

แบบจำลองความคิดสำหรับประเมินความต้องการระบบขนส่งมวลชนจากเมืองหลวงสู่หัวเมืองด้วยการบูรณาการเทคนิคการจำลองสถานการณ์

THE CONCEPTUAL MODEL FOR THE DEMAND EVALUATION OF MASS TRANSIT SYSTEMS
FROM THE CAPITAL TO PROVINCE BY INTEGRATED SIMULATION TECHNIQUES

ชวลิต มณีศรี

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail : chawalit.ma@spu.ac.th

ธรีณี มณีศรี

ผู้อำนวยการ
สถาบันวิทยากรโซ่อุปทาน มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail : tharinee.ma@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ความต้องการในการยกระดับความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทย โดยเฉพาะโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางด้านโลจิสติกส์ ถือเป็นประเด็นที่รัฐบาลและผู้เกี่ยวข้องให้ความสำคัญ โดยมีโครงการรถไฟความเร็วสูงเป็นโครงการที่มีการลงทุนสูงสุด เนื่องจากรถไฟความเร็วสูงที่สามารถเคลื่อนย้ายคน วัสดุและสินค้าได้อย่างรวดเร็วและมีต้นทุนต่ำ อันเป็นการลดต้นทุนโลจิสติกส์ที่เป็นจุดอ่อนที่สำคัญต่อการแข่งขันของประเทศไทยได้ บทความนี้นำเสนอแนวคิดการจำลองสถานการณ์ความต้องการระบบขนส่งมวลชนจากกรุงเทพฯ ไปยังหัวเมืองที่เป็นสถานีหลักของการสร้างรถไฟความเร็วสูงด้วยการบูรณาการเทคนิคการจำลองสถานการณ์ระหว่างพลวัตของระบบและแบบจำลองที่ใช้เอเจนต์เป็นฐาน โดยพิจารณาร่วมระบบขนส่งที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการดำเนินโครงการดังกล่าว

คำสำคัญ : โลจิสติกส์ ระบบขนส่งมวลชน แบบจำลองพลวัตของระบบ แบบจำลองที่ใช้เอเจนต์เป็นฐานรถไฟความเร็วสูง

ABSTRACT

The demand for enhancing Thailand's competitive advantage, especially by the infrastructure development projects, is a crucial issue for government and relevant agencies. Among the projects, the high-speed train is the most heavily invested project because it can carry passengers, materials, and goods rapidly with low costs, which leads to logistic cost reduction. This paper, therefore, presents a simulation conceptual model of the mass transit system from Bangkok to the main provincial stations by integrating two simulation techniques: system dynamics and agent-based model. All relevant types of transportation system are also considered for use as the data to support the project operation.

KEYWORDS : Logistics, Mass transit system, System dynamics model, Agent-based model, High-speed train

1. บทนำ

ตลอดเวลาที่ผ่านมามีประเทศไทยดำเนินการพัฒนาขีดความสามารถทางการแข่งขันในหลายๆ ด้าน ทั้งด้านปัจจัยการผลิต กระบวนการผลิต และการบริการ โดยเฉพาะช่วงเวลาของการเริ่มต้นประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (Asean Economic Community: AEC) ในปี พ.ศ. 2558 ที่ใกล้เข้ามา ประเทศไทยจึงต้องเตรียมพร้อมอย่างเต็มที่ โดยมีภาวะวิกฤติของธนาคารโลก (World Bank) (Logistics Time, 2013) ถึงอุปสรรคที่สำคัญ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อขีดความสามารถการแข่งขันในเวทีการค้าอาเซียนของประเทศไทยคือ การพัฒนาโลจิสติกส์ที่ขาดรูปธรรม และมีต้นทุนสูงที่สุดในเอเชีย ซึ่งรัฐบาลและผู้เกี่ยวข้องได้ตระหนักถึงความสำคัญเร่งด่วนในการแก้ปัญหาดังกล่าว จึงเริ่มวางแผนระยะยาวในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศไทย 2556-2563 ด้วยมูลค่าการลงทุนสูงถึง 2 ล้านล้านบาท โดยมีมูลค่าการลงทุนในระบบรางสูงถึง 1.658 ล้านล้านบาท หรือกว่าร้อยละ 80 โดยแบ่งเป็นโครงการรถไฟรางคู่และระบบที่เกี่ยวข้อง ทั้งการปรับปรุงและการสร้างใหม่ประมาณ 0.405 ล้านบาท โครงการรถไฟความเร็วสูง (High-Speed Train) ซึ่งเป็นส่วนที่มีงบประมาณส่วนที่สูงสุดในระบบรางประมาณ 0.783 ล้านล้านบาท และรถไฟฟ้ทั้งในส่วนของการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) และการรถไฟฟ้ขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.) ประมาณ 0.473 ล้านล้านบาท โดยมุ่งหวังในการเพิ่มศักยภาพในการเคลื่อนย้าย คน วัสดุุดิบ และสินค้าได้อย่างรวดเร็วและมีต้นทุนต่ำ เป็นการลดจุดอ่อนด้านโลจิสติกส์ของประเทศไทย อย่างไรก็ตามเนื่องจากเป็นโครงการรถไฟความเร็วสูงมีมูลค่าการลงทุนสูงและเป็นรูปแบบใหม่สำหรับประเทศไทย จึงมีการวิเคราะห์และวิจารณ์ถึงความคุ้มค่าการลงทุนในโครงการดังกล่าวอย่างกว้างขวาง

บทความนี้มีเป้าหมายในการนำเสนอแนวคิดในการประเมินความต้องการในการใช้ระบบขนส่งมวลชนโดยพิจารณาภาพรวมของระบบขนส่งมวลชนในทุกูปแบบ เช่น รถไฟความเร็วสูง รถไฟ รถประจำทาง และเครื่องบิน เป็นต้น เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์และผลลัพธ์ที่สามารถนำไปใช้ในการสนับสนุนการตัดสินใจในการลงทุนได้อย่างเหมาะสม โดยเมื่อวิเคราะห์รูปแบบของระบบขนส่งมวลชนแล้ว พบว่าความต้องการในการใช้งานระบบขนส่งมวลชนขึ้นอยู่กับคุณลักษณะและพฤติกรรมของมนุษย์ ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการบูรณาการ

เทคนิคในการจำลองสถานการณ์ 2 เทคนิค คือ พลวัตของระบบและแบบจำลองที่ใช้เอเจนต์เป็นฐานเพื่อจำลองระบบขนส่งมวลชนดังกล่าว โดยการจำลองสถานการณ์มีข้อดีคือสามารถปรับเปลี่ยนข้อมูลป้อนเข้าและองค์ประกอบต่างๆ ของระบบได้ตามต้องการ อันเป็นการทดลองนโยบายหรือแบบแผนที่ต้องการทราบผลลัพธ์ได้ล่วงหน้าโดยใช้เวลาในการประมวลผลและต้นทุนการสร้างแบบจำลองน้อย

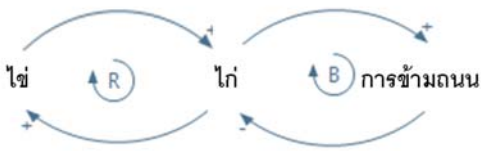
2. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรมในส่วนนี้จะอธิบายถึงภาพรวมของงานวิจัยที่ผ่านมาของ แบบจำลองพลวัตของระบบ และแบบจำลองที่ใช้เอเจนต์เป็นฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานวิจัยและบทความวิชาการที่เกี่ยวข้องกับระบบขนส่งมวลชน รวมถึงงานวิจัยที่เสนอแนวคิดการบูรณาการเทคนิคการจำลองสถานการณ์ทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน

2.1 แบบจำลองพลวัตของระบบ

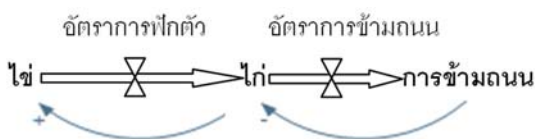
แบบจำลองพลวัตของระบบ หรือ System Dynamics (SD) หรือ Industrial Dynamics ถูกพัฒนาและเผยแพร่ผ่านหนังสือเรื่อง "Industrial Dynamics" ของ Jay W. Forrester แห่ง Massachusetts Institute of Technology (MIT) (Angerhofer and Angelides, 2000)

Sterman (2000) ได้อธิบายรูปแบบการจำลองด้วย SD ในหนังสือ "Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World" ของเขาซึ่งเป็นที่นิยมมากจนถึงปัจจุบันว่า ส่วนแรกของ SD คือแผนภาพวงรอบเหตุและผล (Causal Loop Diagrams: CLDs) ซึ่งทำให้เห็นถึงรูปแบบของการป้อนกลับ (Feedback Loop) ภายในระบบ ความสัมพันธ์เป็นได้ทั้งเชิงบวกหรือวงจรเสริมแรง (Reinforcing Loop) และเชิงลบหรือวงจรปรับสมดุล (Balancing Loop) สามารถใช้ SD ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพวงจรรอบเหตุและผล
ที่มา : Sterman (2000)

ส่วนที่สองคือแผนภาพการจัดเก็บและการไหล (Stock and Flow Diagrams) โดยแปลงจาก CLDs ทำให้สามารถวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) ได้ แผนภาพการจัดเก็บและการไหลประกอบด้วย สต็อก (Stock) ซึ่งแสดงปริมาณของสิ่งที่สนใจ เช่น จำนวนคนที่ขานขาลา จำนวนผู้โดยสาร อัตราการไหล (Flow Rate) ระหว่างสต็อก เช่น อัตราความเร็วระหว่างสถานี อัตราความเร็วในการเดินทาง สารสนเทศในการคำนวณค่าของอัตราการไหลนั้นๆ รวมทั้งสร้างสมการคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์และหาผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงในระบบได้ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพการจัดเก็บและการไหล
ที่มา : Sterman (2000)

วิธี SD เหมาะสำหรับการศึกษาพฤติกรรมของระบบที่มีความซับซ้อนที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา ที่สามารถแสดงได้ด้วยกราฟ วิธีนี้มุ่งศึกษาระบบในมุมมองขององค์รวม (Holistic View) โดยพิจารณาว่าหน่วยย่อยในการจัดเก็บเดียวกันไม่แตกต่างกัน SD ช่วยให้สร้างแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์และออกแบบนโยบาย และเพื่อทำความเข้าใจพฤติกรรมของระบบที่มีความซับซ้อนและเป็นพลวัตในระบบสังคมศาสตร์ การบริหาร เศรษฐศาสตร์ และระบบนิเวศ การจัดเก็บและการไหลช่วยอธิบายพฤติกรรมของระบบที่ดูง่ายในเชิงคณิตศาสตร์แต่ไม่เป็นเชิงเส้น

ตัวอย่างของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งมวลชน เช่น Kojima et al. (1995) นำเสนอผลงานวิจัยที่ใช้ SD ในการจำลองระบบรถไฟฟ้าใต้ดินของประเทศญี่ปุ่น ในส่วนของ Teito Rapid Transit Authority (TRTA) ที่มีผู้โดยสาร 6 ล้านคนต่อวันใน 8 สาย โดยสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์จำนวนผู้โดยสารในแต่ละช่วงเวลาและในรถไฟฟ้าแต่ละสาย และใช้ในการพิจารณาเพิ่มสายการเดินรถไฟฟ้าใต้ดินอีก 1 สายในอนาคต อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวไม่ได้ให้รายละเอียดของแบบจำลองไว้

Roux (2003) สร้างแบบจำลองระบบขนส่งมวลชนในชุมชนด้วย SD โดยวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งในระยะกลางและระยะยาว เพื่อกำหนดนโยบายในการให้บริการโดยทดลองใน 3 กรณี คือ กรณีกฎระเบียบทางการเงินของการขนส่งสาธารณะและการผ่อนปรน กรณีแบบจำลองที่แบ่งแยกประเภทการขนส่งด้วยเงื่อนไขของเวลาและราคา ใช้บริการสุดท้ายคือกรณีที่รวมกำหนดการและการมอบหมายงานในการเลือกบนพื้นฐานของความแออัดของแถวคอย

Acharya (2005) ใช้ SD ในการศึกษาการขนส่งมวลชนในชุมชนของประเทศกำลังพัฒนา เพื่อใช้อภิปรายทางเลือกด้านนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งมวลชนที่ประกอบด้วยรถโดยสารประจำทาง ซึ่งพบในประเทศกำลังพัฒนาเป็นส่วนใหญ่โดยเป็นการขนส่งที่แบ่งพื้นที่บนถนนไปจากยานพาหนะอื่นๆ และระบบรถไฟฟ้าซึ่งเป็นระบบที่ใช้พื้นที่แยกส่วนจากยานพาหนะอื่นๆ โดยพิจารณาการเติบโตของชุมชน การใช้เครื่องยนต์ การใช้ขนส่งสาธารณะ ความแออัดของการจราจร และแรงจูงใจในการใช้ขนส่งสาธารณะ ผลที่ได้คือ ระบบรถไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ช่วยแก้ปัญหการจราจรได้อีกทั้งยังช่วยรักษาการแบ่งพื้นที่ในถนนไว้เช่นด้วย Cuervo et al. (2013) สร้างแบบจำลอง SD ในการประเมินคุณภาพของการให้บริการระบบขนส่งมวลชนของชุมชนเมืองขนาดกลาง โดยมีความสะดวกสบายและความเร็วเป็นตัวแปรตัดสินใจในการทดลอง 4 สถานการณ์ (Scenarios) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าเวลาในการเดินทาง (Time Interval of Dispatches) ซึ่งช่วยให้สามารถบริหารจัดการการบริการขนส่งมวลชนได้โดยที่ไม่มีการลงทุนในโครงสร้างเพิ่มเติม

2.2 แบบจำลองที่ใช้ตัวแทนเป็นฐาน

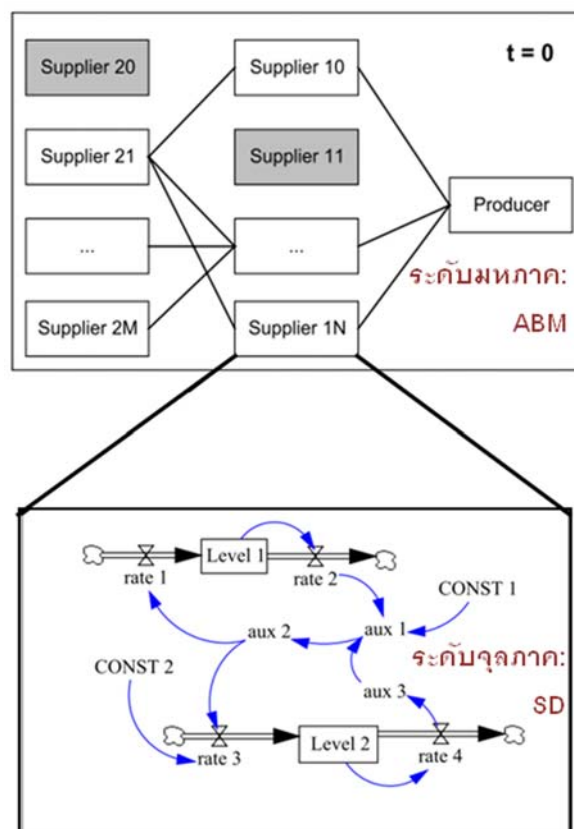
แบบจำลองที่ใช้เอเจนต์เป็นฐาน หรือ Agent-Based Model (ABM) หรือ Agent-Based Simulation (ABS) หรือ

Individual-Based Modelling (IBM) หรือ Multi-Agent Systems (MASs) เป็นแนวคิดที่เริ่มต้นมาตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1940 อย่างไรก็ตาม Macal and North (2011) ได้สรุปว่า ABM เพิ่งเป็นที่นิยมในช่วง 15 ปีที่ผ่านมา สะท้อนจากความถี่ของการประยุกต์ใช้ จำนวนบทความในวารสารวิชาการ จำนวนโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้น รวมไปถึงการฝึกอบรมหรือการเรียนและจำนวนบทความที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ ABM ถูกประยุกต์ใช้ในหลายวิทยาการ เช่น การเกษตร การควบคุมจราจรทางอากาศ มานุษยวิทยา การวิจัยทางการแพทย์การวิเคราะห์ความผิดปกติทางอาญา นิเวศวิทยา การวิเคราะห์การใช้พลังงาน ระบาดวิทยา การอพยพ การวิเคราะห์ตลาด การตัดสินใจขององค์กรและเครือข่ายทางสังคม

Barbati et al (2012) ให้นิยามว่า "ABM คือ เซตขององค์ประกอบ (เอเจนต์) ที่มีคุณลักษณะเฉพาะด้วยคุณสมบัติบางอย่างที่มีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ผ่านตามกฎระเบียบที่เหมาะสมในสภาพแวดล้อมที่กำหนด" จากนิยามดังกล่าว ABM มีจุดเน้นที่ส่วนประกอบ 3 ประการคือ เอเจนต์ การปฏิสัมพันธ์ และสภาพแวดล้อม "เอเจนต์" (Agent) คือ เอนติตี้ไม่ต่อเนื่องที่มีเป้าหมาย พฤติกรรม และมีความสามารถที่จะปรับตัวและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของตนได้ด้วยตนเอง ตัวอย่างของเอเจนต์ เช่น คน กลุ่ม องค์กร หุ่นยนต์ กลุ่มแมลง และฝูงชน "การปฏิสัมพันธ์" (Interaction) อยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์ระหว่างเอเจนต์ และวิธีในการปฏิสัมพันธ์ อธิบายได้ด้วยการตอบโต้ไปมาของเอเจนต์ สุดท้าย "สภาพแวดล้อม" (Environment) หมายถึง การดำรงชีวิตและการปฏิสัมพันธ์ของเอเจนต์ภายใต้สภาพแวดล้อมร่วมกับเอเจนต์อื่นๆ

ตัวอย่างงานวิจัยที่นำ ABM ไปประยุกต์ใช้กับระบบขนส่งมวลชน เช่น Kickhofer et al. (2012) ใช้ ABM ในการสร้างแบบจำลองเพื่อแก้ปัญหาการเตรียมการให้บริการและคำนวณค่าบริการของระบบขนส่งสาธารณะ โดยกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างเอเจนต์คือ ผู้โดยสารซึ่งมีพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับผู้ให้บริการขนส่งสาธารณะ ในการเลือกรูปแบบการเดินทางและเวลาในการออกเดินทางรวมทั้งความสะดวกสบายต่างๆ ที่เหมาะสมกับกิจกรรมที่ทำ ซึ่งสรุปได้ว่า การกำหนดตารางเดินทางมีผลดีต่อผู้ใช้บริการถึงแม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายสูงขึ้นบ้างก็ตาม

สำหรับงานวิจัยที่นำเสนอแนวคิดหรือผลการบูรณาการ SD และ ABM ยังมีจำนวนน้อย โดยแนวคิดที่บทความนี้ใช้แบบพื้นฐานคือ แนวคิดของ Schieritz (2002) ซึ่งเสนอวิธีการบูรณาการแบบจำลอง SD และ ABM เข้าด้วยกัน โดยใช้ SD ในระดับจุลภาคของของโครงสร้างภายในเอเจนต์และใช้ ABM ในระดับมหภาค เช่น ผู้ส่งมอบ (Supplier) เป็นเอเจนต์ปฏิสัมพันธ์กับเอเจนต์อื่น ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การบูรณาการแบบจำลอง SD และ ABM ที่มา: Schieritz (2002)

3. แบบจำลองความคิดระบบขนส่งมวลชน

3.1 คุณลักษณะขององค์ประกอบของ ABM

3.1.1 เอเจนต์ ประกอบด้วย ผู้โดยสาร ผู้ให้บริการขนส่งมวลชน (รถไฟความเร็วสูง รถไฟ รถประจำทาง และเครื่องบิน)

3.1.2 การปฏิสัมพันธ์ ประกอบด้วย ความต้องการในการเดินทางแต่ละช่วงเวลา การเลือกรูปแบบการเดินทาง

ฐานรายได้กับค่าบริการ แหล่งในการรับบริการ และเวลาในการให้บริการ

3.1.3 สภาพแวดล้อม ประกอบด้วย นโยบายรัฐ ทางเลือกการเดินทางและสภาพเศรษฐกิจ เป็นต้น

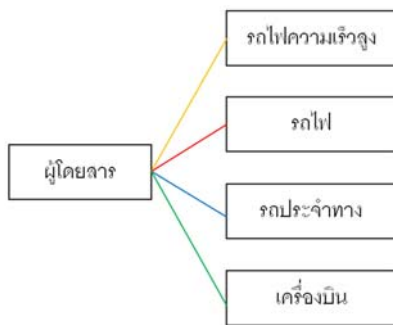
3.2 คุณลักษณะขององค์ประกอบของ SD

3.2.1 Stock เช่น ประชากร ปริมาณความต้องการใช้ระบบขนส่งมวลชน จำนวนยานพาหนะ และจำนวนเที่ยวในการให้บริการ

3.2.2 Flow เช่น ความต้องการการให้บริการ อัตราการให้บริการและอัตราเที่ยวในการบริการซึ่งอาจขึ้นกับความถี่ในการให้บริการ ค่าใช้จ่ายในการบริการ และจำนวนที่นั่งต่อเที่ยว

3.3 โครงสร้างแบบจำลอง

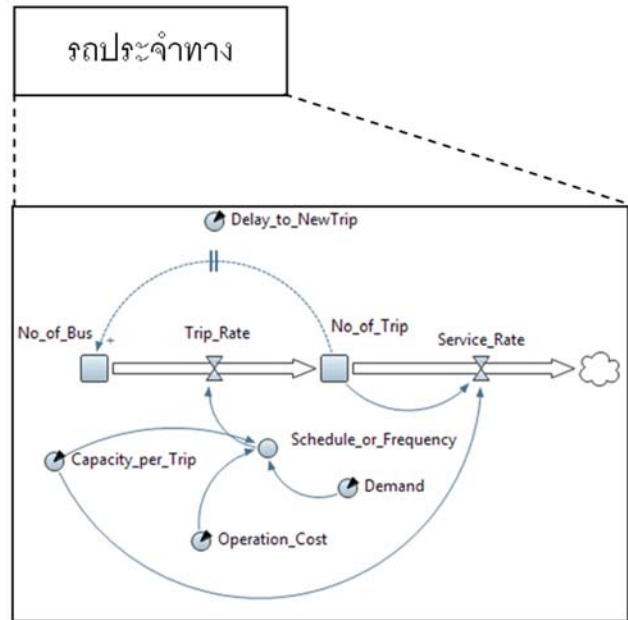
โครงสร้างแบบจำลองที่น่าเสนอในบทความนี้ใช้แนวคิดของ Schieritz (2002) ในรูปที่ 4 เป็นต้นแบบ โดยมีลักษณะดังรูปที่ 5 โครงสร้างหลักเป็นเอเจนต์ ซึ่งผู้โดยสารสามารถเลือกรับบริการจากผู้ให้บริการ (Service Provider) รูปแบบใดก็ได้ตามพฤติกรรมของผู้โดยสารประเภทนั้นๆ (ในช่วงเวลาหนึ่งจะเลือกรับบริการเพียง 1 ระบบ)



รูปที่ 5 แบบจำลองระบบขนส่งมวลชน ส่วน ABM

ส่วน SD ซึ่งเป็นระบบย่อย (Sub model) อยู่ในเอเจนต์ ดังรูปที่ 6 ซึ่งเป็นตัวอย่างของเอเจนต์รถประจำทาง และส่งค่าที่มีผลต่อพฤติกรรมในการเลือกรับบริการให้กับเอเจนต์ต่อไป ซึ่งเมื่อเวลาเปลี่ยนไปความพร้อมในการให้บริการ และความสามารถในการให้บริการจะเปลี่ยนไป เช่น ถ้ากำหนดให้ประมวลผลในปี 2556 ประเทศไทยยังไม่มีรถไฟความเร็วสูง เอเจนต์ส่วนนี้จะไม่

ผู้เลือกใช้บริการ แต่เมื่อประมวลผลนานขึ้นจนถึงเงื่อนไขตามเวลาเช่น ปี 2563 ที่รถไฟความเร็วสูงพร้อมให้บริการ เอเจนต์ในส่วนนี้จะเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งของผู้โดยสาร ทำให้ผลลัพธ์ของระบบเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 6 แบบจำลองระบบขนส่งมวลชน ส่วน SD

4. วิเคราะห์ผล

แบบจำลองระบบขนส่งมวลชนจากเมืองหลวงสู่หัวเมืองที่ใช้การบูรณาการเทคนิคในการจำลองสถานการณ์ระหว่าง SD และ ABM มีลักษณะที่ป้อนข้อมูลย้อนกลับซึ่งกันและกัน เมื่อพฤติกรรมของเอเจนต์เปลี่ยนไปจะส่งผลกระทบต่อพลวัตของระบบ เช่น ความต้องการของการใช้บริการเพิ่มขึ้นพลวัตของระบบที่เป็นผู้ให้บริการจะเปลี่ยนแปลงไป โดยอาจเพิ่มจำนวนเที่ยวรถหรือความสามารถในการให้บริการ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการตัดสินใจของเอเจนต์ผู้โดยสารที่ได้ข้อมูลย้อนกลับอีกครั้ง หากเอเจนต์ผู้โดยสารได้ข้อมูลว่ามีเที่ยวรถเพิ่มขึ้นหรือมีช่วงเวลาให้เลือกเดินทางตามที่ต้องการเพิ่มขึ้นความต้องการในการใช้บริการสำหรับ ยานพาหนะชนิดนั้นอาจเพิ่มขึ้น หากเอเจนต์ผู้โดยสารได้ข้อมูลว่าการให้บริการด้วยยานพาหนะดังกล่าวไม่เพียงพออาจเปลี่ยนแปลงการตัดสินใจไปใช้บริการขนส่งมวลชนประเภทอื่นแทน

ข้อดีของการบูรณาการ SD และ ABM คือ นำจุดเด่นของ ABM โดยเฉพาะพฤติกรรมของเอเจนต์ที่กำหนดความเป็นไปของระบบ ร่วมกับจุดเด่นของ SD ที่สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วแต่ปรับเปลี่ยนโครงสร้างไม่ได้ เมื่อมีการป้อนกลับข้อมูลซึ่งกัน และกันจะทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นสูง รวมทั้งส่งผลให้มีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับระบบจริงมากยิ่งขึ้น

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การบูรณาการเทคนิคการจำลองสถานการณ์ SD และ ABM ในการจำลองระบบขนส่งมวลชนจากเมืองหลวงสู่หัวเมืองน่าจะเป็นรูปแบบหนึ่งที่จะช่วยให้เห็นภาพรวมของระบบทั้งหมดทั้งปริมาณความต้องการการใช้บริการในแต่ละช่วงเวลาของขนส่งมวลชนแต่ละประเภท และทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในระบบ งานวิจัยต่อเนื่องคือ การสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม AnyLogic โดยป้อนข้อมูลของตัวแปรทั้งหมด และทดลองประมวลผลในหลายๆ กรณี เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Acharya, S.R. 2005. Motorization and Urban Mobility in Developing Countries Exploring Policy Options Through Dynamics Simulation, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6: 4113-4128.
- Angerhofer, B. J. and M. C. Angelides. 2000. System Dynamics Modeling in Supply Chain Management: Research Review, pp. 342 - 352, In *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*. 10-13 December 2000, Orlando, FL, USA.
- Barbati, M., G. Bruno, and A. Genovese. 2012. Applications of agent-based models for optimization problems: A literature review. *Expert Systems with Applications*. 39(2012): 6020-6028.
- Cuervo, M.C., H.A.V. Bustos, and A.C.A. Aldana. 2013. Simulation Based on System Dynamics for Evaluating the Quality of Transport Service in a Complex Social System. *Dyna*. 80(180): 33-40.
- Forrester, J. W. 1961. *Industrial Dynamics*. The M.I.T. Press, Cambridge, MA, USA.
- Kickhofer, B., I. Kaddoura, A. Neumann, and A. Tirachini. 2012. Optimal Public Transport Supply in an Agent-based Model: The Influence of Departure Time Choice on Operator's Profit and Social Welfare, Available Source: http://svn.vsp.tu-berlin.de/repos/public-svn/publications/vspwp/2012/12-05/2012-05-31_welfareBusCorridor_accepted_kuhmo.pdf
- Kojima, T., Y. Takahashi, K. Machida, and T. Igarashi. 1995. *System Dynamics Model of the Tokyo Subway System*, Available Source: <http://www.systemdynamics.org/conferences/1995/proceed/papersvol2/kojim621.pdf>, September 20, 2013.
- Logistics Time. 2013. *Exclusive Interview*, Available Source: <http://www.logisticstime.net/page.php?a=10&n=124&cno=610>, September 10, 2013.
- Macal, C. M. and M. J. North. 2006. Tutorial on Agent - Based Modeling and Simulation Part 2: How to Model with Agents, pp. 73 - 83, In *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*. 3 - 6 December 2006, Monterey, CA, USA.
- _____. 2011. Introductory Tutorial: Agent-Based Modeling and Simulation, pp. 1456 - 1469, In *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*. 11-14 December 2011, Phoenix, AZ, USA.
- Raux, C. 2003. *A Systems Dynamics Model for the Urban Travel System*, Available Source: <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/09/21/86/PDF/ETC-Raux2003.pdf>, September 2, 2013.

Schieritz, N. 2002. Integrating System Dynamics and Agent-Based Modeling, Available Source: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2002/proceed/papers/Schieri1.pdf>, August 20, 2013.

Sterman, J. D. 2000. Business Dynamics; System Thinking and Modeling for a Complex World, McGraw Hill, USA.



>> **ชวลิต มณีศรี**

สำเร็จการศึกษาปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปี พ.ศ. 2546 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี พ.ศ. 2542 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมระบบเครื่องกลและนวัตกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม



>> **ธรีณี มณีศรี**

สำเร็จการศึกษาปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วศ.ด.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี พ.ศ. 2552 ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี พ.ศ. 2546 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปี พ.ศ. 2542 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ และดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการสถาบันวิทยากรโซุ่ปทาน มหาวิทยาลัยศรีปทุม