การสร้างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถภายใต้ความไม่แน่นอน

ANALYSIS OF VEHICLE ROUTING PROBLEM UNDER DEMAND UNCERTAINTY VIA SIMULATION

นาย เตชพล พลังไพบูลย์

MR.TAECHAPON PALUNGPAIBOON

นาย พีระพัฒน์ ภู่ผ่าน

MR.PERAPAT POOPAN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถภายใต้ความไม่แน่นอน

ANALYSIS OF VEHICLE ROUTING PROBLEM UNDER DEMAND UNCERTAINTY VIA SIMULATION

นาย เตชพล พลังไพบูลย์

MR.TAECHAPON PALUNGPAIBOON

นาย พีระพัฒน์ ภู่ผ่าน

MR.PERAPAT POOPAN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS OF VEHICLE ROUTING PROBLEM UNDER DEMAND UNCERTAINTY VIA SIMULATION

MR.TAECHAPON PALUNGPAIBOON

MR.PERAPAT POOPAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BECHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การสร้างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถภายใต้ความไม่แน่นอน

ANALYSIS OF VEHICLE ROUTING PROBLEM UNDER DEMAND UNCERTAINTY VIA SIMULATION

นักศึกษา นาย เตชพล พลังไพบูลย์ รหัสนักศึกษา 54010489

นาย พีระพัฒน์ ภู่ผ่าน รหัสนักศึกษา 54010950

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

.....

(ผศ.ดร. อุดม จันทร์จรัสสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การสร้างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถภายใต้ความไม่แน่นอน
นักศึกษา	นาย เตชพล พลังไพบูลย์ นาย พีระพัฒน์ ภู่ผ่าน
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. อุดม จันทร์จรัสสุข

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถภายใต้ความไม่แน่นอนของอุปสงค์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์ที่มีต่อต้นทุนการขนส่งและระดับการให้บริการ คณะผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขึ้นเพื่อจำลองความไม่แน่นอนของปริมาณอุปสงค์โดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างจากรูปแบบการแจกแจงที่กำหนดขึ้นซึ่งประกอบด้วยการแจกแจงแบบปกติ การแจกแจงแบบเอกรูป และการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม และได้ทำการทดลองกับตัวอย่างปัญหา 25 ปัญหาโดยกำหนดให้มีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปรและช่วงกว้างของอุปสงค์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์แม้เพียงเล็กน้อยจะส่งผลให้ต้นทุนของการขนส่งเพิ่มขึ้นและระดับการให้บริการลดลงอย่างเห็นได้ชัด ผลการวิจัยในครั้งนี้เป็นประโยชน์ในการใช้ประกอบการตัดสินใจเพื่อลดต้นทุนในการขนส่งและปรับปรุงคุณภาพในการให้บริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Analysis of Vehicle Routing Problem Under Demand Uncertainty Via Simulation
Student	Mr.Taechapon Palungpaiboon Mr.Perapat Poopan
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic year	2014
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Udom Janjarussuk

ABSTRACT

This project presents analysis of the vehicle routing problem with demand uncertainty. The objective is to study the effect of demand uncertainty on transportation cost and service level. We developed a simulation model of the vehicle routing problem to simulate the demand uncertainty. Sampling technique was used in the simulation for different type of demand distributions including normal distribution, uniform distribution, and triangular distribution. Computational experiment was conducted with 25 instances from literature by varying the coefficient of variation and interval of demand. The results showed that slightly changes in demand could cause the transportation cost to increase significantly and the service level to decrease. The results of this research are beneficial for supporting the decision making on reducing transportation cost and improving service level.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

คุณพ่อคุณแม่ ผู้ให้กำลังใจยามท้อแท้ และหมดกำลัง

ผศ.ดร. อุดม จันทร์จรัสสุข ผู้เป็นผู้ควบคุมและให้กำลังใจทุกครั้งเมื่อมีปัญหา

คณะจัดทำปริญญานิพนธ์ ซึ่งให้ความร่วมมือ และกำลังใจในการทำงานมาตลอด

อาจารย์ทุกท่าน ที่เป็นผู้ให้ความรู้ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การศึกษา และเป็นเสมือนบ้านหลังที่สองของข้าพเจ้า

นาย เตชพล พลังไพบูลย์

นาย พีระพัฒน์ ภู่ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 วิธีการดำเนินงาน 3

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ต้นทุนการขนส่งและระดับการให้บริการ 4

2.1.1 ต้นทุนของการขนส่ง 5

2.1.1.1 ต้นทุนคงที่ 5

2.1.1.2 ต้นทุนผันแปร 5

2.1.1.3 ต้นทุนรวม 5

2.1.1.4 ต้นทุนเที่ยวกลับ 6

2.1.2 ปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่ง 6

2.1.2.1 ระยะทาง 6

2.1.2.2 จำนวน 6

2.1.2.3 ความหนาแน่น 7

2.1.2.4 การจัดเก็บ 8

2.1.2.5 การจัดการ 8

2.1.2.6 ความรับผิดชอบ 8

2.1.2.7 ปัจจัยด้านการตลาด 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.1.3 ระดับการให้บริการ 9

2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ 9

2.2.1 การจัดกลุ่มประเภทของปัญหา VRP 10

2.2.2 วิธีการแก้ปัญหาของปัญหา VRP 12

2.3 สถิติและการวัดการกระจายของข้อมูล 12

2.3.1 การวัดการกระจายของข้อมูล 12

2.3.2 การแจกแจงแบบปกติ 15

2.3.3 การแจกแจงแบบเอกรูป 19

2.3.4 การแจกแจงแบบสามเหลี่ยม 20

2.4 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ 21

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 24

3.1 รูปแบบของปัญหาที่ทำการศึกษา 24

3.2 วิธีการคำนวณต้นทุนในการขนส่งและระดับการให้บริการ 27

3.2.1 ต้นทุนในการขนส่ง 27

3.2.2 การวัดระดับการให้บริการ 28

3.3 วิธีการสร้างแบบจำลอง 28

3.4 วิธีการสร้างตัวเลขสุ่ม 30

3.4.1 เทคนิคการสร้างตัวเลขสุ่มจากการแจกแจงของความน่าจะเป็น 30

3.4.1.1 เทคนิคการสร้างตัวเลขสุ่มแบบ Inverse Method 30

3.4.1.2 เทคนิคการสร้างตัวเลขสุ่มแบบ Convolution Method 31

3.4.2 การสร้างตัวเลขสุ่มในแต่ละรูปแบบของการแจกแจงสำหรับกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร 31

3.4.2.1 สำหรับการแจกแจงแบบปกติ 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.4.2.2 สำหรับการแจกแจงแบบเอกรูป 32
3.4.2.3 สำหรับการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม 34
3.4.3 การสร้างตัวเลขสุ่มในแต่ละรูปแบบของการแจกแจงสำหรับกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนช่วงกว้างของอุปสงค์ 36
3.4.3.1 สำหรับการแจกแจงแบบปกติ 36
3.4.3.2 สำหรับการแจกแจงแบบเอกรูป 37
3.4.3.3 สำหรับการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม 39
3.5 การออกแบบโปรแกรม 41

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 43
4.1 การทดลอง 43
4.1.1 กรณีการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปร 43
4.1.2 กรณีการเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์ 44
4.1.3 การกำหนด Sample Size ของการจำลอง 46
4.1.4 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณอุปสงค์รวมเฉลี่ย 48
4.2 ผลการทดลอง 49
4.2.1 ผลการทดลองกรณีการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปร 48
4.2.2 ผลการทดลองกรณีการเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์ 49
4.2.3 เปรียบเทียบผลการทดลองกรณีการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปรกับกรณีการเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์ของ 25 ปัญหา 50

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง 57
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 57
5.1.1 ความเห็นของผู้วิจัยและแนวทางการพัฒนาโปรแกรม 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง 59

ภาคผนวก ผ1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 รูปแบบของปัญหา 25 ปัญหา 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและต้นทุนการขนส่ง	7
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่บรรทุกและต้นทุนการขนส่ง	7
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของสินค้าและต้นทุนการขนส่ง	7
2.4	ตัวอย่างภาพการจัดเส้นทางการขนส่ง	10
2.5	กราฟแสดงลักษณะของเส้นโค้งปกติ	16
2.6	กราฟแสดงพื้นที่ของเส้นโค้งปกติ	17
2.7	กราฟแสดงลักษณะของเส้นโค้งปกติเมื่อข้อมูลมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากันแต่ค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน	17
2.8	กราฟแสดงลักษณะของเส้นโค้งปกติเมื่อข้อมูลมีค่าเฉลี่ยเท่ากันแต่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เท่ากัน	17
2.9	พื้นที่ใต้โค้งปกติแสดงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม X ในช่วง x_1 ถึง x_2	18
2.10	แสดงพื้นที่ใต้โค้งปกติที่ครอบคลุมค่า $-\infty < x < \infty$, $-\infty < \mu < \infty$, $\sigma > 0$	19
2.11	พื้นที่ใต้เส้นโค้งปกติและตารางการแจกแจงแบบปกติ	19
2.12	รูปแบบกราฟของ a) ฟงกชันความนาจะเปนแบบตอเนื่องและ b) กราฟของฟงกชันค่าความน่าจะเป็นสะสม ของการแจกแจงแบบเอกรูป	20
2.13	แสดงรูปแบบกราฟของ a).ฟงกชันความนาจะเปนแบบตอเนื่อง b). ฟงกชันค่าความน่าจะเป็นสะสม ของการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม	21
3.1	แสดงรูปแบบของตัวอย่างปัญหาที่ทำการวิจัย	26
3.2	แสดงรูปแบบของคำตอบของปัญหาที่ทำการวิจัย	27
3.3	แสดง Flow Chart การทำงานของโปรแกรม	29
3.4	แสดงลักษณะกราฟของการแจกแจงแบบปกติ (กรณี I)	31
3.5	แสดงลักษณะกราฟของการแจกแจงแบบเอกรูป (กรณี I)	32
3.6	แสดงลักษณะกราฟของการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม (กรณี I)	34
3.7	แสดงลักษณะกราฟของการแจกแจงแบบปกติ (กรณี II)	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.8	แสดงลักษณะกราฟของการแจกแจงแบบเอกรูป (กรณี II)	37
3.9	แสดงลักษณะกราฟของการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม (กรณี II)	39
3.10	แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม	41
4.1	การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เท่ากับ 0.1 และ 0.9	44
4.2	การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์เมื่อ α เท่ากับ 0.1 และ 0.9	45
4.3	ความคลาดเคลื่อนของร้อยละของการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อ Sample Size เท่ากับ 100	46
4.4	ความคลาดเคลื่อนของร้อยละของการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อ Sample Size เท่ากับ 500	46
4.5	ความคลาดเคลื่อนของร้อยละของการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อ Sample Size เท่ากับ 1000	47
4.6	ความคลาดเคลื่อนของร้อยละของการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อ Sample Size เท่ากับ 1500	47
4.7	ต้นทุนรวมการขนส่ง (%) และระดับการให้บริการเมื่อเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปร	49
4.8	ต้นทุนรวมการขนส่ง (%) และระดับการให้บริการเมื่อเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์	50
4.9	แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อทำการเรียงลำดับของจำนวนรถขนส่งสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ σ/μ = 0.1	51
4.10	แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อทำการเรียงลำดับของจำนวนรถขนส่งสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ α= 0.1	52
4.11	แนวโน้มการลดลงของระดับการให้บริการแบบที่ 1 เมื่อทำการเรียงลำดับของจำนวนรถขนส่งสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ σ/μ = 0.1	52
4.12	แนวโน้มการลดลงของระดับการให้บริการแบบที่ 1 เมื่อทำการเรียงลำดับของจำนวนรถขนส่งสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ α= 0.1	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.13 แนวโน้มการลดลงของระดับการให้บริการแบบที่ 2 เมื่อทำการเรียงลำดับของจำนวนรถขนส่งสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ σ/μ = 0.1 53

4.14 แนวโน้มการลดลงของระดับการให้บริการแบบที่ 2 เมื่อทำการเรียงลำดับของจำนวนรถขนส่งสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ α = 0.1 53

4.15 แนวโน้มการลดลงของร้อยละการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อทำการเรียงลำดับของความจุสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ σ/μ = 0.1 54

4.16 แนวโน้มการลดลงของร้อยละการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อทำการเรียงลำดับของความจุสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ α = 0.1 54

4.17 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับการให้บริการแบบที่ 1 เมื่อทำการเรียงลำดับของความจุสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ σ/μ = 0.1 55

4.18 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับการให้บริการแบบที่ 1 เมื่อทำการเรียงลำดับของความจุสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ α = 0.1 55

4.19 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับการให้บริการแบบที่ 2 เมื่อทำการเรียงลำดับของความจุสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ σ/μ = 0.1 55

4.20 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับการให้บริการแบบที่ 2 เมื่อทำการเรียงลำดับของความจุสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ α = 0.1 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การจัดเส้นทางการเดินรถเป็นปัญหาที่มีความสำคัญต่อธุรกิจในปัจจุบันทั้งในส่วนของการจัดหาวัตถุดิบ การผลิต และการจัดจำหน่าย ในธุรกิจต่างๆ ต้นทุนการขนส่งนับเป็นต้นทุนที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อต้นทุนรวมของสินค้า การลดต้นทุนค่าขนส่งโดยการวางแผนเส้นทางการเดินรถที่เหมาะสมจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ถูกใช้ในการลดต้นทุนรวมของสินค้าในอุตสาหกรรม

ต้นทุนการขนส่งยังได้รับผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์ซึ่งตามธรรมชาติแล้วอุปสงค์จะมีค่าไม่แน่นอนมากกว่าจะเป็นค่าที่ถูกกำหนด ซึ่งความไม่แน่นอนของปริมาณอุปสงค์ส่งผลให้มีรูปแบบการแจกแจงของปริมาณอุปสงค์หลายประเภท ขึ้นอยู่กับชนิดของสินค้าแต่ละชนิด จากการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์ดังกล่าวทำให้ผู้ประกอบการจำเป็นต้องมีทรัพยากรสำรองเพื่อตอบสนองต่ออุปสงค์ของลูกค้า ได้อย่างเพียงพอ ส่งผลให้ต้นทุนในการขนส่งเพิ่มสูงขึ้น หรือหากใช้ทรัพยากรที่มีอยู่เดิมในการจัดส่งจะทำให้การ จัดส่งล่าช้าและทำให้ระดับการให้บริการลดลง ซึ่งอาจส่งผลให้ลูกค้ามองหาผู้จัดส่งรายใหม่ที่ให้บริการได้ดีกว่า ทำให้เกิดการสูญเสียรายได้อย่างมหาศาลแก่ผู้ประกอบการ ซึ่งหากผู้ประกอบการมีการปรับปรุงการให้บริการที่ตอบสนองความต้องการของลูกค้าอยู่เสมอก็จะทำให้ระดับการให้บริการอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จากลูกค้า รวมทั้งยังเป็นการสร้างความน่าเชื่อถือของผู้ประกอบการอีกด้วย

ในการศึกษาระบบการขนส่งสินค้าจากระบบจริงมีความยุ่งยากสูงเนื่องจากในความเป็นจริงแล้วมีความไม่แน่นอนของปริมาณอุปสงค์ของลูกค้า ซึ่งในระบบจริงไม่สามารถทดลองปรับเปลี่ยนอุปสงค์สินค้าของลูกค้าได้อย่างอิสระ ดังนั้นเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อต้นทุนการขนส่งและระดับการให้บริการจากความไม่แน่นอนของปริมาณอุปสงค์โดยใช้เทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายและสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหรือธุรกิจสำหรับวิเคราะห์หรือหาคำตอบของปัญหาที่มีความซับซ้อนได้ ด้วยเหตุดังกล่าวในงานวิจัยนี้จึงเลือกการสร้างแบบจำลองซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมและมีความสะดวกสำหรับการนำมาใช้ศึกษาความไม่แน่นอนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณอุปสงค์ มีจุดประสงค์หลักเพื่อใช้วิเคราะห์ผลกระทบจากความไม่แน่นอนของอุปสงค์ที่มีต่อต้นทุนในการขนส่งและระดับการให้บริการโดยศึกษาถึงลักษณะของปัญหาการขนส่งจากปัญหาเล็กไปปัญหาใหญ่ รวมถึงความแปรปรวนของปริมาณอุปสงค์ของลูกค้าแต่ละรายจากน้อยไปมากจะส่งผลต่อต้นทุนในการขนส่งและระดับการให้บริการอย่างไร

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลกระทบจากความไม่แน่นอนของอุปสงค์ต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งและระดับการให้บริการ
2. เพื่อศึกษาผลกระทบจากความแปรปรวนของอุปสงค์หรือเปอร์เซ็นต์ความผันแปรของอุปสงค์ต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งและระดับการให้บริการ
3. เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ผลของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถและใช้เป็นเครื่องมือประกอบการตัดสินใจสำหรับลดต้นทุนการขนส่งและปรับปรุงระดับการให้บริการ

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สร้างแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์ปัญหาจากภาษา C#
2. ทำการสร้างแบบจำลองเพื่อดูผลกระทบของความไม่แน่นอนของอุปสงค์ต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งและระดับการให้บริการ
3. ออกแบบให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมาสำหรับรูปแบบปัญหาเดียวกันสามารถทดลองปรับเปลี่ยนตัวแปรทางสถิติได้อย่างอิสระ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนการขนส่งและระดับการให้บริการจากการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์ในแต่ละการแจกแจงที่กำหนดไว้ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว
2. ได้ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่สามารถใช้ประกอบการตัดสินใจสำหรับการลดต้นทุนการขนส่งและปรับปรุงระดับการให้บริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 วิธีการดำเนินงาน

1. ผู้วิจัยค้นคว้าและศึกษาปัญหาในการขนส่งโดยเลือกปัญหาการจัดเส้นทางการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีความจุรถจำกัดภายใต้ความไม่แน่นอนด้วยระยะทางการขนส่งที่สั้นที่สุด

2. ในงานวิจัยนี้ใช้การจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของต้นทุนรวมการขนส่งและ ระดับการให้บริการจากความไม่แน่นอนของอุปสงค์

3. ผู้วิจัยเลือกรูปแบบการแจกแจงของความไม่แน่นอนของปริมาณอุปสงค์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ 3 ประเภทคือ การแจกแจงแบบปกติ การแจกแจงแบบเอกรูปและการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม

4. ผู้วิจัยสร้างแบบจำลองการขนส่งที่ผู้ใช้สามารถเลือกรูปแบบการแจกแจงในการวิเคราะห์ต้นทุนการขนส่งและระดับการให้บริการที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการที่รถขนส่งสินค้าต้องวนรถกลับไปรับสินค้าใหม่และขนส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายถัดไปตามลำดับ

5. ผู้วิจัยทำการทดลองกับปัญหาที่แตกต่างกัน 25 ปัญหาโดยกำหนดให้มีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปรและช่วงกว้างของอุปสงค์

6. สรุปผลและจัดทำรายงานเพื่อนำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในบทที่ 2 จะกล่าวถึงแนวคิดและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องต่อการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

1. ต้นทุนการขนส่งและระดับการให้บริการ
2. ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ
3. สถิติและการวัดการกระจายของข้อมูล
4. การสร้างแบบจำลองสถานการณ์

2.1 ต้นทุนการขนส่งและระดับการให้บริการ

การขนส่ง หมายถึง กิจกรรมทางด้านเศรษฐกิจอย่างหนึ่ง ที่จะจัดให้มีการเคลื่อนย้ายของสินค้า จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ตามความประสงค์เพื่อให้ เกิดอรรถประโยชน์ตามต้องการ ในปัจจุบันการขนส่งมีความสำคัญต่อธุรกิจเกือบทุกประเภททั้งในส่วนของการจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขายและการจัดจำหน่าย ในหลายธุรกิจต้นทุนจากการขนส่งนับเป็นต้นทุนที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อต้นทุนรวมของผลิตภัณฑ์หรือบริการ นอกเหนือจากนี้การขนส่งยังเป็นกิจกรรมที่ช่วยเพิ่มคุณค่าของสินค้าหรือบริการ ทำให้ผู้บริโภคที่อยู่ในสถานที่ที่การขนส่งเข้าไปถึงได้ มีสินค้าหรือบริการบริโภคตามที่ต้องการเนื่องจากการขนส่งจะช่วยนำสินค้าจากแหล่งผลิตผ่านมือคนกลางจนกระทั่งถึงมือผู้บริโภค ดังนั้นการดำเนินธุรกิจใดๆ ย่อมอาศัยการขนส่งทั้งสิ้น ทั้งนี้ในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้ายังต้องคำนึงถึงระดับการให้บริการเป็นสำคัญ ซึ่งในการขนส่งแต่ละครั้งต้องคำนึงถึงการให้บริการที่รวดเร็วและมีความถูกต้องแก่ลูกค้า เพื่อรองรับความต้องการของลูกค้า ให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจจากบริการที่ได้รับ และกลับมาใช้บริการใหม่ในครั้งหน้า อีกทั้งยังเป็นการรักษาและสร้างชื่อเสียงให้กับบริษัทอีกทางหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ต้นทุนของการขนส่ง

ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งสามารถจำแนกออกเป็นหลายประเภท ตามลักษณะของกิจกรรมที่ เกิดส่งผลให้เกิดต้นทุน ดังนี้

2.1.1.1 ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)

ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆตามการผลิตไม่ว่าจะทำการผลิตหรือไม่ผลิตก็ตาม ต้นทุนนี้จะเกิดขึ้นเป็นจำนวนที่คงที่ ต้นทุนนี้ถึงแม้จะมีการผลิตเป็นจำนวนมากหรือจำนวนน้อยเพียงใด ก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในอัตราเท่าเดิมอยู่ตลอดเวลา เช่น ค่ารถขนส่งสินค้า ค่าเช่า ที่ดิน อาคาร ค่าประกันภัย ค่าทะเบียนรถขนส่งสินค้า ค่าเสื่อมราคา เงินเดือนประจำ ค่าใบอนุญาตเช่าสถานที่ เป็นต้น ในบางครั้งต้นทุนประเภทนี้อาจเรียกชื่อได้อย่างอื่นอีก เช่น Constant Cost หรือ Overhead Cost ต้นทุนชนิดนี้แม้จะให้บริการมากน้อยเพียงใดหรือไม่ได้ให้บริการเลยก็ต้องเสียเป็นจำนวนเท่ากันเป็นต้น

2.1.1.2 ต้นทุนผันแปร (Variable Cost)

ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการผลิต อาจเรียกชื่อเป็นอย่างอื่นได้อีก คือต้นทุนดำเนินงาน (Operation Cost) ถ้าให้บริการขนส่งมากต้นทุนชนิดนี้ก็มากด้วย ถ้าผลิตบริการขนส่งน้อยต้นทุนนี้ก็น้อย ถ้าไม่ได้ให้บริการเลยก็ไม่ต้องจ่ายต้นทุนนี้เลย ต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าซ่อมแซม ค่าน้ำมันหล่อลื่น ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เป็นต้น

2.1.1.3 ต้นทุนรวม (Total Cost หรือ Joint Cost)

ต้นทุนรวม (Total Cost หรือ Joint Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายต่างๆ โดยรวมเอาต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรมารวมกัน ถือเป็นต้นทุนของการบริการทั้งหมด ในการขนส่งถือว่าเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นสำหรับการขนส่งสินค้า โดยไม่สามารถจะแยกออกได้ว่าต้นทุนการขนส่งสินค้าหรือบริการแต่ละอย่างแต่ละประเภทนั้นเป็นเท่าใด ดังนั้นต้นทุนที่เกิดขึ้นในการขนส่งเที่ยวนั้น ก็ควรจะแบ่งสรรไปยังสินค้าแต่ละชนิดที่ขนส่งในเที่ยวนั้น การที่ต้องแบ่งสรรต้นทุนเช่นนี้ก็จะเป็นประโยชน์แก่ธุรกิจ เพื่อจะได้ทราบว่าสินค้าแต่ละประเภทที่ดำเนินการอยู่นั้นมีต้นทุนและให้กำไรเพียงใด ต้นทุนร่วมที่สามารถแยกแยะได้ชัดเจน เช่น ค่าน้ำมัน ซึ่งอาจคิดเฉลี่ยค่าน้ำมันแต่ละเที่ยวไปตามน้ำหนักบรรทุกสินค้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.4 ต้นทุนเที่ยวกลับ (Back Haul Cost)

ต้นทุนเที่ยวกลับ (Back Haul Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่ได้รวมเอาลักษณะของค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) เข้าไปด้วย ถือเป็นค่าชดเชยที่ต้องทำให้เสียโอกาสขึ้น ในกรณีของการขนส่งหมายถึงการที่ต้องบรรทุกสินค้าหรือบริการ ไปส่งยังจุดหมายปลายทางแล้ว ในเที่ยวกลับนั้นไม่ได้บรรทุกอะไรกลับมา แต่ในงานวิจัยนี้เป็นการวนรถกลับมารับสินค้าใหม่อีกครั้งจนเต็มในขณะที่รถขนส่งสินค้าอาจไม่มีสินค้าเลยหรือมีสินค้าที่ไม่มีเพียงพอต่อการขนส่งลูกค้ารายถัดไป กรณีนี้จึงต้องมีการคิดถึงต้นทุนเที่ยวกลับรวมไว้ในการคิดต้นทุนค่าบริการขนส่งด้วย ซึ่งในบางครั้งลักษณะเช่นนี้ ถือว่าการสูญเปล่าที่เกิดขึ้นและถือเป็นการขนส่งที่ไม่ทำให้เกิดการประหยัดอีกด้วย ผู้ประกอบการขนส่งต้องคำนึงถึงต้นทุนเที่ยวกลับด้วย หรือในกรณีของธุรกิจที่มีรถบรรทุกสินค้าเองก็ควรคำนึงถึงต้นทุนนี้ด้วยเช่นกัน

2.1.2 ปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่ง

Donald J. Bowersox และ David J. Closs ได้กล่าวถึงปัจจัยหลักที่มีผลต่อเศรษฐศาสตร์การขนส่ง ได้แก่ ระยะทาง ปริมาณความหนาแน่น การจัดเก็บ การจัดการ ความรับผิดชอบ และการตลาด ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกันดังนี้

2.1.2.1 ระยะทาง (Distance)

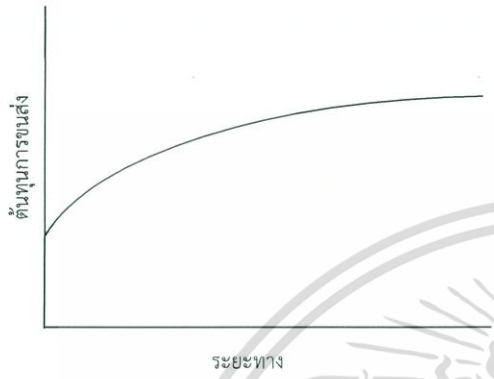
ระยะทางเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อต้นทุนการขนส่ง เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับต้นทุนผันแปร คือ ค่าแรง เชื้อเพลิงและการบำรุงรักษา จากรูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ที่สำคัญอยู่ 2 ประการ ประการแรกคือต้นทุนของการรับและส่งสินค้าที่ไม่คำนึงถึงระยะทาง ประการที่สองคือ เส้นต้นทุนเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงตามระยะทาง เรียกว่า tapering principle เป็นผลจากการเคลื่อนย้ายระยะไกลขึ้นซึ่งมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์การวิ่งระหว่างเมืองจะมีมากกว่าในเมือง การวิ่งระหว่างเมืองจะถูกกว่าเนื่องจากระยะทางวิ่งที่มากกว่าโดยใช้เชื้อเพลิงและค่าแรงที่เหมือนกันและผลจากอัตราวิ่งที่สูงกว่า และเป็นเพราะความถี่ของการหยุดรถในเมืองที่ทำให้ต้นทุนการรับและส่งสินค้าสูง

2.1.2.2 จำนวน (Volume)

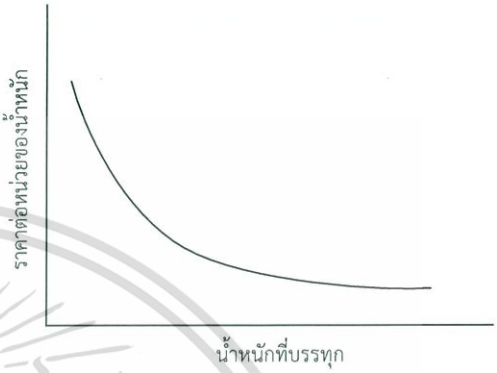
จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงต้นทุนการขนส่งต่อน้ำหนักสินค้าลดลงเมื่อปริมาณสินค้ามีจำนวนเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะต้นทุนคงที่ของการรับและส่งสินค้าและการค่าการจัดการต่างๆได้ถูกเฉลี่ยลงไปตามจำนวนสินค้าที่เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์นี้จะถูกจำกัดด้วยความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งสินค้า เช่นเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถขนส่งสินค้าคันที่หนึ่งเต็ม ก็จะต้องใช้คันที่สองบรรทุกส่วนที่เหลือ ดังนั้นถ้าปริมาณสินค้าน้อยก็ควรที่จะทำการรวบรวมสินค้าให้มีมากพอเพื่อความได้เปรียบตามหลักของเศรษฐศาสตร์



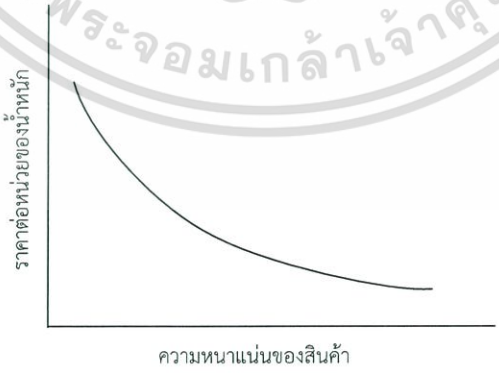
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและต้นทุนการขนส่ง



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่บรรทุกและต้นทุนการขนส่ง

2.1.2.3 <u>ความหนาแน่น (Density)</u>

ปัจจัยที่สามคือความหนาแน่นของสินค้า ซึ่งต้องพิจารณาถึงน้ำหนักและพื้นที่ด้วย โดยทั่วไปจะคิดค่าขนส่งตามน้ำหนัก เช่น ต่อตัน เป็นต้น รถขนส่งสินค้าบรรทุกจะถูกจำกัดด้วยพื้นที่มากกว่าน้ำหนักบรรทุก ถ้าบรรทุกเต็มแล้วก็เป็นไปไม่ได้ที่จะบรรทุกเพิ่มแม้ว่าสินค้านั้นจะเบาก็ตาม ค่าแรงคนขับและค่าเชื้อเพลิงไม่ได้มีผลจากน้ำหนักบรรทุก ความหนาแน่นของสินค้าเพิ่ม ขึ้นก็จะทำให้ต้นทุนคงที่ถูกแบ่งไปตามน้ำหนักที่เพิ่ม เป็นผลให้ต้นทุนค่าขนส่งต่อน้ำหนักน้อยลงด้วย จากรูปที่ 2.3 ต้นทุนค่าขนส่งต่อน้ำหนักลดลง แม้ว่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของสินค้าและต้นทุนการขนส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปผู้จัดการฝ่ายโลจิสติกส์พยายามที่จะเพิ่มความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะบรรทุกได้มากขึ้น การเพิ่ม ความหนาแน่นให้บรรจุภัณฑ์เพื่อที่จะบรรจุสินค้าได้มากขึ้นตัวอย่างเช่น ของเหลว เบียร์ โซดา สามารถบรรทุก ได้เพียงครึ่งเดียวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเต็มหรือน้ำหนักถึงก่อนปริมาณที่ทำ การบรรทุกได้ อย่างไรก็ตามความพยายามที่จะเพิ่ม ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์จะเป็นผลให้ต้นทุนค่าขนส่งลดลง

2.1.2.4 <u>การจัดเก็บ (Stowability)</u>

การจัดเก็บ (Stowability) หมายถึงขนาดของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีผลต่อรถขนส่งสินค้าที่จะบรรทุก ขนาดและรูปทรงที่ผิดแผก เช่นเดียวกับน้ำหนักที่เกินหรือความยาวที่เกิน จะทำให้การจัดเก็บได้ไม่ดีและสิ้นเปลืองเนื้อที่บรรทุก แม้ว่าผลิตภัณฑ์จะมีความหนาแน่นเท่ากันแต่การจัดเก็บก็จะแตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์ที่รูปทรงมาตรฐานจะจัดเก็บได้ง่ายกว่ารูปทรงที่ผิดแผกออกไป ตัวอย่างเช่น แท่งเหล็กและคันเบ็ด มีความหนาแน่นเท่ากัน แต่คันเบ็ดจัดเก็บยากกว่าเพราะความยาวและรูปทรง การจัดเก็บมีผลต่อขนาดของการจัดส่ง บางครั้งผลิตภัณฑ์จำนวนมากสามารถจัดเก็บเป็นกลุ่มได้ มิฉะนั้นก็จะยากต่อการจัดเก็บ ตัวอย่างเช่น รถบรรทุกขนกระป๋องที่ไม่ใช้แล้ว ถ้าบรรทุกเป็นกระป๋องเดี่ยวทำให้ยากแก่การจัดเก็บมากกว่ากระป๋องที่ถูกอัดให้แบน

2.1.2.5 <u>การจัดการ (Handling)</u>

อุปกรณ์พิเศษในการจัดการสินค้าช่วยในการขนย้ายสินค้าขึ้นลงรถบรรทุกหรือเรือ รวมถึงลักษณะของภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ เช่นกล่อง พาเลต เชือกผูก ซึ่งมีผลต่อต้นทุนของการจัดการ

2.1.2.6 <u>ความรับผิดชอบ (Liability)</u>

ผลิตภัณฑ์ที่จะถูกความกระทบกระเทือนได้ง่าย การเน่าเปื่อย การถูกขโมย ระเบิด ผู้รับขนส่งควรจะทำประกันสินค้า และผู้ส่งออกสามารถลดความเสี่ยง และค่าขนส่งได้โดยการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ให้สามารถป้องกันหรือลดการสูญหายหรือเสียหาย

2.1.2.7 <u>ปัจจัยด้านการตลาด (Market Factors)</u>

ช่องทางขนส่งหมายถึงการเคลื่อนย้ายจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทาง รถส่งสินค้าและพนักงานจะต้องกลับมายังจุดเริ่มต้นจึงควรจะทำการบรรทุกสินค้าขากลับ (Back-Hual) มิเช่นนั้นก็จะต้องตีรถเปล่ากลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Deadhead) กรณีของ Deadhead แรงงาน เชื้อเพลิงและต้นทุนของการบำรุงรักษาจะต้องคิดขากลับรวมด้วย ดังนั้นควรที่จะทำการบรรทุกสินค้าทั้งไปและกลับให้เกิดความสมดุล อย่างไรก็ตามมันแทบจะเป็นไปได้น้อยมากที่จะทำให้ความต้องการเท่ากันในส่วนของโรงงานผลิตและสถานที่ตั้งของผู้บริโภค

จากที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า ต้นทุนในการขนส่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัย ดังนั้นหากองค์กรจะทำการลดต้นทุนการขนส่งสินค้า องค์กรจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยหลายด้านประกอบกัน เพื่อให้ สามารถลดต้นทุนได้รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากที่สุด [Online].Goodle:http://logistics.go.th/index.php/2013-03-24-17-03-35/2013-03-24-17-15-58/885-1-gujranwala-32)

2.1.3 ระดับการให้บริการ

การบริการถือเป็นหัวใจสำคัญของการทำธุรกิจในทุกรูปแบบเพราะการบริการเป็นเครื่องมือหนึ่งที่สามารถสร้างความแตกต่างและดึงดูดลูกค้าให้มามาใช้บริการกับองค์การในระยะยาว ทั้งนี้ ในด้านการขนส่งเพื่อให้บริการแก่ลูกค้านั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงระดับการให้บริการเป็นสำคัญ เพราะการจัดส่งสินค้าที่ล่าช้าจะทำให้ระดับการให้บริการแก่ลูกค้าลดลง อาจทำให้ลูกค้าหันไปเลือกผู้ให้บริการที่มีระดับการให้บริการที่ดีกว่า ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสทางธุรกิจและรายได้แก่ผู้ให้บริการรายเดิม (Li Jiang, Hongyan Wang & Bin Ding,2013) ทั้งนี้หากผู้ให้บริการมีการปรับปรุงและพัฒนากลยุทธ์การจัดส่งให้ทันสมัย สามารถให้บริการลูกค้าได้ตรงตามความต้องการ ย่อมได้รับความได้เปรียบในการดำเนินธุรกิจ ทั้งยังสามารถรักษาฐานของลูกค้าไว้ได้หรืออาจจะดึงดูดลูกค้าใหม่ให้เข้ามาใช้บริการเพิ่ม รวมทั้งทำให้องค์กรมีภาพลักษณ์ที่ดีและมีชื่อเสียงเพิ่มมากยิ่งขึนอีกด้วย

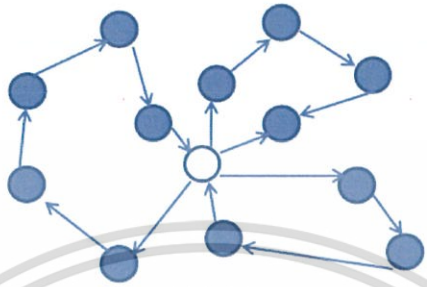
2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ คือการกำหนดกลุ่มของเส้นทางการขนส่งจากคลังสินค้ากลางไปยังความต้องการที่จุดต่างๆ โดยที่ต้นทุนการขนส่งหรือระยะทางในการขนส่งมีค่าน้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดในด้านต่างๆ ด้วย เช่น เวลา จำนวนและขีดจำกัดของรถขนส่งสินค้าเป็นต้น

Golden et al. (1977) ได้เสนอปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าหลายจุด ซึ่งมีปริมาณความต้องแตกต่างกัน ภายใต้เงื่อนไขคือ ระยะทางต่ำที่สุด และทุกๆรถขนส่งสินค้าจะเริ่มต้นและสิ้นสุดที่คลังสินค้ากลาง โดยมีข้อจำกัดในความจุของรถขนส่งสินค้าที่ใช้ในการขนส่งและระยะเวลาสูงสุดในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนส่งหนึ่งรอบของเส้นทางการจัดส่ง ถ้าไม่คำนึงถึงข้อจำกัดในระยะเวลาสูงสุดในการขนส่ง จะเป็นปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้ามาตรฐาน (Standard Vehicle Routing Problem : VRP) (อุบลรัตน์ เธียรธนาคม ,2551) ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ สามารถแสดงเป็นภาพได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างภาพการจัดเส้นทางการขนส่ง

จากรูปที่ 2.4 เส้นทางการขนส่งเริ่มจากศูนย์กระจายสินค้าหนึ่ง จากนั้นเดินทางเป็น 3 เส้นทาง แต่ละ เส้นทางที่มีการเดินทางผ่านเมืองหรือลูกค้า 3,4 และ 5 เมืองตามลำดับ และทุกเส้นทางจะต้องกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า

การแบ่งกลุ่มปัญหา VRP สามารถสรุปประเภทของปัญหา VRP ได้ดังนี้

2.2.1 การจัดกลุ่มประเภทของปัญหา VRP

1. การจัดกลุ่มตามลักษณะของความต้องการของลูกค้ามีรูปแบบดังต่อไปนี้

- ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าและแน่นอน (Deterministic Demand) คืองานวิจัยซึ่งดำเนินการภายใต้ความต้องการที่ทราบและแน่นอนของลูกค้า โดยมีการเก็บข้อมูลอาจจะเป็นความต้องการที่แน่นอนโดยมีการสั่งสินค้าก่อนและจัดเส้นทางการขนส่งหรือทำการประมาณค่าจากการใช้ค่าเฉลี่ยหรือค่าทางสถิติอย่างใดอย่างหนึ่งตัวอย่างงานวิจัยที่มีความต้องการแบบทราบและแน่นอนได้แก่ Laporte et al. (1999) , Toth and Vigo (1999)

- ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแต่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน (Stochastic Demand) ในกลุ่มนี้ความต้องการของลูกค้าจะทราบค่าแต่อาจจะมีความไม่แน่นอนซึ่งจะทำให้ต้องใช้เทคนิคในการแก้ปัญหาที่ต่างออกไปจากข้อ 2.1 ตัวอย่างงานวิจัยที่ความต้องการของลูกค้าไม่ทราบค่าที่แน่นอนได้แก่ Rego and Roucairol (1995) ,Tradeau and Dror (1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไม่ทราบความต้องการของลูกค้า ซึ่งเป็นความต้องการที่ไม่ทราบค่าขณะวางแผนแต่ทราบเมื่อไปถึงลูกค้า ตัวอย่างงานวิจัยในกลุ่มนี้ได้แก่ Fleischmann et al (2004) และ Chuah and Yingling(2005)

2. การจัดกลุ่มตามข้อจำกัดด้านเวลา (Time Windows) เป็นข้อจำกัดที่มีความสำคัญกับการจัดเส้นทางเนื่องจากบางครั้งเวลาให้บริการลูกค้า หรือเวลาในการเดินทางจะมีผลต่อเส้นทางที่ได้จากการจัดด้วยวิธีการต่างๆ สามารถแบ่งกลุ่มได้ดังนี้

- แบบไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา (No Time Windows) คือการไม่คำนึงถึงข้อจำกัดด้านเวลาต่าง ๆโดยจะทำการจัดเฉพาะเส้นทางการเดินทาง ตัวอย่างของงานวิจัยในกลุ่มนี้ได้แก่ Laporte et al. (1999) , Toth and Vigo (1999),

- แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด (Soft Time Windows) คือการมีข้อจำกัดทางด้านเวลาแต่ไม่เคร่งครัดมากนักสามารถส่งสินค้าช้าหรือเร็วกว่ากำหนดได้บ้าง แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดด้านเวลานี้จะมีผลต่อการจัดเส้นทางเช่นเดียวกัน ตัวอย่างงานวิจัยของกลุ่มนี้ได้แก่ Fleischmann et al (2004)

- แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบเคร่งครัด (Stick Time Windows) คือการจัดเส้นทางโดยคำนึงถึงระยะเวลาในการเดินทางและระยะเวลาในการให้บริการอย่างเคร่งครัดหากเดินทางผิดเวลาหรือไปถึงลูกค้าผิดเวลาจะทำให้เส้นทางนั้นเป็นเส้นทางที่ไม่ถูกต้องไม่สามารถให้บริการลูกค้าได้ ตัวอย่างของงานวิจัยในกลุ่มนี้ได้แก่ Rego and Roucairol (1995)

- แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาที่มีทั้งเคร่งและไม่เคร่ง (Mixed) เช่นงานวิจัยของ Nagy and Salhi (2005) จะมีลูกค้าทั้งที่เคร่งครัดเรื่องเวลาที่มาถึงของรถบรรทุก หรือเวลาในการให้บริการ และไม่เคร่งครัดเรื่องเวลาในปัญหาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้การดำเนินการด้วยวิธีการต่างๆ มีความแตกต่างกันออกไปและมีผลต่อการจัดเส้นทางเช่นเดียวกัน

3. การจัดกลุ่มตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง (Time Horizon) คือการเน้นการจัดกลุ่มโดยการจัดแบบครั้งเดียวในการวางแผนหนึ่งครั้งเช่น การเดินทางส่งสินค้าทุกวันจะเดินทางด้วยเส้นทางเดียวกัน และการจัดแบบหลายครั้งเช่นวางแผนเป็นเดือนหรือปีโดยในแต่ละวันอาจจะมีการเดินทางที่ไม่เหมือนกัน

- แบบคาบเวลาเดียว (Single Period) กลุ่มนี้จะวางแผนครั้งเดียวและดำเนินการเช่นเดียวกันในทุกคาบเวลา ตัวอย่างงานวิจัยในกลุ่มนี้ได้แก่ Fu (2002)

- แบบหลายคาบเวลา (Multi Period) เป็นการวางแผนแบบหลายคาบเวลาและมีเส้นทางการเดินทางที่แตกต่างกันไปในแต่ละคาบเวลา ตัวอย่างงานวิจัยในกลุ่มนี้ได้แก่ Letch ford and Eglese (1998)

4. การจัดกลุ่มตามจำนวนของจุดเริ่มต้น (Number of Origin Points) หมายถึงจุดเริ่มต้นที่แตกต่างกันจะทำให้ได้ระยะทางในการเดินทางที่แตกต่างกันไป การวางแผนการจัดเส้นทางบางครั้งอาจจะมีจุดเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียว บางครั้งจะต้องวางแผนให้กับศูนย์กระจายสินค้าหลายจุดไปพร้อม ๆกัน สามารถแบ่งกลุ่มตามจำนวนของจุดเริ่มต้นได้เป็น

- มีจุดเริ่มต้นเดียว (Single Origin/Depot) คือการเริ่มต้นของทุกเส้นทางจะเริ่มต้นจากจุดกระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว ตัวอย่างของงานวิจัยในกลุ่มนี้ได้แก่ Laporte et al. (1999) , Toth and Vigo (1999)

- มีจุดเริ่มต้นหลายจุด (Multiple Origin/Depot) ในกลุ่มนี้จะต้องวางแผนให้มีศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง โดยทำการจัดเส้นทางไปพร้อมๆ กันตัวอย่างงานวิจัยในกลุ่มนี้ได้แก่ Fleischmann et al (2004)

นอกจากการจัดกลุ่มทั้ง 4 แบบที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นยังอาจจะสามารถจัดกลุ่มตามลักษณะอื่น ๆได้อีกเช่น ลักษณะของการส่ง หรือ รับอย่างเดียวหรือมีทั้งการส่งและการรับ, จำนวนพาหนะที่ใช้, ข้อจำกัดด้านระยะทางสูงสุด หรือจำนวนลูกค้าสูงสุดที่เดินทางไปได้ เป็นต้น

2.2.2 วิธีการแก้ปัญหาของปัญหา VRP

1. วิธีการแม่นตรง (Exact Method) วิธีการนี้จะใช้พื้นฐานจากการโปรแกรมเชิงเส้นตรง การโปรแกรมจำนวนเต็ม หรือวิธีการอื่น ที่จะทำให้ได้ค่าที่ดีที่สุด เช่น วิธีการ ตัดแบบระนาบ (Cutting Plane Method), วิธีบรานช์แอนด์บาว (Branch and Bound Method) งานวิจัยที่เป็นผู้นำทางด้านวิธีแม่นตรงได้แก่ Laporte and Nobert (1982)

2. วิธีการฮิวริสติกส์ (Heuristics) เป็นวิธีการที่เมื่อดำเนินการเสร็จเรียบร้อยจะได้ค่าที่ดี ไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่จะใช้เวลาสั้นกว่าวิธีการแบบแม่นตรงสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น วิธีการเจนเนติกส์ (Genetic Algorithm), วิธีการระบบมด (Ant System Algorithm) , วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization) เช่น Laporte et al. (1999), Nagy and Salhi (2005)

3. การจำลองแบบปัญหา (simulation) มักใช้กับปัญหาที่มีความไม่แน่นอนเกิดขึ้นเช่น ความต้องการไม่แน่นอน ระยะเวลาในการให้บริการไม่แน่นอน ตัวอย่างงานวิจัยที่เด่น ๆในการจำลองแบบปัญหาได้แก่ Kim et al (2005) [Online].Goodle:http://www.ubu.ac.th/~pitakaso/1302476/new_doc/ch06_s.pdf)

2.3 สถิติและการวัดการกระจายของข้อมูล

2.3.1 การวัดการกระจายของข้อมูล

การวัดการกระจาย (Measures of Dispersion) เป็นสถิติประเภทหนึ่งที่คำนวณออกมาเป็นตัวเลขเพื่อใช้อธิบายลักษณะการกระจายของข้อมูล การที่ข้อมูลชุดหนึ่งๆ ประกอบด้วยคะแนนที่มีค่าต่างๆ กันเรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า เป็นข้อมูลที่มีการกระจาย ถ้าข้อมูลชุดนั้นประกอบด้วยคะแนนที่มีค่าต่างกันมาก เรียกว่า เป็นข้อมูลที่มีกระจายมาก ถ้าข้อมูลชุดนั้นประกอบด้วยคะแนนที่มีค่าต่างกันน้อย เรียกว่า เป็นข้อมูลที่มีการกระจายน้อย และถ้าข้อมูลชุดนั้นประกอบด้วยคะแนนที่มีค่าเท่ากันหมด เรียกว่า เป็นข้อมูลที่ไม่มีการกระจาย การวัดการกระจายนิยมใช้ควบคู่กับการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง เพราะจะช่วยอธิบายลักษณะของข้อมูลได้ชัดเจนขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากการวัดแนวโน้มเข้าสู่กลางเป็นเพียงการบอกค่ากลางของข้อมูลชุดนั้น แต่เราก็ยังไม่ทราบชัดเจนถึงลักษณะการกระจายของข้อมูลว่าคะแนนต่างๆ ในชุดข้อมูลนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน หรือแตกต่างกันมาก ถ้าเรามีทั้งค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางและค่าการกระจายก็จะทำให้เข้าใจลักษณะข้อมูลนั้นได้ชัดเจนขึ้นมากกว่ามีแต่ค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางเพียงอย่างเดียว การวัดการกระจายของข้อมูล แบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ

1. การวัดการกระจายสัมบูรณ์ (Absolute Variation) คือการวัดการกระจายของข้อมูลเพียงชุดเดียว เพื่อดูว่าข้อมูลชุดนั้นแต่ละค่ามีความแตกต่างกันมากหรือน้อยเพียงไร นิยมใช้กันอยู่ 4 ชนิด คือ

1.1 พิสัย (Range) หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดของข้อมูลดังสมการที่ 2.1

$$\text{พิสัย} = x_{max} - x_{min} \tag{2.1}$$

เมื่อ x_{max} แทน ข้อมูลสูงสุด , x_{min} แทนข้อมูลต่ำสุด

ถ้าพิสัยมีค่ามากแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายมาก แต่ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่ามีการกระจายน้อยแต่พิสัยเป็นการวัดการกระจายอย่างหยาบ ๆ ไม่ใช่ค่าวัดการกระจายที่ดี เพราะใช้เพียง 2 ค่าเท่านั้น ค่าอื่น ๆ ไม่ได้นำมาใช้ในการคำนวณ ในกรณีของข้อมูลแจกแจงความถี่เป็นอันตรภาคชั้น สามารถหาพิสัยได้ดังนี้

พิสัย = ขีดจำกัดบนที่แท้จริงของคะแนนในอันตรภาคชั้นสูงสุด – ขีดจำกัดล่างที่แท้จริงของคะแนนในอันตรภาคชั้น แต่ถ้าข้อมูลที่เป็นอันตรภาคชั้นเปิดจะหาพิสัยไม่ได้

1.2 ส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (Quartile Deviation) หมายถึง ค่าครึ่งหนึ่งของผลต่างระหว่างควอร์ไทล์ที่ 3 กับ ควอร์ไทล์ที่ 1 ดังสมการที่ 2.2

$$Q.D. = \frac{Q_3 - Q_1}{2} \tag{2.2}$$

ส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ ไม่ถูกกระทบกระเทือนโดยค่าสูงหรือต่ำที่ผิดปกติ เป็นค่าอิสระไม่ขึ้นกับจำนวนของข้อมูล เช่นเพิ่มจำนวนข้อมูล (N) ก็ไม่กระทบกระเทือนค่านี้ แต่ส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ไม่ใช้กับข้อมูลส่วนใหญ่ และไม่สามารถคำนวณได้ถ้าจำนวนข้อมูล (N) น้อย

1.3 ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Mean Deviation หรือ Average Deviation) หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละตัว ที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลชุดนั้น โดยไม่คำนึงถึงทิศทางหรือเครื่องหมายใช้สัญลักษณ์ M.D. หรือ A.D. ดังสมการที่ 2.3 หรือ 2.4

$$M.D. = \frac{\sum_{i=1}^{N} |x_i - \bar{x}|}{N} \tag{2.3}$$

$$M.D. = \frac{|x_1 - \bar{x}| + |x_2 - \bar{x}| + \cdots + |x_N - \bar{x}|}{N} \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า M.D. มีค่ามากแสดงว่า ข้อมูลมีการกระจายมาก แต่ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่า ข้อมูลมีการกระจายน้อย

ข้อดีคือใช้ข้อมูลทุก ๆ ค่ามาใช้ในการคำนวณ ข้อเสียคือไม่เหมาะสมในการคำนวณชั้นสูง เพราะมีการใช้ค่าสัมบูรณ์ไว้หรือไม่ได้นำเครื่องหมายของการเบี่ยงเบนมาใช้ในการคำนวณ

1.4 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) จากการหาส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ยต้องติดค่าสมบูรณ์ เพราะมิฉะนั้นแล้วผลบวกของส่วนเบี่ยงเบนมีค่าเป็นศูนย์ เพื่อการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งหมายถึง รากที่สองของกาลังสองของข้อมูลแต่ละตัวที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลชุดนั้น เป็นวิธีที่ดีที่สุดและใช้ในทางสถิติมากที่สุด โดยใช้สรุปลักษณะของข้อมูลควบคู่กับค่าเฉลี่ยเลขคณิต

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้สูตรดังนี้

1. ข้อมูลที่ได้มาจากประชากรทั้งหมดดังสมการที่ 2.5

2. ถ้า N มีจำนวนมากกว่าหรือเท่ากับ 30 ที่เป็นกลุ่มตัวอย่างของประชากร (เพราะมีการแจกแจงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าไม่แตกต่างกันหรือมีค่าเหมือนกับการคำนวณจากประชากร) ดังสมการที่ 2.6

$$\sigma = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^{N}(x_i-\mu)\right)^2}{N}} \tag{2.5}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^{N}x_i^2\right)}{N} - \left(\frac{\sum_{i=1}^{N}x_i}{N}\right)^2} \tag{2.6}$$

แต่ถ้า N ที่คำนวณจากกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนน้อยกว่า 30 ให้ใช้สมการที่ 2.7

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{N}x_i\right)^2}{N}}{N-1}} \tag{2.7}$$

ถ้า S.D. มีค่ามากแสดงว่า ข้อมูลมีการกระจายมาก แต่ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่า ข้อมูลมีการกระจายน้อย ข้อดีคือ ใช้ของข้อมูลทุก ๆ ค่ามาใช้ในการคำนวณและสามารถใช้ในการคานวณในสถิติเชิงอนุมานได้ ข้อเสียคือเป็นค่าที่ถูกกระทบกระเทือนหากมีค่าของข้อมูลที่ต่ำมาก ๆหรือสูงมาก ๆ ที่ผิดปกติ

2. การวัดการกระจายสัมพัทธ์ (Relative Variation) คือการวัดการกระจายของข้อมูลที่มากกว่า 1 ชุด โดยใช้อัตราส่วนของค่าที่ได้จากการวัดการกระจายสัมบูรณ์ กับค่ากลางของข้อมูลนั้นๆ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลเหล่านั้น มีอยู่ 4 ชนิด คือ

2.1 สัมประสิทธิ์ของพิสัย (Coefficient of Range) ดังสมการที่ 2.8

$$C.R. = \frac{x_{max}-x_{min}}{x_{max}+x_{min}} \tag{2.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (Coefficient of Quartile Deviation) ดังสมการที่ 2.9

$$C.Q.D. = \frac{Q_3 - Q_1}{Q_3 + Q_1} \quad (2.9)$$

2.3 สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Coefficient of Average Deviation) ดังสมการที่ 2.10

$$C.M.D. = \frac{M.D.}{\bar{x}} \quad (2.10)$$

2.4 สัมประสิทธิ์ของความผันแปร (สัมประสิทธิ์ของความผันแปร) ดังสมการที่ 2.11

$$C.V. = \frac{\sigma}{\mu} \text{ หรือ } \frac{s}{\bar{x}} \quad (2.11)$$

โดยที่ σ, s คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล , $\mu, \bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล (ธีระศักดิ์ อุรัจนานนท์, 2558)

3. Signal-To-Noise Ratio หมายถึง อัตราส่วนของสัญญาณระหว่างสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณรบกวน มีหน่วยเป็น dB ถ้าค่า SNR สูง บอกถึงการเชื่อมต่อมีความเสถียร สัญญาณไม่หลุด เกิดข้อผิดพลาดน้อย คุณภาพของการใช้งาน (quality of service) ดี SNR เป็นตัวชี้วัดความน่าเชื่อถือในการเชื่อมต่อ ในทางสถิติ SNR คือส่วนกลับของ สัมประสิทธิ์ของความผันแปร เป็นอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณหรือการวัดดังสมการที่ 2.12

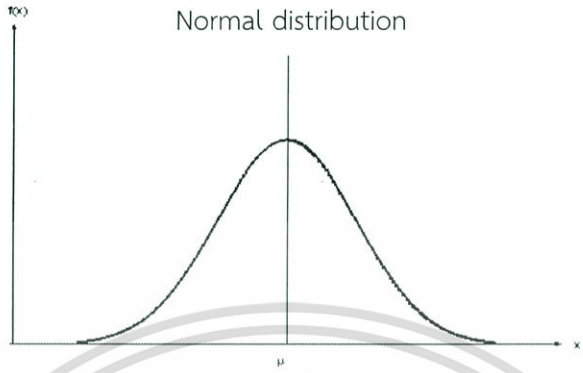
$$SNR = \frac{\mu}{\sigma} \quad (2.12)$$

โดยที่ μ คือค่าเฉลี่ยหรือค่าคาดหวังและ σ คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล จากทฤษฎีสามารถใช้ได้กับตัวแปรที่มีค่าเป็นบวกเท่านั้น (D. J. Schroeder, 1999; Bushberg, J. T., et al., 2006)

2.3.2 การแจกแจงแบบปกติ

การแจกแจงแบบปกติ หรือการแจกแจงแบบเกาส์ (Normal or Gaussian distribution)เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นของค่าของตัวแปรสุ่มที่เป็นค่าแบบต่อเนื่อง โดยที่ค่าของตัวแปรสุ่มมีแนวโน้มที่จะมีค่าอยู่ใกล้ๆ กับค่าๆหนึ่ง (เรียกว่าค่ามัชฌิม) สามารถใช้ได้กับข้อมูลสถานการณ์ และปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้หลากหลาย เช่น น้ำหนัก ส่วนสูง อายุการใช้งาน ค่าใช้จ่าย ความเร็ว คะแนนสอบ ปริมาณน้ำตาลในเลือด และปริมาณผลผลิตการเกษตร เป็นต้น และยังใช้ในการวิเคราะห์สถิติอนุมานรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ แสดงด้วย เส้นโค้งความน่าจะเป็น ที่มีพื้นที่ใต้เส้นโค้งทั้งหมดเป็น 1 ลักษณะของเส้นโค้งปกติเป็นรูประฆังคว่ำ มีจุดศูนย์กลางที่ค่าเฉลี่ยของประชากร และสมมาตรรอบค่าเฉลี่ย ซึ่งทำให้ ค่าเฉลี่ย มัธยฐานและฐานนิยม อยู่ที่จุดเดียวกัน ลักษณะของเส้นโค้งปกติแสดงในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงลักษณะของเส้นโค้งปกติ

นิยาม ถ้า X เป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ที่มีค่าเฉลี่ย μ และความแปรปรวน σ^2 จะมีฟังก์ชันความน่าจะเป็น ดังสมการที่ 2.13

$$f(x;\mu,\sigma^2)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}};-\infty<x<\infty,-\infty<\mu<\infty,\sigma>0 \qquad (2.13)$$

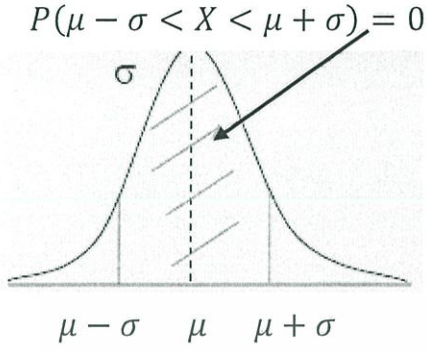
เมื่อ $e=2.71828\ldots$, $\pi=3.14159$; เมื่อ μ , σ^2 เป็นพารามิเตอร์หรือเขียนสั้นๆว่า $X\sim N(\mu,\sigma^2)$ มีค่าเฉลี่ย μ และความแปรปรวน σ^2

พารามิเตอร์ μ และ σ^2 เป็นสิ่งที่กำหนดลักษณะเฉพาะของการแจกแจงหนึ่ง ๆ ว่า มีศูนย์กลางอยู่ที่ค่าใด และมีการกระจายของค่าต่าง ๆ ในประชากรมากน้อยเพียงใด เส้นโค้งปกติจะมีพื้นที่ใต้โค้งโดยรวมเป็น 1 และสามารถกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่ตัวแปรสุ่ม X จะมีค่าอยู่รอบค่าเฉลี่ย เช่น ประมาณ 68% ของค่าข้อมูลในประชากรปกติจะอยู่ในช่วง $\mu \pm\sigma$ ดังในรูปที่ 2.6

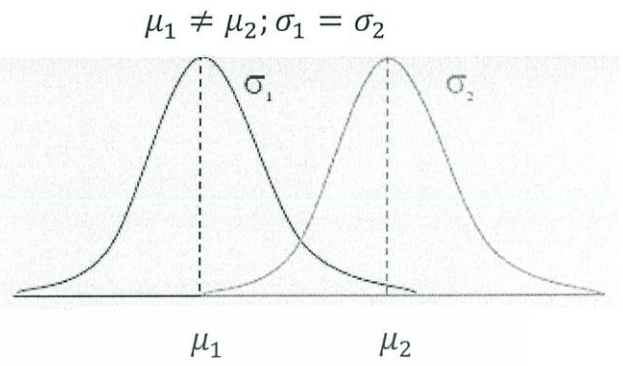
กรณีที่ข้อมูลมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากันแต่ค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน ลักษณะของเส้นโค้งปกติจะแสดงในรูปที่ 2.7

กรณีที่ข้อมูลมีค่าเฉลี่ยเท่ากันแต่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เท่ากัน ลักษณะของเส้นโค้งปกติจะแสดงในรูปที่ 2.8

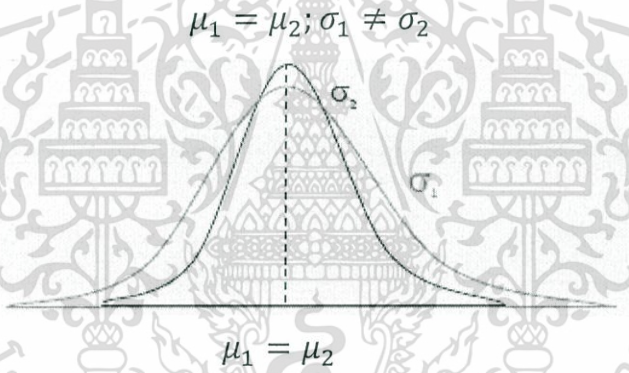
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงพื้นที่ของเส้นโค้งปกติ



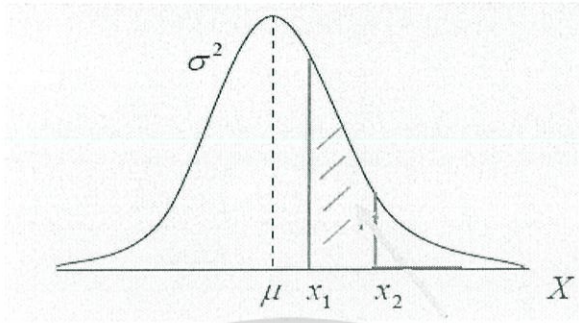
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงลักษณะของเส้นโค้งปกติเมื่อข้อมูลมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากันแต่ค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงลักษณะของเส้นโค้งปกติเมื่อข้อมูลมีค่าเฉลี่ยเท่ากันแต่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เท่ากัน

พื้นที่ใต้โค้งปกติ คือ ความน่าจะเป็น ดังนั้น ถ้า $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ และถ้าทราบค่า μ และ σ^2 ต้องการหาความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม X ในช่วง x_1 ถึง x_2 นั่นคือ หาค่า $P(x_1 < X < x_2)$ จะต้องอาศัยฟังก์ชันของโค้งปกติ $f(x; \mu, \sigma^2)$ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 พื้นที่ใต้โค้งปกติแสดงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม X ในช่วง x_1 ถึง x_2

สมการสำหรับคำนวณพื้นที่ใต้โค้งปกติคือ

$$P(x_1 < X < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x;\mu,\sigma^2)dx = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \qquad (2.14)$$

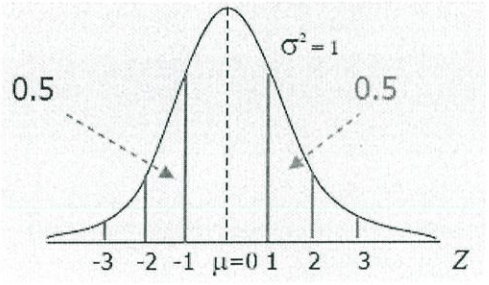
การแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Standard Normal Distribution) ในการคำนวณความน่าจะเป็นโดยใช้การอินทิเกรตฟังก์ชัน $f(x;\mu,\sigma^2)$ ซึ่งมีความยุ่งยากมาก จึงมีนักสถิติพยายามสร้างตารางเพื่อแสดงพื้นที่ใต้โค้งปกติที่ครอบคลุมค่า $-\infty < x < \infty$, $-\infty < \mu < \infty$, $\sigma > 0$ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยการแปลงค่าของตัวแปรสุ่มแบบปกติ X ที่มีค่าเฉลี่ย μ และความแปรปรวน σ^2 ไปเป็นตัวแปรสุ่มใหม่ เรียกว่า "ตัวแปรสุ่มแบบปกติมาตรฐาน" แทนด้วย Z แปลงตัวแปรสุ่ม $X \sim N(\mu, \sigma^2) \rightarrow Z \sim N(0,1)$ ด้วยสูตร $z = \frac{X-\mu}{\sigma}$ ตัวแปรสุ่ม Z จะมีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าเฉลี่ย 0 และความแปรปรวน 1เรียกว่า "การแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Standard Normal Distribution)"

นิยาม ถ้า Z เป็นตัวแปรสุ่ม ที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน มีค่าเฉลี่ย 0 และความแปรปรวน 1 จะมีฟังก์ชันความน่าจะเป็น ดังนี้

$$f(z;\mu=0,\sigma^2=1) = f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-z^2}{2}}; -\infty < z < \infty \qquad (2.15)$$

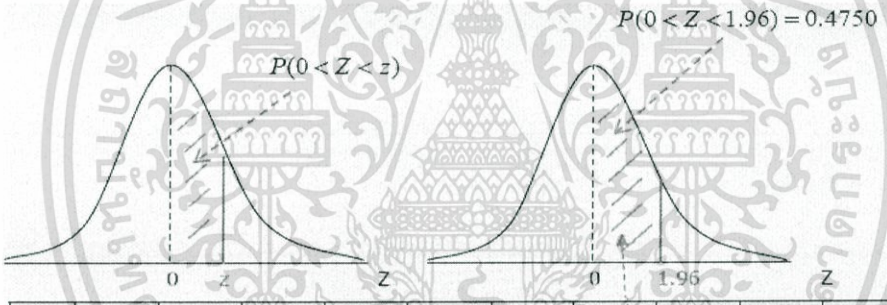
หรือเขียนสั้นๆว่า $Z \sim N(0,1)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงพื้นที่ใต้โค้งปกติที่ครอบคลุมค่า $-\infty < x < \infty$, $-\infty < \mu < \infty$, $\sigma > 0$

การหาความน่าจะเป็นแบบปกติมาตรฐาน คือ การหาพื้นที่ใต้เส้นโค้งปกติมาตรฐานในช่วงที่ต้องการ หรือโดยอาศัยตารางการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานตารางที่ 4 ดังนี้$P(0 < Z < z) = P(0 \le Z \le z)$ = พื้นที่ใต้โค้งปกติมาตรฐานที่ Z มีค่าระหว่าง 0 ถึง z ดังแสดงในรูปที่ 2.11



z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0139	.0359
.1										
.2										
.3										
...	...	...								...
1.9							.4750			
...	...	...								...
3.0										.4990

รูปที่ 2.11 พื้นที่ใต้เส้นโค้งปกติและตารางการแจกแจงแบบปกติ (WICHUDA,2013)

2.3.3 การแจกแจงแบบเอกรูป

การแจกแจงแบบสม่ำเสมอ เป็นการแจกแจงของตัวแปรสุ่ม X โดยที่ค่าของตัวแปรสุ่มอยู่ ในช่วง [a, b]

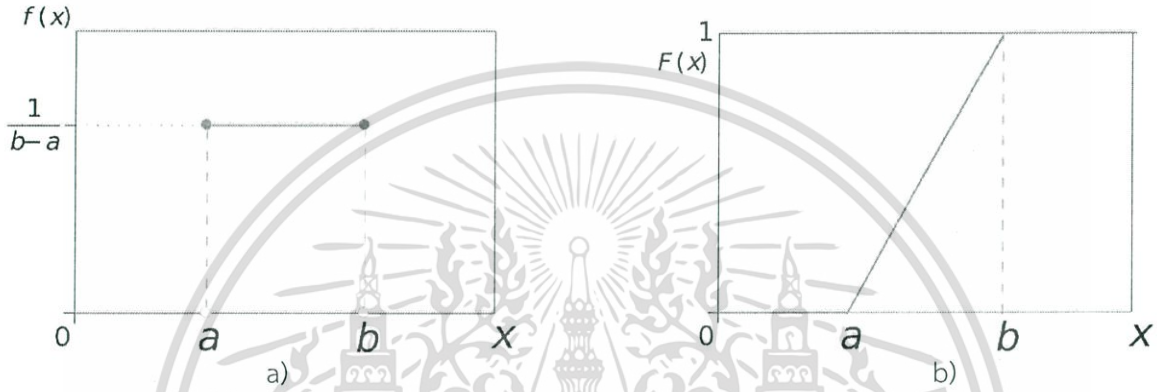
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง (p.d.f) คือ

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, a \le x \le b \\ 0, \text{เมื่อ } x \text{ มีค่าอื่นๆ} \end{cases}$$

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (c.d.f) คือ

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{เมื่อ } x \in [a,b) \\ 1 & \text{เมื่อ } x \ge b \end{cases}$$



รูปที่ 2.12 แสดงรูปแบบกราฟของ a) ฟังก์ชันความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่องและ b) ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม ของการแจกแจงแบบเอกรูป

มีค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนคือ

$$\mu = E(X) = \frac{a+b}{2} \quad (2.16)$$

$$\sigma^2 = V(X) = \frac{(a-b)^2}{12} \quad (2.17)$$

(Wikipedia,2015)

2.3.4 การแจกแจงแบบสามเหลี่ยม

การแจกแจงแบบสามเหลี่ยมเป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่องที่มีขีดจำกัดล่างคือ a ขีดจำกัดบนคือ b และมีค่าฐานนิยมคือ c โดยที่ $a < b$ และ $a \le c \le b$.

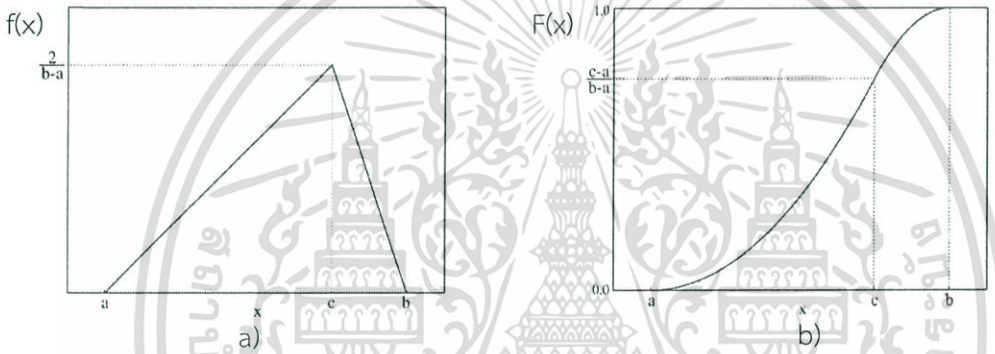
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีฟังก์ชันความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง (p.d.f) คือ

$$f(x)=\begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } x < a \\ \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & \text{เมื่อ } a \le x \le c \\ \frac{2}{b-a} & \text{เมื่อ } x = c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} & \text{เมื่อ } c < x \le b, \\ 0 & \text{เมื่อ } b < x, \end{cases}$$

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (c.d.f) คือ

$$F(x)=\begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } x<a \\ \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)} & \text{เมื่อ } a\le x\le c, \\ 1-\frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)} & \text{เมื่อ } c<x\le b, \\ 1 & \text{เมื่อ } b<x \end{cases}$$



รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบกราฟของ a).ฟังก์ชันความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง b). ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม ของการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม

มีค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนคือ

$$\mu = \frac{a+b+c}{3} \qquad (2.18)$$

$$\sigma^2 = V(x) = \frac{a^2+b^2+c^2-ab-ac-bc}{18} \qquad (2.19)$$

(Wikipedia, 2015)

2.4 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) เป็นการรวบรวมวิธีการต่างๆที่ใช้จำลองสถานการณ์จริงหรือพฤติกรรมของระบบต่างๆมาไว้บนคอมพิวเตอร์โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software) เข้ามาช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่างๆ โดยมีการเก็บข้อมูล และทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่ถูกต้องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงในอนาคต (Kelton, et al., 2003)

เนื่องจากในการปฏิบัติงานจริงไม่สามารถที่จะทำการทดลองหรือปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานได้จนกว่าจะมองเห็นถึงประโยชน์ที่จะได้รับ อาทิเช่น การขจัดปัญหาที่อยู่นอกเหนือความคาดหมายที่เกิดขึ้น ทำให้กระบวนการผลิตช้าลง ดังนั้นการจำลองสถานการณ์ (Simulation) จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์สภาพที่เป็นอยู่ในปัจจุบันของระบบ และช่วยหาแนวทางหรือทางเลือก (Scenario) ที่เหมาะสม ก่อนนำไปใช้กับสถานการณ์หรือการปฏิบัติงานจริง ซึ่งจะช่วยให้ลดความเสี่ยงในการเกิดความผิดพลาด หรือความล้มเหลวได้ นอกจากนี้ยังช่วยให้ประหยัดทั้งค่าใช้จ่าย และเวลาได้อีกทางด้วย (Maria, 1997)

ในปัจจุบันนี้การจำลองสถานการณ์เป็นที่นิยมอย่างมาก เนื่องจากระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้การจำลองสถานการณ์สามารถนำมาไปประยุกต์ใช้ได้กับหลากหลายอุตสาหกรรม อาทิเช่น อุตสาหกรรมในโรงงาน, การขนส่ง, การกระจายสินค้าหรือแม้กระทั่งการให้การบริการทางธุรกิจต่างๆ เช่น ธนาคาร โรงพยาบาล เป็นต้น (Kelton, et al., 2003)

จากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญการจำลองสถานการณ์ พบว่าสิ่งสำคัญหรือข้อดีของการจำลองสถานการณ์คือมีความสมเหตุสมผล และสามารถพิสูจน์ได้ภายใต้ปัจจัยการนำเข้า (Input) และนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ (Output) ที่ระบบประมวลออกมา (Maria, 1997)

Kelton, et al. (2003) ได้จำแนกประเภทของสถานการณ์จำลอง (Simulation Classification) ออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1 Static และ Dynamics

- Static คือ การเกิดของเหตุการณ์ในระบบการทำงาน ที่คงที่กับเวลาเสมอ

- Dynamic คือ การเปลี่ยนแปลงของเวลาจะมีความสำคัญและมีผลกระทบต่อเหตุการณ์ต่างๆหรือตัวแปรที่กำลังสนใจ

2 Continuous และ Discrete

- Continuous คือ สภาวการณ์ของระบบที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

- Discrete คือ สภาวการณ์ของระบบที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ณ จุดหนึ่งจุดใดของเวลา โดยมีความน่าจะเป็น (Probability) เข้ามาเกี่ยวข้อง

3 Deterministic และ Stochastic

- Deterministic คือ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะเกิดขึ้นภายใต้กฎเกณฑ์ที่แน่นอนและได้มีการกำหนดเวลาที่แน่นอน

- Stochastic คือ เวลาจะมีผลกระทบมาจากความน่าจะเป็นหรือความแปรปรวนจากการมาของเวลาที่ไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้ Simulation Model มี 11 ขั้นตอนดังนี้ (Maria, 1997)

1 ศึกษาปัญหา (Problem Formulation) การกำหนดวัตถุประสงค์ของระบบ การกำหนดขอบเขต ข้อจำกัดต่างๆ และวิธีการประเมินผล

2 สร้างโมเดล (Model Building) การเขียนแบบจำลองที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

3 เก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collecting) การวิเคราะห์หาข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองและจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานกับแบบจำลองได้

4 สร้างตัวแปร (Coding) เป็นแปลงแบบจำลองให้อยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Verification) เป็นการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองสามารถใช้แทนระบบจริงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้

6 พิสูจน์ผลว่าสามารถใช้ได้หรือไม่ (Validation) เป็นการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองสามารถใช้แทนระบบจริงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้

7 ออกแบบการทดลอง (Experimental Design) เป็นการออกแบบการทดลองที่ทำให้แบบจำลองสามารถให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยกำหนดเงื่อนไขในการทดลอง

8 ทำการประมวลผล (Production Runs) การคำนวณหาข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องการและความไวของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแบบจำลอง

9 วิเคราะห์ผล (Analysis of Results) จากผลการทดลองที่ได้รับ ตีความว่าระบบจริงมีปัญหาอย่างไรและการแก้ไขปัญหาจะได้ผลอย่างไร

10 แปลงและแสดงผลรายงาน (Document Program และ Report Results) การบันทึกกิจกรรมในการจัดทำแบบจำลอง โครงสร้างของแบบจำลอง วิธีการใช้งานและผลที่ได้จากการใช้งาน เพื่อประโยชน์สำหรับผู้นำแบบจำลองไปใช้งาน และการปรับปรุงแบบจำลอง

11 ดำเนินการ (Implementation) เปรียบเทียบผลการทดลอง เลือกวิธีการที่แก้ไขปัญหาได้ดีที่สุดไปใช้กับระบบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

จากการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีความไม่แน่นอนของอุปสงค์ ได้ทำการวางแผนการดำเนินงานและกำหนดระยะเวลาการดำเนินงาน โดยแบ่งเป็นลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. รูปแบบของปัญหาที่ทำการวิจัย
2. วิธีการคำนวณต้นทุนในการขนส่งและระดับการให้บริการ
3. วิธีการสร้างแบบจำลอง
4. วิธีการสร้างตัวเลขสุ่ม
5. การพัฒนาโปรแกรม

3.1 รูปแบบของปัญหาที่ทำการศึกษา

ในการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถโดยใช้การจำลองสถานการณ์มีหลายวิธีทั้งการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปและโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเอง ซึ่งในโครงงานนี้ใช้การพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเองเนื่องจากมีข้อได้เปรียบที่สามารถสร้างแบบจำลองแค่ครั้งเดียวแต่สามารถนำไปใช้กับทุกปัญหาโดยที่ไม่ต้องทำการสร้างแบบจำลองใหม่ ลักษณะของปัญหาที่ทำการวิจัยในครั้งนี้เป็นปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีความจุรถจำกัด ซึ่งประกอบด้วย เซตของอุปสงค์ของลูกค้าแต่ละรายที่มีค่าคงที่ พิกัดของลูกค้าและศูนย์กระจายสินค้า จำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่ง จำนวนลูกค้า และ ปริมาณความจุของรถบรรทุก ปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยนี้อ้างอิงมาจากงานวิจัยของ P. Augerat, J.M. Belenguer, E. Benavent, A. Corberán, D. Naddef, G. Rinaldi ปัญหาที่ทำการวิจัยมีจำนวนทั้งสิ้น 25 ปัญหาซึ่งปัญหาทั้ง 25 ปัญหาอ้างอิงมาจากเว็บไซต์ http://www.coin-or.org/SYMPHONY/branchandcut/VRP/data/index.htm ชื่อของปัญหาจะแสดงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักด้านซ้ายมือและพารามิเตอร์ของปัญหาจะอยู่ที่หลักด้านขวามือ โดยกำหนดให้ a คือ จำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่ง b คือ จำนวนลูกค้า และ c คือ ปริมาณความจุของรถบรรทุก

ตารางที่ 3.1 รูปแบบของปัญหา 25 ปัญหา

ลำดับ	ชื่อปัญหา	(a,b,c)
1	P-n19-k2	(2,18,160)
2	P-n55-k8	(8,54,160)
3	P-n55-k7	(7,54,170)
4	P-n60-k15	(15,59,80)
5	P-n76-k5	(5,75,280)
6	P-n101-k4	(4,100,400)
7	A-n33-k5	(5,32,100)
8	A-n53-k7	(7,52,100)
9	A-n64-k9	(9,63,100)
10	A-n80-k10	(10,79,100)
11	B-n45-k5	(5,44,100)
12	B-n41-k6	(6,40,100)

ลำดับ	ชื่อปัญหา	(a,b,c)
13	B-n51-k7	(7,50,100)
14	B-n66-k9	(9,65,100)
15	B-n78-k10	(10,77,100)
16	F-n45-k4	(4,44,2010)
17	F-n72-k4	(4,71,30000)
18	F-n135-k7	(7,134,2210)
19	E-n22-k4	(4,21,6000)
20	E-n23-k3	(3,22,4500)
21	E-n76-k10	(10,75,140)
22	E-n76-k14	(14,75,100)
23	E-n33-k4	(4,32,8000)
24	M-n121-k7	(7,120,200)
25	M-n101-k10	(10, 100,200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เห็นภาพของรูปแบบปัญหาหนึ่งใน 25 ปัญหาผู้วิจัยขอยกตัวอย่างปัญหา B-n45-k5 ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.1

```
\Name : B-n45-k5                                                    (1)
COMMENT : (Augerat et al, No of trucks : 5, Optimal value: 751      (2)
TYPE : CVRP                                                         (3)
DIMENSION : 45                                                      (4)
EDGE_WEIGHT_TYPE : EUC_2D
CAPACITY : 100                                                      (5)
NODE_COORD_SECTION                                                  (6)
1 53 22
2 32 28
DEMAND_SECTION                                                      (7)
1 0
2 1
3 19
4 19
DEPOT_SECTION
```

รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบของตัวอย่างปัญหาที่ทำการวิจัย

จากรูปที่ 3.1 ปัญหาประกอบด้วย

1. ชื่อของปัญหา
2. ปัญหาที่อ้างอิง จำนวนรถบรรทุก และคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา
3. ชนิดของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ
4. จำนวนลูกค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปริมาณความจุของรถ
6. แสดงพิกัดของจุดรับสินค้าและพิกัดของลูกค้า ณ จุดต่างๆ ตามลำดับ
7. ปริมาณอุปสงค์ ณ พิกัดต่างๆ ตามลำดับ

คำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแสดงในรูปที่ 3.2 ประกอบด้วยคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา จำนวนรถบรรทุก 5 คัน, ปริมาณอุปสงค์ของลูกค้าจำแนกตามเส้นทาง, และต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด

Route #1: 16 33 19 26 25 11 29 4 43

Route #2: 9 7 34 27 14 44 18 36

Route #3: 1 37 32 15 2 13 28

Route #4: 3 31 38 20 35 24 10 17 23 30

Route #5: 39 5 41 22 8 21 12 6 40 42

Cost 751

รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบของคำตอบของปัญหาที่ทำการวิจัย

3.2 วิธีการคำนวณต้นทุนในการขนส่งและระดับการให้บริการ

3.2.1 ต้นทุนในการขนส่ง

จากตัวอย่างปัญหา B-n45-k5 เราต้องการที่จะคำนวณว่าต้นทุนการขนส่งเปลี่ยนไปเท่าไรจากความแปรผันของอุปสงค์ ในการคำนวณต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นจะกำหนดให้ต้นทุนในการขนส่งอยู่ที่อัตรา 1 บาทต่อ 1 หน่วยระยะทาง ผลที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบในรูปแบบร้อยละของอัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนที่เปลี่ยนไปกับต้นทุนรวมการขนส่งเมื่ออุปสงค์คงที่โดยที่ระยะทางของการขนส่งคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$s_{ij} = \sqrt{\left[\left(x_i - x_j\right)^2 + \left(y_i - y_j\right)^2\right]} \qquad (3.1)$$

เมื่อ s_{ij} คือ ระยะขจัดระหว่าง i กับ j (ระยะทางจาก i ไป j) โดยที่ x และ y เป็นพิกัดในแนวนอนและแนวตั้งของลูกค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การวัดระดับการให้บริการ

การวัดระดับการให้บริการมีจุดประสงค์เพื่อดูผลกระทบของความไม่แน่นอนของอุปสงค์ที่มีต่อระดับการให้บริการจากการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าในจุดต่างๆตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุด เพราะจากตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถทั้ง25ปัญหา ไม่มีการวัดระดับการให้บริการ เราจึงได้สร้างวิธีการวัดระดับการให้บริการขึ้นมาโดยในการวัดระดับการให้บริการจะแบ่งออกเป็นสองชนิด โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงผลออกมาเป็นเปอร์เซนต์ตามการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์ที่ช่วงการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ผลลัพธ์ที่ได้จะใช้เป็นตัวเลือกในการประกอบการตัดสินใจในการปรับปรุงระดับการให้บริการของผู้ประกอบการ

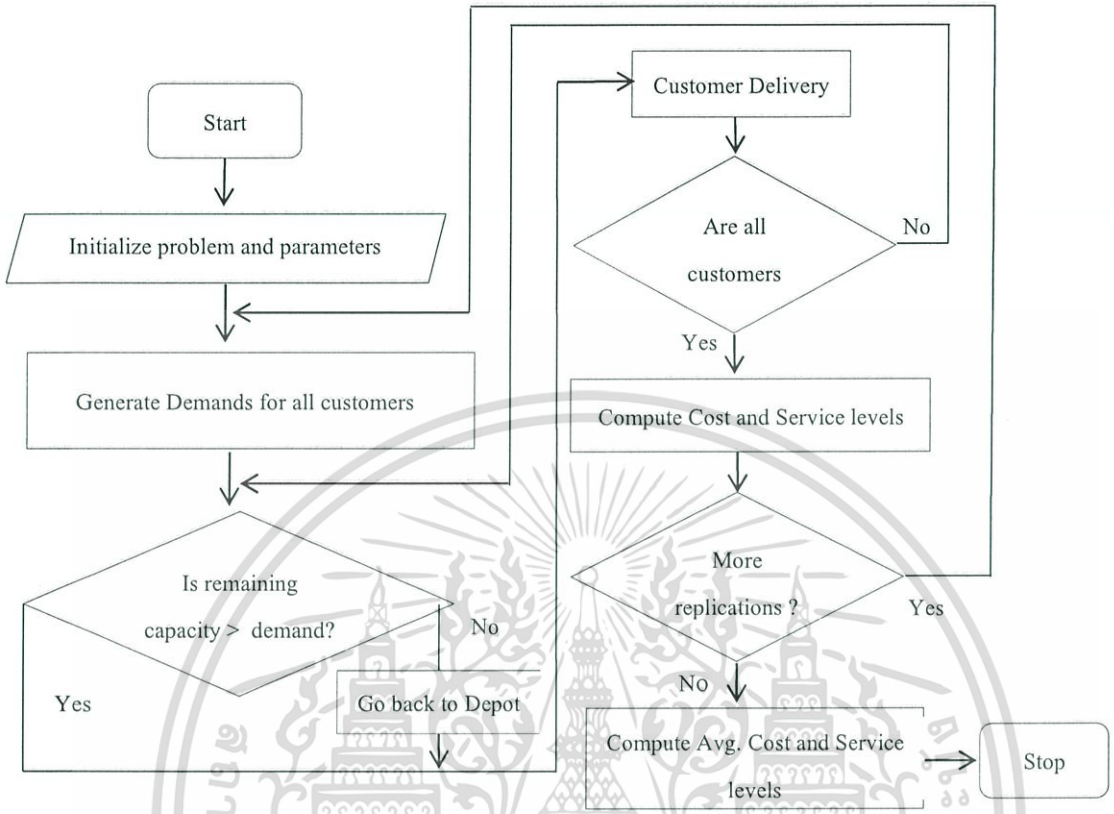
- ระดับการให้บริการประเภทที่ 1 คำนวณจากร้อยละของจำนวนลูกค้าที่สามารถส่งสินค้าภายในรอบแรกของการขนส่ง
- ระดับการให้บริการประเภทที่ 2 คำนวณจากร้อยละของจำนวนลูกค้าที่ใช้ระยะทางน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะทางรวมในการขนส่งเมื่อปริมาณอุปสงค์คงที่

เมื่อทำการจำลองสถานการณ์ครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้ จากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของต้นทุนรวมการขนส่งและระดับการให้บริการ

3.3 วิธีการสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้ศึกษาผลกระทบของความไม่แน่นอนของอุปสงค์นี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยภาษา C# มีลักษณะของ Algorithm การคำนวณแสดงเป็น Flow Chart ดังแสดงในรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดง Flow Chart การทำงานของโปรแกรม

จาก รูปที่ 3.3 การทำงานเริ่มจากการกำหนดจำนวนรอบของการจำลองสถานการณ์ และตามด้วยการสร้างตัวเลขสุ่มจากปริมาณอุปสงค์ของลูกค้าแต่ละรายตามรูปแบบการแจกแจงที่เลือกไว้ เทคนิคการสร้างตัวเลขสุ่มในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี Convolution Method สำหรับรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ และวิธี Inverse Method สำหรับการแจกแจงแบบเอกรูปและการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม จากนั้นทำการตรวจสอบปริมาณสินค้าที่เหลืออยู่ในรถขนส่งสินค้า (Capacity) ถ้ามีน้อยกว่าปริมาณอุปสงค์ (Demand) ของลูกค้ารายถัดไป ให้รถขนส่งสินค้าทำการวนรถกลับไปที่ศูนย์กระจายสินค้า (Depot) เพื่อรับสินค้าใหม่จนเต็มจำนวนที่สามารถบรรทุกได้และขนส่งสินค้าไปให้กับลูกค้ารายที่ยังไม่ได้รับสินค้าถัดไปตามลำดับจนครบจำนวนลูกค้า จากนั้นทำการคำนวณต้นทุนการขนส่งและระดับการให้บริการ สำหรับวิธีการที่ใช้ในการสร้างตัวเลขสุ่มจะอธิบายในหัวข้อ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการสร้างตัวเลขสุ่ม

การสร้างตัวเลขสุ่มเพื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณอุปสงค์ของลูกค้าแต่ละรายจากค่าคงที่เป็นปริมาณอุปสงค์ที่มีความไม่แน่นอนหรือความแปรปรวน โดยผู้วิจัยใช้การสร้างตัวเลขสุ่มจากปริมาณอุปสงค์ของลูกค้าแต่ละรายตามรูปแบบการแจกแจงที่เลือกไว้โดยใช้เทคนิคดังต่อไปนี้

3.4.1 เทคนิคการสร้างตัวเลขสุ่มจากการแจกแจงของความน่าจะเป็น

3.4.1.1 เทคนิคการสร้างตัวเลขสุ่มแบบ Inverse Method

นิยาม กำหนดให้ x คือ ตัวแปรสุ่มที่มีลักษณะการแจกแจงที่สามารถอธิบายได้โดยฟังก์ชั่นค่าความน่าจะเป็นสะสม F(x) ดังนั้นสามารถสร้างตัวแปรสุ่ม x จากฟังก์ชันค่าความน่าจะเป็นสะสม F(x) โดยมีขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเลขสุ่ม R จากช่วง (0,1)

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าจากตัวอย่างที่ต้องการ, $x = F^{-1}(R)$ (3.2)

ตัวอย่าง กำหนดฟังก์ชันค่าความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงแบบเอกรูปดังนี้

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } x < a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & \text{เมื่อ } x \in [a,b) \\ 1 & \text{เมื่อ } x \geq b \end{cases}$$

จาก Inverse Method จะได้

$$R = \frac{x-a}{b-a}$$

ย้ายข้างเพื่อหา x_i จะได้สมการสำหรับสร้างตัวเลขสุ่มของการแจกแจงแบบเอกรูป

$$\therefore x_i = (b-a)R + a$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.2 <u>เทคนิคการสร้างตัวเลขสุ่มแบบ Convolution Method</u>

สำหรับการแจกแจงแบบปกติสามารถสร้างตัวแปรสุ่ม x จากฟังก์ชันค่าความน่าจะเป็นสะสม (F(x)) โดยใช้สูตรการแปลงของ Box-Muller หรือ (Box-Muller Transformation)

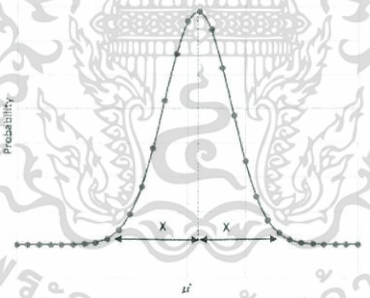
$$y = \mu + \sigma x \tag{3.3}$$

โดยที่ $$x = \cos(2\pi R_2)\sqrt{-2Ln(R_1)}$$

หรือ $$x = \sin(2\pi R_2)\sqrt{-2Ln(R_1)}$$ (Hamdy A. Taha, 2007)

3.4.2 การสร้างตัวเลขสุ่มในแต่ละรูปแบบของการแจกแจงสำหรับกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร

3.4.2.1 <u>สำหรับการแจกแจงแบบปกติ</u>



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะกราฟของการแจกแจงแบบปกติ (กรณี I)

จาก PDF สมมุติให้ช่วงระหว่าง μ มีค่าเท่ากับ x

กำหนดให้

$$\frac{\sigma}{\mu} = \%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์}$$

ดังนั้น

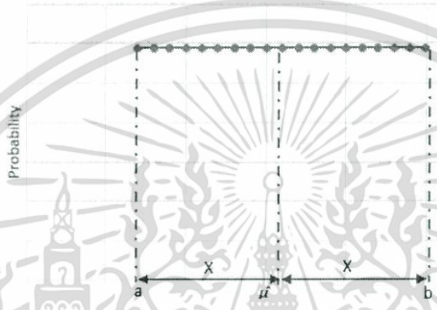
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma = \mu \times \%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์}$$

แทนค่า x และ σ ลงในสมการ (3.3) จะได้สมการสำหรับสร้างอุปสงค์อย่างสุ่มของลูกค้าดังสมการที่ 3.4

$$x_i = \mu + \mu \times \%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์} \times sin(2\pi R)\sqrt{-2Ln(R)} \qquad (3.4)$$

3.4.2.2 <u>สำหรับการแจกแจงแบบเอกรูป</u>



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะกราฟของการแจกแจงแบบเอกรูป (กรณี I)

จาก PDF เราสมมุติให้ช่วงระหว่าง a และ μ และ ระหว่าง μ และ b มีค่าเท่ากับ x

ดังนั้นสรุปได้ว่า $a = \mu - x$, $b = \mu + x$

จากค่าความแปรปรวน $$V = \frac{(b-a)^2}{12}$$

$$\sigma^2 = \frac{(\mathrm{b-a})^2}{12} \rightarrow \sigma = \frac{b-a}{\sqrt{12}}$$

แทนค่า a และ b จะได้

$$\sigma = \frac{2x}{\sqrt{12}}$$

กำหนดให้

$$\frac{\sigma}{\mu} = \%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์}$$

ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma = \mu \times \%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์}$$

แทนค่า σ ลงในสมการของ และทำการย้ายข้าง

$$\frac{2x}{\sqrt{12}} = \mu \times \%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์}$$

ดังนั้น $$\mathrm{x} = \frac{\sqrt{12}}{2} \times \mu \times \%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์}$$

จาก CDF ของสมการที่ (2.7) ใช้วิธีการ Inverse Method สำหรับสร้างสมการเพื่อสร้างอุปสงค์อย่างสุ่มของลูกค้า

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } x < a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & \text{เมื่อ } x \in [a,b) \\ 1 & \text{เมื่อ } x \geq b \end{cases}$$

จาก Inverse Method จะได้

$$R = \frac{x-a}{b-a}$$

ย้ายข้างเพื่อหา x_i

$$x_i = (b-a)R + a$$

แทนค่า a, b จะได้

$$x_i = (\mu + x - \mu + x)R + \mu - x$$

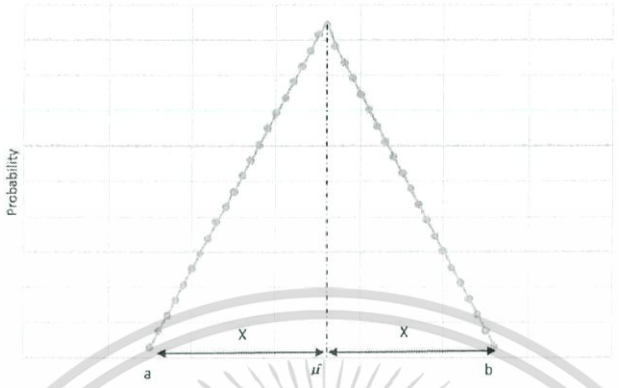
$$x_i = (2x)R + \mu - x$$

แทนค่า x จะได้สมการสำหรับสร้างอุปสงค์อย่างสุ่มของลูกค้าดังสมการที่ 3.5

$$x_i = \left(\sqrt{12} \times \mu \times \%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์}\ \right)R + \mu - \sqrt{12} \times \mu \times \%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.3 <u>สำหรับการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม</u>



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะกราฟของการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม (กรณี I)

จาก PDF เราสมมุติให้ช่วงระหว่าง a และ μ และ ระหว่าง μ และ b มีค่าเท่ากับ x

ดังนั้นสรุปได้ว่า $a = \mu - x\ , b = \mu + x\ , c = \mu$

$$V = \frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}{18}$$

แทนค่า a, b และ c จะได้

$$V = \sigma^2 = \frac{(\mu - x)^2 + (\mu + x)^2 + \mu^2 - (\mu - x)(\mu + x) - (\mu - x)\mu - (\mu + x)\mu}{18}$$

$$\sigma^2 = \frac{\mu^2 - 2\mu x + x^2 + \mu^2 + 2\mu x + x^2 + \mu^2 - \mu^2 + x^2 + \mu x - \mu^2 - \mu^2 - \mu x}{18}$$

$$\sigma^2 = \frac{3x^2}{18} \rightarrow \sigma = \frac{x}{\sqrt{6}}$$

กำหนดให้

$$\frac{\sigma}{\mu} = \%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์}$$

ดังนั้น

$$\sigma = \mu \times \%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $\sigma = \frac{\mathrm{x}}{\sqrt{6}}$

จะได้ $$\mathrm{x} = \mu \times \%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์} \times \sqrt{6}$$

จาก CDF ของสมการที่ (2.11) ใช้วิธีการ Inverse Method สำหรับสร้างสมการเพื่อสร้างอุปสงค์อย่างสุ่มของลูกค้า

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } x < a \\ \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)} & \text{เมื่อ } a \le x \le c, \\ 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)} & \text{เมื่อ } c < x \le b, \\ 1 & \text{เมื่อ } b < x \end{cases}$$

$$R = \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)} \quad \text{สำหรับช่วง } a \le x \le c$$

$$R = 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)} \quad \text{สำหรับช่วง } c < x \le b$$

สำหรับช่วง $a < x \le c$

ย้ายข้างเพื่อหาค่า x จะได้

$$x_i = a + \sqrt{R(b-a)(c-a)}$$

แทนค่า a, b และ c จะได้

$$x_i = \mu - \mathrm{x} + \sqrt{R(\mu + \mathrm{x} - \mu + \mathrm{x})(\mu - \mu + \mathrm{x})}$$

$$x_i = \mu - \mathrm{x} + \sqrt{R(2\mathrm{x})(\mathrm{x})}$$

แทนค่า x จะได้สมการสำหรับสร้างอุปสงค์อย่างสุ่มของลูกค้าดังสมการที่ 3.6

$$x_i = \mu - \%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์} \times \mu \times \sqrt{6} + \sqrt{R(2 \times (\%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์} \times \mu)^2 \times 6)} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับช่วง $c < x \leq b$

ย้ายข้างเพื่อหาค่า x จะได้

$$x_i = b - \sqrt{(1-R)(b-a)(b-c)}$$

แทนค่า a,b และ c

$$x_i = \mu + x - \sqrt{(1-R)(\mu + x - \mu + x)(\mu + x - \mu)}$$

$$x_i = \mu + x - \sqrt{(1-R)(2x)(x)}$$

$$x_i = \mu + x - \sqrt{(1-R)(2x^2)}$$

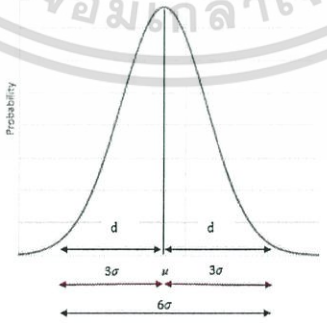
แทนค่า x จะได้สมการสำหรับสร้างอุปสงค์อย่างสุ่มของลูกค้าดังสมการที่ 3.7

$$x_i = \mu + \%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์} \times \mu \times \sqrt{6} - \sqrt{(1-R)(2 \times (\%\text{การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์} \times \mu)^2 \times 6)} \quad (3.7)$$

3.4.3 การสร้างตัวเลขสุ่มในแต่ละรูปแบบของการแจกแจงสำหรับกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนช่วงกว้างของอุปสงค์

3.4.3.1 <u>สำหรับการแจกแจงแบบปกติ</u>

จาก PDF เราสมมุติให้ช่วงระหว่าง μ มีค่าเท่ากับ d และ d คือช่วงของการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์โดยที่อุปสงค์มีค่าเท่ากับมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะกราฟของการแจกแจงแบบปกติ (กรณี II)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ α = สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์

และช่วง 3σ มีค่าเท่ากับ d หรือ $3\sigma = d = \mu$

ค่า σ จากค่าอุปสงค์ที่มีค่า มากกว่าหรือเท่ากับ 0 ถึง μ มีระยะเท่ากับ 3σ หรือเท่ากับ d และ ค่าอุปสงค์เปลี่ยนแปลงเกิดจาก ดังนั้น $3\sigma = d = \alpha\mu$ ย้ายข้างเพื่อหา σ ได้ $\sigma = \frac{\alpha\mu}{3}$

ใช้ Box-Muller Transformation สร้างเลขสุ่มสำหรับการแจกแจงแบบปกติ

$$y = \mu + \sigma x$$

โดยที่

$$x = \cos(2\pi R_2)\sqrt{-2Ln(R_1)}$$

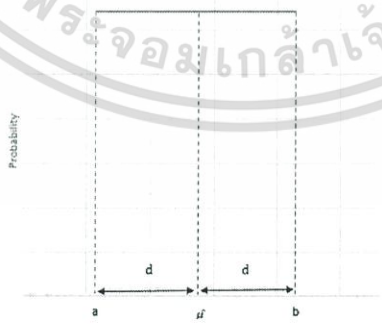
หรือ

$$x = sin(2\pi R_2)\sqrt{-2Ln(R_1)}$$

แทนค่า x และ σ ลงในสมการ (3.3) จะได้สมการสำหรับสร้างอุปสงค์อย่างสุ่มของลูกค้าดังสมการที่ 3.8

$$x_i = \mu + \frac{\alpha\mu}{3} \times sin(2\pi R)\sqrt{-2Ln(R)} \quad (3.8)$$

3.4.3.2 <u>สำหรับการแจกแจงแบบเอกรูป</u>



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะกราฟของการแจกแจงแบบเอกรูป (กรณี II)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก PDF เราสมมุติให้ช่วงระหว่าง a และ μ และ ระหว่าง μ และ b มีค่าเท่ากับ d

โดยที่ d คือช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์โดยที่ค่าอุปสงค์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์และเปลี่ยนแปลงเกิดจาก α

ดังนั้น $$d = \alpha\mu$$

และ $$a = \mu - \alpha\mu \, , b = \mu + \alpha\mu$$

ทำการหา σ

จาก $$V = \frac{(b-a)^2}{12} = \sigma^2 \rightarrow \sigma = \frac{b-a}{\sqrt{12}}$$

แทนค่า a b และ d $$\sigma = \frac{2d}{\sqrt{12}} = \frac{2\alpha\mu}{\sqrt{12}}$$

จาก CDF ของสมการที่ (2.7) ใช้วิธีการ Inverse Method สำหรับสร้างสมการเพื่อสร้างอุปสงค์อย่างสุ่มของลูกค้า

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } x < a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & \text{เมื่อ } x \in [a,b) \\ 1 & \text{เมื่อ } x \geq b \end{cases}$$

จาก Inverse Method จะได้

$$R = \frac{x-a}{b-a}$$

ย้ายข้างเพื่อหา x_i

$$x_i = (b-a)R + a$$

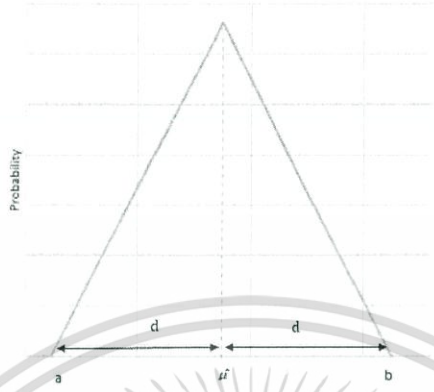
แทนค่า a, b จะได้สมการสำหรับสร้างอุปสงค์อย่างสุ่มของลูกค้าดังสมการที่ 3.9

$$x_i = (\mu + \alpha\mu - \mu + \alpha\mu)R + \mu - \alpha\mu$$

$$x_i = (2\alpha\mu)R + \mu - \alpha\mu \qquad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.3 <u>สำหรับการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม</u>



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะกราฟของการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม (กรณี II)

จาก PDF เราสมมุติให้ช่วงระหว่าง a และ μ และ ระหว่าง μ และ b มีค่าเท่ากับ d

โดยที่ d คือช่วงการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์โดยที่ค่าอุปสงค์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์และเปลี่ยนแปลงเกิดจาก α

ดังนั้น $$d = \alpha\mu$$

และ $$a = \mu - \alpha\mu \ , b = \mu + \alpha\mu, c = \mu$$

หา σ จาก $$V = \sigma^2 = \frac{a^2+b^2+c^2-ab-ac-bc}{18}$$

แทนค่า a, b และ c

$$\sigma^2 = \frac{(\mu - \alpha\mu)^2 + (\mu + \alpha\mu)^2 + \mu^2 - (\mu - \alpha\mu)(\mu + \alpha\mu) - (\mu - \alpha\mu)\mu - (\mu + \alpha\mu)\mu}{18}$$

$$\sigma^2 = \frac{\mu^2 - 2\alpha\mu + (\alpha\mu)^2 + \mu^2 + 2\alpha\mu + (\alpha\mu)^2 + \mu^2 - \mu^2 + (\alpha\mu)^2 - \mu^2 + \mu^2\alpha - \mu^2 - \mu^2\alpha}{18}$$

$$\sigma^2 = \frac{3(\alpha\mu)^2}{18} \rightarrow \sigma = \frac{\alpha\mu}{\sqrt{6}}$$

จาก CDF ของสมการที่ (2.11) ใช้วิธีการ Inverse Method สำหรับสร้างสมการเพื่อสร้างอุปสงค์อย่างสุ่มของลูกค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } x < a \\ \dfrac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)} & \text{เมื่อ } a \le x \le c, \\ 1 - \dfrac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)} & \text{เมื่อ } c < x \le b, \\ 1 & \text{เมื่อ } b < x \end{cases}$$

$$R = \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)} \quad \text{สำหรับช่วง } a \le x \le c$$

$$R = 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)} \quad \text{สำหรับช่วง } c < x \le b$$

สำหรับช่วง $a < x \le c$

ย้ายข้างเพื่อหาค่า x จะได้

$$x_i = a + \sqrt{R(b-a)(c-a)}$$

แทนค่า a,b และ c จะได้สมการเพื่อสร้างอุปสงค์อย่างสุ่มของลูกค้าดังสมการที่ 3.10

$$x_i = \mu - x + \sqrt{R(\mu + \alpha\mu - \mu + \alpha\mu)(\mu - \mu + \alpha\mu)}$$

$$x_i = \mu - \alpha\mu + \sqrt{R(2\alpha\mu)(\alpha\mu)}$$

$$x_i = \mu - \alpha\mu + \sqrt{R(2 \times (\alpha\mu)^2)} \qquad (3.10)$$

สำหรับช่วง $c < x \le b$

ย้ายข้างเพื่อหาค่า x จะได้

$$x_i = b - \sqrt{(1-R)(b-a)(b-c)}$$

แทนค่า a,b และ c จะได้สมการสำหรับสร้างอุปสงค์อย่างสุ่มของลูกค้าดังสมการที่ 3.11

$$x_i = \mu + x - \sqrt{(1-R)(\mu + \alpha\mu - \mu + \alpha\mu)(\mu + \alpha\mu - \mu)}$$

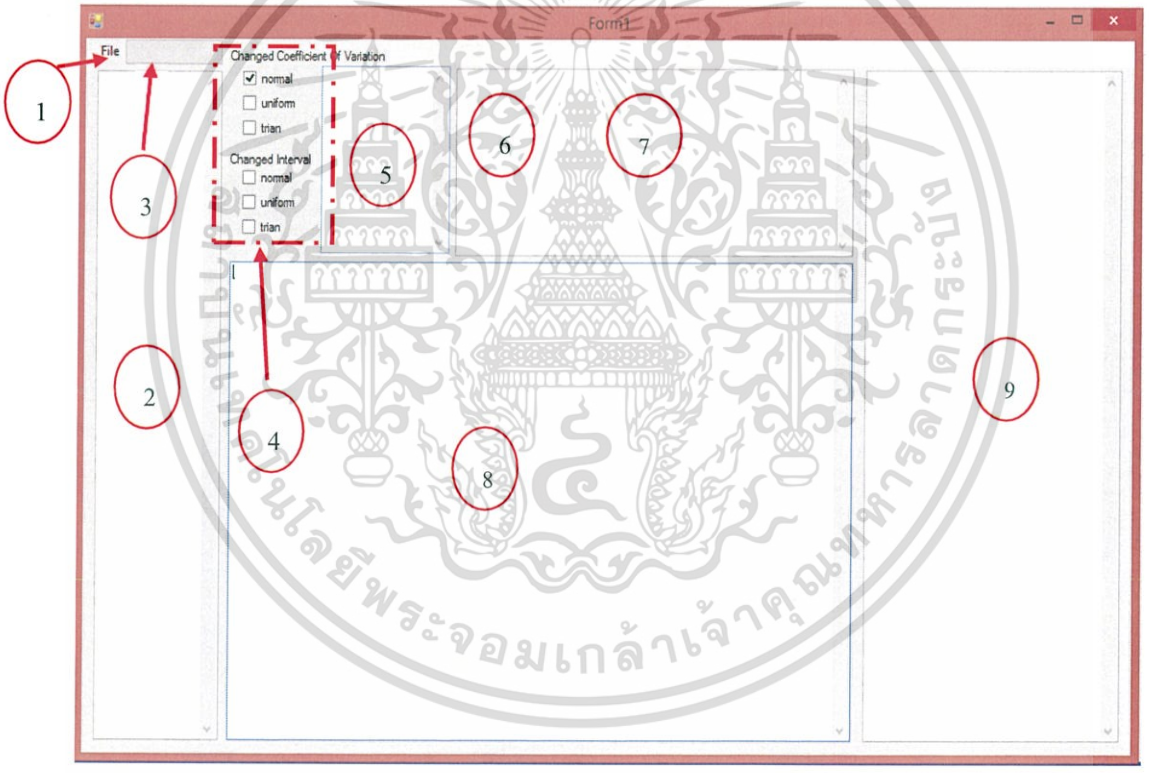
$$x_i = \mu + \alpha\mu - \sqrt{(1-R)(2\alpha\mu)(\alpha\mu)}$$

$$x_i = \mu + \alpha\mu - \sqrt{(1-R)(2(\alpha\mu)^2)} \qquad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบโปรแกรม

โปรแกรมนี้ถูกพัฒนาขึ้นจากภาษา C# ซึ่งในส่วนประสานงานกับผู้ใช้ (User Interface) นั้น ผู้ใช้สามารถกำหนดรูปแบบการแจกแจงจากรูปแบบการวัดการกระจายทั้งสองกรณี และทำการเปิดไฟล์ของปัญหาและผลลัพธ์ของปัญหาเพื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบของความไม่แน่นอนของอุปสงค์ที่มีต่อต้นทุนการขนส่งและระดับการให้บริการ เมื่อต้องการจำลองสถานการณ์ของความไม่แน่นอนของอุปสงค์ ปัญหาและคำตอบของปัญหาจะถูกนำเข้าสู่โปรแกรมโดยผู้ใช้และเมื่อทำการรัน โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ปัญหาและคำตอบของปัญหา จากนั้นจะแสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ออกมาทางหน้าจอ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะใช้เป็นเครื่องมือช่วยประกอบการตัดสินใจในการปรับเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถหรือปรับปรุงระดับการให้บริการ โดยลักษณะของที่ User Interface แสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม

ลักษณะการทำงานของโปรแกรม

1. เมนูสำหรับเปิดไฟล์เพื่อเปิดปัญหาและคำตอบของปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หน้าต่างแสดงข้อมูลของปัญหา ประกอบด้วย ปริมาณรถ,จำนวนความจุรถ,พิกัดของลูกค้า, และปริมาณอุปสงค์ของลูกค้า
3. หน้าต่าง progress bar แสดงสถานะของการรันโปรแกรม
4. หน้าต่างสำหรับเลือกการแจกแจงของอุปสงค์ 3 แบบคือการแจกแจงแบบปกติ การแจกแจงแบบเอกรูป และการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม สำหรับกรณีปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร และกรณีปรับเปลี่ยนช่วงกว้างของอุปสงค์
5. หน้าต่างแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวมเฉลี่ยจากการจำลองซ้ำ ของค่าปริมาณอุปสงค์เฉลี่ยที่คงที่ของลูกค้าแต่ละรายซึ่งมีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปรและช่วงกว้างของอุปสงค์ระหว่าง 0-1
6. หน้าต่างในตำแหน่งนี้จะแสดงปริมาณอุปสงค์รวมของลูกค้าทุกรายเฉลี่ยเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปรและช่วงกว้างของอุปสงค์ระหว่าง 0-1 (ค่าที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกันจากการปรับเปลี่ยนดังกล่าว)
7. หน้าต่างในตำแหน่งนี้จะแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยจากการปริมาณอุปสงค์รวมของลูกค้าทุกรายเฉลี่ย เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปรและช่วงกว้างของอุปสงค์ระหว่าง 0-1 (ค่าที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวมเฉลี่ยในข้อ 5)
8. หน้าต่างในตำแหน่งนี้จะแสดงระยะทางการขนส่งที่มากที่สุดของรถขนส่งสินค้าคันใดคันหนึ่งเมื่อปริมาณอุปสงค์คงที่ (ค่าที่ได้จะนำไปคำนวณระดับการให้บริการกรณีที่ 2) และระยะทางรวมในการขนส่งเมื่อปริมาณอุปสงค์คงที่
9. หน้าต่างแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงทั้งสองกรณี ประกอบด้วย เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของต้นทุนการขนส่ง และระดับการให้บริการทั้ง 2 กรณี เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์ตั้งแต่ 0 เปอร์เซ็นต์ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

ในการทดลองผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับปัญหา 25 ปัญหาซึ่งแต่ละปัญหามีความแตกต่างของจำนวนลูกค้า ความจุของรถแต่ละคัน และจำนวนรถขนส่งสินค้า เพื่อประเมินต้นทุนรวมการขนส่งและระดับการให้บริการ ซึ่งในแต่ละปัญหาจะทำการจำลองซ้ำด้วยจำนวน Sample Size ที่เหมาะสมซึ่งทำได้โดยกำหนด Sample Size ของการจำลองซ้ำจากน้อยไปมากและเลือกจำนวน Sample Size ที่ให้คำตอบของต้นทุนรวมการขนส่งและระดับการให้บริการมีความเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 1 จากนั้นเมื่อกำหนดจำนวน Sample Size แล้วทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอุปสงค์รวมเฉลี่ยด้วยที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และใช้วิธีการสุ่มปริมาณอุปสงค์ของลูกค้าแต่ละรายใน 3 รูปแบบการแจกแจงคือการแจกแจงแบบปกติ การแจกแจงแบบเอกรูป และการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอุปสงค์แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

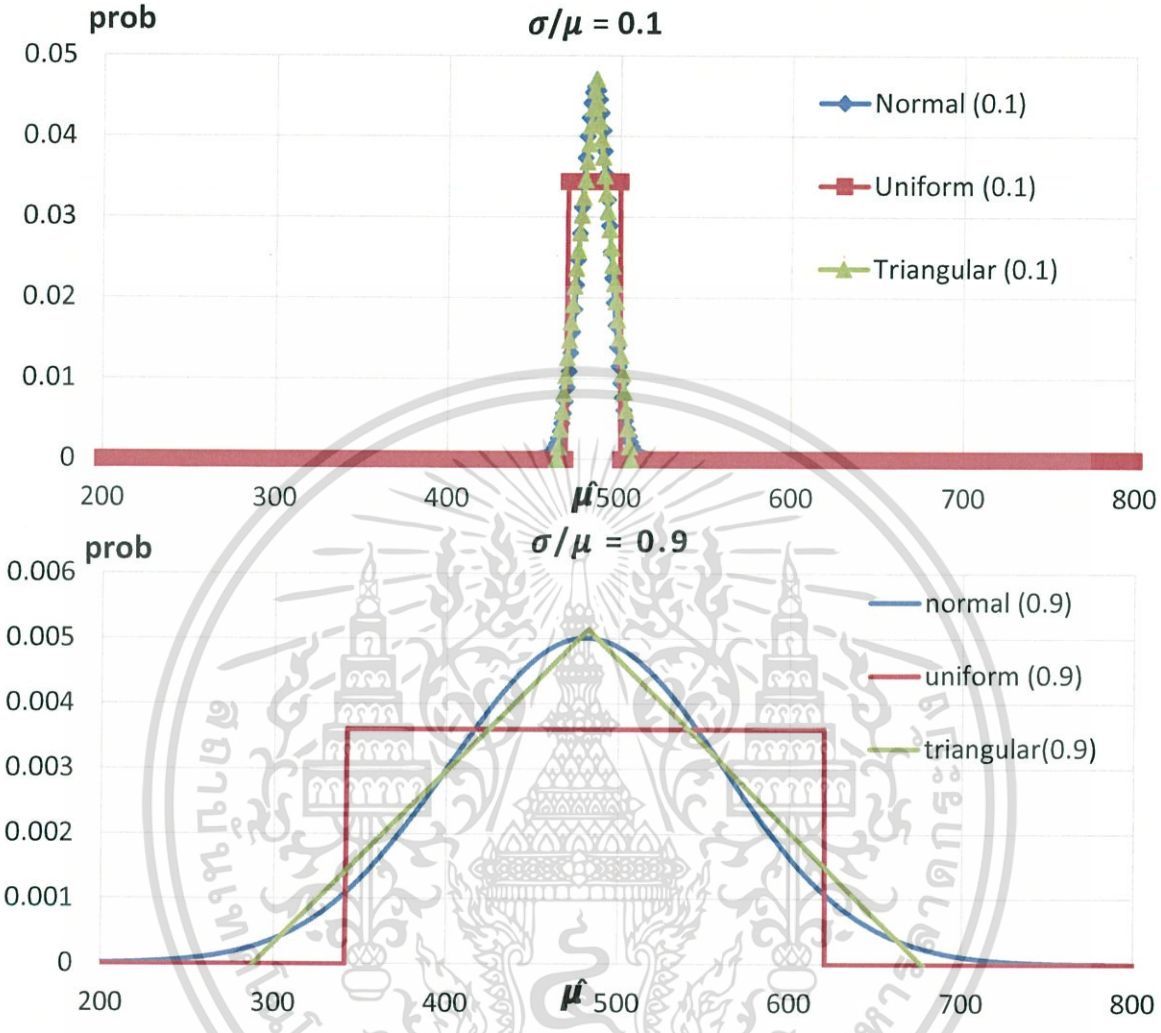
4.1.1. กรณีการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปร

การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปร คือการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าเฉลี่ยของปริมาณอุปสงค์ (σ/μ) จาก 0 - 1 โดยให้ช่วงการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 10 % หรือ 0.1 ซึ่งช่วงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวใช้แทนที่ค่าร้อยละในสมการที่ 3.4,3.5,3.6 และ 3.7 และแสดงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของการแจกแจงทั้ง 3 ประเภทดังสมการที่ 4.1

$$\sigma/\mu = c \quad ; c = 0, 0.1, 0.2,...,1 \quad \text{(สำหรับทุกรูปแบบการแจกแจง)} \tag{4.1}$$

ผู้วิจัยขอนำเสนอความแตกต่างในรูปแบบของกราฟ ระหว่าง pdf (Probability Density Function) และค่าเฉลี่ยของปริมาณอุปสงค์ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า อัตราส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าเฉลี่ยของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เท่ากับ 0.1 และ 0.9

4.1.2 กรณีการเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์ (Interval of Demand)

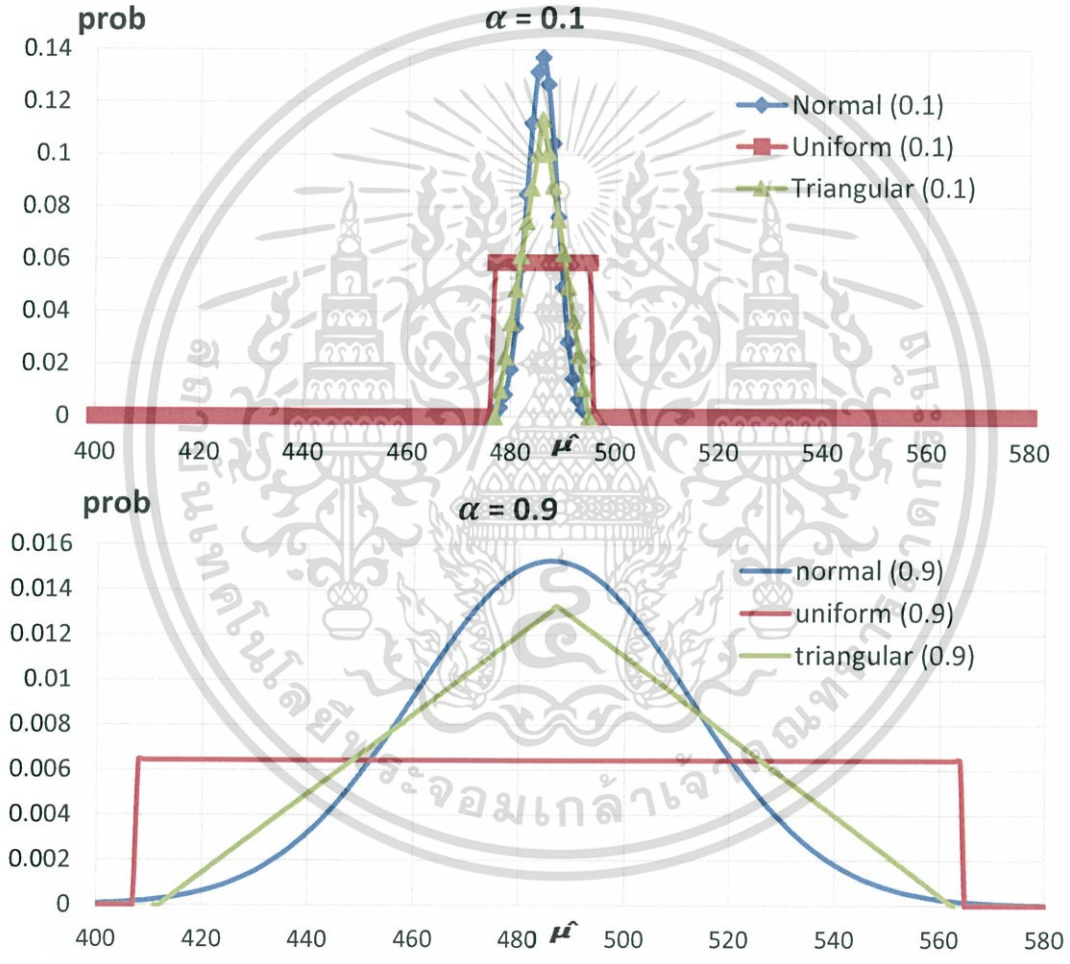
การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์ คือการกำหนดให้อุปสงค์มีค่าอยู่ในช่วง $(\mu \pm d)$ โดยที่ μ คือค่าเฉลี่ยของปริมาณอุปสงค์และให้ $d = \alpha\mu$ ซึ่ง α เป็นพารามิเตอร์ที่มีช่วงการเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0-1 ในอัตราการเพิ่มขึ้นทีละ 10 % หรือ 0.1 ซึ่งช่วงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวใช้แทนที่ค่าร้อยละในสมการที่ 3.8,3.9,3.10 และ 3.11 สำหรับการแจกแจงแบบปกติกำหนดให้ σ มีค่าเท่ากับ $\alpha\mu/3$ หรือ $(d = 3\sigma)$ และสำหรับการแจกแจงแบบเอกรูปและแบบสามเหลี่ยมใช้ค่า d เท่ากับ $\alpha\mu$ และแสดงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของการแจกแจงทั้ง 3 เภทดังสมการที่ 4.2 และ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma = \frac{\alpha\mu}{3} \quad ;\alpha = 0,\ 0.1,\ 0.2,\ldots,1 \quad \text{(สำหรับการแจกแจงแบบปกติ)} \tag{4.2}$$

$$d = 3\sigma = \alpha\mu \quad ;\alpha = 0,\ 0.1,\ 0.2,\ldots,1 \quad \text{(สำหรับการแจกแจงแบบเอกรูปและแบบสามเหลี่ยม)} \tag{4.3}$$

ผู้วิจัยขอนำเสนอความแตกต่างในรูปแบบของกราฟ ระหว่าง pdf (Probability Density Function) และค่าเฉลี่ยของปริมาณอุปสงค์ (ซึ่งเท่ากับ 486) เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า α ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 0.1 และ 0.9 ของทั้ง 3 รูปแบบการแจกแจงของปริมาณอุปสงค์ดังรูปที่ 4.2

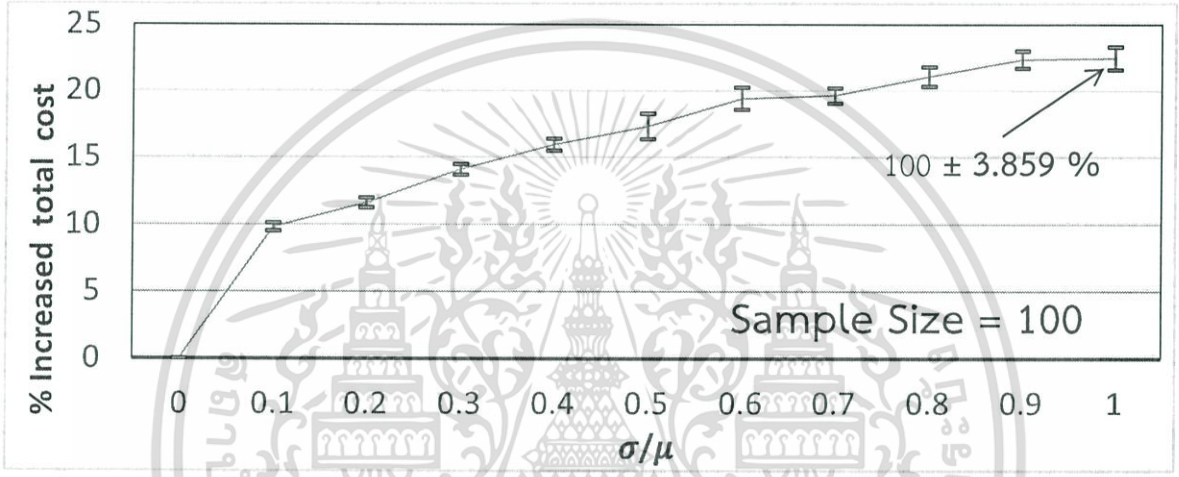


รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์เมื่อ α เท่ากับ 0.1 และ 0.9

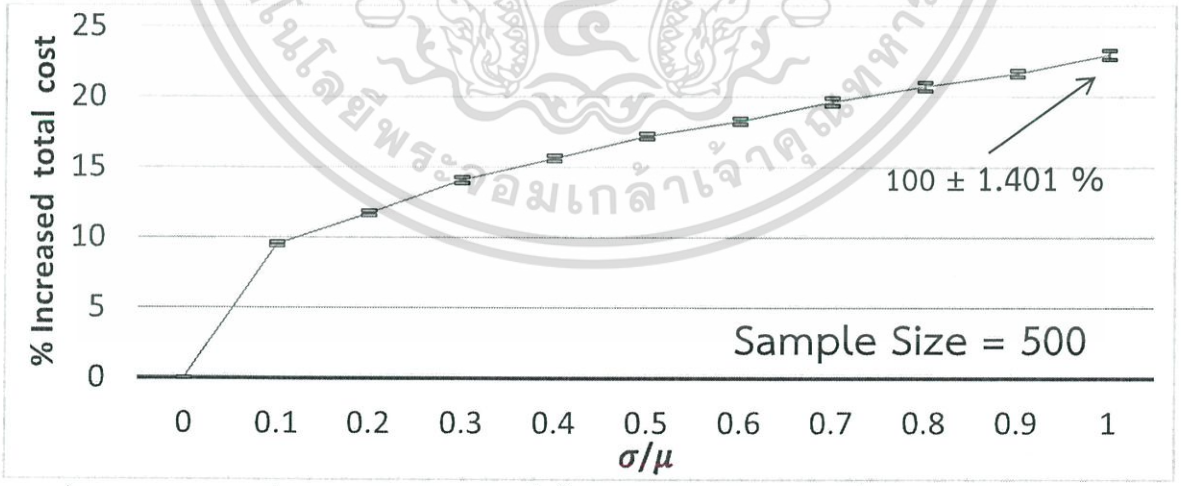
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การกำหนด Sample Size ของการจำลอง

ในการทดลองหาจำนวนครั้งที่เหมาะสมของการจำลองในแต่ละปัญหาจะใช้ค่า Sample Size (n) เท่ากับ 100,500, 1000 และ 1500 จากนั้นทำการจำลองคำตอบของร้อยละของการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่ง (Increased Total Cost) ทั้งหมด 10 รอบ (N = 10) ในที่นี้ผู้วิจัยขอยกตัวอย่างโดยเลือกใช้ปัญหา B-n66-k9 ในรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ (กรณีที่ 1) เพื่อดูความคลาดเคลื่อนของคำตอบดังกล่าวที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังรูปที่ 4.3 ถึง 4.6 ตามลำดับ

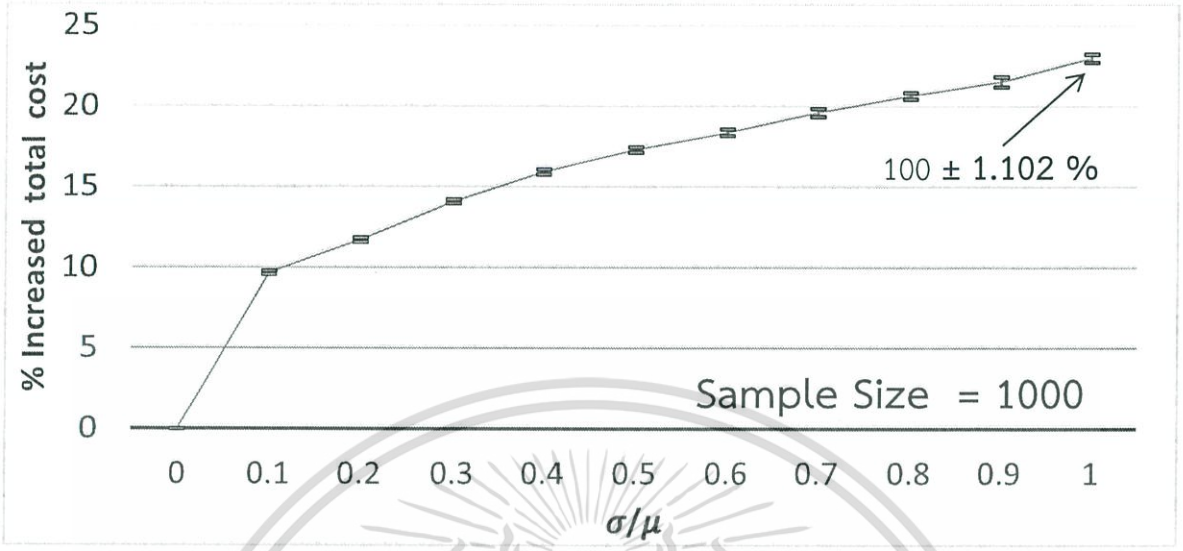


รูปที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนของร้อยละของการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อ Sample Size เท่ากับ 100

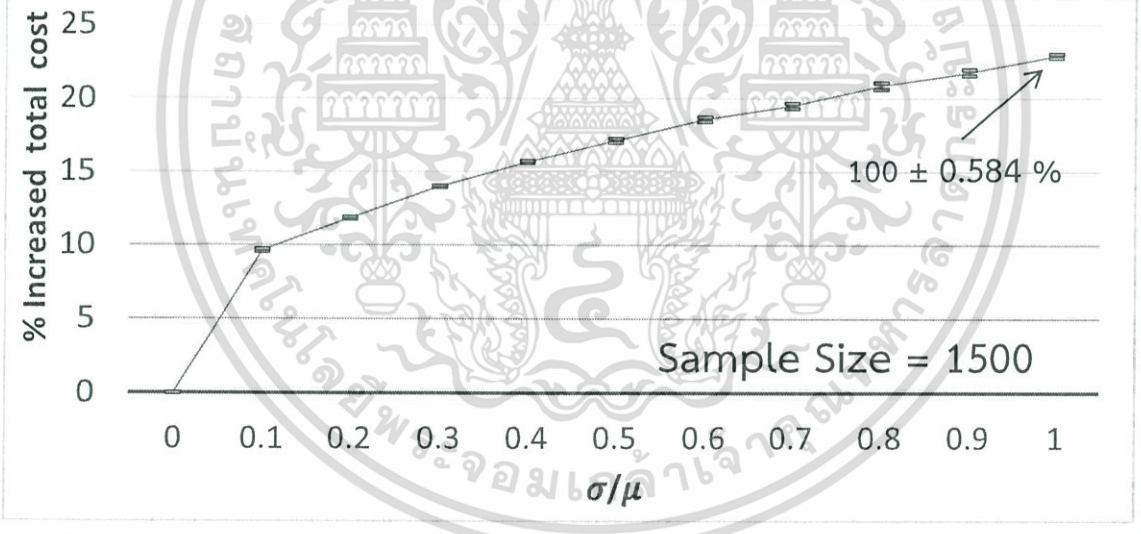


รูปที่ 4.4 ความคลาดเคลื่อนของร้อยละของการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อ Sample Size เท่ากับ 500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความคลาดเคลื่อนของร้อยละของการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อ Sample Size เท่ากับ 1000



รูปที่ 4.6 ความคลาดเคลื่อนของร้อยละของการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อ Sample Size เท่ากับ 1500

จากรูปที่ 4.3 ถึง 4.6 สรุปได้ว่าเมื่อ Sample Size มากขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละของการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่ง มีความคลาดเคลื่อนน้อยลงโดยในงานวิจัยนี้ใช้การจำลองซ้ำ 1500 รอบ (Sample Size = 1500) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.584 % (น้อยกว่า 1 %)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอุปสงค์รวมเฉลี่ย

การตรวจสอบปริมาณอุปสงค์รวมของลูกค้าทุกรายเฉลี่ยจากการจำลองซ้ำ 1500 รอบเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร (กรณีที่ 1) และช่วงกว้างของอุปสงค์ (กรณีที่ 2) ระหว่าง 0-1 ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.1.1 และ 4.1.2 ตามลำดับ

ยกตัวอย่างเช่นเมื่อทำการตรวจสอบค่าดังกล่าวจากปัญหา B- n66-k9 จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนของอุปสงค์รวมของลูกค้าทุกรายเฉลี่ยมากที่สุดเมื่อ σ/μ หรือ α เท่ากับ 1 และคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของทั้ง 3 รูปแบบการแจกแจงและการเปลี่ยนแปลงปริมาณอุปสงค์ทั้ง 2 กรณีที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังนี้

	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
การแจกแจงแบบปกติ	100 ± 0.559 %	100 ± 0.242 %
การแจกแจงแบบเอกรูป	100 ± 0.587 %	100 ± 0.423 %
การแจกแจงแบบสามเหลี่ยม	100 ± 0.581 %	100 ± 0.291 %

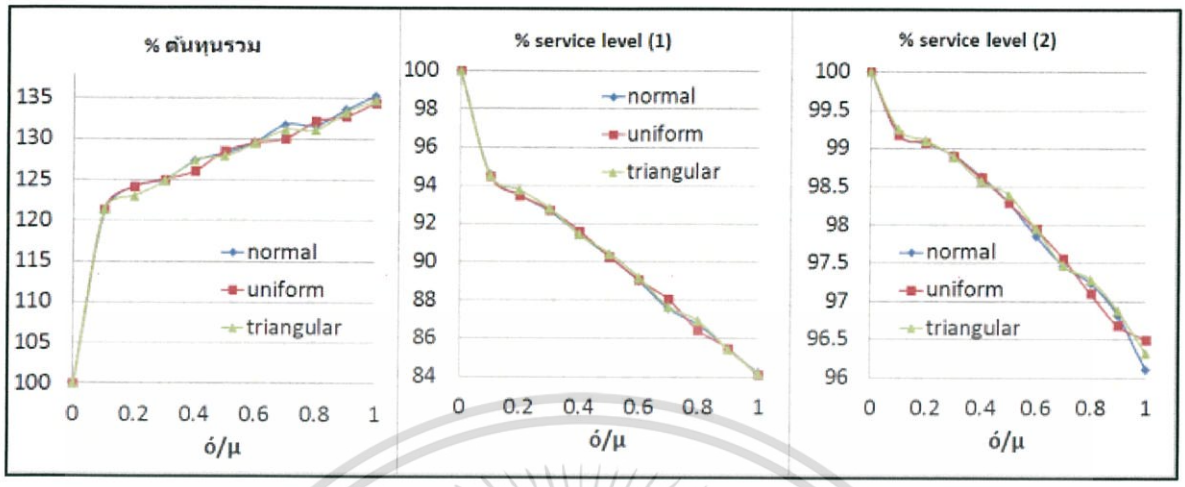
สรุปจากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการจำลองซ้ำ 1500 รอบ ให้ค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณอุปสงค์รวมของลูกค้าทุกรายเฉลี่ยเพียงเล็กน้อย (น้อยกว่า 1 %)

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 ผลการทดลองกรณีการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปร

ภาพของการเปลี่ยนแปลงต้นทุนรวมการขนส่งและระดับการให้บริการจากการเปลี่ยนแปลงอุปสงค์ในกรณีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร ผู้วิจัยขอยกตัวอย่างผลการทดลองของปัญหา B-n 66-k9 ที่มีรถขนส่งจำนวน 9 คัน ความจุ 100 หน่วย และมีจำนวนลูกค้า 65 ราย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะมีลักษณะและแนวโน้มคล้ายกับปัญหาอื่น ๆ ทั้ง 25 ปัญหาดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



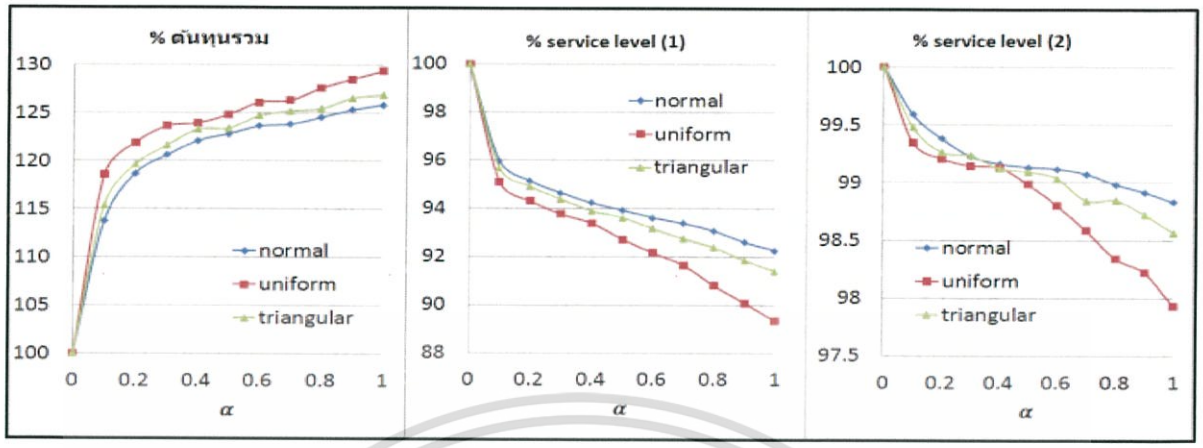
รูปที่ 4.7 ต้นทุนรวมการขนส่ง (%) และระดับการให้บริการเมื่อเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปร

ผลการทดลองในรูปที่ 4.7 (กรณีที่ I) แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์ตามรูปแบบการแจกแจงทั้ง 3 แบบมีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงต้นทุนรวมในแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน สำหรับระดับการให้บริการทั้ง 3 รูปแบบการแจกแจงจะให้ผลการเปลี่ยนแปลงระดับการให้บริการทั้ง 2 ประเภทที่ใกล้เคียงกันโดยมีแนวโน้มที่ลดลง เช่นระดับการให้บริการในประเภทที่ I มีค่ามากกว่า 90 % เมื่อปริมาณอุปสงค์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 50 % เป็นต้น

4.2.2 ผลการทดลองกรณีการเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์

ภาพของการเปลี่ยนแปลงต้นทุนรวมการขนส่งและระดับการให้บริการจากการเปลี่ยนแปลงอุปสงค์ในกรณีของช่วงกว้างของอุปสงค์ ผู้วิจัยขอยกตัวอย่างผลการทดลองของปัญหา B-n 66-k9 ที่มีรถขนส่งจำนวน 9 คัน ความจุ 100 หน่วย และมีจำนวนลูกค้า 65 ราย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะมีลักษณะและแนวโน้มคล้ายกับปัญหาอื่น ๆ ทั้ง 25 ปัญหาดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ต้นทุนรวมการขนส่ง (%) และระดับการให้บริการเมื่อเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์

ผลการทดลองในรูปที่ 4.8 (กรณีที่ II) แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของอุปสงค์ตามรูปแบบการแจกแจงทั้ง 3 แบบนั้น ร้อยละต้นทุนรวมของการแจกแจงแบบเอกรูปมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการแจกแจงแบบสามเหลี่ยมและแบบปกติ ตามลำดับ สำหรับระดับการให้บริการ การแจกแจงแบบเอกรูปจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับการให้บริการทั้ง 2 ประเภทในแนวโน้มที่ลดลงมากกว่าการแจกแจงแบบสามเหลี่ยมและแบบปกติตามลำดับ

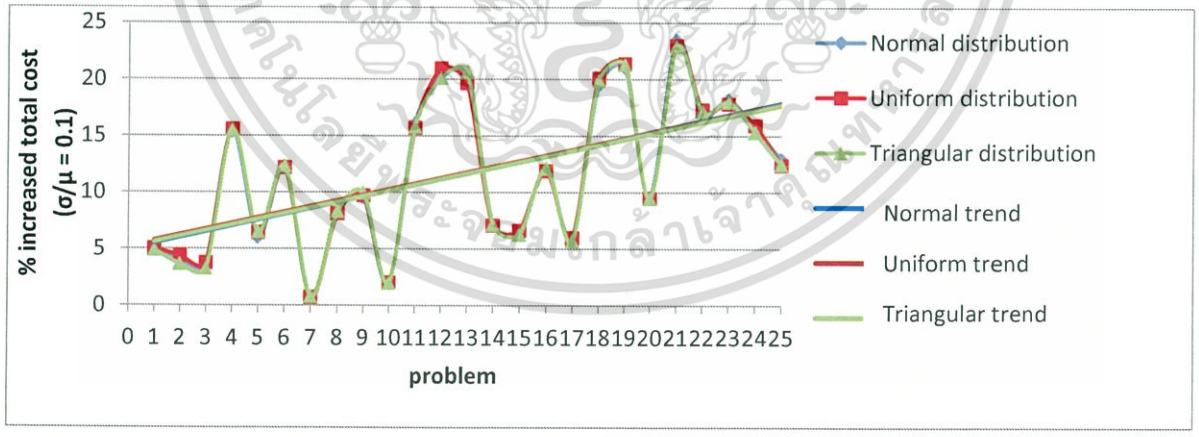
4.2.3 เปรียบเทียบผลการทดลองกรณีการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปรกับกรณีการเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์ของ 25 ปัญหา

ผลการทดลองในตารางที่ ผ 1 ถึง ผ 20 ของภาคผนวกเป็นการแสดงผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปรที่มีช่วงการเปลี่ยนแปลง (σ/μ) เท่ากับ 10 % ตั้งแต่ 0.1 - 1 เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์ (Interval of Demand) ที่มีช่วงการเปลี่ยนแปลง α เท่ากับ 10 % ตั้งแต่ 0.1 - 1 ของการแจกแจงแบบปกติ การแจกแจงแบบเอกรูป และการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม โดยกำหนดให้ (a ,b ,c) โดยที่ a = จำนวนรถขนส่งสินค้า b = จำนวนลูกค้า และ c = ความจุของรถ และแสดงค่าร้อยละการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งและค่าร้อยละการลดลงของระดับการให้บริการประเภทที่ 1 และ 2 ของทั้ง 25 ปัญหา

จากตารางที่ ผ 1 ถึง ผ 20 ในภาคผนวก การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปร เมื่อเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์ มีผลลัพธ์ที่เหมือนกันเมื่อมองในรูปแบบของแต่ละปัญหาทั้ง 25 ปัญหาคือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงต้นทุนรวมการขนส่งในปัญหาส่วนใหญ่จะมีค่ามากขึ้นเมื่อจำนวนรถขนส่งสินค้าและจำนวนลูกค้าเพิ่มขึ้นเพราะว่าเมื่อมีจำนวนลูกค้ามากขึ้นทำให้ต้องมีรถขนส่งสินค้ามากขึ้นตาม

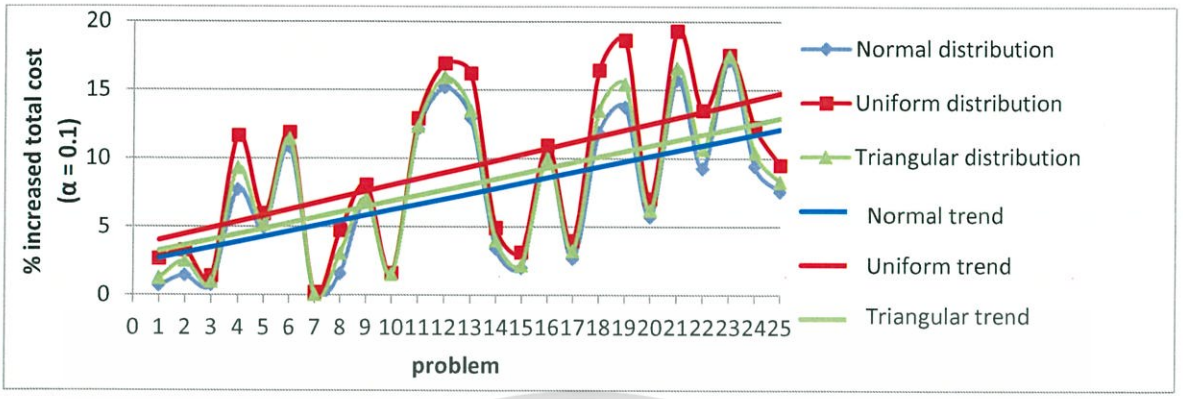
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปด้วย ดังนั้น เมื่อปริมาณอุปสงค์เปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลให้ระยะทางรวมในการขนส่งของรถแต่ละคันเพิ่มขึ้น นำมาซึ่งต้นทุนรวมการขนส่งที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่จะมีผลต่อการลดลงของระดับการให้บริการประเภท 1 และ 2ไม่มากนักซึ่งมีสาเหตุสำคัญเนื่องจากค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการที่รถขนส่งสินค้าต้องวนรถกลับไปรับสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าใหม่และทำการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าคนถัดไปตามลำดับ แต่ในทางกลับกันเมื่อมองในรูปแบบของการแจกแจงทั้ง 3 ประเภทการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปร จะให้ค่าการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งและค่าร้อยละการลดลงของระดับการให้บริการประเภทที่ 1 และ 2 ในแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันเมื่อค่า (σ/μ) เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 จาก 0.1 ถึง 1 แต่การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์ การแจกแจงแบบเอกรูปจะให้ค่าการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งและค่าร้อยละการลดลงของระดับการให้บริการประเภทที่ 1 และ 2 เมื่อค่า α เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 จาก 0.1 ถึง 1 มากกว่าการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม และแบบปกติ ตามลำดับ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลง สัมประสิทธิ์ของความผันแปร ทั้ง 3 รูปแบบการแจกแจงจะให้ค่าการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งและค่าร้อยละการลดลงของระดับการให้บริการประเภทที่ 1 และ 2 มากกว่าการเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์ของทั้ง 25 ปัญหาเมื่อค่า (σ/μ) และ α เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่เท่ากันจาก 0.1 ถึง 1 เพื่อให้เห็นภาพจากข้อสรุปดังกล่าวผู้วิจัยขอยกตัวอย่างภาพแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของร้อยละการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งและแนวโน้มที่ลดลงของระดับการให้บริการประเภทที่ 1 และ 2 เมื่อทำการเรียงลำดับของจำนวนรถขนส่งสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ (σ/μ) เทียบกับ α ที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 เท่ากันดังรูปที่ 4.9 ถึง 4.14

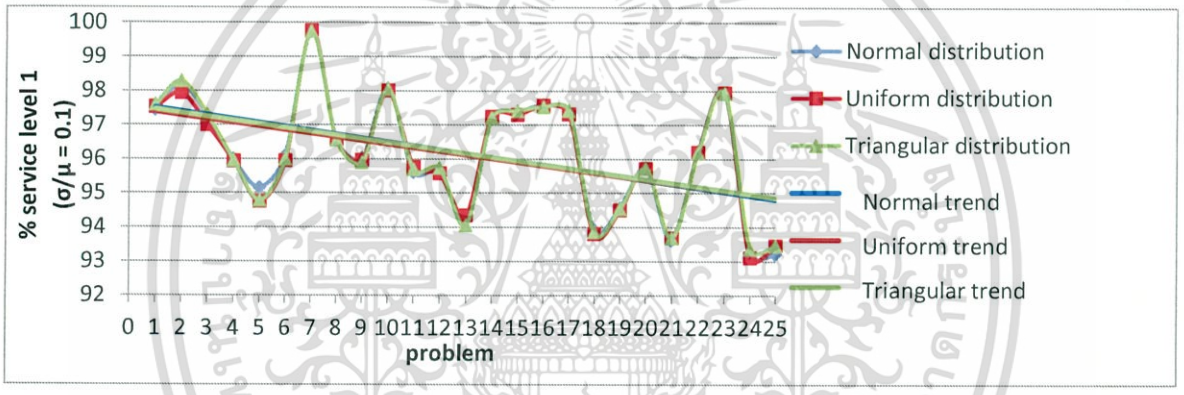


รูปที่ 4.9 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อทำการเรียงลำดับของจำนวนรถขนส่งสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ σ/μ = 0.1

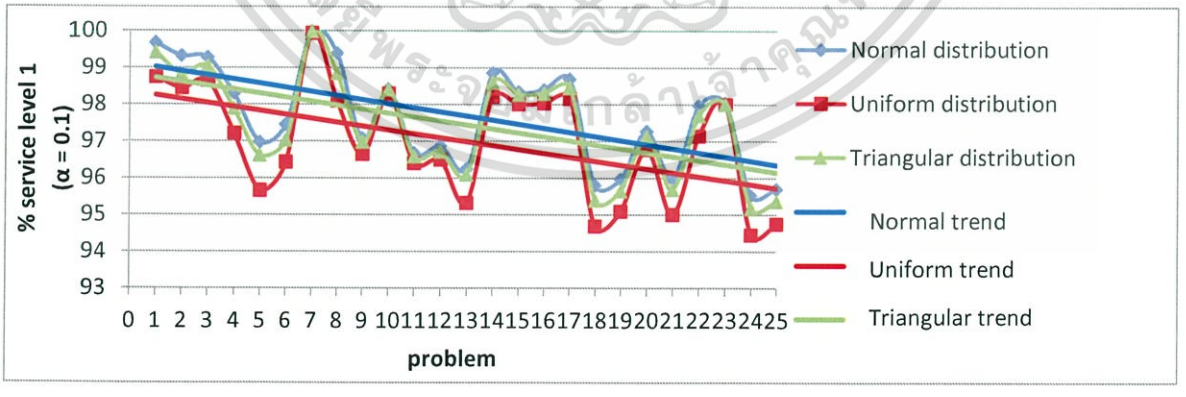
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อทำการเรียงลำดับของจำนวนรถขนส่งสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ α = 0.1

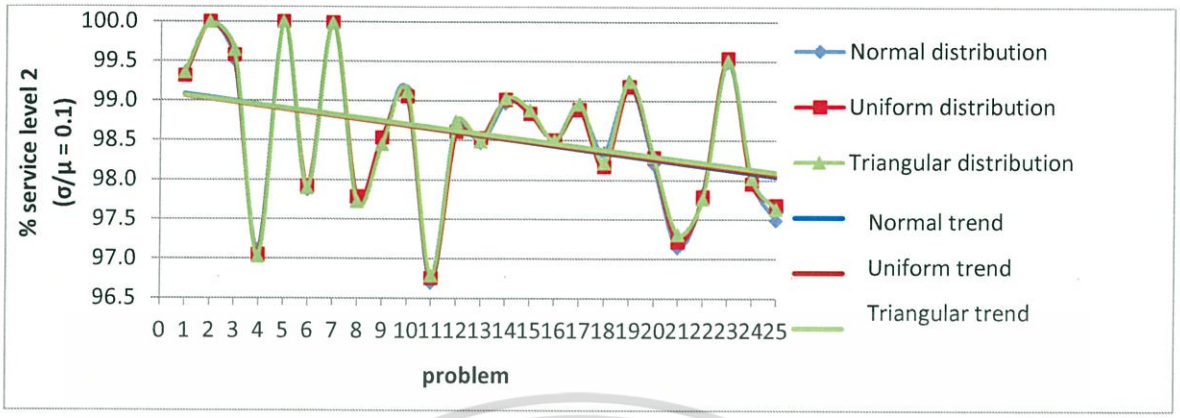


รูปที่ 4.11 แนวโน้มการลดลงของระดับการให้บริการประเภทที่ 1 เมื่อทำการเรียงลำดับของจำนวนรถขนส่งสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ σ/μ = 0.1

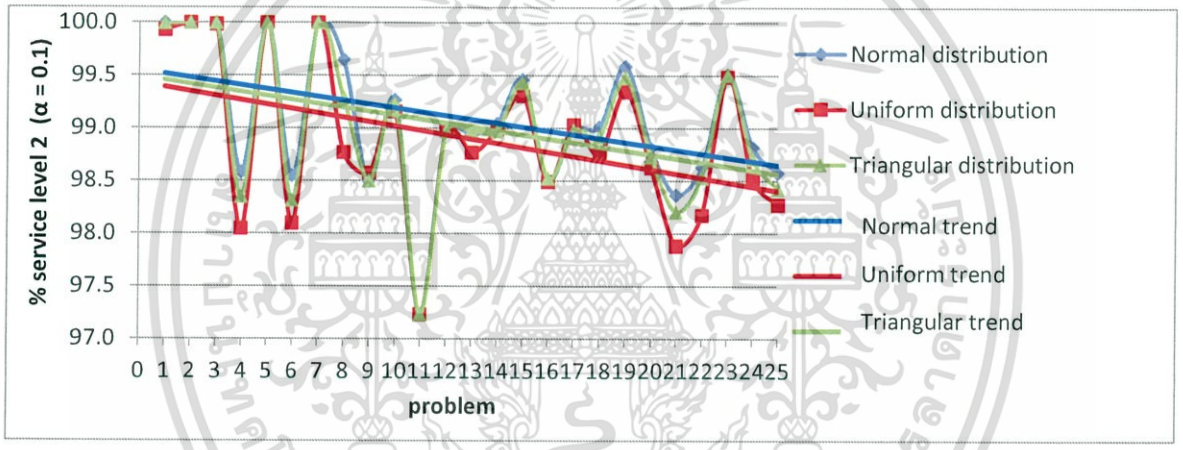


รูปที่ 4.12 แนวโน้มการลดลงของระดับการให้บริการประเภทที่ 1 เมื่อทำการเรียงลำดับของจำนวนรถขนส่งสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ α = 0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แนวโน้มการลดลงของระดับการให้บริการประเภทที่ 2 เมื่อทำการเรียงลำดับของจำนวนรถขนส่งสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ σ/μ = 0.1

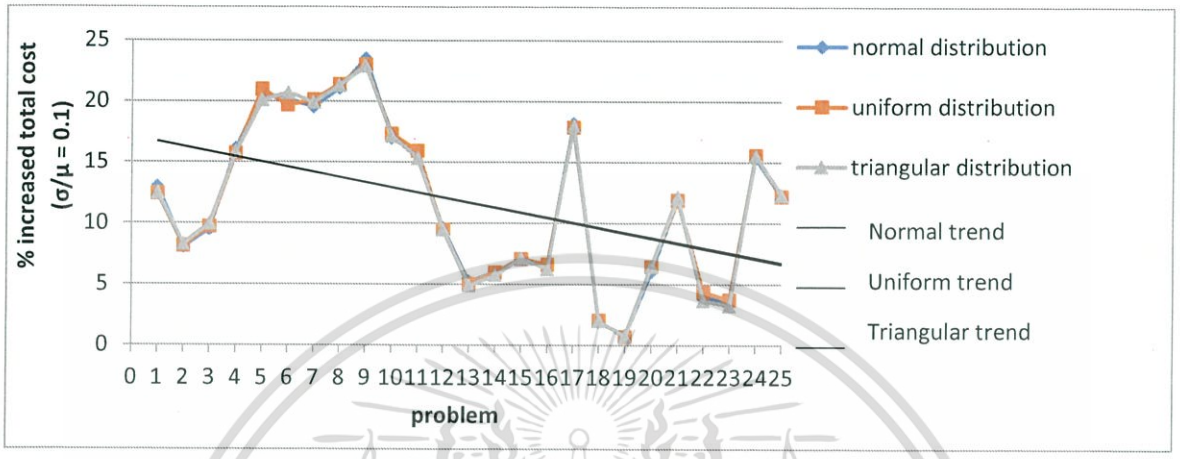


รูปที่ 4.14 แนวโน้มการลดลงของระดับการให้บริการประเภทที่ 2 เมื่อทำการเรียงลำดับของจำนวนรถขนส่งสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ α = 0.1

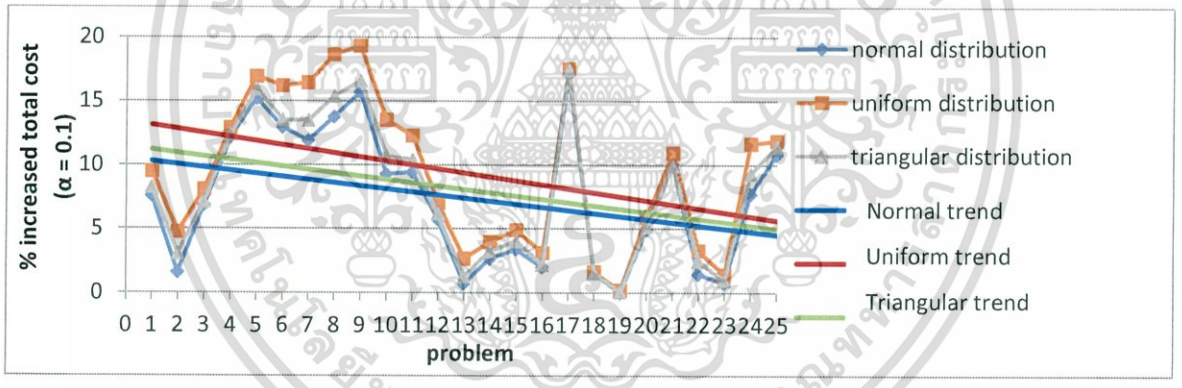
ความจุของรถขนส่งสินค้าก็มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงต้นทุนรวมการขนส่งและระดับการให้บริการประเภท 1 และ 2 เช่นในปัญหา P-n19-k2 ที่มีจำนวนรถขนส่งเท่ากับ 2 คัน จำนวนลูกค้า 18 ราย และความจุ 160 หน่วย มีร้อยละการเปลี่ยนแปลงต้นทุนรวมการขนส่งเพิ่มขึ้น และระดับการให้บริการ 1 และ 2 มีค่าลดลงมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับปัญหา P-n101-k4 ที่มีจำนวนรถขนส่ง 4 คัน จำนวนลูกค้า 100 ราย และความจุเพิ่มขึ้นเป็น 400 หน่วย เนื่องจากเมื่อความจุสินค้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้รถขนส่งสินค้ามีพื้นที่เผื่อสำหรับสินค้ามากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นเพื่อให้เห็นภาพจากตัวอย่างข้างต้นในเรื่องของผลกระทบต่อต้นทุนการขนส่งที่ลดลงและระดับการให้บริการที่มากขึ้นเมื่อความจุสินค้าเพิ่มขึ้นผู้วิจัยขอยกตัวอย่างภาพแนวโน้มการลดลงของร้อยละการเพิ่มขึ้นต้นทุนรวมการขนส่งและแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับการให้บริการประเภทที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 2 เมื่อทำการเรียงลำดับความจุสินค้าของรถขนส่งแต่ละคันจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ (σ/μ) เทียบกับ α ที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 เท่ากันดังรูปที่ 4.15 ถึง 4.20

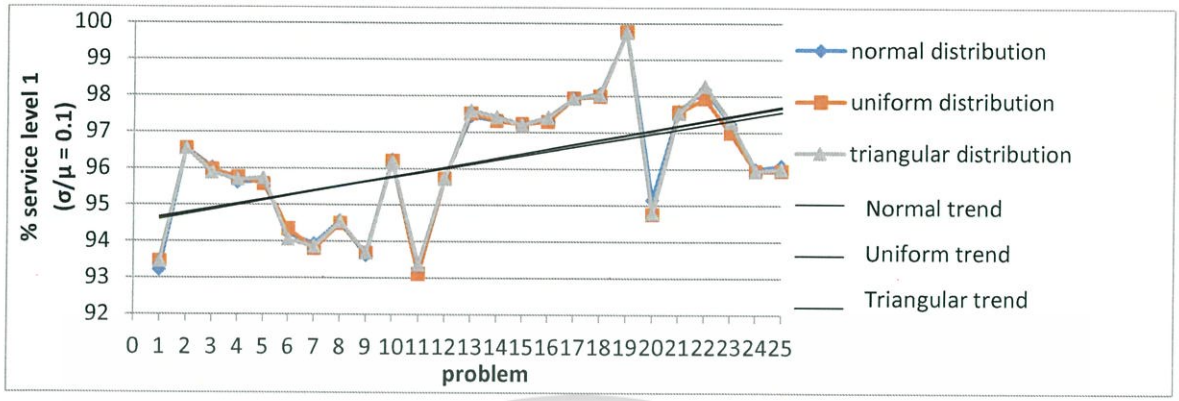


รูปที่ 4.15 แนวโน้มการลดลงของร้อยละการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อทำการเรียงลำดับของความจุสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ σ/μ = 0.1

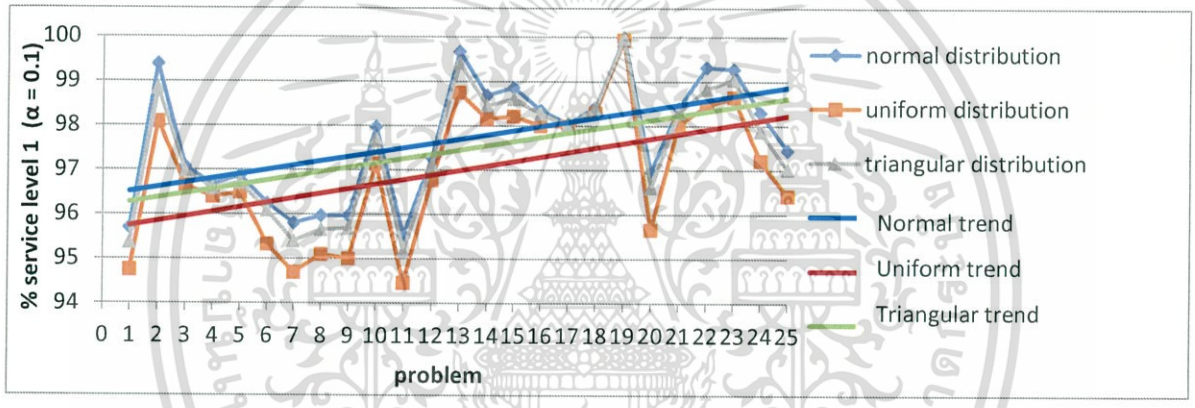


รูปที่ 4.16 แนวโน้มการลดลงของร้อยละการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งเมื่อทำการเรียงลำดับของความจุสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ α = 0.1

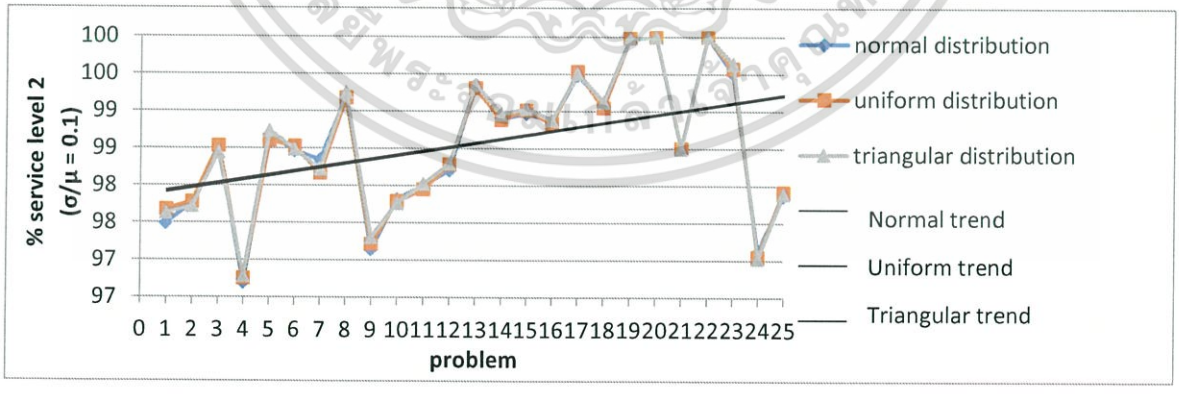
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับการให้บริการประเภทที่ 1 เมื่อทำการเรียงลำดับของความจุสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ σ/μ = 0.1

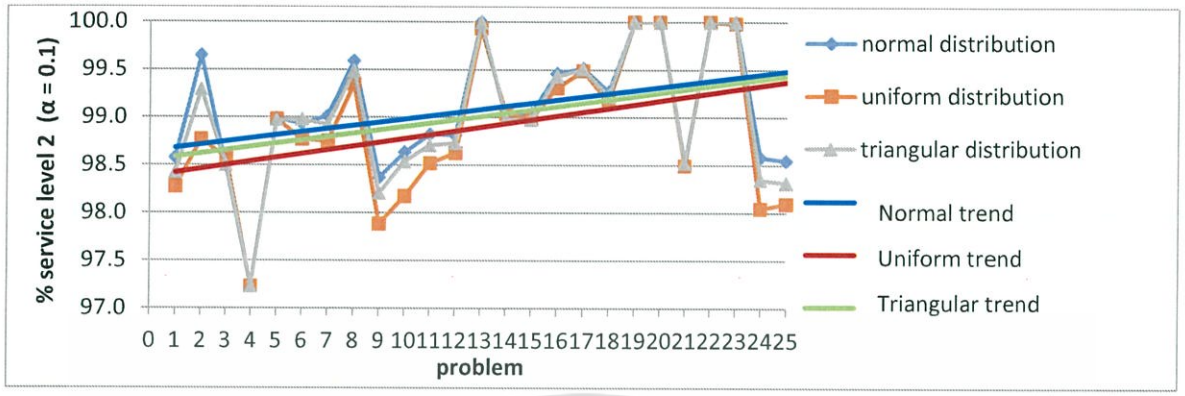


รูปที่ 4.18 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับการให้บริการประเภทที่ 1 เมื่อทำการเรียงลำดับของความจุสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ α = 0.1



รูปที่ 4.19 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับการให้บริการประเภทที่ 2 เมื่อทำการเรียงลำดับของความจุสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ σ/μ = 0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับการให้บริการประเภทที่ 2 เมื่อทำการเรียงลำดับของความจุสินค้าจากน้อยไปมากของปัญหาทั้ง 25 เมื่อ α = 0.1

ในภาพรวมสรุปได้ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง (σ/μ) เท่ากับ 10 % หรือ การเปลี่ยนแปลง α เท่ากับ 10 % นั้นจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมอย่างเห็นได้ชัด เช่นในปัญหา B-n78-k10 ของรูปแบบการแจกแจงแบบปกติเมื่อเปลี่ยนแปลง (σ/μ) = 10% หรือเมื่อเปลี่ยนแปลง α = 10% ส่งผลให้ร้อยละของต้นทุนรวมเพิ่มขึ้นจากเดิม 23.478 % และ 15.715 % ตามลำดับซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างมาก ในขณะที่ระดับการให้บริการประเภทที่ 1 และ 2 ยังมีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (มากกว่า 93 % และ 95 % ตามลำดับ) แต่ในทางกลับกันเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง (σ/μ) หรือ α มากกว่า 10 % จนถึง 100 % นั้นจะส่งผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งและค่าร้อยละของอัตราการลดลงของระดับการให้บริการประเภทที่ 1 และ 2 น้อยลง เนื่องจากในตอนแรกรถบรรทุกสินค้าแต่ละคันบรรจุสินค้าจนเต็มจำนวนพอดีหรือเกือบเต็มจำนวนที่สามารถบรรจุได้ ดังนั้นเมื่อมีปริมาณอุปสงค์เปลี่ยนแปลงไป 10 % ทำให้ไม่สามารถส่งลูกค้าได้ครบทุกรายจึงต้องวนรถกลับมารับสินค้าใหม่ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ต้นทุนรวมในการขนส่งเพิ่มขึ้นและระดับการให้บริการลดลงในอัตราที่รวดเร็วกว่าเมื่อปริมาณอุปสงค์เปลี่ยนแปลงไปมากกว่า 10 % เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีความจุรถจำกัดภายใต้ความไม่แน่นอนและเลือกใช้การจำลองสถานการณ์สำหรับการพัฒนาให้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ผลกระทบของความไม่แน่นอนของอุปสงค์ต่อต้นทุนรวมการขนส่งและระดับการให้บริการ และจากความไม่แน่นอนดังกล่าวทำให้ปริมาณอุปสงค์มีรูปแบบการแจกแจงที่แตกต่างกันตามชนิดของสินค้าซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกรูปแบบการแจกแจงของปริมาณอุปสงค์ 3 ประเภทคือ รูปแบบการแจกแจงแบบปกติ การแจกแจงแบบเอกรูป และการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม และพัฒนาแบบจำลองที่ผู้ใช้สามารถเลือกรูปแบบการแจกแจงของอุปสงค์ที่ต้องการศึกษาผลกระทบของต้นทุนในการขนส่งซึ่งคิดเป็นร้อยละของอัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนที่เปลี่ยนไปกับต้นทุนรวมการขนส่งเมื่ออุปสงค์คงที่ และผลกระทบของระดับการให้บริการ 2 ประเภทคือ ระดับการให้บริการที่คำนวณจากร้อยละของจำนวนลูกค้าที่สามารถส่งสินค้าภายในรอบแรกของการขนส่ง และระดับการให้บริการที่คำนวณจากร้อยละของจำนวนลูกค้าที่ใช้ระยะทางน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะทางรวมในการขนส่งเมื่อปริมาณอุปสงค์คงที่ โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการที่รถขนส่งสินค้าจะต้องวนรถกลับไปรับสินค้าใหม่ถ้าหากว่ามีความจุของสินค้าขณะนั้นน้อยกว่าปริมาณอุปสงค์ของลูกค้าที่จะต้องส่งสินค้าในลำดับถัดไป หลังจากนั้นทำการทดลองปรับเปลี่ยนปริมาณอุปสงค์ใน 3 รูปแบบการแจกแจงข้างต้นกับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ 25 ปัญหาที่มีความแตกต่างกันใน 2 กรณีคือการเปลี่ยนแปลง สัมประสิทธิ์ของความผันแปร และ การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์ ซึ่งผลการทดลองสรุปได้ว่า ถ้าปริมาณอุปสงค์ของลูกค้ามีความไม่แน่นอนแล้วจะส่งผลต่อต้นทุนรวมการขนส่งเพิ่มขึ้นและระดับการให้บริการลดลง และผลของการแจกแจงของอุปสงค์ทั้ง 3 ประเภทเมื่อทำเปลี่ยนแปลง สัมประสิทธิ์ของความผันแปร นั้นจะส่งผลให้ต้นทุนรวมการขนส่งเพิ่มขึ้นและระดับการให้บริการลดลงในค่าที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์การแจกแจงแบบเอกรูปจะส่งผลให้ต้นทุนรวมการขนส่งเพิ่มขึ้นและระดับการให้บริการลดลงมากกว่าการแจกแจงแบบสามเหลี่ยมและแบบปกติตามลำดับ อีกทั้งในภาพรวมแสดงให้เห็นว่าปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีจำนวนรถมากเมื่อปริมาณอุปสงค์มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของต้นทุนการขนส่งและการลดลงของระดับการให้บริการมากกว่าปัญหาที่มีจำนวนรถขนส่งน้อย ในขณะที่ถ้าปัญหาใดมีความจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สินค้ามากเมื่อปริมาณอุปสงค์มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นก็ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของต้นทุนการขนส่งและการลดลงของระดับการให้บริการน้อยกว่าปัญหาที่มีความจุสินค้าน้อย

5.1.1 ความเห็นของผู้วิจัยและแนวทางการพัฒนาโปรแกรม

แบบจำลองในงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์เส้นทางการขนส่งและใช้เป็นตัวประกอบการตัดสินใจว่าควรจะเปลี่ยนแปลงเส้นทางการขนส่งใหม่หรือไม่ โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงต้นทุนรวมการขนส่งที่เพิ่มมากขึ้นหรือระดับการให้บริการที่ลดลงเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของการบริการเพื่อให้ลูกค้ามีความพึงพอใจ อย่างไรก็ตามผู้ประกอบการควรคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องควบคู่ไปด้วย เช่นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเส้นทางการขนส่งใหม่ผู้ขนส่งสินค้าอาจหลงทางได้เนื่องจากไม่ชำนาญเส้นทาง เป็นต้น

แนวทางการพัฒนาโปรแกรมอาจทำได้โดยการเพิ่มรูปแบบการแจกแจงของปริมาณอุปสงค์ให้มากขึ้นเพื่อรองรับสำหรับสินค้าบางชนิดที่มีรูปแบบการแจกแจงนอกเหนือจากการแจกแจงทั้ง 3 ประเภทในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้ถ้าหากนำแบบจำลองนี้ไปประยุกต์ใช้กับผู้ประกอบการหนึ่งๆ ที่ต้องการศึกษาผลกระทบต่อต้นทุนรวมการขนส่งและระดับการให้บริการจากความไม่แน่นอนของปริมาณอุปสงค์ โดยมีข้อมูลของปริมาณอุปสงค์เฉลี่ยของลูกค้าแต่ละราย พิกัดจุดรับสินค้าของลูกค้าแต่ละราย จำนวนรถขนส่งสินค้า จำนวนลูกค้า ความจุสินค้า รวมถึงเส้นทางการขนส่งที่ดีที่สุด อาจประยุกต์ใช้ฟังก์ชันในการเรียกเปิดข้อมูลดังกล่าวจากโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขข้อมูลได้สะดวกและรวดเร็วกว่าการปรับเปลี่ยนข้อมูลใน Text File ที่ประยุกต์ใช้อยู่ในแบบจำลองนี้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- Li Jiang, Hongyan Wang, and Bin Ding., 2013. Disruption Management Recovery Model of Distribution Delay with Service Priority. Asian Social Science; Vol. 9, No. 2: 170-179.

- อุบลรัตน์ เธียรธนาคม,2551.การใช้วิธีเชิงฮิวริสติกส์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีคลังสินค้าหลายแห่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ธีรศักดิ์ อุรัจจานนท์,2556.การวัดการกระจายของข้อมูล. วันที่สืบค้น 4 พฤษภาคม 2558, เว็บไซต์: http://teerasak.rmutl.ac.th/wp-content/uploads/2013/06/สถิติ-4-การวัดการกระจาย.pdf

- D. J. Schroeder., 1999. Astronomical optics,Second Edition:Academic Press.

- Bushberg, J. T., et al., 2006. The Essential Physics of Medical Imaging, Second Edition. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins.

- WICHUDA,2013. การแจกแจงแบบปกติ. วันที่สืบค้น 26 เมษายน 2558, เว็บไซต์: http://home.kku.ac.th/wichuda/BasicStat/Slide/Ch5Normal.pdf

- Wikipedia, 2015. Uniform distribution. วันที่สืบค้น 26 เมษายน 2558, เว็บไซต์: http://en.wikipedia.org/wiki/Uniform_distribution_%28continuous%29

- Wikipedia, 2015. Triangular distribution. วันที่สืบค้น 26 เมษายน 2558, เว็บไซต์: http://en.wikipedia.org/wiki/Triangular_distribution

- Kelton ,D.W., Sadowski , R.P. and Sturrock D.T., 2003. Simulation with Arena.Third Edition., McGraw-Hill : The McGraw-Hill Company, Inc.

- Maria, A., 1997, Introduction to model and simulation, Proceeding of the 1997 Winter simulation Conference ed. S. Andradottir, K.J. Healy, D.H. Withers, and B.L.Nelson.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Hamdy A. Taha. 2007. Operation Research An Introduction. Eight edition.New Jersey : Pearson Prentice Hall.

- P. Augerat, J.M. Belenguer, E. Benavent, A. Corberán, D. Naddef, G. Rinaldi, Computational Results with a Branch and Cut Code for the Capacitated Vehicle Routing Problem, Research Report 949-M, Universite Joseph Fourier, Grenoble, France.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ผลการทดลองในตารางที่ ผ 1 ถึง ผ 20 ของภาคผนวกเป็นการแสดงผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ของความผันแปร (CV) ที่มีช่วงการเปลี่ยนแปลง (σ/μ) เท่ากับ 10 % ตั้งแต่ 0.1 - 1 เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์ (Interval of Demand) ที่มีช่วงการเปลี่ยนแปลง α เท่ากับ 10 % ตั้งแต่ 0.1 - 1 ของการแจกแจงแบบปกติ การแจกแจงแบบเอกรูป และการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม โดยกำหนดให้ (a ,b ,c) โดยที่ a = จำนวนรถขนส่งสินค้า b = จำนวนลูกค้า และ c = ความจุของรถ และแสดงค่าร้อยละการเพิ่มขึ้นของต้นทุนรวมการขนส่งและค่าร้อยละการลดลงของระดับการให้บริการประเภทที่ 1 และ 2 ของทั้ง 25 ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 1 การเปลี่ยนแปลง สัมประสิทธิ์ของความผันแปร เมื่อ σ/μ = 0.1

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	5.242	97.444	99.356	5.042	97.528	99.316	4.906	97.600	99.360
P-n55-k8	(8,54,160)	5.966	97.328	98.904	5.996	97.316	98.890	5.741	97.424	98.962
P-n55-k7	(7,54,170)	7.098	97.247	98.972	7.090	97.236	99.017	7.145	97.215	99.035
P-n60-k15	(15,59,80)	12.976	93.219	97.491	12.449	93.458	97.681	12.492	93.472	97.634
P-n76-k5	(5,75,280)	1.948	98.068	99.125	2.049	98.005	99.053	1.994	98.041	99.123
P-n101-k4	(4,100,400)	0.804	99.744	99.980	0.726	99.769	99.989	0.779	99.751	99.986
A-n33-k5	(5,32,100)	8.062	96.550	97.763	8.159	96.558	97.785	8.293	96.553	97.722
A-n53-k7	(7,52,100)	20.167	94.216	98.468	19.669	94.348	98.530	20.676	94.058	98.490
A-n64-k9	(9,63,100)	19.535	93.938	98.349	20.115	93.807	98.168	19.901	93.863	98.221
A-n80-k10	(10,79,100)	16.982	96.243	97.819	17.326	96.210	97.792	17.175	96.187	97.762
B-n45-k5	(5,44,100)	9.520	96.031	98.509	9.740	95.970	98.536	9.948	95.894	98.449
B-n41-k6	(6,40,100)	16.108	95.618	96.698	15.717	95.771	96.759	15.826	95.699	96.788
B-n51-k7	(7,50,100)	20.474	95.654	98.680	20.976	95.580	98.610	20.097	95.742	98.740
B-n66-k9	(9,65,100)	21.073	94.570	99.196	21.390	94.504	99.182	21.304	94.541	99.252
B-n78-k10	(10,77,100)	23.478	93.625	97.148	23.006	93.691	97.220	22.907	93.690	97.312
F-n45-k4	(4,44,2010)	6.030	95.161	100.000	6.450	94.764	100.000	6.492	94.793	100.000
F-n72-k4	(4,71,30000)	12.199	96.095	97.873	12.217	95.956	97.925	12.345	95.995	97.896
F-n135-k7	(7,134,2210)	11.973	97.598	98.503	11.916	97.571	98.509	12.152	97.529	98.502
E-n22-k4	(4,21,6000)	3.626	97.255	99.515	3.761	97.005	99.580	3.249	97.300	99.645
E-n23-k3	(3,22,4500)	3.888	98.180	100.000	4.400	97.940	100.000	3.667	98.283	100.000
E-n76-k10	(10,75,140)	9.590	95.751	98.207	9.493	95.727	98.287	9.481	95.725	98.298
E-n76-k14	(14,75,100)	15.717	93.229	98.003	15.942	93.117	97.952	15.349	93.372	98.025
E-n33-k4	(4,32,8000)	15.387	95.997	97.119	15.580	95.947	97.053	15.535	95.958	97.029
M-n121-k7	(7,120,200)	6.499	97.371	98.874	6.640	97.304	98.841	6.265	97.417	98.885
M-n101-k10	(10,100,200)	18.182	97.925	99.489	17.872	97.941	99.539	18.029	97.935	99.511

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 2 การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์เมื่อ $\alpha = 0.1$

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	0.702	99.676	100.000	2.680	98.748	99.932	1.263	99.416	99.996
P-n55-k8	(8,54,160)	2.673	98.687	98.989	3.999	98.163	99.032	3.246	98.460	98.983
P-n55-k7	(7,54,170)	3.394	98.860	99.045	4.928	98.213	98.991	4.035	98.607	98.975
P-n60-k15	(15,59,80)	7.588	95.704	98.579	9.504	94.753	98.275	8.275	95.369	98.427
P-n76-k5	(5,75,280)	1.522	98.419	99.268	1.637	98.297	99.159	1.536	98.403	99.221
P-n101-k4	(4,100,400)	0.011	99.997	100.000	0.200	99.941	100.000	0.055	99.984	100.000
A-n33-k5	(5,32,100)	1.593	99.387	99.649	4.737	98.096	98.771	3.055	98.841	99.290
A-n53-k7	(7,52,100)	12.942	96.245	98.939	16.200	95.329	98.771	13.515	96.084	98.977
A-n64-k9	(9,63,100)	11.892	95.799	99.013	16.445	94.697	98.751	13.489	95.398	98.923
A-n80-k10	(10,79,100)	9.281	97.972	98.635	13.518	97.145	98.176	10.668	97.699	98.535
B-n45-k5	(5,44,100)	6.838	97.081	98.494	8.077	96.645	98.575	7.113	96.979	98.500
B-n41-k6	(6,40,100)	12.167	96.676	97.231	12.918	96.401	97.231	12.369	96.589	97.233
B-n51-k7	(7,50,100)	15.199	96.871	98.987	16.938	96.493	98.980	15.916	96.719	98.973
B-n66-k9	(9,65,100)	13.766	95.969	99.590	18.639	95.097	99.348	15.415	95.657	99.482
B-n78-k10	(10,77,100)	15.715	95.981	98.370	19.322	95.008	97.885	16.578	95.685	98.207
F-n45-k4	(4,44,2010)	4.927	96.971	100.000	5.962	95.658	100.000	5.161	96.613	100.000
F-n72-k4	(4,71,30000)	10.820	97.453	98.547	11.906	96.428	98.097	11.447	97.023	98.316
F-n135-k7	(7,134,2210)	10.052	98.405	98.513	10.958	98.041	98.495	9.970	98.302	98.525
E-n22-k4	(4,21,6000)	0.744	99.280	100.000	1.417	98.645	99.985	0.985	99.045	100.000
E-n23-k3	(3,22,4500)	1.445	99.323	100.000	3.304	98.453	100.000	2.506	98.827	100.000
E-n76-k10	(10,75,140)	5.723	97.276	98.814	7.057	96.777	98.628	6.205	97.124	98.731
E-n76-k14	(14,75,100)	9.450	95.534	98.821	12.297	94.459	98.521	10.425	95.177	98.709
E-n33-k4	(4,32,8000)	7.723	98.305	98.584	11.681	97.216	98.045	9.317	97.883	98.348
M-n121-k7	(7,120, 200)	2.006	98.347	99.461	3.138	98.007	99.308	2.202	98.272	99.429
M-n101-k10	(10,100,200)	17.176	98.041	99.513	17.566	98.001	99.489	17.501	98.003	99.506

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 3 การเปลี่ยนแปลง สัมประสิทธิ์ของความผันแปร เมื่อ $\sigma/\mu = 0.2$

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	7.864	95.878	98.432	7.689	95.982	98.384	7.673	96.016	98.448
P-n55-k8	(8,54,160)	8.359	96.265	98.618	8.797	96.060	98.530	8.465	96.202	98.608
P-n55-k7	(7,54,170)	9.753	95.875	98.779	9.908	95.811	98.800	10.119	95.703	98.743
P-n60-k15	(15,59,80)	17.589	91.047	96.110	17.944	90.948	96.063	17.961	90.897	96.071
P-n76-k5	(5,75,280)	3.579	97.159	98.886	3.528	97.211	98.851	3.303	97.318	98.989
P-n101-k4	(4,100,400)	1.898	99.284	99.827	1.872	99.314	99.849	2.005	99.252	99.824
A-n33-k5	(5,32,100)	11.827	94.714	96.600	12.752	94.364	96.314	12.676	94.414	96.328
A-n53-k7	(7,52,100)	23.972	93.058	98.176	23.964	93.120	98.276	24.108	93.058	98.168
A-n64-k9	(9,63,100)	23.302	92.491	97.489	23.314	92.455	97.351	23.477	92.442	97.511
A-n80-k10	(10,79,100)	22.482	94.096	96.794	22.004	94.166	96.989	21.849	94.254	96.921
B-n45-k5	(5,44,100)	11.738	94.605	98.442	11.260	94.799	98.466	11.980	94.515	98.385
B-n41-k6	(6,40,100)	21.484	93.943	95.356	22.817	93.638	95.148	22.833	93.618	95.125
B-n51-k7	(7,50,100)	25.705	93.870	98.270	26.039	93.680	98.174	25.596	93.876	98.218
B-n66-k9	(9,65,100)	24.182	93.487	99.064	24.150	93.492	99.078	23.035	93.759	99.104
B-n78-k10	(10,77,100)	26.844	91.787	96.473	26.255	92.009	96.533	26.360	91.956	96.519
F-n45-k4	(4,44,2010)	7.935	92.337	100.000	7.459	91.934	100.000	7.594	92.516	100.000
F-n72-k4	(4,71,30000)	13.640	95.031	97.500	13.201	95.101	97.618	13.880	94.938	97.413
F-n135-k7	(7,134,2210)	15.456	96.267	98.483	15.848	96.141	98.471	15.521	96.180	98.485
E-n22-k4	(4,21,6000)	9.596	93.813	97.390	9.993	93.624	97.170	9.689	93.564	97.370
E-n23-k3	(3,22,4500)	4.650	97.823	100.000	4.799	97.753	100.000	4.450	97.917	100.000
E-n76-k10	(10,75,140)	12.885	94.196	97.862	13.147	94.077	97.878	12.843	94.209	97.841
E-n76-k14	(14,75,100)	19.527	91.267	97.083	19.655	91.199	97.115	19.582	91.262	97.036
E-n33-k4	(4,32,8000)	19.687	94.145	95.550	20.821	93.818	95.213	19.976	94.047	95.442
M-n121-k7	(7,120,200)	14.085	96.183	97.853	14.192	96.181	97.841	13.821	96.222	97.899
M-n101-k10	(10,100,200)	19.755	97.553	99.469	20.004	97.550	99.451	19.889	97.541	99.472

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 4 การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์เมื่อ α = 0.2

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	2.900	98.616	99.788	5.779	97.136	99.072	3.858	98.136	99.608
P-n55-k8	(8,54,160)	4.554	97.919	98.964	6.492	97.125	98.943	4.985	97.748	99.004
P-n55-k7	(7,54,170)	5.413	98.005	98.979	7.906	96.867	98.973	6.215	97.636	98.984
P-n60-k15	(15,59,80)	10.143	94.475	98.085	13.650	92.956	97.339	11.306	93.927	97.917
P-n76-k5	(5,75,280)	1.702	98.241	99.120	2.211	97.913	99.048	1.799	98.165	99.109
P-n101-k4	(4,100,400)	0.332	99.901	99.999	1.003	99.674	99.973	0.479	99.855	99.997
A-n33-k5	(5,32,100)	5.731	97.653	98.445	8.633	96.275	97.575	6.654	97.239	98.197
A-n53-k7	(7,52,100)	17.103	95.039	98.705	21.342	93.911	98.420	18.549	94.669	98.639
A-n64-k9	(9,63,100)	16.861	94.608	98.591	20.313	93.711	98.185	18.646	94.175	98.407
A-n80-k10	(10,79,100)	14.207	96.999	98.155	18.461	95.841	97.609	15.495	96.665	98.060
B-n45-k5	(5,44,100)	8.662	96.399	98.488	10.495	95.601	98.497	9.035	96.262	98.548
B-n41-k6	(6,40,100)	13.810	96.197	97.077	17.598	95.307	96.374	14.731	95.961	96.941
B-n51-k7	(7,50,100)	17.884	96.293	98.880	21.401	95.377	98.617	18.957	96.033	98.787
B-n66-k9	(9,65,100)	18.705	95.138	99.382	21.942	94.307	99.208	19.639	94.917	99.264
B-n78-k10	(10,77,100)	19.892	94.761	97.761	24.175	93.257	97.048	21.313	94.263	97.470
F-n45-k4	(4,44,2010)	5.709	95.882	100.000	6.716	94.253	100.000	6.126	95.329	100.000
F-n72-k4	(4,71,30000)	12.075	96.433	97.980	12.658	95.748	97.821	12.381	96.141	97.885
F-n135-k7	(7,134,2210)	11.024	97.998	98.499	12.232	97.383	98.515	11.179	97.829	98.513
E-n22-k4	(4,21,6000)	1.815	98.330	99.925	4.486	96.630	99.295	2.676	97.725	99.800
E-n23-k3	(3,22,4500)	3.169	98.517	100.000	4.408	97.937	100.000	3.767	98.237	100.000
E-n76-k10	(10,75,140)	7.644	96.509	98.559	10.388	95.382	98.146	8.614	96.102	98.400
E-n76-k14	(14,75,100)	12.920	94.201	98.437	16.710	92.823	97.796	14.414	93.690	98.233
E-n33-k4	(4,32,8000)	12.260	97.021	97.869	17.210	95.380	96.585	14.106	96.431	97.451
M-n121-k7	(7,120,200)	3.880	97.827	99.198	7.876	97.145	98.693	5.061	97.573	99.045
M-n101-k10	(10,100,200)	17.255	98.025	99.523	18.336	97.892	99.519	18.329	97.907	99.491

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 5 การเปลี่ยนแปลง สัมประสิทธิ์ของความผันแปร เมื่อ σ/μ = 0.3

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	9.257	94.691	97.668	9.506	94.579	97.728	9.584	94.509	97.772
P-n55-k8	(8,54,160)	11.274	94.749	97.990	11.203	94.724	97.936	11.166	94.768	98.024
P-n55-k7	(7,54,170)	11.666	94.704	98.304	11.483	94.781	98.332	11.632	94.733	98.355
P-n60-k15	(15,59,80)	21.173	88.821	94.781	21.318	88.753	94.789	21.011	88.857	94.780
P-n76-k5	(5,75,280)	4.826	96.255	98.668	4.784	96.287	98.637	4.688	96.409	98.719
P-n101-k4	(4,100,400)	2.974	98.686	99.606	2.861	98.754	99.626	2.606	98.867	99.653
A-n33-k5	(5,32,100)	14.512	93.435	95.644	14.332	93.445	95.624	14.200	93.462	95.731
A-n53-k7	(7,52,100)	25.684	92.214	97.972	25.477	92.250	97.908	25.963	92.170	97.974
A-n64-k9	(9,63,100)	24.722	91.187	96.584	24.793	91.301	96.640	25.230	91.045	96.512
A-n80-k10	(10,79,100)	25.166	92.257	96.017	25.940	92.007	95.894	25.569	92.141	96.045
B-n45-k5	(5,44,100)	14.009	92.927	97.919	13.706	92.891	97.851	13.825	93.069	97.964
B-n41-k6	(6,40,100)	24.860	92.436	94.334	25.808	92.001	94.121	25.449	92.141	94.153
B-n51-k7	(7,50,100)	27.161	92.402	98.086	27.898	92.096	97.980	28.727	91.820	98.002
B-n66-k9	(9,65,100)	25.040	92.653	98.914	25.054	92.745	98.906	24.827	92.809	98.893
B-n78-k10	(10,77,100)	28.301	90.501	95.989	28.456	90.497	95.982	29.264	90.232	95.789
F-n45-k4	(4,44,2010)	9.712	90.869	99.946	9.840	90.473	99.991	9.285	91.557	99.961
F-n72-k4	(4,71,30000)	14.835	93.888	97.439	15.074	93.746	97.333	15.456	93.639	97.302
F-n135-k7	(7,134,2210)	17.326	94.707	98.485	17.886	94.521	98.487	17.350	94.591	98.487
E-n22-k4	(4,21,6000)	14.337	90.206	95.276	14.405	90.271	95.134	14.362	90.187	95.199
E-n23-k3	(3,22,4500)	5.056	97.633	100.000	4.792	97.757	100.000	4.999	97.660	100.000
E-n76-k10	(10,75,140)	14.699	93.095	97.546	15.156	92.843	97.493	15.388	92.761	97.458
E-n76-k14	(14,75,100)	21.692	89.691	96.400	21.706	89.617	96.265	21.840	89.611	96.366
E-n33-k4	(4,32,8000)	22.270	92.541	94.243	22.653	92.417	94.173	22.256	92.605	94.369
M-n121-k7	(7,120,200)	19.189	95.213	97.113	19.173	95.111	97.082	19.385	95.186	97.082
M-n101-k10	(10,100,200)	21.383	96.897	99.261	21.340	96.898	99.295	21.251	96.908	99.307

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 6 การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์เมื่อ α = 0.3

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	4.664	97.720	99.400	7.555	96.179	98.576	5.897	97.084	99.084
P-n55-k8	(8,54,160)	5.902	97.363	98.923	8.093	96.412	98.712	6.526	97.113	98.957
P-n55-k7	(7,54,170)	7.142	97.221	98.991	9.538	96.056	98.844	7.881	96.861	99.021
P-n60-k15	(15,59,80)	12.358	93.497	97.663	17.203	91.375	96.244	13.933	92.816	97.271
P-n76-k5	(5,75,280)	2.017	98.033	99.084	3.121	97.446	98.971	2.334	97.837	99.057
P-n101-k4	(4,100,400)	0.763	99.756	99.985	1.668	99.405	99.895	1.127	99.627	99.964
A-n33-k5	(5,32,100)	8.153	96.567	97.809	11.349	94.968	96.786	9.270	95.999	97.383
A-n53-k7	(7,52,100)	20.329	94.164	98.457	23.315	93.300	98.292	21.482	93.864	98.451
A-n64-k9	(9,63,100)	20.072	93.781	98.136	23.122	92.733	97.628	21.073	93.491	98.081
A-n80-k10	(10,79,100)	17.428	96.177	97.832	21.582	94.521	97.007	18.622	95.733	97.613
B-n45-k5	(5,44,100)	9.621	95.996	98.524	11.237	94.982	98.499	10.214	95.720	98.527
B-n41-k6	(6,40,100)	16.123	95.657	96.659	21.015	94.229	95.579	17.967	95.149	96.357
B-n51-k7	(7,50,100)	20.797	95.565	98.645	24.631	94.335	98.315	21.864	95.295	98.597
B-n66-k9	(9,65,100)	20.613	94.648	99.228	23.647	93.767	99.146	21.625	94.380	99.234
B-n78-k10	(10,77,100)	23.344	93.599	97.218	26.480	92.169	96.629	23.471	93.365	97.143
F-n45-k4	(4,44,2010)	6.387	94.729	100.000	7.381	92.465	100.000	6.746	94.048	100.000
F-n72-k4	(4,71,30000)	12.020	96.177	97.937	12.725	95.511	97.705	12.583	95.813	97.807
F-n135-k7	(7,134,2210)	12.082	97.631	98.492	14.023	96.605	98.519	13.008	97.291	98.495
E-n22-k4	(4,21,6000)	3.697	97.000	99.535	8.788	94.323	97.700	5.083	96.530	99.050
E-n23-k3	(3,22,4500)	3.767	98.237	100.000	4.507	97.890	100.000	3.930	98.160	100.000
E-n76-k10	(10,75,140)	9.792	95.620	98.243	12.578	94.353	97.977	10.941	95.141	98.130
E-n76-k14	(14,75,100)	15.628	93.209	98.010	19.320	91.603	97.174	16.935	92.727	97.771
E-n33-k4	(4,32,8000)	15.430	96.003	97.077	19.880	94.255	95.672	16.122	95.595	96.785
M-n121-k7	(7,120,200)	6.335	97.382	98.883	12.497	96.453	98.071	8.561	97.019	98.583
M-n101-k10	(10,100,200)	18.355	97.893	99.501	19.427	97.670	99.494	18.455	97.866	99.505

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 7 การเปลี่ยนแปลง สัมประสิทธิ์ของความผันแปร เมื่อ σ/μ = 0.4

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	10.627	93.421	96.998	10.208	93.689	97.076	11.345	93.180	96.849
P-n55-k8	(8,54,160)	13.377	93.321	97.440	12.954	93.581	97.458	13.280	93.389	97.414
P-n55-k7	(7,54,170)	13.046	93.641	97.837	12.941	93.747	97.865	13.039	93.719	97.903
P-n60-k15	(15,59,80)	23.109	87.033	93.737	23.297	86.873	93.647	23.339	86.824	93.606
P-n76-k5	(5,75,280)	6.003	95.298	98.337	5.928	95.380	98.327	6.039	95.268	98.374
P-n101-k4	(4,100,400)	3.476	98.168	99.361	3.399	98.191	99.405	3.258	98.336	99.470
A-n33-k5	(5,32,100)	15.946	92.460	94.833	16.320	92.195	94.598	16.656	91.905	94.472
A-n53-k7	(7,52,100)	26.445	91.376	97.650	26.029	91.444	97.590	26.370	91.318	97.624
A-n64-k9	(9,63,100)	26.598	89.512	95.646	27.482	89.156	95.519	27.316	89.313	95.641
A-n80-k10	(10,79,100)	27.556	90.527	95.196	27.760	90.353	95.217	28.398	90.095	95.066
B-n45-k5	(5,44,100)	15.663	91.420	97.471	15.646	91.428	97.438	15.855	91.533	97.555
B-n41-k6	(6,40,100)	27.488	90.774	93.137	27.369	90.541	93.125	27.309	90.733	93.251
B-n51-k7	(7,50,100)	28.657	90.618	97.948	29.952	89.954	97.804	28.872	90.350	98.012
B-n66-k9	(9,65,100)	27.316	91.459	98.636	26.080	91.632	98.618	27.422	91.434	98.570
B-n78-k10	(10,77,100)	30.147	89.147	95.432	29.422	89.179	95.436	30.020	89.190	95.309
F-n45-k4	(4,44,2010)	11.525	90.137	99.771	11.904	89.867	99.846	11.397	90.202	99.802
F-n72-k4	(4,71,30000)	16.700	92.335	97.070	16.066	92.458	97.183	16.231	92.559	97.078
F-n135-k7	(7,134,2210)	19.374	93.240	98.402	20.051	92.548	98.407	19.237	93.025	98.428
E-n22-k4	(4,21,6000)	17.270	87.849	93.664	17.038	87.719	93.831	16.638	87.828	93.949
E-n23-k3	(3,22,4500)	4.848	97.710	99.973	4.949	97.683	100.000	5.049	97.623	99.983
E-n76-k10	(10,75,140)	16.439	91.883	97.076	17.370	91.392	96.974	16.896	91.722	97.087
E-n76-k14	(14,75,100)	22.566	88.494	95.691	23.175	88.210	95.631	22.575	88.503	95.833
E-n33-k4	(4,32,8000)	25.257	91.075	93.387	24.618	91.091	93.350	25.190	91.013	93.381
M-n121-k7	(7,120,200)	21.543	94.469	96.681	21.977	94.403	96.607	22.284	94.363	96.586
M-n101-k10	(10,100,200)	22.640	96.072	99.007	22.632	96.013	98.978	23.165	95.948	98.975

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 8 การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์เมื่อ α = 0.4

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	6.288	96.880	98.972	8.617	95.381	98.188	7.157	96.385	98.628
P-n55-k8	(8,54,160)	6.875	96.960	98.873	9.800	95.563	98.328	7.629	96.624	98.787
P-n55-k7	(7,54,170)	8.292	96.661	98.968	10.398	95.494	98.635	9.118	96.256	98.912
P-n60-k15	(15,59,80)	14.464	92.623	97.082	19.523	90.053	95.511	16.019	91.957	96.633
P-n76-k5	(5,75,280)	2.467	97.763	99.032	4.079	96.859	98.796	2.940	97.543	99.007
P-n101-k4	(4,100,400)	1.284	99.572	99.943	2.276	99.112	99.765	1.486	99.480	99.904
A-n33-k5	(5,32,100)	9.759	95.763	97.179	13.027	94.198	96.100	11.234	95.111	96.771
A-n53-k7	(7,52,100)	21.439	93.847	98.488	24.670	92.785	98.160	23.450	93.251	98.288
A-n64-k9	(9,63,100)	21.302	93.422	97.978	23.799	92.119	97.145	22.504	92.966	97.769
A-n80-k10	(10,79,100)	18.936	95.600	97.580	23.316	93.518	96.598	21.113	94.798	97.182
B-n45-k5	(5,44,100)	10.445	95.522	98.398	12.490	94.072	98.319	10.813	95.227	98.481
B-n41-k6	(6,40,100)	18.338	95.029	96.171	23.963	93.180	94.816	20.473	94.415	95.710
B-n51-k7	(7,50,100)	22.597	95.052	98.544	26.802	93.311	98.140	24.301	94.469	98.359
B-n66-k9	(9,65,100)	22.108	94.224	99.162	23.968	93.384	99.129	23.299	93.893	99.122
B-n78-k10	(10,77,100)	24.392	93.007	97.001	27.605	91.352	96.319	25.884	92.382	96.654
F-n45-k4	(4,44,2010)	6.777	94.093	100.000	8.166	91.561	100.000	7.070	93.221	100.000
F-n72-k4	(4,71,30000)	13.048	95.649	97.738	14.276	94.575	97.367	13.343	95.357	97.599
F-n135-k7	(7,134,2210)	13.221	97.144	98.493	16.018	95.644	98.512	13.894	96.766	98.511
E-n22-k4	(4,21,6000)	5.920	95.921	98.795	11.619	92.566	96.427	7.600	94.890	98.200
E-n23-k3	(3,22,4500)	4.287	97.993	100.000	4.749	97.777	100.000	4.600	97.847	100.000
E-n76-k10	(10,75,140)	10.712	95.191	98.149	13.836	93.768	97.813	11.691	94.785	98.001
E-n76-k14	(14,75,100)	17.231	92.513	97.664	20.126	90.867	96.874	18.639	91.849	97.369
E-n33-k4	(4,32,8000)	17.372	95.204	96.489	22.020	93.215	94.679	18.871	94.653	95.983
M-n121-k7	(7,120,200)	9.720	96.840	98.423	16.272	95.801	97.533	11.550	96.591	98.178
M-n101-k10	(10,100,200)	18.784	97.821	99.496	20.257	97.387	99.433	19.540	97.679	99.482

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 9 การเปลี่ยนแปลง สัมประสิทธิ์ของความผันแปร เมื่อ σ/μ = 0.5

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	11.653	92.578	96.443	11.663	92.559	96.494	11.320	92.935	96.574
P-n55-k8	(8,54,160)	14.949	92.010	96.820	14.784	92.268	96.976	15.043	92.057	96.904
P-n55-k7	(7,54,170)	14.296	92.632	97.367	14.302	92.667	97.397	14.067	92.800	97.392
P-n60-k15	(15,59,80)	25.735	84.838	92.524	25.299	84.854	92.544	24.866	85.173	92.784
P-n76-k5	(5,75,280)	7.082	94.358	97.841	6.913	94.545	98.038	7.040	94.388	97.837
P-n101-k4	(4,100,400)	4.124	97.580	99.119	4.200	97.457	99.142	4.257	97.456	99.170
A-n33-k5	(5,32,100)	17.304	91.394	94.078	18.354	90.981	93.593	16.994	91.377	94.008
A-n53-k7	(7,52,100)	26.679	90.421	97.300	27.339	90.209	97.218	27.383	90.241	97.356
A-n64-k9	(9,63,100)	28.219	87.770	94.733	28.338	87.798	94.599	28.089	87.947	94.829
A-n80-k10	(10,79,100)	29.364	89.001	94.594	29.099	88.928	94.617	29.017	88.935	94.662
B-n45-k5	(5,44,100)	17.519	89.771	96.965	17.394	89.841	96.924	17.379	89.896	97.023
B-n41-k6	(6,40,100)	29.269	88.866	92.082	29.400	88.953	92.101	28.923	89.162	92.080
B-n51-k7	(7,50,100)	29.502	89.052	97.874	29.895	88.628	97.834	30.565	88.490	97.774
B-n66-k9	(9,65,100)	28.293	90.293	98.293	28.538	90.292	98.290	27.916	90.465	98.395
B-n78-k10	(10,77,100)	30.099	88.122	95.021	31.307	87.603	94.778	30.627	87.975	95.033
F-n45-k4	(4,44,2010)	12.877	89.062	99.544	14.388	88.555	99.491	13.471	89.099	99.453
F-n72-k4	(4,71,30000)	17.610	90.722	96.577	17.453	90.912	96.792	17.998	90.583	96.739
F-n135-k7	(7,134,2210)	20.498	91.716	98.346	21.675	91.074	98.324	21.856	91.360	98.313
E-n22-k4	(4,21,6000)	18.680	85.644	92.618	19.048	85.206	92.430	19.115	85.503	92.592
E-n23-k3	(3,22,4500)	5.118	97.565	99.947	5.149	97.547	99.943	5.003	97.627	99.960
E-n76-k10	(10,75,140)	18.768	90.309	96.547	18.513	90.370	96.651	18.484	90.464	96.664
E-n76-k14	(14,75,100)	23.815	87.161	95.003	23.992	87.021	94.955	23.706	87.115	95.025
E-n33-k4	(4,32,8000)	26.736	90.193	92.864	27.040	89.780	92.710	27.656	89.851	92.635
M-n121-k7	(7,120, 200)	23.919	93.534	96.198	23.517	93.719	96.316	23.885	93.689	96.233
M-n101-k10	(10,100,200)	24.347	95.049	98.665	24.823	94.843	98.535	24.551	95.017	98.645

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 10 การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์เมื่อ $\alpha = 0.5$

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	7.273	96.325	98.640	9.378	94.717	97.776	7.581	96.043	98.340
P-n55-k8	(8,54,160)	7.908	96.460	98.669	11.132	94.807	97.977	8.719	96.093	98.653
P-n55-k7	(7,54,170)	8.984	96.281	98.921	11.215	94.919	98.413	10.139	95.724	98.783
P-n60-k15	(15,59,80)	16.406	91.700	96.545	20.887	89.133	94.906	18.163	90.842	95.959
P-n76-k5	(5,75,280)	3.035	97.461	98.955	4.767	96.342	98.677	3.600	97.160	98.875
P-n101-k4	(4,100,400)	1.575	99.445	99.899	2.840	98.779	99.633	1.928	99.280	99.835
A-n33-k5	(5,32,100)	11.443	94.955	96.772	13.921	93.617	95.681	12.506	94.501	96.367
A-n53-k7	(7,52,100)	23.007	93.359	98.301	25.190	92.440	98.024	24.330	93.011	98.153
A-n64-k9	(9,63,100)	22.322	92.953	97.739	25.280	91.071	96.563	23.232	92.471	97.519
A-n80-k10	(10,79,100)	21.654	94.591	97.094	25.303	92.271	96.089	22.582	93.954	96.768
B-n45-k5	(5,44,100)	10.878	95.178	98.512	13.961	93.126	98.181	11.971	94.518	98.397
B-n41-k6	(6,40,100)	20.116	94.507	95.811	25.342	92.279	94.277	22.297	93.735	95.244
B-n51-k7	(7,50,100)	24.161	94.449	98.375	27.890	92.329	98.093	25.523	93.805	98.231
B-n66-k9	(9,65,100)	22.834	93.926	99.134	24.852	92.720	98.987	23.409	93.614	99.094
B-n78-k10	(10,77,100)	25.360	92.438	96.839	28.380	90.555	96.025	26.804	91.742	96.533
F-n45-k4	(4,44,2010)	7.489	92.921	100.000	9.320	90.917	99.986	7.879	92.299	100.000
F-n72-k4	(4,71,30000)	12.639	95.595	97.779	14.993	93.809	97.267	13.685	94.995	97.564
F-n135-k7	(7,134,2210)	14.545	96.668	98.484	17.475	94.702	98.491	14.878	96.139	98.519
E-n22-k4	(4,21,6000)	7.629	94.901	98.115	14.565	90.549	95.189	10.229	93.222	97.130
E-n23-k3	(3,22,4500)	4.258	98.007	100.000	5.155	97.587	100.000	4.536	97.877	100.000
E-n76-k10	(10,75,140)	11.610	94.767	98.083	14.965	93.053	97.534	13.051	94.149	97.856
E-n76-k14	(14,75,100)	18.672	91.861	97.315	21.471	89.805	96.463	19.550	91.209	97.045
E-n33-k4	(4,32,8000)	18.874	94.591	95.920	22.327	92.634	94.263	19.953	94.067	95.479
M-n121-k7	(7,120,200)	11.917	96.553	98.132	18.542	95.331	97.202	14.473	96.055	97.748
M-n101-k10	(10,100,200)	19.131	97.727	99.495	21.160	97.025	99.298	19.643	97.559	99.457

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 11 การเปลี่ยนแปลง สัมประสิทธิ์ของความผันแปร เมื่อ σ/μ = 0.6

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	12.866	91.888	95.845	13.236	91.589	95.793	12.706	91.891	95.896
P-n55-k8	(8,54,160)	15.776	91.130	96.471	15.933	91.093	96.605	16.275	90.829	96.552
P-n55-k7	(7,54,170)	15.271	91.761	96.981	15.283	91.745	97.019	15.296	91.786	96.949
P-n60-k15	(15,59,80)	26.962	83.499	91.829	26.520	83.378	91.854	26.769	83.466	91.792
P-n76-k5	(5,75,280)	8.022	93.434	97.447	7.996	93.472	97.343	8.139	93.328	97.379
P-n101-k4	(4,100,400)	4.871	96.812	98.848	4.969	96.668	98.862	4.555	97.039	98.968
A-n33-k5	(5,32,100)	19.115	90.158	92.995	18.801	90.291	93.011	18.981	90.122	93.187
A-n53-k7	(7,52,100)	28.053	89.183	97.022	27.437	89.326	97.160	28.200	89.028	96.962
A-n64-k9	(9,63,100)	29.757	86.238	93.670	29.376	86.280	93.920	29.241	86.492	93.990
A-n80-k10	(10,79,100)	30.338	87.520	93.982	30.311	87.431	93.917	30.425	87.425	93.904
B-n45-k5	(5,44,100)	18.303	88.794	96.694	18.824	88.283	96.419	18.375	88.741	96.653
B-n41-k6	(6,40,100)	30.568	87.379	91.203	29.975	87.521	91.010	30.666	87.267	91.066
B-n51-k7	(7,50,100)	30.408	87.306	97.630	31.470	86.686	97.606	30.328	87.152	97.738
B-n66-k9	(9,65,100)	29.633	89.022	97.858	29.523	89.080	97.949	29.475	89.205	97.952
B-n78-k10	(10,77,100)	31.786	86.887	94.556	31.233	86.848	94.693	31.400	86.814	94.720
F-n45-k4	(4,44,2010)	14.715	87.977	99.299	15.908	87.439	99.026	14.355	88.159	99.140
F-n72-k4	(4,71,30000)	17.271	90.306	96.596	18.313	89.569	96.493	17.118	89.926	96.615
F-n135-k7	(7,134,2210)	22.810	90.522	98.216	23.176	89.749	98.193	23.305	90.217	98.195
E-n22-k4	(4,21,6000)	20.925	83.415	91.456	20.162	83.152	91.658	20.810	83.156	91.304
E-n23-k3	(3,22,4500)	5.190	97.438	99.825	5.298	97.393	99.828	5.140	97.454	99.801
E-n76-k10	(10,75,140)	20.267	89.121	96.051	20.445	89.097	95.988	20.059	89.216	96.159
E-n76-k14	(14,75,100)	25.039	85.670	94.451	25.064	85.608	94.276	25.242	85.567	94.406
E-n33-k4	(4,32,8000)	30.319	88.675	92.051	29.996	88.653	92.025	31.227	88.173	91.655
M-n121-k7	(7,120, 200)	25.923	92.808	95.817	25.717	92.750	95.822	25.407	92.868	95.822
M-n101-k10	(10,100,200)	25.245	94.207	98.371	25.555	93.928	98.285	25.658	94.050	98.304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 12 การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์เมื่อ $\alpha = 0.6$

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	7.999	95.862	98.432	9.372	94.479	97.576	8.702	95.291	98.024
P-n55-k8	(8,54,160)	8.682	96.101	98.563	12.561	93.951	97.700	9.795	95.537	98.311
P-n55-k7	(7,54,170)	9.898	95.784	98.775	12.262	94.229	98.116	10.993	95.158	98.533
P-n60-k15	(15,59,80)	17.906	90.908	96.043	22.312	87.834	94.315	19.780	89.878	95.396
P-n76-k5	(5,75,280)	3.498	97.191	98.903	5.380	95.855	98.539	4.165	96.801	98.818
P-n101-k4	(4,100,400)	1.910	99.293	99.837	3.113	98.489	99.553	2.355	99.049	99.751
A-n33-k5	(5,32,100)	12.098	94.657	96.409	15.280	92.825	95.200	13.810	93.739	95.969
A-n53-k7	(7,52,100)	23.942	93.080	98.216	25.924	91.865	97.765	24.644	92.793	98.139
A-n64-k9	(9,63,100)	23.067	92.539	97.579	26.112	90.235	96.018	24.196	91.830	96.974
A-n80-k10	(10,79,100)	22.225	94.046	96.870	26.288	91.422	95.658	23.732	93.252	96.461
B-n45-k5	(5,44,100)	11.872	94.572	98.342	14.387	92.508	97.877	13.028	93.769	98.235
B-n41-k6	(6,40,100)	22.215	93.827	95.287	27.049	91.183	93.487	24.110	92.973	94.733
B-n51-k7	(7,50,100)	25.781	93.763	98.304	28.921	91.268	97.995	26.700	93.059	98.129
B-n66-k9	(9,65,100)	23.650	93.612	99.119	26.127	92.152	98.804	24.722	93.152	99.036
B-n78-k10	(10,77,100)	26.879	91.789	96.445	30.064	89.604	95.510	27.528	91.237	96.344
F-n45-k4	(4,44,2010)	7.853	92.431	100.000	10.732	90.241	99.921	8.226	92.128	99.994
F-n72-k4	(4,71,30000)	13.525	95.095	97.640	15.501	93.084	97.183	14.002	94.563	97.583
F-n135-k7	(7,134,2210)	14.560	96.245	98.524	18.003	93.785	98.495	16.453	95.448	98.490
E-n22-k4	(4,21,6000)	9.777	93.492	97.315	16.126	89.105	94.339	12.582	91.675	96.170
E-n23-k3	(3,22,4500)	4.685	97.807	100.000	5.148	97.590	100.000	4.628	97.833	100.000
E-n76-k10	(10,75,140)	12.810	94.166	97.955	16.051	92.218	97.308	14.357	93.451	97.680
E-n76-k14	(14,75,100)	19.301	91.350	97.114	22.256	89.128	96.061	20.496	90.577	96.766
E-n33-k4	(4,32,8000)	19.974	94.058	95.461	24.437	91.428	93.383	21.427	93.319	94.843
M-n121-k7	(7,120,200)	14.235	96.151	97.801	20.461	94.855	96.895	17.023	95.696	97.449
M-n101-k10	(10,100,200)	19.875	97.548	99.445	21.673	96.554	99.209	20.319	97.304	99.387

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 13 การเปลี่ยนแปลง สัมประสิทธิ์ของความผันแปร เมื่อ σ/μ = 0.7

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	14.013	91.136	95.383	14.451	90.813	95.085	14.110	91.091	95.312
P-n55-k8	(8,54,160)	17.413	89.614	95.941	17.166	89.860	96.186	17.452	89.505	96.080
P-n55-k7	(7,54,170)	16.618	90.540	96.458	16.329	90.705	96.465	16.005	90.991	96.669
P-n60-k15	(15,59,80)	27.970	82.233	91.026	27.797	82.066	91.118	28.594	81.925	91.010
P-n76-k5	(5,75,280)	8.923	92.604	96.963	8.799	92.675	96.960	8.909	92.588	96.906
P-n101-k4	(4,100,400)	5.226	96.253	98.752	5.244	96.286	98.690	5.219	96.343	98.827
A-n33-k5	(5,32,100)	21.264	88.596	91.905	20.462	89.098	92.247	20.007	89.241	92.229
A-n53-k7	(7,52,100)	29.838	87.686	96.312	28.879	88.083	96.632	29.318	87.677	96.516
A-n64-k9	(9,63,100)	30.923	84.901	92.878	29.937	85.149	93.143	29.294	85.603	93.483
A-n80-k10	(10,79,100)	32.123	86.345	93.293	32.007	86.008	93.270	31.440	86.304	93.474
B-n45-k5	(5,44,100)	19.710	87.322	96.316	19.498	87.469	96.284	19.796	87.366	96.246
B-n41-k6	(6,40,100)	31.826	85.901	90.150	32.184	85.740	89.977	32.468	85.547	89.830
B-n51-k7	(7,50,100)	32.728	85.498	97.316	31.991	85.110	97.354	31.104	85.754	97.530
B-n66-k9	(9,65,100)	31.779	87.567	97.465	30.072	88.060	97.564	31.147	87.668	97.469
B-n78-k10	(10,77,100)	32.630	85.565	94.152	32.176	85.832	94.328	32.313	85.758	94.370
F-n45-k4	(4,44,2010)	15.864	87.013	98.807	17.824	86.175	98.805	17.233	86.034	98.743
F-n72-k4	(4,71,30000)	18.735	88.400	96.135	18.551	88.496	96.143	18.582	88.168	96.068
F-n135-k7	(7,134,2210)	24.950	89.441	98.029	25.369	88.661	98.075	24.712	89.001	98.098
E-n22-k4	(4,21,6000)	22.273	81.784	90.508	22.349	81.232	90.175	22.311	82.183	90.501
E-n23-k3	(3,22,4500)	5.436	97.166	99.640	5.409	97.186	99.626	5.538	97.093	99.585
E-n76-k10	(10,75,140)	21.142	88.244	95.665	21.254	88.187	95.649	21.313	88.069	95.598
E-n76-k14	(14,75,100)	26.735	84.434	93.580	26.622	83.952	93.505	26.797	84.238	93.610
E-n33-k4	(4,32,8000)	31.212	87.987	91.613	32.875	87.327	91.245	32.238	87.577	91.498
M-n121-k7	(7,120,200)	27.231	91.801	95.399	26.007	92.286	95.608	26.311	92.040	95.524
M-n101-k10	(10,100,200)	27.302	92.906	97.983	27.003	92.939	97.917	26.423	93.126	97.977

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 14 การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์เมื่อ α = 0.7

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	8.291	95.579	98.172	10.156	93.800	97.213	8.783	95.026	97.936
P-n55-k8	(8,54,160)	9.518	95.705	98.417	13.285	93.344	97.312	11.035	94.856	97.984
P-n55-k7	(7,54,170)	10.541	95.431	98.633	12.989	93.693	97.795	11.324	94.875	98.436
P-n60-k15	(15,59,80)	18.829	90.354	95.640	23.607	86.569	93.511	20.795	89.041	94.855
P-n76-k5	(5,75,280)	3.911	96.917	98.857	6.054	95.285	98.309	4.601	96.461	98.677
P-n101-k4	(4,100,400)	2.313	99.093	99.776	3.465	98.187	99.384	2.639	98.851	99.643
A-n33-k5	(5,32,100)	12.677	94.301	96.243	16.399	92.085	94.655	14.285	93.353	95.621
A-n53-k7	(7,52,100)	24.631	92.749	98.108	26.367	91.320	97.653	25.417	92.355	97.957
A-n64-k9	(9,63,100)	23.953	92.007	97.123	26.806	89.385	95.535	25.494	91.060	96.510
A-n80-k10	(10,79,100)	22.815	93.559	96.618	27.562	90.425	95.203	25.559	92.271	95.979
B-n45-k5	(5,44,100)	12.707	93.971	98.283	16.282	91.009	97.359	13.305	93.320	98.152
B-n41-k6	(6,40,100)	23.725	93.135	94.792	28.378	90.242	92.877	24.933	92.606	94.447
B-n51-k7	(7,50,100)	26.141	93.331	98.195	28.910	90.249	98.019	27.227	92.471	98.187
B-n66-k9	(9,65,100)	23.836	93.374	99.074	26.328	91.630	98.585	25.228	92.732	98.843
B-n78-k10	(10,77,100)	27.510	91.437	96.227	29.800	89.017	95.395	28.393	90.469	95.937
F-n45-k4	(4,44,2010)	8.251	92.050	99.992	11.885	89.811	99.824	9.010	91.581	99.985
F-n72-k4	(4,71,30000)	14.105	94.585	97.555	16.773	92.177	97.003	14.855	94.000	97.365
F-n135-k7	(7,134,2210)	16.103	95.685	98.483	20.397	92.295	98.411	16.997	94.733	98.501
E-n22-k4	(4,21,6000)	11.598	92.388	96.545	17.363	87.714	93.692	13.677	90.854	95.546
E-n23-k3	(3,22,4500)	4.835	97.737	100.000	5.352	97.487	99.990	4.849	97.730	100.000
E-n76-k10	(10,75,140)	13.781	93.634	97.765	16.990	91.612	97.053	14.939	92.986	97.587
E-n76-k14	(14,75,100)	20.195	90.833	96.877	23.310	88.141	95.591	21.542	89.858	96.447
E-n33-k4	(4,32,8000)	20.912	93.551	95.084	25.190	90.829	92.944	21.842	92.809	94.501
M-n121-k7	(7,120,200)	16.514	95.765	97.487	22.110	94.326	96.611	18.946	95.354	97.147
M-n101-k10	(10,100,200)	20.260	97.383	99.398	22.567	96.065	99.018	20.989	97.027	99.320

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 15 การเปลี่ยนแปลง สัมประสิทธิ์ของความผันแปร เมื่อ σ/μ = 0.8

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	15.100	90.314	94.797	15.131	90.089	94.635	15.217	89.963	94.536
P-n55-k8	(8,54,160)	18.723	88.464	95.710	19.147	88.037	95.499	18.118	88.697	95.767
P-n55-k7	(7,54,170)	17.249	89.740	95.971	17.032	89.965	96.148	17.272	89.897	95.961
P-n60-k15	(15,59,80)	30.069	80.683	90.253	29.950	80.423	90.162	30.360	80.602	90.217
P-n76-k5	(5,75,280)	9.268	92.101	96.522	9.762	91.643	96.254	9.492	91.910	96.390
P-n101-k4	(4,100,400)	5.747	95.570	98.445	5.983	95.412	98.415	6.007	95.365	98.412
A-n33-k5	(5,32,100)	22.086	87.885	91.688	21.031	88.128	91.782	22.156	87.857	91.375
A-n53-k7	(7,52,100)	30.249	87.004	96.038	30.044	86.498	96.084	30.089	86.783	96.038
A-n64-k9	(9,63,100)	31.264	84.208	92.551	31.093	83.790	92.303	31.602	83.810	92.253
A-n80-k10	(10,79,100)	32.817	85.075	92.893	32.986	84.519	92.654	33.245	84.681	92.655
B-n45-k5	(5,44,100)	20.023	86.693	96.020	20.413	86.320	95.958	20.869	86.067	95.887
B-n41-k6	(6,40,100)	33.526	84.035	89.187	32.871	84.237	89.018	33.740	84.145	88.858
B-n51-k7	(7,50,100)	33.221	84.828	97.184	33.062	84.306	97.100	32.549	84.606	97.138
B-n66-k9	(9,65,100)	31.674	86.752	97.237	32.179	86.473	97.102	31.143	86.950	97.288
B-n78-k10	(10,77,100)	34.102	84.784	93.959	33.315	84.667	94.067	33.673	84.606	93.963
F-n45-k4	(4,44,2010)	16.561	86.355	98.823	17.525	85.760	98.479	17.067	86.080	98.715
F-n72-k4	(4,71,30000)	19.078	86.825	95.595	19.147	86.681	95.661	19.297	86.781	95.565
F-n135-k7	(7,134,2210)	26.097	88.502	97.949	27.216	87.347	97.957	26.378	88.065	97.967
E-n22-k4	(4,21,6000)	24.819	79.283	89.274	24.117	79.399	89.127	23.557	80.564	89.767
E-n23-k3	(3,22,4500)	6.093	96.672	99.443	5.529	96.971	99.425	5.797	96.767	99.366
E-n76-k10	(10,75,140)	22.725	86.868	95.135	22.367	87.139	95.297	22.440	87.077	95.189
E-n76-k14	(14,75,100)	28.002	83.166	92.903	27.437	83.079	92.890	27.592	83.181	93.143
E-n33-k4	(4,32,8000)	32.651	87.234	91.294	35.831	85.772	90.459	33.436	86.860	90.963
M-n121-k7	(7,120,200)	27.964	91.074	95.117	28.982	91.000	94.920	28.129	90.972	95.025
M-n101-k10	(10,100,200)	28.561	91.841	97.621	28.586	91.837	97.555	28.179	92.015	97.711

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 16 การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์เมื่อ α = 0.8

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	8.362	95.357	98.052	11.023	93.265	96.823	9.473	94.469	97.716
P-n55-k8	(8,54,160)	10.563	95.111	98.075	14.555	92.521	97.105	11.902	94.288	97.771
P-n55-k7	(7,54,170)	11.206	94.979	98.501	13.611	93.151	97.588	11.946	94.460	98.151
P-n60-k15	(15,59,80)	20.260	89.515	95.107	24.773	85.507	92.956	21.605	88.344	94.479
P-n76-k5	(5,75,280)	4.409	96.621	98.743	6.817	94.615	98.099	5.250	96.006	98.557
P-n101-k4	(4,100,400)	2.492	98.949	99.715	3.960	97.757	99.227	2.918	98.646	99.577
A-n33-k5	(5,32,100)	13.794	93.743	95.867	17.518	91.410	94.084	14.729	93.149	95.461
A-n53-k7	(7,52,100)	24.509	92.752	98.091	26.004	90.934	97.521	25.257	92.187	97.952
A-n64-k9	(9,63,100)	24.389	91.649	96.963	27.425	88.551	95.121	25.896	90.617	96.318
A-n80-k10	(10,79,100)	24.776	92.741	96.168	28.802	89.466	94.789	26.363	91.535	95.617
B-n45-k5	(5,44,100)	13.719	93.228	98.088	17.075	90.374	97.227	14.428	92.577	97.915
B-n41-k6	(6,40,100)	24.985	92.571	94.351	29.300	89.292	92.276	26.007	91.811	93.977
B-n51-k7	(7,50,100)	27.245	92.641	98.069	29.961	89.076	97.812	29.007	91.529	97.991
B-n66-k9	(9,65,100)	24.581	93.064	98.983	27.626	90.796	98.338	25.453	92.372	98.844
B-n78-k10	(10,77,100)	27.041	91.183	96.316	30.212	88.444	95.277	28.567	90.223	95.951
F-n45-k4	(4,44,2010)	8.784	91.629	99.979	13.450	88.966	99.718	9.618	91.098	99.965
F-n72-k4	(4,71,30000)	14.575	94.155	97.467	16.923	91.446	97.007	15.057	93.517	97.337
F-n135-k7	(7,134,2210)	16.717	95.227	98.486	21.410	91.596	98.347	18.416	94.132	98.462
E-n22-k4	(4,21,6000)	12.896	91.555	95.882	17.736	86.643	93.191	14.225	90.342	95.216
E-n23-k3	(3,22,4500)	4.692	97.803	100.000	5.120	97.580	99.970	4.956	97.680	100.000
E-n76-k10	(10,75,140)	14.216	93.462	97.681	18.540	90.595	96.671	15.661	92.539	97.392
E-n76-k14	(14,75,100)	20.813	90.255	96.656	23.812	87.282	95.239	22.312	89.215	96.159
E-n33-k4	(4,32,8000)	20.955	93.321	94.949	26.497	90.213	92.791	22.327	92.360	94.183
M-n121-k7	(7,120,200)	17.503	95.611	97.337	22.909	93.951	96.407	19.731	95.074	96.996
M-n101-k10	(10,100,200)	20.491	97.188	99.367	23.842	95.419	98.790	21.714	96.688	99.249

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 17 การเปลี่ยนแปลง สัมประสิทธิ์ของความผันแปร เมื่อ σ/μ = 0.9

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	16.150	89.539	94.136	15.573	89.923	94.291	16.095	89.607	94.093
P-n55-k8	(8,54,160)	19.636	87.169	95.166	19.838	86.947	94.901	19.883	86.889	95.127
P-n55-k7	(7,54,170)	18.105	88.852	95.649	17.710	89.133	95.629	17.903	89.002	95.756
P-n60-k15	(15,59,80)	31.583	79.635	90.005	31.841	79.092	89.663	31.934	79.227	89.617
P-n76-k5	(5,75,280)	10.404	90.855	95.651	10.239	91.045	95.824	10.436	90.838	95.563
P-n101-k4	(4,100,400)	6.568	94.659	98.242	6.569	94.695	98.205	6.538	94.712	98.266
A-n33-k5	(5,32,100)	22.964	86.865	91.139	22.869	86.843	90.860	23.239	86.549	91.109
A-n53-k7	(7,52,100)	31.037	85.728	95.576	31.251	85.617	95.712	31.030	85.766	95.524
A-n64-k9	(9,63,100)	32.041	83.295	92.198	32.856	82.534	91.714	33.024	82.284	91.457
A-n80-k10	(10,79,100)	34.015	83.932	92.234	33.709	83.535	92.353	34.444	83.452	91.976
B-n45-k5	(5,44,100)	21.731	85.319	95.440	22.389	84.505	95.284	21.798	85.129	95.490
B-n41-k6	(6,40,100)	33.998	83.430	88.708	33.809	82.970	88.136	34.323	83.429	88.249
B-n51-k7	(7,50,100)	34.190	83.434	96.904	33.914	82.736	96.988	33.846	83.112	96.970
B-n66-k9	(9,65,100)	33.627	85.507	96.823	32.800	85.519	96.686	33.298	85.471	96.877
B-n78-k10	(10,77,100)	34.589	83.974	93.486	34.949	83.629	93.462	34.843	83.785	93.463
F-n45-k4	(4,44,2010)	17.972	85.232	98.406	19.236	84.334	98.252	18.891	84.214	98.523
F-n72-k4	(4,71,30000)	19.783	85.772	95.072	20.308	84.847	95.069	20.158	85.695	94.993
F-n135-k7	(7,134,2210)	27.375	87.681	97.872	29.036	86.575	97.811	27.989	87.279	97.847
E-n22-k4	(4,21,6000)	24.618	78.912	89.227	24.898	78.440	88.751	24.373	79.272	89.076
E-n23-k3	(3,22,4500)	6.272	96.229	98.993	6.116	96.238	98.884	6.399	96.071	98.905
E-n76-k10	(10,75,140)	23.458	86.131	94.806	23.603	85.954	94.838	23.249	86.162	94.791
E-n76-k14	(14,75,100)	29.357	81.825	92.108	29.251	81.460	92.016	29.197	81.859	92.291
E-n33-k4	(4,32,8000)	35.501	85.789	90.331	35.911	85.515	90.275	35.518	85.859	90.599
M-n121-k7	(7,120,200)	28.954	90.393	94.814	28.778	90.619	94.801	28.631	90.398	94.808
M-n101-k10	(10,100,200)	29.224	91.203	97.430	29.638	90.833	97.297	29.268	90.947	97.455

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 18 การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์เมื่อ α = 0.9

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	8.988	94.881	97.749	11.760	92.595	96.479	10.162	93.876	97.284
P-n55-k8	(8,54,160)	10.783	94.924	98.031	14.907	92.103	96.975	12.639	93.826	97.607
P-n55-k7	(7,54,170)	11.559	94.717	98.295	14.389	92.531	97.363	12.636	93.992	98.032
P-n60-k15	(15,59,80)	21.176	88.873	94.800	25.511	84.502	92.374	22.823	87.459	94.083
P-n76-k5	(5,75,280)	4.913	96.237	98.641	7.134	94.327	97.793	5.633	95.660	98.401
P-n101-k4	(4,100,400)	2.823	98.771	99.632	4.009	97.548	99.177	3.248	98.419	99.493
A-n33-k5	(5,32,100)	14.142	93.455	95.690	18.322	90.945	93.540	15.609	92.775	95.059
A-n53-k7	(7,52,100)	25.551	92.264	97.916	27.464	90.013	97.247	25.893	91.720	97.828
A-n64-k9	(9,63,100)	24.892	91.177	96.586	28.421	87.653	94.619	26.663	89.847	95.916
A-n80-k10	(10,79,100)	25.582	92.223	96.009	29.262	88.581	94.555	27.045	90.979	95.399
B-n45-k5	(5,44,100)	14.041	92.943	98.006	17.899	89.584	96.915	15.370	91.852	97.654
B-n41-k6	(6,40,100)	25.924	92.003	94.069	29.349	88.461	91.771	27.121	91.035	93.345
B-n51-k7	(7,50,100)	27.593	92.276	98.112	30.407	88.144	97.829	29.050	90.877	97.996
B-n66-k9	(9,65,100)	25.356	92.596	98.916	28.551	90.065	98.221	26.580	91.834	98.722
B-n78-k10	(10,77,100)	28.607	90.418	95.883	30.886	87.705	94.876	29.045	89.649	95.684
F-n45-k4	(4,44,2010)	9.500	91.045	99.960	13.975	88.754	99.483	11.219	90.068	99.878
F-n72-k4	(4,71,30000)	15.504	93.659	97.181	17.786	90.645	96.771	16.267	92.779	97.039
F-n135-k7	(7,134,2210)	17.271	94.661	98.482	22.632	90.723	98.263	19.152	93.509	98.437
E-n22-k4	(4,21,6000)	14.076	90.470	95.309	19.545	84.331	92.396	16.013	88.398	94.387
E-n23-k3	(3,22,4500)	4.564	97.863	100.000	5.254	97.491	99.933	5.077	97.623	100.000
E-n76-k10	(10,75,140)	15.194	92.840	97.507	19.170	90.032	96.507	16.363	91.971	97.266
E-n76-k14	(14,75,100)	21.341	89.934	96.411	24.407	86.513	94.809	22.408	88.849	95.875
E-n33-k4	(4,32,8000)	22.433	92.650	94.425	28.627	89.223	92.401	24.136	91.503	93.621
M-n121-k7	(7,120,200)	18.572	95.329	97.192	24.527	93.528	96.147	21.484	94.581	96.715
M-n101-k10	(10,100,200)	21.069	96.931	99.315	24.391	94.863	98.575	22.156	96.378	99.089

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 19 การเปลี่ยนแปลง สัมประสิทธิ์ของความผันแปร เมื่อ $\sigma/\mu = 1$

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	17.703	88.377	93.309	17.357	88.637	93.339	17.923	88.515	93.171
P-n55-k8	(8,54,160)	20.797	85.798	94.539	21.050	85.530	94.597	20.651	85.788	94.775
P-n55-k7	(7,54,170)	18.869	87.969	95.236	18.782	88.002	95.234	19.075	87.829	95.172
P-n60-k15	(15,59,80)	33.147	78.166	89.287	34.005	77.624	89.096	33.257	77.949	89.340
P-n76-k5	(5,75,280)	11.243	89.878	94.998	11.312	89.761	94.970	11.185	90.053	95.096
P-n101-k4	(4,100,400)	7.369	93.909	98.062	7.192	93.843	97.929	7.074	93.999	97.983
A-n33-k5	(5,32,100)	24.292	85.896	90.807	24.364	85.711	90.382	24.107	85.756	90.408
A-n53-k7	(7,52,100)	32.431	84.824	95.422	32.438	84.715	95.150	32.791	84.571	95.156
A-n64-k9	(9,63,100)	33.351	81.876	91.195	33.782	81.510	91.132	34.097	81.652	91.234
A-n80-k10	(10,79,100)	36.398	82.367	91.605	35.852	82.316	91.613	35.977	82.501	91.759
B-n45-k5	(5,44,100)	23.096	84.219	95.404	23.037	84.015	95.168	22.783	84.325	95.415
B-n41-k6	(6,40,100)	35.555	82.208	87.899	36.053	81.322	87.518	35.693	81.730	87.730
B-n51-k7	(7,50,100)	36.178	82.206	96.572	34.493	82.000	96.908	34.431	82.520	96.988
B-n66-k9	(9,65,100)	35.309	84.227	96.113	34.510	84.121	96.505	34.782	84.184	96.329
B-n78-k10	(10,77,100)	36.285	82.968	93.194	35.943	82.907	93.201	36.651	82.623	93.163
F-n45-k4	(4,44,2010)	19.527	83.280	98.095	19.470	83.642	98.075	18.866	83.648	98.303
F-n72-k4	(4,71,30000)	20.909	83.961	94.402	20.726	83.772	94.577	20.839	84.098	94.514
F-n135-k7	(7,134,2210)	29.059	87.019	97.748	29.489	86.211	97.755	29.193	86.831	97.755
E-n22-k4	(4,21,6000)	27.891	76.474	87.362	27.328	76.760	87.446	26.194	77.194	88.018
E-n23-k3	(3,22,4500)	6.641	95.691	98.635	7.142	95.244	98.395	6.341	95.751	98.549
E-n76-k10	(10,75,140)	25.021	84.871	94.235	25.106	84.728	94.157	24.902	85.012	94.084
E-n76-k14	(14,75,100)	31.117	80.577	91.619	30.796	80.264	91.460	31.194	80.285	91.411
E-n33-k4	(4,32,8000)	36.702	84.962	89.998	37.446	84.757	89.929	36.379	85.049	89.928
M-n121-k7	(7,120,200)	30.095	89.385	94.410	29.888	89.299	94.318	29.736	89.451	94.519
M-n101-k10	(10,100,200)	31.341	89.849	97.100	30.735	89.941	96.963	31.129	89.858	97.044

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ 20 การเปลี่ยนแปลงช่วงกว้างของอุปสงค์เมื่อ $\alpha = 1$

ชื่อปัญหา	(a,b,c)	normal distribution			uniform distribution			triangular distribution		
		% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)	% increased total cost	% service (1)	% service (2)
P-n19-k2	(2,18,160)	9.572	94.495	97.548	12.825	91.975	95.883	10.754	93.405	97.058
P-n55-k8	(8,54,160)	11.737	94.423	97.843	16.325	91.016	96.572	13.496	93.235	97.451
P-n55-k7	(7,54,170)	12.266	94.315	98.144	14.827	92.113	97.115	13.335	93.491	97.815
P-n60-k15	(15,59,80)	21.666	88.278	94.439	26.226	83.809	91.941	23.220	86.777	93.596
P-n76-k5	(5,75,280)	5.248	95.945	98.562	7.568	93.844	97.598	5.994	95.307	98.314
P-n101-k4	(4,100,400)	3.015	98.594	99.531	4.608	97.019	98.933	3.653	98.091	99.346
A-n33-k5	(5,32,100)	14.963	92.960	95.324	18.597	90.457	93.288	15.907	92.355	94.704
A-n53-k7	(7,52,100)	25.655	92.020	97.931	28.019	89.305	96.976	25.860	91.458	97.693
A-n64-k9	(9,63,100)	25.529	90.651	96.353	28.582	87.001	94.180	26.922	89.260	95.497
A-n80-k10	(10,79,100)	26.502	91.494	95.651	29.861	87.757	94.058	27.748	90.376	95.169
B-n45-k5	(5,44,100)	14.834	92.356	97.826	18.940	88.305	96.473	15.571	91.375	97.526
B-n41-k6	(6,40,100)	25.851	91.597	93.899	30.692	87.583	91.153	28.894	89.928	92.693
B-n51-k7	(7,50,100)	28.517	91.504	97.947	29.933	87.545	97.744	29.201	90.260	98.041
B-n66-k9	(9,65,100)	25.872	92.258	98.831	29.397	89.333	97.933	26.873	91.394	98.566
B-n78-k10	(10,77,100)	28.949	89.946	95.710	31.503	86.837	94.617	30.016	88.891	95.378
F-n45-k4	(4,44,2010)	9.831	90.951	99.900	14.935	88.078	99.289	11.426	90.275	99.783
F-n72-k4	(4,71,30000)	15.300	93.344	97.287	17.923	89.808	96.639	16.656	92.150	97.018
F-n135-k7	(7,134,2210)	18.552	94.075	98.452	23.117	90.237	98.205	19.386	93.137	98.403
E-n22-k4	(4,21,6000)	14.700	89.792	94.894	20.451	83.394	91.417	17.194	87.514	93.596
E-n23-k3	(3,22,4500)	4.552	97.867	99.997	5.357	97.353	99.811	4.954	97.673	99.990
E-n76-k10	(10,75,140)	15.777	92.406	97.362	19.740	89.439	96.273	17.498	91.295	96.916
E-n76-k14	(14,75,100)	22.004	89.345	96.138	25.097	85.821	94.335	23.028	88.175	95.653
E-n33-k4	(4,32,8000)	23.542	91.963	93.830	30.405	88.573	92.013	25.371	90.963	93.293
M-n121-k7	(7,120,200)	20.536	94.904	96.876	25.258	92.995	95.910	21.819	94.419	96.636
M-n101-k10	(10,100,200)	21.335	96.726	99.229	25.323	94.191	98.334	22.381	95.967	99.005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้