y_{i-1} หรือ $C(Y_{i-1}) \leq C(Y_i)$ เสมอ และกำหนดให้ $\Pr(C(Y_i))$ แทนความน่าจะเป็นที่จะเกิดต้นทุน $C(Y_i)$ จากการใช้มีนิมัลพาท Y_i เมื่อไม่สามารถใช้มีนิมัลพาท Y_1, Y_2, \dots, Y_{i-1} ได้ แต่ถ้าหากไม่สามารถใช้ระบบโครงข่ายดังกล่าวในการขนส่ง จะเกิดต้นทุน C_u ขึ้น โดยมีความน่าจะเป็นในการเกิดเท่ากับความน่าจะเป็นที่ไม่สามารถใช้ระบบโครงข่ายได้ $(1-R)$

ดังนั้น จากสมการต้นทุนเฉลี่ย (4) ซึ่งมีเหตุการณ์ทั้งหมดจำนวน m เหตุการณ์ เราสามารถเขียนสมการต้นทุนเฉลี่ยใหม่จากต้นทุนทั้ง 2 ส่วน ซึ่งส่วนแรกเกิดจากการใช้มีนิมัลพาทในระบบโครงข่ายซึ่งมีจำนวน n มีนิมัลพาท และส่วนที่ 2 เกิดจากการไม่สามารถใช้มีนิมัลพาทในระบบโครงข่ายได้ อีก 1 พจน์ ได้เป็น

$$E(Cost) = \sum_{i=1}^n C(Y_i) \Pr(C(Y_i)) + C_u (1-R). \quad (5)$$

จากสมการที่ (5) ความน่าจะเป็นในการเกิดต้นทุน $C(Y_i)$ จะต้องมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นที่มีนิมัลพาท Y_i สามารถใช้งานได้ ในขณะที่มีนิมัลพาทอื่นๆ ที่มีต้นทุนที่ต่ำกว่า $C(Y_i)$ ไม่สามารถใช้งานได้ (นั่นคือมีนิมัลพาท $Y_{i-1}, Y_{i-2}, \dots, Y_1$, ซึ่งมีต้นทุน $C(Y_i) \geq C(Y_{i-1}) \geq C(Y_{i-2}) \geq \dots \geq C(Y_1)$) จากเงื่อนไขดังกล่าวสามารถเขียน $\Pr(C(Y_i))$ ได้ใหม่ดังสมการที่ (6)

$$\Pr(C(Y_i)) = \Pr(Y_i | (Y_1 \cup Y_2 \cup \dots \cup Y_{i-1})') \times \Pr(Y_1 \cup Y_2 \cup \dots \cup Y_{i-1})'. \quad (6)$$

และจากวิธีการ “ผลบวกของผลคูณที่ไม่ซ้ำกันของสมาชิกย่อย” (Sum of Disjoint Products) (Abraham, 1979) จะได้ว่า

$$\Pr(Y_1 \cup Y_2 \cup \dots \cup Y_{i-1})' = \Pr(Y_1') + \Pr(Y_1) \times \Pr(Y_2') + \dots + \Pr(Y_1) \times \Pr(Y_2) \times \dots \times \Pr(Y_{i-1}') \quad (7)$$

เมื่อนำสมการที่ (7) ไปแทนในสมการที่ (6) จะได้สมการใหม่เป็น

$$\Pr(C(Y_i)) = \Pr(Y_i | (Y_1 \cup Y_2 \cup \dots \cup Y_{i-1})') \times \left[\Pr(Y_1') + \Pr(Y_1) \times \Pr(Y_2') + \dots \right. \\ \left. \dots + \Pr(Y_1) \times \Pr(Y_2) \times \dots \times \Pr(Y_{i-1}') \right] \quad (8)$$

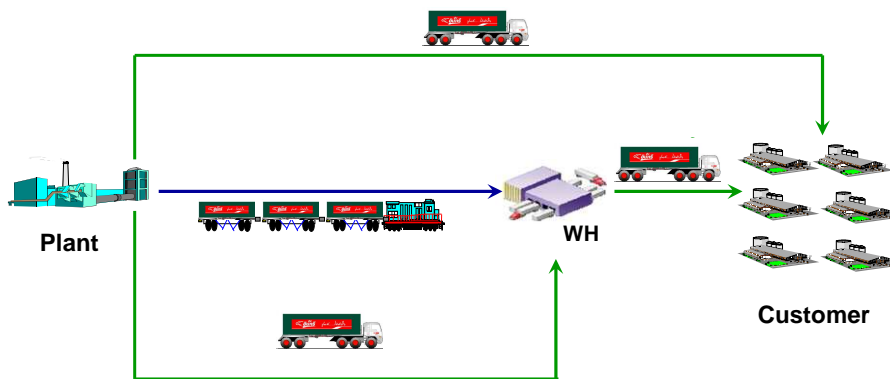
นำสมการที่ (8) ไปแทนลงในสมการที่ (5) จะได้สมการในการคำนวณค่าต้นทุนเฉลี่ยเป็น

$$E(Cost) = \sum_{i=1}^n C(Y_i) \left[\Pr(Y_i | (Y_1 \cup Y_2 \cup \dots \cup Y_{i-1})') \times \left[\Pr(Y_1') + \Pr(Y_1) \times \Pr(Y_2') + \dots \right. \right. \\ \left. \left. \dots + \Pr(Y_1) \times \Pr(Y_2) \times \dots \times \Pr(Y_{i-1}') \right] \right] + C_u (1-R). \quad (9)$$

จากสมการที่ได้ดังกล่าวรวมถึงการวิเคราะห์การถดถอยในหัวข้อที่ 2 จะนำไปประยุกต์ใช้กับระบบการขนส่งสินค้าของบริษัทหนึ่ง ข้อมูลทั้งหมดได้จากบริษัทที่เป็นกรณีศึกษาและผู้ประกอบการที่ให้บริการขนส่งสินค้าแก่บริษัท

4. ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ต้นทุนเฉลี่ยในการประเมินระบบการขนส่งที่มีความไม่แน่นอน

ตัวอย่างระบบการขนส่งสินค้าของบริษัทแห่งหนึ่งสู่ภาคอีสานสามารถเขียนเป็นแผนภูมิจำลองได้ดังแสดงในรูปที่ 4 บริษัทกรณีศึกษานี้ใช้การว่าจ้างผู้ประกอบการการขนส่งสินค้าในการทำหน้าที่ขนส่งสินค้าจากโรงงานผลิตไปยังลูกค้าโดยอาจจะผ่านหรือไม่ผ่านคลังสินค้า (Warehouse: WH) รูปแบบการขนส่ง (Modes) มีทั้งทางรถบรรทุกและทางรถไฟ ซึ่งรูปแบบการขนส่งเหล่านี้เปรียบเสมือนทางเชื่อมในระบบโครงข่าย ซึ่งในบางช่วงอาจประสบกับปัญหาเกี่ยวกับการว่าจ้างผู้ขนส่งเนื่องจากปริมาณการขนส่งสินค้าในเขตภาคอีสานจะมีความแตกต่างกันไปตามฤดูกาล ทำให้ผู้ประกอบการมักพิจารณาปริมาณขนส่งอื่นๆ ที่ให้ราคาดีกว่างานของบริษัท หรือในบางเส้นทางอาจสามารถใช้รูปแบบการขนส่งเพียงรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งได้เท่านั้น ซึ่งเป็นความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นกับทางเชื่อมเหล่านี้



รูปที่ 4: ระบบการขนส่งสินค้าจากโรงงานไปยังลูกค้า

ในการประยุกต์ใช้วิธีการประเมินโดยวิธีค่าต้นทุนเฉลี่ยของระบบโครงข่ายที่มีความไม่แน่นอน จำเป็นต้องมีข้อมูลเบื้องต้นของโครงข่ายก่อน นั่นคือต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละทางเชื่อมกับค่าความน่าจะเป็นที่ทางเชื่อมแต่ละทางเชื่อมจะสามารถทำงานได้ โดยในการหาความน่าจะเป็นของผู้ขนส่งแต่ละรายจะใช้วิธีการแตกต่างกันทั้งนี้เพราะข้อมูลของผู้ขนส่งแต่ละรายไม่เหมือนกัน ดังนี้

- การขนส่งด้วยรถไฟจากโรงงานไปยังคลังสินค้า จะใช้ข้อมูลการขนส่งในอดีตของแต่ละเดือนในการกำหนดต้นทุนการขนส่งและประมาณความน่าจะเป็นที่รถไฟจะสามารถขนส่งสินค้าได้
- การขนส่งจากคลังสินค้าไปยังลูกค้า จะใช้ข้อมูลการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าในอดีตของแต่ละเดือนในการกำหนดต้นทุนการจัดเก็บและการขนส่ง และประมาณความน่าจะเป็นที่สามารถส่งสินค้าให้ลูกค้าได้ตามเวลาที่ต้องการ
- การขนส่งด้วยรถบรรทุกจากโรงงานไปยังคลังสินค้าหรือไปยังลูกค้า จะใช้วิธีการประเมินผู้ขนส่งด้วยแบบสอบถามเนื่องจากไม่มีข้อมูลการขนส่งในอดีตที่สามารถนำมาใช้ประเมินหาความน่าเชื่อถือได้ ดังมีรายละเอียดมีดังนี้

จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการขนส่งเบื้องต้นพบว่า ราคาค่าขนส่งสินค้าจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย นอกเหนือจากราคาค่าขนส่งและราคาน้ำมันเช่น ปริมาณการขนส่งที่ตกลงกัน (Committed Volume) การมีสินค้าเที่ยวกลับ (Back Hauling) หรือฤดูกาลในการขนส่ง เช่น ช่วงเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคมจะเป็น

ช่วงที่รถขนส่งส่วนใหญ่วิ่งรับส่งสินค้าเกษตร (เช่น ทำการรับอ้อยเข้าโรงงานและรับน้ำตาลส่งไปยังท่าเรือแหลมฉบัง) พร้อมกันนี้ยังเป็นช่วงที่เหมาะสมกับการก่อสร้างทำให้เกิดการแย่งรถในการขนวัสดุก่อสร้างขึ้นไปยังส่วนภูมิภาคอื่นด้วย ทำให้ราคาค่าขนส่งมีค่าสูงในช่วงดังกล่าว แต่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน ราคาค่าขนส่งจะถูกลงมากเนื่องจากเป็นฤดูฝน ไม่เหมาะสำหรับการก่อสร้าง อีกทั้งไม่ใช่ฤดูกาลเก็บเกี่ยวพืชผลทางการเกษตร จึงไม่มีความต้องการในการใช้รถขนส่ง ทำให้ผู้ให้บริการขนส่งยอมรับราคาที่ต่ำเพื่อให้มีงานถึงแม้ว่าบางครั้งจะไม่ได้กำไรก็ตาม จากการสอบถามเบื้องต้นดังกล่าวพบว่าผู้ประกอบการขนส่งพิจารณาปัจจัยหลายปัจจัยในการตัดสินใจรับงานขนส่งสินค้า แต่ปัจจัยที่มีความสำคัญได้แก่ ราคาค่าขนส่ง ราคาน้ำมัน ลักษณะการว่าจ้างงานต่อเนื่องหรือรายครั้ง การมีสินค้าเที่ยวกลับ และ ฤดูกาลในการขนส่งสินค้า ดังนั้น จึงนำปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มาออกแบบแบบสอบถามและเก็บข้อมูลจากผู้ประกอบการขนส่ง 2 ราย ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์รูปได้ดังแสดงในสมการที่ (10) และ (11)

$$\hat{\pi}_1(x) = \frac{\exp(-8.4036 + 32.5125x_1 - 1.0908x_2 + 2.8733x_3 + 6.9236x_4 - 2.0917x_5)}{1 + \exp(-8.4036 + 32.5125x_1 - 1.0908x_2 + 2.8733x_3 + 6.9236x_4 - 2.0917x_5)} \quad (10)$$

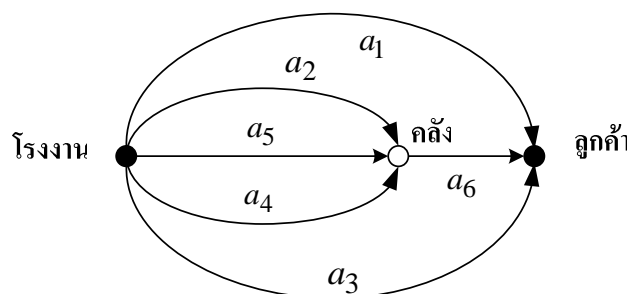
$$\hat{\pi}_2(x) = \frac{\exp(-45.5173 + 42.9343x_1 - 0.4589x_2 + 8.3150x_3 + 17.39994x_4 - 3.4769x_5)}{1 + \exp(-45.5173 + 42.9343x_1 - 0.4589x_2 + 8.3150x_3 + 17.39994x_4 - 3.4769x_5)} \quad (11)$$

โดยที่

$\hat{\pi}_1(x), \hat{\pi}_2(x)$ = ความน่าจะเป็นในการรับขนส่งสินค้าจากเงื่อนไข $x = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$ ของผู้ประกอบการรายที่ 1 และ 2

- x_1 = ราคาค่าขนส่ง (บาท/ตัน/กม.)
- x_2 = ราคาน้ำมัน (บาท/ลิตร)
- x_3 = ลักษณะการว่าจ้าง (ต่อเนื่อง = 1, รายครั้ง = 0)
- x_4 = การมีสินค้าเที่ยวกลับ (มี = 1, ไม่มี = 0)
- x_5 = ฤดูกาล (มีปริมาณการขนส่งมาก = 1, มีปริมาณการขนส่งน้อย = 0)

เมื่อได้ข้อมูลความน่าจะเป็นและต้นทุนในการใช้เส้นทางแล้ว นำมากำหนดโครงข่ายการขนส่งได้ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5: แผนภาพจำลองระบบโครงข่ายการขนส่งกรณีศึกษา

โดยที่

a_1, a_2 แทน ผู้ขนส่งด้วยรถบรรทุกทุกรายที่ 1 มีความน่าจะเป็นในการขนส่งเป็นไปตามสมการที่ (10)

- a_3, a_4 แทน ผู้ขนส่งด้วยรถบรรทุกรายที่ 2 มีความน่าจะเป็นในการขนส่งเป็นไปตามสมการที่ 11
- a_5 แทน การขนส่งด้วยรถไฟจากโรงงานไปยังคลังสินค้า มีต้นทุนการขนส่ง 352 บาท/ตัน ด้วยความน่าจะเป็น 0.864
- a_6 แทน คลังสินค้าและการส่งสินค้าไปจากคลังไปยังลูกค้า มีต้นทุนการผ่านคลังและจัดส่งให้ลูกค้า 139 บาท/ตัน ด้วยความน่าจะเป็น 0.992

เมื่อได้แบบจำลองโครงข่ายแล้ว ได้ทำการกำหนดเหตุการณ์หรือเงื่อนไขต่าง ๆ เพื่อทำการคำนวณต้นทุนเฉลี่ยดังนี้

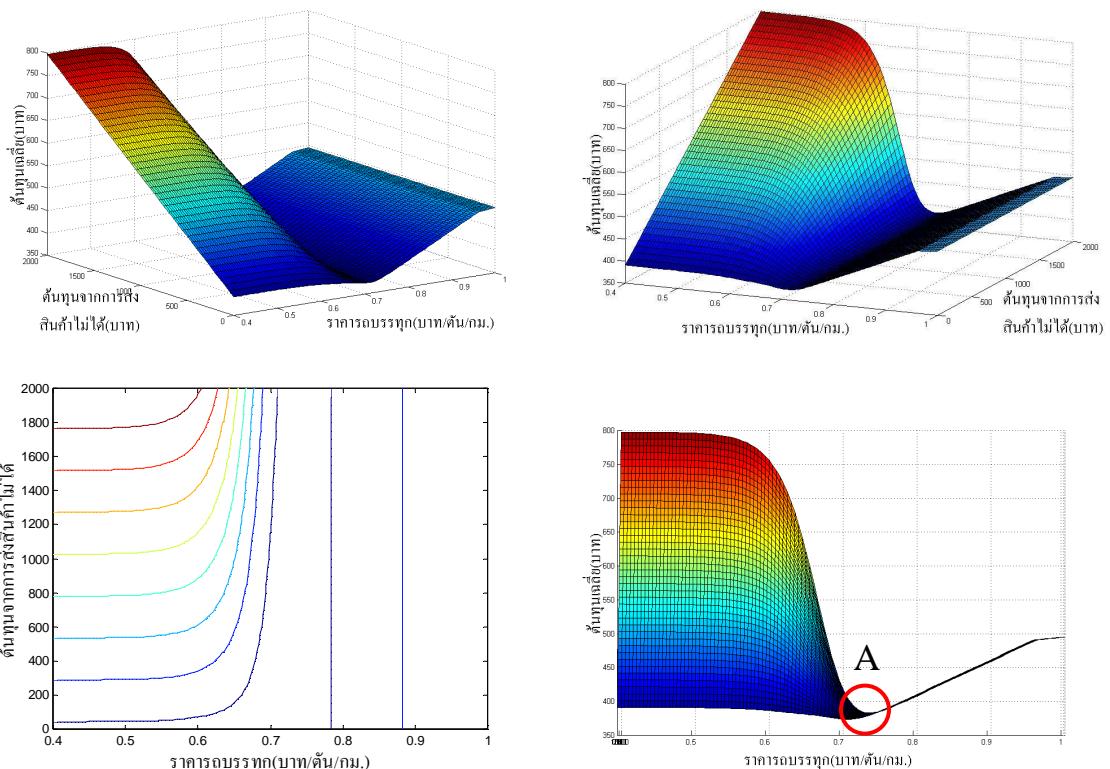
ต้นทุนการขนส่งด้วยรถบรรทุก = 0.4 ถึง 1.1 บาท/ตัน/กม.

ต้นทุนจากการไม่สามารถส่งสินค้าได้ = 0 ถึง 2,000 บาท

ราคาน้ำมัน 22.00 บาท/ลิตร

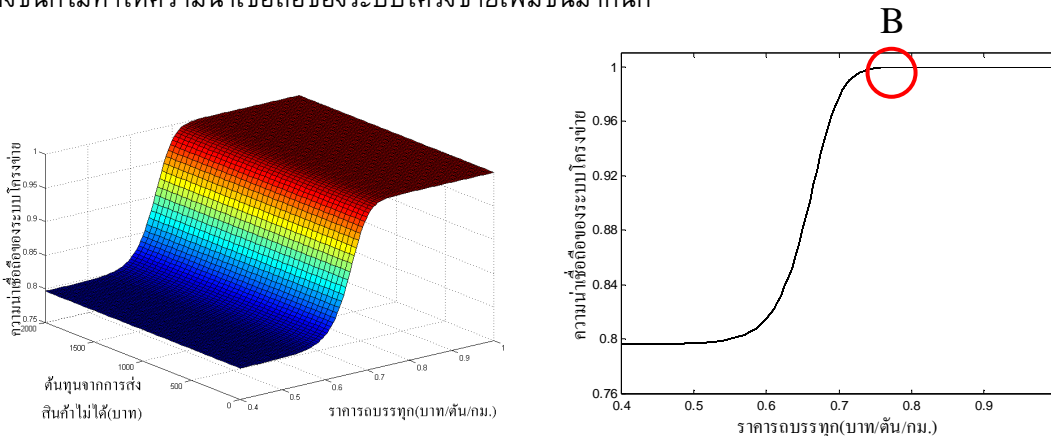
โดยเป็นการว่าจ้างแบบต่อเนื่องในช่วงที่มีการขนส่งต่ำและมีสินค้าเที่ยวกลับ

นำข้อมูลทั้งหมดมาทำการประเมินต้นทุนเฉลี่ยตามสมการที่ (9) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าต้นทุนเฉลี่ยของระบบโครงข่าย จะมีค่าที่แตกต่างกันไปตามราคาค่าขนส่งรถบรรทุกและต้นทุนจากการขนส่งสินค้าไม่ได้ โดยในช่วงที่ราคาค่าขนส่งรถบรรทุกมีค่าต่ำ ต้นทุนเฉลี่ยของระบบโครงข่ายจะแปรผันตามต้นทุนจากการขนส่งสินค้าไม่ได้ อย่างไรก็ตามเห็นได้ชัดมากกว่าการแปรผันตามราคาค่าขนส่ง แต่เมื่อราคาค่าขนส่งรถบรรทุกมีค่าถึงจุดจุดหนึ่ง (จากรูปที่ 6 จุด A คือประมาณ 0.75 บาท/ตัน/กม.) จะพบว่าต้นทุนเฉลี่ยเกือบจะไม่แปรผันตามต้นทุนจากการขนส่งสินค้าไม่ได้ต่อไป



รูปที่ 6: ความสัมพันธ์ของค่าขนส่งด้วยรถบรรทุกและต้นทุนจากการส่งสินค้าไม่ได้ต่อต้นทุนเฉลี่ยต่อต้นทุนเฉลี่ย

และเมื่อพิจารณาค่าความน่าเชื่อถือของระบบโครงข่ายตามสมการที่ (2) จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้นตามราคาค่าขนส่งรถบรรทุกแต่ไม่เปลี่ยนแปลงตามต้นทุนจากการส่งสินค้าไม่ได้ ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณค่าความน่าเชื่อถือตามสมการที่ (2) ไม่ได้คิดรวมต้นทุนอันเนื่องมาจากการขนส่งสินค้าไม่ได้ ดังนั้นหากพิจารณาสมรรถนะของระบบโครงข่ายตัวอย่างนี้ด้วยความน่าเชื่อถือเพียงอย่างเดียว จะได้ว่าค่าขนส่งทางรถบรรทุกควรมีค่าประมาณเกือบ 0.80 บาท/ตัน/กม. (จุด B ในรูปที่ 7) ค่าขนส่งที่สูงกว่านี้จะทำให้ความน่าเชื่อถือของระบบโครงข่ายลดลงอย่างมาก ในขณะที่ค่าขนส่งที่แพงขึ้นก็ไม่ทำให้ความน่าเชื่อถือของระบบโครงข่ายเพิ่มขึ้นมากนัก



รูปที่ 7: ความสัมพันธ์ของค่าขนส่งด้วยรถบรรทุกและต้นทุนจากการส่งสินค้าไม่ได้ต่อต้นทุนเฉลี่ยต่อความน่าเชื่อถือของระบบ

จากรูปที่ 6 และ 7 แสดงให้เห็นว่าการพิจารณาระบบโครงข่ายจากค่าความน่าเชื่อถือเพียงอย่างเดียว อาจทำให้คิดว่าราคารถบรรทุกที่เหมาะสมกับระบบโครงข่ายนี้คือ 0.80 บาท/ตัน/กม. ซึ่งแท้ที่จริงแล้วหากพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายของการที่ไม่สามารถขนส่งได้ประกอบกับความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้น โดยผ่านการคำนวณความน่าเชื่อถือจะทำให้ทราบว่า ราคาค่าขนส่งรถบรรทุกไม่จำเป็นต้องมีราคาสูงเช่นนั้น ราคาที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.75-0.80 บาท/ตัน/กม. แนนอนว่าราคาที่ต่ำกว่านี้จะทำให้ระบบมีโครงข่ายมีความเสี่ยงต่อการที่จะไม่มีผู้ขนส่งสินค้าให้และอาจเสียค่าใช้จ่ายสูงจากการที่ขนส่งสินค้าไม่ได้ แต่ราคาที่สูงกว่า 0.80 บาท/ตัน/กม. ก็ไม่ได้ทำให้ระบบโครงข่ายมีค่าความน่าเชื่อถือมากขึ้นเท่าไร หากบริษัทใช้ช่วงราคานี้ในการเจรจาราคาค่าขนส่งกับผู้ขนส่งก็จะทำให้อาจสามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งได้ เช่น ใช้ราคา 0.75 บาท/ตัน/กม. เป็นเกณฑ์ในการต่อรองทำสัญญาการขนส่ง ราคาค่าขนส่งที่ต่างกันเพียง 0.05 บาท/ตัน/กม. นี้เมื่อประเมินเป็นต้นทุนการขนส่งของบริษัทก็คิดเป็นจำนวนเงินหลายล้านบาทต่อปีที่เดียว และนี่เป็นเพียงการประเมินเฉพาะระบบโครงข่ายการขนส่งโครงข่ายหนึ่งของบริษัทเท่านั้น

อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้ในรูปที่ 6 และ 7 นี้เป็นผลอันเนื่องมาจากการกำหนดความน่าจะเป็นและต้นทุนของการขนส่งด้วยรถไฟและการขนส่งจากคลังสินค้าไปยังลูกค้า รวมถึงการกำหนด ราคาน้ำมัน และปัจจัยอื่นๆ ตามที่ได้กล่าวไว้เท่านั้น หากมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่างๆ เหล่านี้ไป อาจส่งผลให้ราคาค่าขนส่งรถบรรทุกที่ต่ำที่สุดนี้เปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่แม้ว่าปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไป สิ่งที่ยังสามารถปรับใช้ได้คือการพิจารณาจุดที่ค่าต้นทุนเฉลี่ยโดยรวมของระบบต่ำที่สุด (ดังตัวอย่างในรูปที่ 6) เพราะจุดนี้สามารถนำไปประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับการขนส่งได้ เช่น ในการเจรจาทำสัญญากับผู้ขนส่งดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ราคาค่าขนส่งทางรถบรรทุกควรใกล้เคียงกับจุดที่ต่ำที่สุดนี้ เป็นต้น

นอกจากราคาค่าขนส่งรถบรรทุกกับต้นทุนที่เกิดจากการขนส่งไม่ได้ จะมีผลต่อต้นทุนเฉลี่ยดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่จะส่งผลต่อต้นทุนเฉลี่ยเช่นกัน ดังนั้นจึงทำการศึกษาผลของแต่ละปัจจัยที่มีต่อต้นทุนเฉลี่ย โดยทำการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ทีละปัจจัย โดยเริ่มจากการเปลี่ยนแปลงราคาน้ำมันจาก 22 บาท/ลิตร เป็น 25 บาท/ลิตร เป็นกรณีที่ 2 และทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะการว่าจ้าง การมีสินค้าเที่ยวกลับและฤดูกาลขนส่งในกรณีที่ 3-5 ตามลำดับ เพื่อดูผลของต้นทุนเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากแต่ละปัจจัย โดยกำหนดให้ต้นทุนการขนส่งด้วยรถไฟเป็น 352 บาท/ตัน ด้วยความน่าจะเป็น 0.864 และต้นทุนการผ่านคลังและจัดส่งให้ลูกค้าเป็น 139 บาท/ตัน ด้วยความน่าจะเป็น 0.992

ตารางที่ 1 ราคาค่าขนส่งรถบรรทุกที่ทำให้ต้นทุนเฉลี่ยมีค่าต่ำสุด

กรณีที่	การขนส่งด้วยรถบรรทุก				ราคาค่าขนส่งรถบรรทุกที่ทำให้ต้นทุนเฉลี่ยต่ำสุด (บาท/ตัน/กม.)	เปลี่ยนแปลงจากกรณีที่ 1 (%)
	ราคาน้ำมัน (บาท/ลิตร)	การว่าจ้าง	สินค้าเที่ยวกลับ	ฤดูกาลขนส่ง		
1	22.00	ต่อเนื่อง	มี	น้อย	0.75	-
2	25.00	ต่อเนื่อง	มี	น้อย	0.78	+4.0
3	22.00	รายครั้ง	มี	น้อย	0.86	+14.6
4	22.00	ต่อเนื่อง	ไม่มี	น้อย	1.05	+40.0
5	22.00	ต่อเนื่อง	มี	มาก	0.80	+6.7

ตารางที่ 1 แสดงราคาค่าขนส่งรถบรรทุกที่ทำให้ต้นทุนเฉลี่ยต่ำสุด จากตารางสามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ จะส่งผลให้ราคาค่าขนส่งรถบรรทุกมีค่าเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันดังนี้

- การมีสินค้าเที่ยวกลับ ส่งผลต่อราคาค่าขนส่งรถบรรทุกมากที่สุด คือหากไม่มีสินค้าเที่ยวกลับจะทำให้ราคาค่าขนส่งรถบรรทุกเพิ่มขึ้น 0.3 บาท/ตัน/กม.(เปรียบเทียบกับกรณีที่ 4 กับกรณีที่ 1) หรือคิดเป็น 40% ของราคาเดิม
- รูปแบบการว่าจ้างต่อเนื่องหรือรายครั้งนั้น จะมีผลรองลงมาคือ เมื่อไม่ว่าจ้างแบบต่อเนื่อง แต่ใช้การว่าจ้างเป็นรายครั้ง จะทำให้ราคาขนส่งรถบรรทุกเพิ่มขึ้นประมาณ 14.6%
- ฤดูกาลขนส่ง จะมีผลต่อราคาค่าขนส่งรถบรรทุก โดยในช่วงที่มีการขนส่งมาก จะทำให้ราคาค่าขนส่งรถบรรทุกมีค่าสูงขึ้นประมาณ 6.7 %
- ในส่วนของราคาน้ำมันนั้น เมื่อราคาน้ำมันเพิ่มขึ้นประมาณ 10% จะส่งผลให้ราคาค่าขนส่งปรับตัวขึ้น 4%

จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยด้านการมีสินค้าเที่ยวกลับและลักษณะการว่าจ้าง จะส่งผลต่อราคาค่าขนส่งรถบรรทุกมากกว่าราคาน้ำมันและฤดูกาล

5. สรุปผล

การประเมินระบบโครงข่ายที่มีความไม่แน่นอนด้วยค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability) เพียงอย่างเดียวนี้อาจไม่เพียงพอในการตัดสินใจได้ว่าระบบโครงข่ายดังกล่าวมีสมรรถนะดีเพียงใด เนื่องจากยังขาดการพิจารณาในส่วน of ต้นทุนที่เกิดจากการใช้ระบบโครงข่ายที่ไม่แน่นอน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการประเมินระบบโครงข่ายที่มีความไม่แน่นอน โดยการใช้ต้นทุนในการใช้เส้นทางร่วมกับความน่าเชื่อถือของเส้นทางมาประเมินเป็นต้นทุนเฉลี่ยของระบบโครงข่าย ผ่านการคำนวณหาค่าคาดหวัง (Expected Value) และนำเสนอตัวอย่างในการประยุกต์ใช้งานต้นทุนเฉลี่ยกับระบบขนส่งจริงซึ่งเป็นระบบการขนส่งที่มีความไม่

แน่นอนอันเนื่องมาจากปัญหาในการว่าจ้างผู้ประกอบการขนส่ง โดยในขั้นตอนแรกก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ระบบการขนส่งโดยใช้ต้นทุนเฉลี่ย ต้องทำการประเมินความน่าจะเป็นของทางเชื่อมในระบบการขนส่งก่อน โดยทางเชื่อมในระบบการขนส่งนี้จะแทนผู้ประกอบการขนส่งแต่ละราย ในงานวิจัยนี้ทำการประเมินความน่าจะเป็นของทางเชื่อมผ่านวิธีการ 2 วิธี ได้แก่ 1) ใช้ข้อมูลการขนส่งในอดีตที่มีเพื่อประเมินความน่าจะเป็น 2) ใช้แบบสอบถามและประเมินผ่านการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (สำหรับผู้ประกอบการขนส่งที่ไม่มีข้อมูลในอดีต)

เมื่อได้ต้นทุนและความน่าจะเป็นของทางเชื่อมต่างๆ แล้วนำมาวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและต้นทุนเฉลี่ยของระบบโครงข่ายการขนส่งตัวอย่างพบว่า หากทำการประเมินสมรรถนะของระบบที่มีความไม่แน่นอนด้วยความน่าเชื่อถือเพียงอย่างเดียวอาจทำให้ต้นทุนโดยรวมที่เกิดขึ้นมีค่าสูงเกินไป จึงควรมีการนำค่าต้นทุนเฉลี่ยที่มีการคิดถึงผลจากต้นทุนจากการขนส่ง และต้นทุนอันเนื่องมาจากการส่งสินค้าไม่ได้มาพิจารณา รวมกันเพื่อใช้ในการประเมินระบบโครงข่าย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สัญญาเลขที่ RDG - 5050007

บรรณานุกรม

- [1] Abraham, J.A., 1979, "An improved method for network reliability", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 28, pp. 58-61.
- [2] Avella, P., D'Auria, B. and Salerno, S., 2006, "A LP-based heuristic for a time-constrained routing problem", European Journal of Operational Research, Vol. 173, Issue 1, pp. 120-124.
- [3] Billinton, R. and Allan, R.N., 1992, Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques, 2nd ed., Plenum Press, New York, pp. 372-386.
- [4] Horiguchi, T., Takahashi, H., Hayashi, K. and Yamaguchi, C., 2004, "Dynamic programming for optimal packet routing control using two neural networks", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 339, Issues 3-4, pp. 653-664.
- [5] Hosmer, D.W. and Lemeshow, S., 2000, Applied Logistic Regression, 2nd ed., Wiley-Interscience Publication, America.
- [6] Lin, Y.K. , 2001, "A simple algorithm for reliability evaluation of a stochastic-flow network with node failure", Computers & Operations Research, Vol 28, Issue 13, pp. 1277-1285.
- [7] Lin, Y.K., 2006, "Evaluate the performance of a stochastic-flow network with cost attribute in terms of minimal cuts", Reliability Engineering & System Safety, Vol. 91, Issue 5, pp. 539-545.
- [8] Misra, J, 2001, "Walk over the shortest path: Dijkstra's Algorithm viewed as fixed-point computation", Short Communication Information Processing Letters, Vol. 77, Issues 2-4, pp. 197-200.
- [9] Yeh, W.C., 2004, "Multistate network reliability evaluation under the maintenance cost constraint", International Journal of Production Economics, Vol. 88, Issue 1, pp. 73-83.