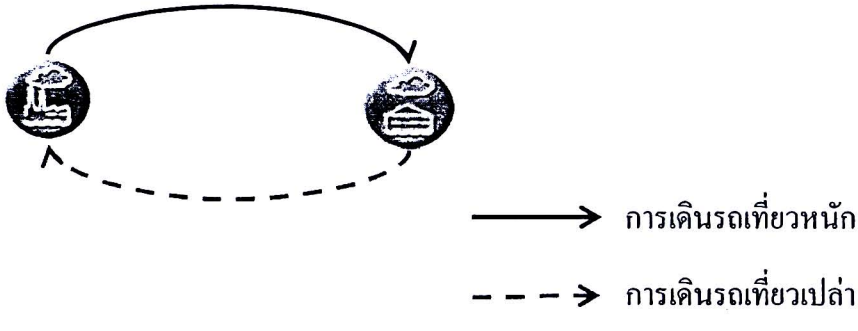
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

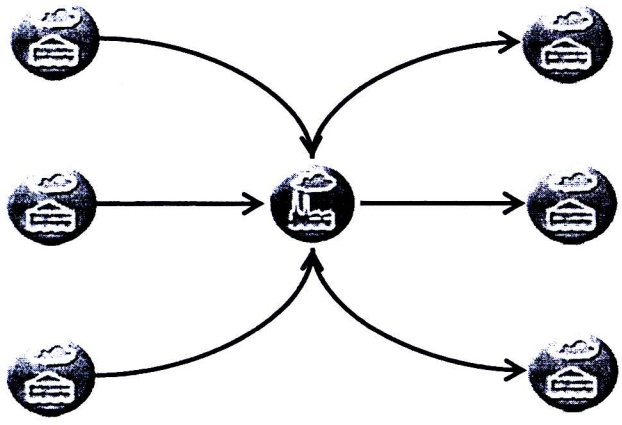
ในบทนี้จะศึกษาการบริหารการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุกและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมาในอดีต และทฤษฎีที่นำมาใช้ในการวิจัย

2.1 การบริหารการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุก

การขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุกสามารถแบ่งตามลักษณะการปฏิบัติการแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การขนส่งแบบเต็มคัน (Truckload, TL) และการขนส่งแบบไม่เต็มคัน (Less – than Truckload, LTL) ลักษณะการขนส่งแบบเต็มคันตามปกติจะขนส่งจากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทางโดยไม่มีการควบรวมสินค้า (Consolidation) และไม่มีการแวะรับ – ส่งสินค้าระหว่างเส้นทาง ดังรูปที่ 2.1 ส่วนลักษณะการขนส่งแบบไม่เต็มคันจะขนส่งจากจุดต้นทางหลายจุดไปยังจุดปลายทางหลายจุด มีศูนย์การจัดเรียงสินค้า (Sorting) และอาจมีการแวะรับ – ส่งสินค้าระหว่างทางได้ ดังภาพที่ 2.2 ซึ่งประเภทที่บริษัทผู้ประกอบการรถบรรทุกขนส่งนิยมในประเทศไทย คือ การขนส่งแบบเต็มคัน



ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการขนส่งแบบเต็มคัน



ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะการขนส่งแบบไม่เต็มคัน

จากลักษณะการขนส่งแบบเต็มคันแสดงทิศทางของการขนส่งสินค้าเป็นแบบทิศทางเดียว (One Direction) จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง เมื่อส่งสินค้าเสร็จแล้วรถบรรทุกจะวิ่งกลับมายังจุดเดิม การวิ่งรถในเที่ยวกลับไม่มีสินค้ากลับมายังจุดต้นทางทำให้ไม่ก่อเกิดรายได้แก่บริษัทผู้ประกอบการรถบรรทุกขนส่ง ระยะทางในการเดินรถที่ไม่มีการบริหารเที่ยวเปล่าจะเป็นการเดินรถเที่ยวเปล่าถึง 50% ของระยะทางทั้งหมด (McKinnon and Ge, 2006) กล่าวว่าเพื่อการบริหารการขนส่งให้มีประสิทธิภาพและใช้รถบรรทุกให้เกิดประโยชน์ในสองทิศทาง บริษัทผู้ประกอบการรถบรรทุกขนส่งจึงต้องหาสินค้ามาในเที่ยวกลับ (Back loads) ด้วย (Regan, 1998) กล่าวว่าการบริหารการขนส่งสินค้าของบริษัทผู้ประกอบการมีการบริหารอยู่ 2 ส่วนหลัก ๆ คือ

1. การบริหารทรัพยากรที่มีอยู่ (Supply management) คือ การบริหารรถบรรทุก และพนักงานขับรถที่มีอยู่ให้สามารถบริการลูกค้าได้ดีที่สุด ซึ่งจะประกอบด้วยการจัดสรรพนักงานขับรถ และรถบรรทุกไปบริการลูกค้า รวมถึงการย้ายตำแหน่งรถบรรทุก (Reposition) ไปยังตำแหน่งที่คาดการณ์ว่าจะเกิดคำสั่งขนส่งในอนาคต
2. การบริหารคำสั่งในการขนส่งสินค้า (Demand management) คือ การตัดสินใจว่าจะเลือกรับหรือปฏิเสธคำสั่งขนส่งของลูกค้า

Manivannan (1998) กล่าวว่าการศึกษาการบริหารการขนส่งด้วยรถบรรทุกมีการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา จะแบ่งเป็น 2 วิธีการใหญ่ ๆ คือ

1. วิธีเชิงวิเคราะห์ (Analytical Methods) หรือวิธีเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematics Methods) ในการแก้ปัญหา คำตอบที่ได้เรียกว่า คำตอบเชิงวิเคราะห์ (Analytic solution) ซึ่งอาจจะได้คำตอบที่

แม่นตรง (Exact) หรือเหมาะสมที่สุด (Optimal) เช่น ปัญหาจากจัดเส้นทางการเดินรถ, ปัญหาการจัดสรรพนักงานขับรถ, ปัญหาการจัดสรรรถ เป็นต้น

2. วิธีการจำลองสถานการณ์ (Simulation Methods) เป็นวิธีการเชิงตัวเลข (Numerical Methods) วิธีการหนึ่งในการศึกษาวิเคราะห์ระบบ รวมถึงการแก้ปัญหาของระบบด้วยการทดลองซ้ำ ๆ กับตัวแบบจำลอง

Powell (1987) ได้ศึกษาปัญหาการจัดสรรรถบรรทุกแบบพลวัตภายใต้คำสั่งขนส่งที่ความไม่แน่นอน ผู้ประกอบการขนส่งต้องการบริหารตำแหน่งของรถบรรทุกในเวลาต่าง ๆ ให้เกิดผลกำไรที่สูงสุด ดังนั้นผู้ประกอบจึงต้องการทราบถึงต้นทุนในอนาคต และกำไร เพื่อที่จะใช้ในการตัดสินใจว่าจะไปส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายใดบ้าง และต้องส่งรถบรรทุกเปล่าไปไว้ที่ใดบ้าง โดยใช้แบบจำลองเป็นแบบ Stochastic Programming ประกอบกับกระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟมาประยุกต์ใช้ แบบจำลองเป็นการแบ่งปัญหาออกเป็นหลายสถานะ เพื่อประเมินค่าการมีรถบรรทุกไว้ใช้ในพื้นที่บริการ และความน่าจะเป็นที่รถบรรทุกจะถูกเลือกไปใช้ไปใช้ในทางเลือกต่าง ๆ

Powell (1988) ได้นำแบบจำลองที่เสนอโดย Powell (1987) มาประยุกต์ใช้กับบริษัท North American Van Line โดยให้ชื่อของแบบจำลองว่า LOADMAP (Load Matching and Pricing) เป็นการรวบรวมข้อมูลของคนขับและปริมาณการขนส่งที่ได้ทำการคาดการณ์ในอนาคตแบบ Real – time เพื่อหากำไรสูงสุดและการบริการดีที่สุด ทำให้เกิดผลกำไรเพิ่มขึ้น 2.5 ล้านดอลล่าร์ต่อปี และมีระดับการให้บริการที่สูงขึ้น

แบบจำลอง LOADMAP เป็นแบบจำลองการขนส่งสินค้าแบบ Stochastic Programming พิจารณาถึงความไม่แน่นอนของปริมาณความต้องการส่งสินค้า โดยแบบจำลองมีจุดมุ่งหมายที่จะบอกมูลค่าของรถขนส่งสินค้าที่อยู่ในแต่ละศูนย์ในวันต่าง ๆ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ 1) การคำนวณค่าผลกระทบพื้นที่ (End effect) 2) การคำนวณมูลค่าคาดหวังของทางเลือก 3) การคำนวณความน่าจะเป็นในการจัดสรรรถขนส่งสินค้า (Dispatch probability) 4) การคำนวณมูลค่าคาดหวังของรถขนส่งสินค้า

1. การคำนวณค่าผลกระทบพื้นที่ (End effect)

บอกถึงมูลค่าของรถบรรทุกในพื้นที่บริการ j ในช่วงเวลา s ดังนั้นค่า End effect จึงเป็นค่าโอกาสในการใช้รถบรรทุกเมื่อรถบรรทุกอยู่ในพื้นที่บริการ j คำนวณจากโปรแกรมพลวัต (Dynamic Programming) ซึ่งอยู่บนข้อมูลการใช้รถขนส่งสินค้าในแต่ละพื้นที่บริการ มีสมการดังนี้

$$p(j,s) = \sum_n q_n(j,s) W_n(j,s) \quad \text{ทุกพื้นที่บริการ j}$$

(1)

กำหนดให้

P = จำนวนคาบเวลาของแผน

$U_n(i,s)$ = ข้อมูลในอดีตของจำนวนรถบรรทุกเฉลี่ยที่ถูกนำไปในทางเลือกที่ n ในวันที่ s

q_n = สัดส่วนของรถบรรทุกที่ใช้ในทางเลือก n ของพื้นที่บริการ i ในวันที่ s

ดังนั้น $q_n(i,s) = \dfrac{U_n(i,s)}{\sum_k U_k(i,s)}$

$t(i,j)$ = ระยะเวลาในการเดินทางจากพื้นที่บริการ i ไปพื้นที่บริการ j โดยมีหน่วยเวลาเป็นจำนวนคาบเวลา ในที่นี้ให้ระยะเวลาในการวิ่งของรถบรรทุกสินค้ากับเที่ยวเปล่าใช้เวลาเท่ากัน

$r_n(i,j)$ = กำไรจากการเดินรถบรรทุกสินค้าจากพื้นที่บริการ i ไปพื้นที่บริการ j ตามทางเลือก n ในกรณีเที่ยวเปล่าจะเป็นต้นทุนการเดินรถ

$W_n(i,s)$ = มูลค่าคาดหวังที่เกิดจากทางเลือกที่ n ของพื้นที่บริการ i ในวันที่ s

ค่าของ $W_n(i,s)$ หาได้จาก

กรณี $s + t(i,j) < P$ แล้ว

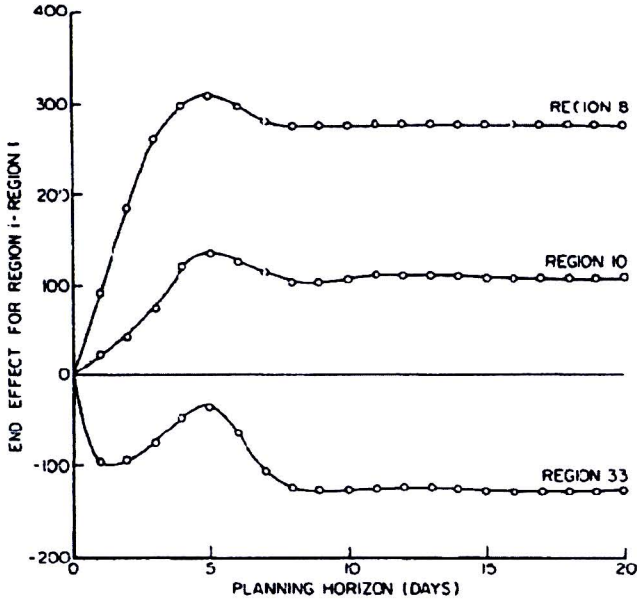
$$W_n(i,s) = r_n(i,j) + p(j, s + t(i,j))$$

กรณี $s + t(i,j) \geq P$ แล้ว

$$W_n(i,s) = r_n(i,j)\left(\frac{(P-s)}{t(i,j)}\right)$$

การคำนวณเริ่มต้นที่ $s = P$ และคำนวณย้อนถอยกลับไป โดยกำหนดให้ $p(j,P) = 0$ ในทุกพื้นที่บริการ j เริ่มคำนวณที่ช่วงเวลา $s = P - 1$ และ $s = P - 2$ จนกระทั่งถึงช่วงเวลา $s = 1$ ในแต่ละขั้นตอน

ค่าของ End effect มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือเมื่อช่วงเวลาในการวางแผนมีค่ามาก ค่าสัมพัทธ์ของ End effect จะมีค่าคงที่ ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลกระทบพื้นที่กับคาบของการวางแผน

2. การคำนวณมูลค่าคาดหวังของทางเลือก (Expected value of the m-th option, w_n)

การคำนวณมูลค่าคาดหวังของทางเลือก (W_n) คำนวณตามสมการที่ และ โดยใช้ค่าผลกระทบพื้นที่ของคาบการวางแผนที่ 8 วันทำการ เมื่อทำการคำควณค่าคาดหวังของแต่ละเส้นทางของแต่ละศูนย์เสร็จ จะทำการเรียงลำดับค่าดังกล่าวจากมากไปน้อยโดยกำหนดให้เส้นทางที่มีค่าคาดหวังมากที่สุดเป็นทางเลือกที่ 1 ของศูนย์กระจายสินค้านั้น

3. การคำนวณความน่าจะเป็นในการจัดสรรรถขนส่งสินค้า (Dispatch probability, d_{kn})

การหาความน่าจะเป็นในการจัดสรรรถขนส่งสินค้า คือ ค่าความน่าจะเป็นของรถบรรทุกคันที่ k ที่จะถูกเลือกในทางเลือกที่ n โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

กำหนดให้

$d(k,n)$ = ความน่าจะเป็นที่รถบรรทุกคันที่ k จะถูกจัดให้ทางเลือกที่ n

f_n = จำนวนรถบรรทุกเฉลี่ยที่ใช้ในทางเลือกที่ n ซึ่งได้มาจากข้อมูลในอดีต

X_n = ตัวแปรสุ่มของจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในทางเลือกที่ n ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ย f_n

Y_n = ตัวแปรสุ่มซึ่งเป็นผลรวมของจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในทางเลือก n

$$= \sum_{i=1}^{n} X_i$$

ความน่าจะเป็นที่รถคันที่ k จะถูกจัดให้ทางเลือกที่ n คือ ความน่าจะเป็นร่วมที่ Y_{n-1} มีค่าน้อยกว่า k (ถ้า Y_{n-1} มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ k จะไม่สามารถจัดให้รถบรรทุกคันนั้นในทางเลือกที่ n ได้) และความน่าจะเป็นที่ Y_n มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ k (หากเงื่อนไขนี้ไม่เป็นจริง เราจะสามารถจัดรถคันที่ k ให้ทางเลือก $n + 1$ หรือทางเลือกอื่น ๆ ได้) ดังนั้น

$$d(k,n) = Prob\ [Y_{n-1} < k \text{ และ } Y_n \geq k]$$

ให้ A เป็นเหตุการณ์ที่ $Y_{n-1} < k$

ให้ B เป็นเหตุการณ์ที่ $Y_n \geq k$

เหตุการณ์ที่ $Y_{n-1} \geq k$ ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ดังนั้นเหตุการณ์ที่ $Y_{n-1} \geq k$ และ $Y_n \geq k$ จึงไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เหตุการณ์ B จึงกลายเป็นซับเซตของเหตุการณ์ A

จาก $P(A \cap B) = P(A) - P(\overline{B})$ ดังนั้น

$$d(k,n) = Prob\ [Y_{n-1} < k] - Prob[\ Y_n < k]$$

สมมุติให้ฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของ X_n เป็นการกระจายตัวแบบปัวร์ซองซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น f_n ดังนั้น ฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของ Y_n ซึ่งเป็นผลรวมของ X_n จึงเป็นปัวร์ซองด้วย

ความน่าจะเป็นที่รถบรรทุกจะใช้ในทางเลือกที่จะเก็บไว้ในพื้นที่บริการเดิมจนถึงช่วงเวลาต่อไป คือ ความน่าจะเป็นส่วนที่เหลือจากความน่าจะเป็นที่จะใช้รถบรรทุกไปในทางเลือกอื่น ๆ

4. การคำนวณมูลค่าคาดหวังของรถขนส่งสินค้า (Expected value of the k-th vehicle, V_k)

เป็นค่าที่แสดงมูลค่าของรถขนส่งสินค้าในแต่ละศูนย์กระจายสินค้าซึ่งจะถูกใช้ในการส่งสินค้าในวันต่อไป โดยพิจารณาร่วมกับมูลค่าคาดหวังของทางเลือกในการใช้รถของแต่ละศูนย์กระจายสินค้า โดย

มูลค่าคาดหวังของรถขนส่งสินค้าคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของมูลค่าคาดหวังของแต่ละทางเลือกในแต่ละศูนย์กระจายสินค้าและค่าความน่าจะเป็นของการใช้รถขนส่งสินค้าในแต่ละทางเลือกจะได้สมการดังนี้

$$V_k(i,s) = \sum W_n(i,s) d_{k,n}(i,s)$$

กำหนดให้

$d(k,n)$ = ความน่าจะเป็นที่รถบรรทุกคันที่ k จะถูกจัดให้ทางเลือกที่ n

$W_n(i,s)$ = มูลค่าคาดหวังที่เกิดจากทางเลือกที่ n

วิสิษฐ์ มานะวิริยภาพ (2549) ได้เสนอระบบประมวลผลสำหรับการจัดสรรรถบรรทุกแบบพลวัตเพื่อจัดการเดินรถบรรทุกแบบเต็มคันระหว่างศูนย์กระจายสินค้า โดยประยุกต์จากแบบจำลอง LOADMAP ที่เสนอโดย Powell (1988) เพื่อที่จะจัดสรรรถให้เกิดกำไรสูงสุด ภายใต้การพิจารณารายรับและต้นทุนการเดินรถของคำสั่งที่ได้รับในปัจจุบัน และพิจารณาถึงคำสั่งขนส่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต

ผลที่ได้จากระบบคือการพิจารณาปริมาณการรองรับการขนส่งและมูลค่าผลกำไรที่ได้จากระบบ โดยมีปริมาณความต้องการในการขนส่งที่ไม่สามารถทำการจัดส่งได้มีจำนวนทั้งหมด 45 เที่ยว เฉลี่ย 1.5 เที่ยวต่อวัน จากปริมาณความต้องการในการขนส่งจำนวน 608 เที่ยว คิดเป็นร้อยละ 7.24 ซึ่งมีการกำหนดปริมาณสินค้าที่ไม่สามารถทำการจัดส่งได้ไม่เกินร้อยละ 10

อย่างไรก็ตามปัญหาในการบริหารการขนส่งที่มีความซับซ้อนมาก ๆ การแก้ปัญหาด้วยวิธีการเชิงวิเคราะห์อาจมีความยากในการแก้ปัญหา จึงมีงานวิจัยที่ใช้วิธีการสร้างแบบจำลองสถานการณ์มาใช้ในการแก้ไขปัญหาของระบบที่มีความซับซ้อนมาก ๆ

2.2 การวิจัยการบริหารการขนส่งด้วยแบบจำลองสถานการณ์

Ervin and Harris (2004) ได้สร้างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนกฎหมายชั่วโมงการให้บริการ (Hour of Service, HOS) ของพนักงานขับรถบรรทุกในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้โปรแกรม Arena ในสร้างแบบจำลองสถานการณ์ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงกฎชั่วโมงการทำงาน (Hour of Service, HOS) ดังตารางที่ 2.1 แสดงกฎชั่วโมงการทำงาน จึงสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้น

ตารางที่ 2.1 แสดงกฎชั่วโมงการทำงานของปี ค.ศ. 2003 และ 2004

Description	2003	2004
Off-Duty Required Hours	8	10
On-Duty Hours	15 Non-Consecutive	14 Consecu-tive
Driving Hours	10	11
8 Day On-Duty Limit	70	70
Hours Idle for Reset	Not Available	34

โดยที่ผลจากแบบจำลองจะบอกถึงผลกระทบของอรรถประโยชน์การบริหารฝูงรถ (Fleet utilization) คือ ระยะทางที่พนักงานขับรถขับรถต่อวัน, ช่วงเวลาจากรับจากลูกค้าของจนกระทั่งส่งของเสร็จ (Cycle times), ประสิทธิภาพการให้บริการลูกค้า (Customer service) โดยจะหาเปอร์เซ็นต์ของงานที่ส่งให้ลูกค้าได้ เพื่อเป็นแนวทางให้กับบริษัทในการวางแผนระหว่างคนขับ ลูกค้า และการปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 2.2 แสดงผลการชี้วัดประสิทธิภาพเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกฎชั่วโมงการทำงาน

ตารางที่ 2.2 แสดงผลการชี้วัดประสิทธิภาพเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกฎชั่วโมงการทำงาน

Key Performance Indicator	*% Difference from 2003 to 2004 Model*
Utilization	-10.4%
Cycle Time	+8.6%
Customer Service	-4.5%

Rossetti and Nangia (2007) ได้ทำการออกแบบต้นแบบของโครงสร้างเชิงวัตถุ (Object – oriented) สำหรับการจำลองสถานการณ์โครงข่ายการขนส่งแบบเต็มคัน โดยใช้ Java Simulation Library (JSL) ซึ่งเป็นโครงสร้างสำหรับแบบจำลองสถานการณ์ระบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete - event simulation) ด้วยภาษาจาวา โดยทำการกำหนดสมาชิก คุณสมบัติ และความสัมพันธ์ที่สำคัญของระบบโครงข่ายขึ้นมาก่อน สามารถแบ่งสมาชิกหลัก ๆ ได้ดังนี้ โครงข่ายเชิงกายภาพ (Physical network), สินค้า หรืองาน (Loads), กระบวนการจัดสรรรถ (Dispatcher), รถบรรทุกหัวลาก (Truck), รถหางพ่วง (Trailer) และพนักงานขับรถ (Driver) จากนั้นได้ออกแบบ Classes และ Interfaces ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ ดังตารางที่ 2.3

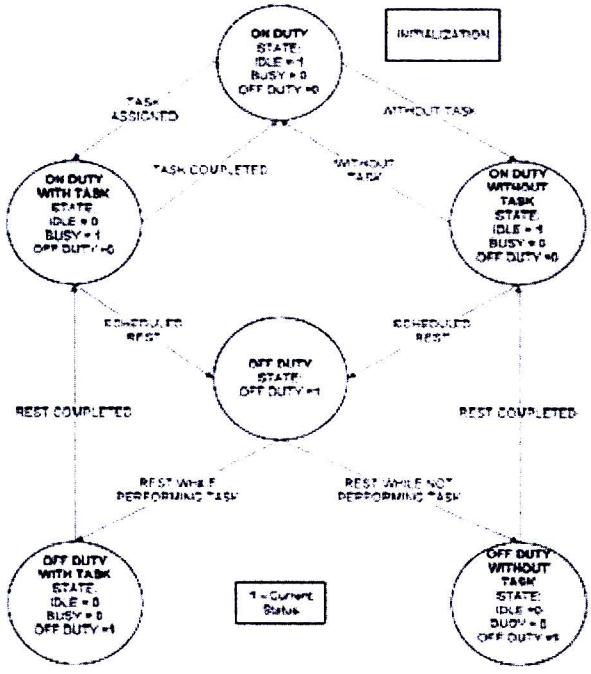
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ตารางที่ 2.3 แสดงรายชื่อของ Classes และ Interfaces สำหรับการสร้างแบบจำลอง

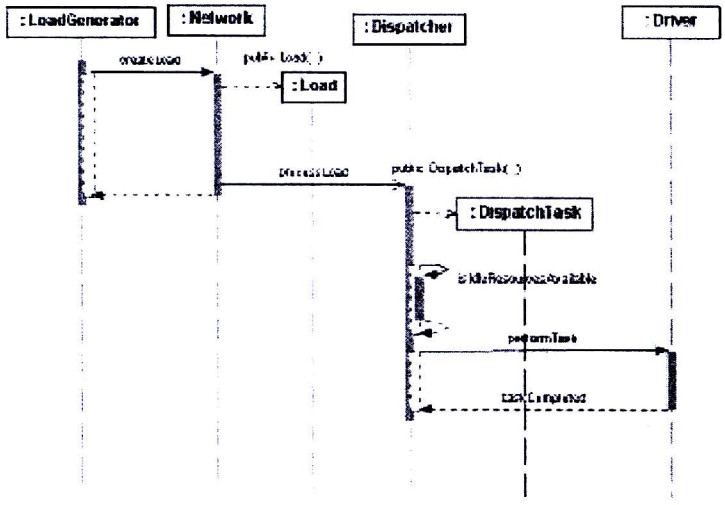
AbstractDispatcher	Driver
AbstractDispatcherFTL	LoadGenerator
DispatcherFTL	Location
DispatcherTask	Lane
TransportationNetwork	Load
DriverSelectionRule	NetworkIfc
DispatchLoadSeletionRuleIfc	TrailerSelectionRuleIfc
TransportLocationIfc	DriverSelectionRule
TruckSelectionRuleIfc	LoadReceiverIfc
TransportTaskReceiverIfc	LoadSenderIfc

การสร้างแบบจำลอง มีกระบวนการดังนี้ LoadGenarator จะทำการสร้างงานหรือคำสั่งให้การส่งสินค้าจากข้อมูลในอดีตโดยนำข้อมูลมาหาการกระจายตัว จากนั้นจะส่งงานไปยัง Network เพื่อระบุต้นทางปลายทางจากความน่าจะเป็นของของจำนวนการขนส่งในแต่ละเส้นทางในอดีต เมื่อระบุถึงต้นทางปลายทางแล้ว ทำการส่งข้อมูลไปยัง Dispatcher หน้าที่ของ Dispatcher จะสร้าง DispatchTask ขึ้นมา จากนั้นจะตรวจสอบรถบรรทุกหัวลาก, รถหางพ่วง และพนักงานขับรถที่ยังว่างอยู่ พนักงานจะมีเวลาการทำงานตามกฎชั่วโมงการทำงาน ซึ่งมีกระบวนการดังภาพที่ 2.4 แสดงสถานะการทำงานของพนักงานขับรถ เพื่อให้มารับงานที่สร้างขึ้นมา จากนั้นพนักงานขับรถก็จะทำการขนส่งไปยังปลายทาง เมื่อส่งเสร็จแล้วคนขับจะรอคำสั่งจาก Dispatch ว่าจะให้รับสินค้าต่อหรือไม่ การตัดสินใจในการเลือกที่จะส่งสินค้าจะตัดสินใจจากเวลาเดินทางในการส่งสินค้าน้อยที่สุด ดังภาพที่ 2.5 แสดงกระบวนการทำงานของแบบจำลอง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
วันที่ 5 ต.ค. 2555
เลขทะเบียน 246302
เลขเรียกหนังสือ



ภาพที่ 2.4 แสดงสถานะการทำงานของพนักงานขับรถ



ภาพที่ 2.5 แสดงกระบวนการทำงานของแบบจำลอง

การวัดประสิทธิภาพจากแบบจำลองสถานการณ์ได้นำข้อมูลการขนส่งจริงจากบริษัท JB Hunt มาใช้ในการทดสอบ มีการวัดประสิทธิภาพดังต่อไปนี้ ระยะทางเฉลี่ยของรถเที่ยวหนักและรถเที่ยวเปล่า, อรรถประโยชน์ของการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ (รถบรรทุก และพนักงานขับรถ), ระยะเวลาที่งานรอการขนส่งที่

จุดต้นทางและในโครงข่าย, ระยะเวลารอเฉลี่ยต่องานหนึ่งงาน, ระยะเวลาที่งานอยู่ในระบบ, และจำนวนงานที่ได้รับการขนส่ง

ข้อมูลตัวอย่างที่นำมาทดสอบจากบริษัท JB Hunt โดยเลือกข้อมูลจุดต้นทางปลายทางของคลังสินค้าที่มีงานขนส่งมากที่สุดจำนวน 11 แห่ง มีระยะเวลาการเข้ามาของงานเป็นการกระจายตัวแบบ Exponential เท่ากับ 1 ชั่วโมง และกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบดังนี้

1. เวลาการนำของลงจากรถ และขึ้นรถ (Loading and Unloading time) มีค่าคงที่ 1 ชั่วโมง
2. ความเร็วของรถวิ่ง 60 ไมล์ต่อชั่วโมง
3. เวลาการทำงานของพนังงานขับรถตามกฎหมายโดยกำหนดให้ความคาดหวังของเวลาในการเดินทางน้อยที่สุด
4. ระยะทางรถบรรทุกวิ่งเปล่าไม่เกิน 1,000 ไมล์

ผลการทดสอบจากการสร้างงานขึ้นทั้งหมด 10,000 งาน ได้ถูกทำการขนส่ง 9,973 งาน และมีผลการทดสอบดังตารางที่ 2.4 แสดงการทดสอบจากแบบจำลอง

ตารางที่ 2.4 แสดงการทดสอบจากแบบจำลอง

Average BobTail (unloaded) miles per Load	334.224
Average DeadHead (unloaded) miles per Load	351.620
Average Transport (loaded) miles per load	425.830
Average Total miles per load	1111.674
Average Load System Time	18.421
Total Number of Loads processed	9973.0

Time Weighted Average number of Busy Drivers	10.4880
Time Weighted Average number of Idle Drivers	27.7946
Time Weighted Average number of Off Duty Drivers (Average #Off Duty Drivers With Task + Average #Off Duty Drivers Without Task)	41.7173
Time Weighted Average number of Off Duty Drivers With Task	7.8755
Time Weighted Average number of Off Duty Drivers Without Task	33.8417
Time Weighted Average number of Busy Trucks	18.3636
Time Weighted Average number of Busy Trailers	18.3636
Time Weighted Average number in Dispatch Pick Up Queue	0.0908
Time Weighted Average number in Transport Pick Up Queue	1.568
Time Weighted Average number in BobTail Pick Up Queue	1.685
Time Weighted Average number in DeadHead Pick Up Queue	0.6766
Time Weighted Average number in Incoming Loads Queue	14.43
Average Time in Dispatch Pick Up Queue	0.090
Average Time in Transport Pick Up Queue	1.565
Average Time in BobTail Pick Up Queue	10.510
Average Time in DeadHead Pick Up Queue	10.959
Average Time in Incoming Loads Queue	14.405

2.3 ทฤษฎีการจำลองสถานการณ์

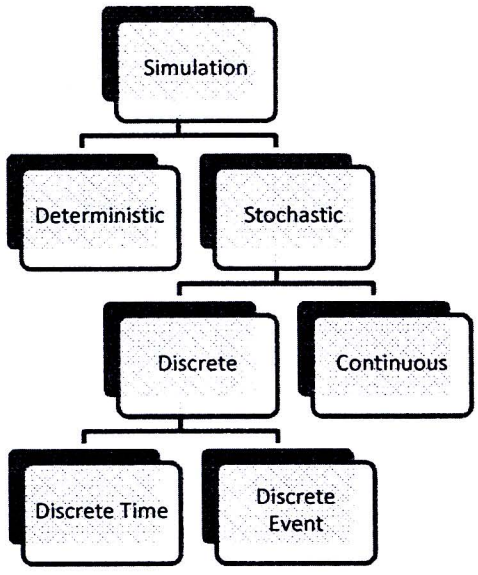
2.3.1 ระบบและตัวแบบจำลอง

ระบบ (System) หมายถึง กลุ่มของสรรพสิ่งต่าง ๆ (Entities) หรือสมาชิก (Element) ที่มีความสัมพันธ์กันและกระทำกิจกรรมให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ตัวอย่างของระบบ เช่น การผลิตรถยนต์ จะมีเครื่องจักร อุปกรณ์ วัตถุดิบ คนงาน เป็นสมาชิกที่มีกิจกรรมที่เกี่ยวเนื่องกัน โดยมีวัตถุประสงค์คือ ผลิตรถยนต์ให้ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งสมาชิกแต่ละตัวก็จะมีคุณสมบัติเฉพาะและมีกิจกรรมเฉพาะ ภายในระบบจะมีการทำกิจกรรมทำให้เกิดเหตุการณ์ (event) ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระบบ เรียกว่า ทำให้สถานะ (states) ของระบบเปลี่ยนแปลง สถานะของระบบจะอธิบายได้ด้วยค่าตัวแปรสถานะ (state variables) จะอธิบายระบบ ณ เวลาหนึ่ง ๆ เช่น ระบบธนาคาร ตัวแปรสถานะคือ จำนวนลูกค้าในธนาคารทั้งที่กำลังรับบริการและคอยรับการบริการ และจำนวนพนักงานเคาน์เตอร์ที่กำลังให้บริการ เป็นต้น

เหตุการณ์คือ การทำกิจกรรมซึ่งเมื่อเกิดขึ้นจะทำให้สถานะของระบบ หรือตัวแปรสถานะมีค่าเปลี่ยนแปลง เช่น การเข้ามาของลูกค้า ณ เวลาหนึ่ง ๆ ถือว่าเป็นเหตุการณ์ที่มีผลทำให้สถานะคือ จำนวนลูกค้าในธนาคารเปลี่ยนไป ระบบจะแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. ระบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete system) เป็นระบบที่ค่าตัวแปรสถานะจะเปลี่ยนแปลงเฉพาะบางจุดของเวลาไม่ได้เกิดขึ้นตลอดเวลา
2. ระบบต่อเนื่อง (Continuous system) เป็นระบบที่ค่าตัวแปรสถานะจะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

ตัวแบบจำลอง (Model) จะจำลองกิจกรรมต่าง ๆ ในระบบ ซึ่งตัวแบบจำลองที่ดีควรประกอบด้วยองค์ประกอบที่จำเป็นหรือมีรายละเอียดพอที่จะให้ได้ข้อสรุปที่ถูกต้องเกี่ยวกับระบบจริง ทั้งนี้ไม่จำเป็นว่าตัวแบบจะต้องมีรายละเอียดทั้งหมดของระบบจริง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิเคราะห์ระบบวัตถุประสงค์ที่ต่างกัน ซึ่งจะใช้วัตถุประสงค์เป็นแนวทางในการกำหนดขอบเขตของระบบ และรายละเอียดของตัวแบบ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้



ภาพที่ 2.6 แสดงการจำแนกระบบของแบบจำลองสถานการณ์

1. ตัวแบบจำลองระบบเชิงกำหนด (Deterministic model) เป็นตัวแบบที่ไม่มีตัวแปรสุ่ม ตัวแบบประเภทนี้จะได้ผลลัพธ์ที่มีความแน่นอน
2. ตัวแบบจำลองเชิงเฟ้นสุ่ม (Stochastic or Probabilistic model) เป็นตัวแบบจำลองระบบที่เกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอน จะประกอบด้วยตัวแปรสุ่มอย่างน้อยหนึ่งตัว ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นเชิงสุ่ม หมายความว่าผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าไม่แน่นอน
    - ตัวแบบจำลองแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete model) ค่าของตัวแปรสถานะจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเฉพาะบางจุดของเวลา ซึ่งจะแบ่งได้เป็น แบบเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete Time) จะแบ่งช่วงเวลาเป็นทีละครั้ง เช่น จะดูว่าชั่วโมงที่ 1 ระบบมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และแบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event) จะดูที่เหตุการณ์ที่สนใจ เช่น เหตุการณ์ที่มีลูกค้าเข้ามาในระบบ ระบบจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร
    - ตัวแบบจำลองแบบต่อเนื่อง (Continuous model) ค่าของตัวแปรสถานะเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา

2.3.2 การศึกษาวิเคราะห์ระบบ

การศึกษาวิเคราะห์ระบบด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์มีขั้นตอนหลักทั่วไปดังนี้

1. กำหนดวัตถุประสงค์ (Defines the objectives) เช่น ในการจำลองระบบสินค้าคงเหลือ กำหนดวัตถุประสงค์ว่าต้องการทราบปริมาณสั่งซื้อในแต่ละครั้ง และสินค้าลดลงเหลือปริมาณเท่าใดจึงควรสั่งซื้อ ทั้งนี้เพื่อให้ระบบมีค่าใช้จ่ายรวมโดยเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาต่ำสุด
2. สร้างตัวแบบ (Formulate the model) ในขั้นนี้จะกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง กำหนดเงื่อนไขหรือข้อจำกัด กำหนดข้อสมมุติ และกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการ (Equations) หรืออสมการ (Inequalities) คณิตศาสตร์ และแบบตรรกะ (Logic forms)
3. ตรวจสอบความสมเหตุสมผล หรือความถูกต้องของตัวแบบ (Validate the model) รวมถึงความถูกต้องทางตรรกะของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การตรวจสอบกระทำเพื่อเป็นการประกันว่าผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือได้ การตรวจสอบโดยทั่วไปถ้ามีข้อมูลจริงหรือข้อมูลข้างเคียงจะใช้ข้อมูลเหล่านั้นในการตรวจสอบ และสำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์อาจใช้วิธีเปรียบเทียบผลลัพธ์จากบางส่วนที่ได้จากโปรแกรมกับผลลัพธ์ที่คำนวนด้วยมือ ถ้าแบบจำลองมีความถูกต้องหรือสมเหตุสมผลควรได้ผลลัพธ์สอดคล้องกัน แต่ถ้าให้ผลลัพธ์ที่ไม่สอดคล้องกัน ควรจะได้พิจารณาทบทวนตัวแบบที่สร้างขึ้นเพื่อปรับปรุงแก้ไข แล้วตรวจสอบใหม่
4. ออกแบบการทดลอง (Design the experiment) ในขั้นนี้จะกำหนดระยะเวลาของการทดลองหรือกำหนดรอบทำซ้ำของการทดลอง เช่น กำหนดจำนวนวันในการทดลองระบบสินค้าคงเหลือ ซึ่งการกำหนดดังกล่าวจะเกี่ยวข้องกับระดับความเชื่อมั่นที่ผู้สร้างจำลองต้องการในผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง
5. ทำการทดลอง (Conduct the simulation) ในขั้นนี้จะทำการทดลองตัวแบบตามแบบการทดลองที่กำหนดในขั้นตอนที่ 4 และคำนวนหาค่าวัดหรือค่าประมาณต่าง ๆ ที่ต้องการเมื่อจบการทดลอง เช่น หาตัวเลขสรุปที่เป็นเวลาคอยเฉลี่ย และค่าใช้จ่ายรวมโดยเฉลี่ย เป็นต้น