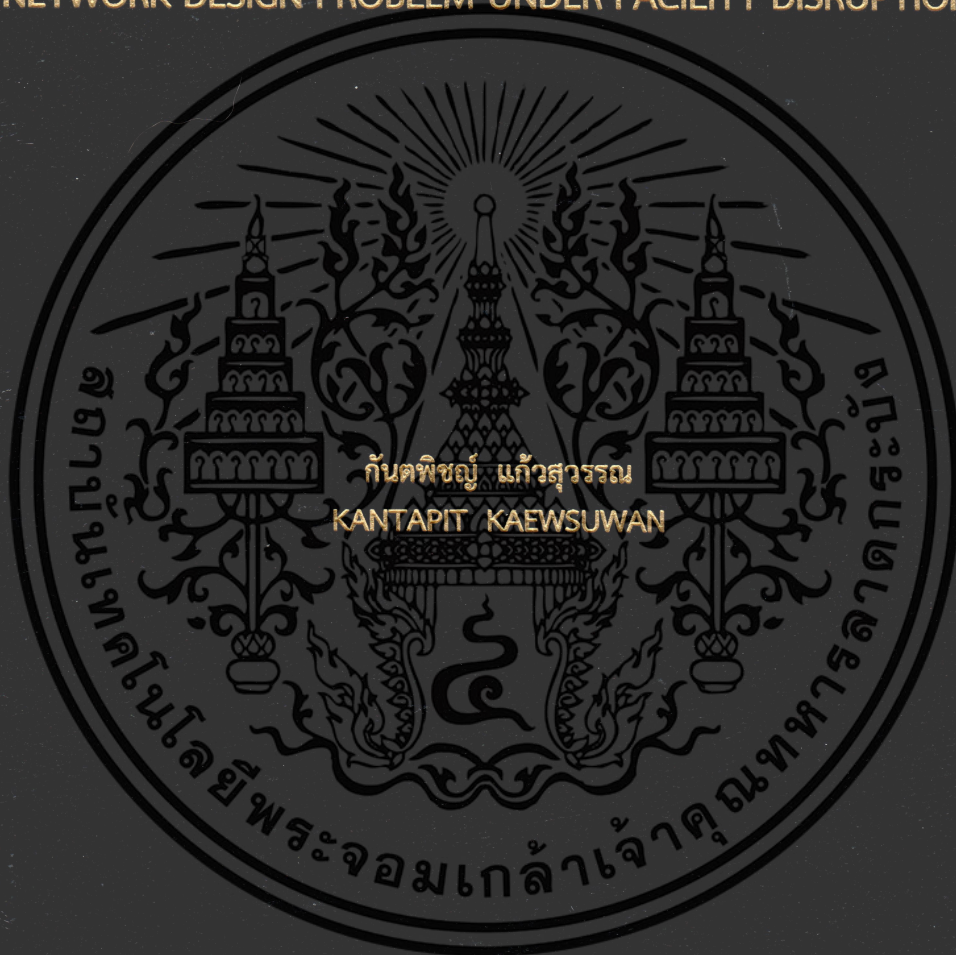


การเปรียบเทียบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างในวิธีการแก้ปัญหาสโทแคสติก
แบบสองขั้นตอนสำหรับปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน
ภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก

A COMPARISON OF SAMPLING TECHNIQUES FOR
TWO-STAGE STOCHASTIC PROGRAM FOR SUPPLY CHAIN
NETWORK DESIGN PROBLEM UNDER FACILITY DISRUPTIONS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-217-034

การเปรียบเทียบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างในวิธีการแก้ปัญหาสโโทแคสติก
แบบสองขั้นตอนสำหรับปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน
ภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก

A COMPARISON OF SAMPLING TECHNIQUES FOR
TWO-STAGE STOCHASTIC PROGRAM FOR SUPPLY CHAIN
NETWORK DESIGN PROBLEM UNDER FACILITY DISRUPTIONS



กัณฑ์พิชญ์ แก้วสุวรรณ
KANTAPIT KAEWSUWAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2562
KMITL-2019-EN-M-217-034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A COMPARISON OF SAMPLING TECHNIQUES FOR
TWO-STAGE STOCHASTIC PROGRAM FOR SUPPLY CHAIN
NETWORK DESIGN PROBLEM UNDER FACILITY DISRUPTIONS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019

KMITL-2019-EN-M-217-034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างในวิธีการแก้ปัญหา สโทแคสติกแบบสองขั้นตอนสำหรับปัญหาการออกแบบเครือข่าย โซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก
นักศึกษา	นายกันตพิชญ์ แก้วสุวรรณ
รหัสประจำตัว	58601230
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ชุมพล ยวงใย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาสโทแคสติกแบบสองขั้นตอนสำหรับปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกสถานที่ตั้งของผู้เกี่ยวข้องภายในเครือข่ายโซ่อุปทานให้เกิดกำไรสูงสุดภายใต้ความไม่แน่นอนของการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ ขั้นตอนการแก้ปัญหาถูกแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ (1) ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing algorithm) ถูกใช้สำหรับการหาค่าเฉลี่ยของการเลือกสถานที่ตั้งผู้เกี่ยวข้องภายในเครือข่ายโซ่อุปทาน และ (2) วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง (Sample Average Approximation, SAA) ถูกใช้สำหรับการประมาณค่าเฉลี่ยของกำไรสูงสุดบนเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้การจำลองเหตุการณ์ โดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง นอกจากนี้งานวิจัยได้เสนอการนำข้อมูลทางสถิติของการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทั่วโลกมาใช้ในการสร้างเซตของเหตุการณ์การหยุดชะงัก รวมทั้งการประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ในขั้นตอนวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง โดยในงานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิม และการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักโดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างที่นำเสนอในงานวิจัยนี้โดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 50 และ 100 ตัวอย่าง จากการประมาณค่าเฉลี่ยของเซตคำตอบข้างต้นโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่างพบว่าเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 100 ตัวอย่างให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแต่มีข้อจำกัดคือใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบ และเมื่อทำการเปรียบเทียบด้านสมรรถนะในการหาคำตอบ พบว่าเซตคำตอบที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่างให้คุณภาพของคำตอบที่ได้เทียบเท่ากับเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 และ 100 ตัวอย่างตามลำดับ โดยสามารถลดเวลาในการหาคำตอบลงได้ 60.30 เปอร์เซ็นต์

Thesis	A Comparison of Sampling Techniques for Two-stage Stochastic Program for Supply Chain Network Design Problem under Facility Disruptions
Student	Mr.Kantapit Kaewsuwan
Student ID.	58601230
Degree	Master of Engineering
Program	Industrial Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Chumpol Yuangyai

ABSTRACT

This research studied the two-stage stochastic programming for supply chain network design problems involving the selection facility location to maximize profit under natural disasters. The solving process is divided into 2 steps: (1) Simulated Annealing algorithm is used for finding the location selection strategy for related parties within the supply chain and (2) Sample Average Approximation (SAA) method is used for estimating the average maximum profit using sampling techniques. We collect the statistics of catastrophic occurrences at global level to create a set of interruption events. Then, the Latin hypercube sampling (LHS) and Improve distributed hypercube sampling (IHS) techniques were applied in the SAA. Next, the results were compared with those of traditional supply chain designs with (Monte Carlo Sampling: MCS) and without disruption events. Three sample sizes of disruption events: 20, 50 and 100, are studied for each situation. In addition, 3,000 disruption events are generated to evaluate the set of facility location. It was found that the IHS techniques with samples size 100, provided the highest objectives but least efficient. To trade-off between the quality of the solution and computation time, IHS with sample size 20 yields the most desirable outcomes (computation time reduced 60%) compared with LHS with sample size 50, and MCS with sample size 100.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชุมพล ยวงโย ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในขั้นตอนการแก้ปัญหา และการเขียนโปรแกรม

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.กนกพร กังวานสงค์ อาจารย์ประจำบัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่คอยอบรมสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ทำให้กำลังใจในการทำงานวิจัยนี้ด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน เป็นกำลังใจ และการสนับสนุนในทุกๆด้าน ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

กัณฑ์พิชญ์ แก้วสุวรรณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 เครื่องข่ายโซ่อุปทาน.....	7
2.1.1 การออกแบบเครื่องข่ายโซ่อุปทาน.....	8
2.1.2 การวางแผนเครื่องข่ายโซ่อุปทาน.....	9
2.1.3 การปฏิบัติการในเครื่องข่ายโซ่อุปทาน.....	9
2.2 การออกแบบเครื่องข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก.....	9
2.2.1 การหาความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก.....	13
2.3 วิธีการแก้ปัญหาสโทแคสติกโดยการจำลองเหตุการณ์.....	14
2.3.1 วิธีการแก้ปัญหาสโทแคสติกแบบสองขั้นตอน.....	14
2.3.2 วิธีการแก้ปัญหาสโทแคสติกแบบหลายขั้นตอน.....	15
2.3.3 วิธีการจำลองเหตุการณ์สำหรับปัญหาการออกแบบเครื่องข่ายโซ่อุปทานแบบสโทแคสติก.....	16
2.4 วิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกส์.....	16
2.4.1 วิธีจำลองการอบอ่อน.....	16
2.5 วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง.....	17
2.5.1 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล.....	18
2.5.2 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ.....	19
2.5.3 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ.....	22
2.6 บทสรุปจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	28
3.1 ปัญหาเครือข่ายโซุ่ปทานที่ใช้ทดสอบ	29
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลภัยพิบัติทางธรรมชาติ.....	32
3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	36
3.3.1 ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function).....	38
3.3.2 เงื่อนไขบังคับ (Constraints).....	38
3.4 วิธีการแก้ปัญหาสโตนอสติกแบบสองขั้นตอน	40
3.4.1 วิธีจำลองการรอบอ่อน	41
3.4.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างในการจำลองเหตุการณ์ และวิธีการ ประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง.....	44
3.4.3 การปรับปรุงข้อมูล	44
3.5 ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลลัพธ์.....	45
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	46
4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ.....	46
4.2 ผลการเปรียบเทียบเทคนิคการสุ่มตัวอย่าง	50
4.2.1 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล	50
4.2.2 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ	55
4.2.3 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ	59
4.3 ผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการออกแบบเครือข่ายโซุ่ปทาน	64
4.3.1 ผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการออกแบบเครือข่ายโซุ่ปทานแบบดั้งเดิม ...	64
4.3.2 ผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการออกแบบเครือข่ายโซุ่ปทานภายใต้เหตุการณ์ การหยุดชะงัก.....	68
4.3.3 ผลการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Dunnett Multiple Comparisons.....	74
4.3.4 ผลการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Fisher Pairwise Comparisons.....	79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	81
5.1 สรุปผลการวิจัย	81
5.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติ.....	81
5.1.2 การเปรียบเทียบเทคนิคการสุ่มตัวอย่าง.....	82
5.1.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์.....	82
5.2 ข้อเสนอแนะ	84
เอกสารอ้างอิง	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	88
ภาคผนวก ก. รายละเอียดตำแหน่งที่ตั้งของผู้เกี่ยวข้องในเครือข่ายโซ่อุปทานและ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ	89
ภาคผนวก ข. ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดภัยพิบัติ	99
ภาคผนวก ค. เซตคำตอบและผลลัพธ์จากการทดลอง	141
ภาคผนวก ง. ผลการวิเคราะห์	169
ภาคผนวก จ. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	174
ประวัติผู้เขียน	181



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตำแหน่งที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า และผู้ค้าปลีกแยกตามทวีป.....	30
3.2 ตำแหน่งที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า และผู้ค้าปลีกแยกตามประเทศ.....	30
3.3 ตัวอย่างข้อมูลสถิติของการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ.....	33
3.4 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการแยกข้อมูล.....	34
3.5 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการรวมผลลัพธ์ของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม.....	35
3.6 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการรวมข้อมูล.....	35
3.7 ตัวอย่างข้อมูลสถิติของการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติหลังการจัดกลุ่มข้อมูล.....	36
4.1 จำนวนครั้งและค่าความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติปี 1900-2018 ของแต่ละทวีป.....	46
4.2 จำนวนครั้งการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติปี 1900-2018 แยกตามประเทศ.....	48
4.3 แสดงค่าเมทริกซ์ $P(50,5)$ และระยะห่างระหว่างจุดที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล.....	53
4.4 แสดงค่าเมทริกซ์ $P(50,5)$ และระยะห่างระหว่างจุดที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ.....	57
4.5 แสดงค่าเมทริกซ์ $P(50,5)$ และระยะห่างระหว่างจุดที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ.....	62
4.6 ผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้กระจายสินค้า และผู้ผลิตที่ถูกเลือกจากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิม.....	64
4.7 ปริมาณการขนส่งวัตถุดิบจากผู้จัดส่งวัตถุดิบไปยังผู้ผลิต.....	66
4.8 ปริมาณการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้กระจายสินค้า.....	66
4.9 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรม CPLEX และวิธีจำลองการอบอุ่น.....	67
4.10 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีแก้ปัญหาคณิตศาสตร์แบบสองขั้นตอน กับโปรแกรม CPLEX..	68
4.11 ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล.....	69
4.12 ผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ.....	69
4.13 ผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ.....	70
4.14 ผลลัพธ์การประเมินค่าเซตคำตอบที่ได้จากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิมโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง.....	71
4.15 ผลลัพธ์การประเมินค่าจากเซตคำตอบที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง.....	72
4.16 ผลลัพธ์การประเมินค่าจากเซตคำตอบที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง.....	72
4.17 ผลลัพธ์การประเมินค่าจากเซตคำตอบที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง.....	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่างโดยวิธี One-way ANOVA.....	74
4.19 ผลการจัดกลุ่มจากวิธี Dunnett ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์	77
4.20 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากวิธี Dunnett Simultaneous Tests for Level Mean - Control Mean.....	78
4.21 ผลการจัดกลุ่มจากวิธี Fisher LSD Method ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์.....	79
ก.1 ข้อมูลที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ.....	89
ก.2 ข้อมูลที่ตั้งของผู้กระจายสินค้า.....	90
ก.3 ข้อมูลที่ตั้งของผู้ผลิต.....	91
ก.4 ข้อมูลที่ตั้งของผู้ค้าปลีก	91
ก.5 พารามิเตอร์แบบจำลองเครือข่ายโซ่อุปทานที่ใช้ทดสอบ	95
ก.6 ต้นทุนการสั่งซื้อ กำลังการผลิตของผู้จัดส่งวัตถุดิบ กำลังการผลิตและต้นทุนการผลิตของผู้ผลิต	95
ก.7 ระยะทางระหว่างผู้จัดส่งวัตถุดิบกับผู้ผลิต.....	96
ก.8 ระยะทางระหว่างผู้จัดส่งวัตถุดิบ.....	97
ก.9 กำลังการผลิตและต้นทุนคงที่ของผู้กระจายสินค้า.....	98
ข.1 ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปแอฟริกา.....	99
ข.2 ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปเอเชีย.....	110
ข.3 ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปยุโรป.....	121
ข.4 ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปอเมริกาเหนือ.....	128
ข.5 ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปอเมริกาใต้.....	133
ข.6 ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปออสเตรเลีย.....	139
ค.1 ปริมาณการขนส่งสินค้าจากผู้กระจายสินค้าไปยังผู้ค้าปลีก.....	141
ค.2 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่าง.....	144
ค.3 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 ตัวอย่าง.....	147
ค.4 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง	149
ค.5 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่าง.....	152
ค.6 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 ตัวอย่าง.....	155
ค.7 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง	157

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.8 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิบบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่าง.....	160
ค.9 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิบบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 ตัวอย่าง.....	163
ค.10 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิบบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง.....	166
ง.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากวิธี Fisher Individual Tests for Differences of Means	169



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องข่ายโซ่อุปทาน.....	2
1.2 กรอบแนวความคิดในการศึกษา.....	6
2.1 โครงสร้างลำดับชั้นของเครื่องข่ายโซ่อุปทาน.....	8
2.2 ลำดับชั้นของตัดสินใจและการพิจารณาพารามิเตอร์แบบสุ่มของวิธีการแก้ปัญหาสโทแคสติกแบบหลายขั้นตอน.....	16
2.3 แผนภาพการกระจายตัวของ $MCS(10, 2)$	19
2.4 แผนภาพการกระจายตัวของ $LHS(10, 2)$	21
2.5 แผนภาพการกระจายตัวของ $IHS(10, 2)$	26
3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	28
3.2 เครื่องข่ายโซ่อุปทานแบบ 4 ลำดับชั้น.....	29
3.3 แผนผังขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาสโทแคสติกแบบสองขั้นตอน	41
4.1 แผนที่แสดงความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติของแต่ละทวีปโดยแบ่งระดับสีตามช่วงความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติ.....	47
4.2 แผนที่แสดงความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติของแต่ละประเทศโดยแบ่งระดับสีตามช่วงความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติ.....	49
4.3 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_1 และ x_2 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล	50
4.4 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_2 และ x_3 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล	51
4.5 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_3 และ x_4 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล	51
4.6 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_4 และ x_5 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล	52
4.7 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_1 และ x_2 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์.....	55
4.8 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_2 และ x_3 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์.....	55
4.9 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_3 และ x_4 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์.....	56
4.10 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_4 และ x_5 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์.....	56
4.11 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_1 และ x_2 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์.....	59
4.12 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_2 และ x_3 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์.....	60
4.13 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_3 และ x_4 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์.....	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_4 และ x_5 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวิบ.....	61
4.15 ตำแหน่งที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต และผู้กระจายสินค้าจากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน.....	65
4.16 Normal Probability Plot ของผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินค่า.....	75
4.17 Versus Fits ของผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินค่า.....	76
4.18 Histogram ของผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินค่า.....	76
4.19 ผลการเปรียบเทียบจากวิธี Dunnett Simultaneous Tests.....	79



บทที่ 1

บทนำ

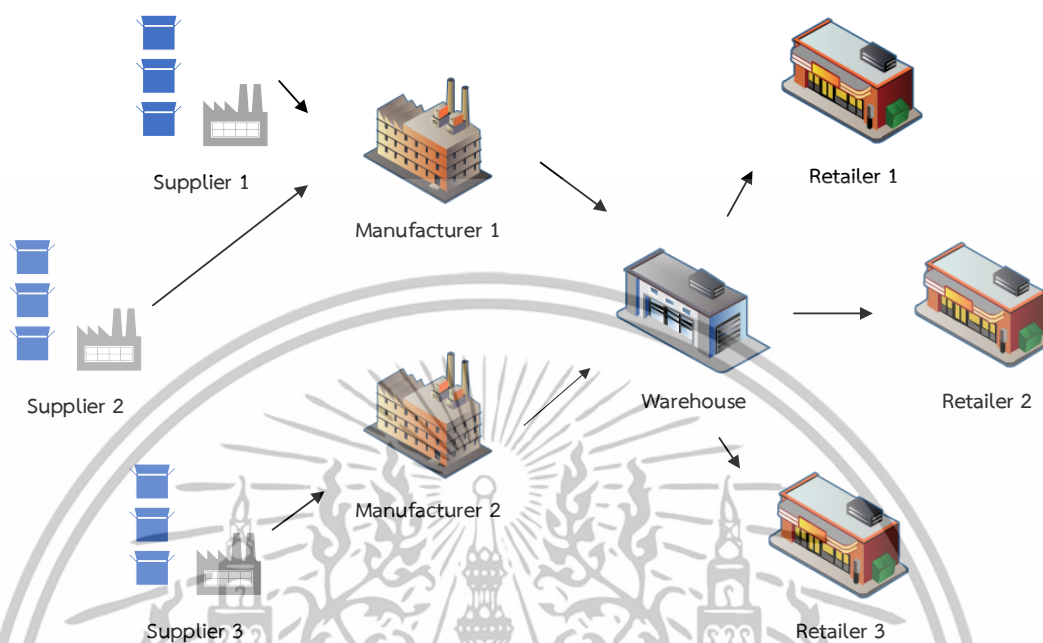
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน (Supply Chain Network Design, SCND) เป็นกระบวนการในการตัดสินใจสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการจัดการองค์กร โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมทางธุรกิจที่มีความผันผวนสูงซึ่งมีสาเหตุมาจากความเสี่ยง และความไม่แน่นอนของผู้เกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน เหตุการณ์ภัยพิบัติที่เกิดขึ้นประเทศใดประเทศหนึ่งส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานทั่วโลกทำให้เกิดการหยุดชะงัก ยกตัวอย่างเช่น ปี 2011 ได้เกิดน้ำท่วมใหญ่ขึ้นในประเทศไทย ซึ่งเป็นกรณีศึกษาของการเกิดการหยุดชะงักของโซ่อุปทานทั่วโลก โดยภาคอุตสาหกรรมที่ได้รับผลกระทบอย่างมาก คือ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งโรงงานผลิตชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ของบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด บริษัท โซนี่ ไทย จำกัด และบริษัท ฮอนด้า ออโตโมบิล (ประเทศไทย) จำกัด ได้มีการหยุดการผลิตเกิดขึ้น เนื่องจากได้รับผลกระทบโดยตรงจากน้ำท่วม ในขณะที่บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ได้รับความเดือดร้อนทางอ้อมซึ่งเป็นผลกระทบมาจากการที่โรงงานผลิตชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์โดยตรงได้รับผลกระทบจากน้ำท่วม [1] ทำให้ไม่สามารถส่งชิ้นส่วนไปให้กับโรงงานผลิตได้ จากเหตุการณ์น้ำท่วมในประเทศไทยปี 2011 นั้นได้ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อภาคอุตสาหกรรมถึง 1,007,000 ล้านบาท [2]

โดยมีรายงานจาก FM Global (www.fmgglobal.com) ซึ่งเป็นผู้นำด้านการประกันภัยเชิงพาณิชย์ ได้ให้คำแนะนำกับผู้จัดส่งวัตถุดิบว่าในการตัดสินใจเลือกที่ตั้งนั้น ต้องพิจารณาไปยังความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในประเทศที่จะตั้งโรงงาน และความสามารถในการฟื้นตัวหลังเกิดการหยุดชะงักขึ้น [3] การออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานเชิงรุกจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ทุกองค์กรจะต้องมีการวางแผน ปัญหาส่วนใหญ่ที่ส่งผลกระทบต่อโซ่อุปทานมักมีสาเหตุมาจากภัยธรรมชาติ แรงงาน ผู้ขายวัตถุดิบ สงคราม การก่อการร้าย ฯลฯ ทำให้เกิดความล่าช้าในการไหลของวัตถุดิบ ข้อมูลข่าวสาร และการหมุนเวียนเงินสด ซึ่งจะมีผลกระทบต่อยอดขาย ต้นทุนที่สูงขึ้น ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในโซ่อุปทานมีด้วยกันหลายประเภทประกอบไปด้วย ความล่าช้า การหยุดชะงัก การคาดการณ์ที่ไม่แม่นยำ การละเมิดทรัพย์สินทางปัญญา ความล้มเหลวในการสั่งซื้อ ปัญหาสินค้าคงคลัง และปัญหากำลั้งการผลิต [4]

การออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านกลยุทธ์เป็นการตัดสินใจแบบระยะยาวซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการกำหนดที่ตั้ง ความสามารถในการผลิตหรือจัดเก็บสินค้า และเทคโนโลยีที่นำมาใช้ของผู้ผลิตและผู้กระจายสินค้า ด้านการวางแผนเป็นการตัดสินใจแบบระยะกลางซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบ และประเภทของผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบตลอดจนช่องทางการขนส่งผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบ และด้านการดำเนินงานเป็นการตัดสินใจแบบระยะสั้นซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการไหลของวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปในโซ่อุปทาน โดยทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นมีจุดประสงค์เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าและทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจ

สูงสุด ในขณะที่ใช้ต้นทุนในการวางแผนกลยุทธ์ และการจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานต่ำที่สุด [5] โดยเครือข่ายโซ่อุปทานแสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 เครือข่ายโซ่อุปทาน

โดยทั่วไปรูปแบบปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานสามารถพิจารณาได้จากลักษณะของข้อมูลที่ใช้ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณี กรณีแรกคือ ปัญหาการออกแบบโซ่อุปทานแบบเชิงกำหนด (Deterministic Supply Chain Network Design Problem, DSCNDP) [6] เป็นรูปแบบปัญหาที่มีการอธิบายลักษณะต่างๆ ของข้อมูลบนเครือข่ายโซ่อุปทานที่แน่นอน โดยเซตคำตอบที่ได้ คือ การเลือกที่ตั้งผู้เกี่ยวข้องในเครือข่ายโซ่อุปทาน การไหลของวัตถุดิบต้นทางไปยังปลายทาง เพื่อช่วยในการตัดสินใจกลยุทธ์ การวางแผน และการดำเนินงานภายในโซ่อุปทานให้เกิดประสิทธิผลที่ดี แต่ปัจจุบันรูปแบบปัญหาการออกแบบโซ่อุปทานส่วนใหญ่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานที่มีความไม่แน่นอนของกำลังการผลิต และความต้องการของสินค้า ปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานที่ได้พิจารณาเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดการหยุดชะงักภายในโซ่อุปทาน ซึ่งทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการเลือกที่ตั้งในการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน โดยปัญหากรณีที่สองนี้จัดเป็นปัญหาการออกแบบโซ่อุปทานแบบสโตแคสติก (Stochastic Supply Chain Network Design Problem, SSCNDP)

วิธีการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานได้มีการศึกษา และมีการเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบอย่างต่อเนื่อง โดยสำหรับการออกแบบโซ่อุปทานแบบเชิงกำหนดในการค้นหาคำตอบนั้นนิยมใช้กำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) เช่น กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Linear Programming, MILP) เพื่อแก้ปัญหาให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ในส่วนของการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบเชิงกำหนดสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และการออกแบบโซ่อุปทานแบบสโตแคสติกนั้น (กำลังความสามารถในการผลิต และความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการมีความไม่แน่นอน หรือมีเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดการหยุดชะงักภายในโซ่อุปทาน) เนื่องจากการพิจารณาที่ตั้ง และจำนวนการผลิตที่เหมาะสมของผู้เกี่ยวข้องในเครือข่ายโซ่อุปทานมีความซับซ้อนมากขึ้น วิธีแบบฮิวริสติก (Heuristic) จึงเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการค้นหาคำตอบเนื่องจากทำให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ในขณะที่สามารถช่วยลดเวลาการหาคำตอบลงได้

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักพบว่าในการจำลองเหตุการณ์การหยุดชะงักสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี กรณีแรกคือ ใช้ค่าคงที่ในการกำหนดเขตความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก [7] กรณีที่สองคือ ใช้ข้อมูลที่เกิดขึ้นในอดีตในการกำหนดเขตความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก ซึ่งสำหรับกรณีที่สองนี้พบว่าปัญหาส่วนมากเป็นการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานที่มีที่ตั้งของผู้เกี่ยวข้องในโซ่อุปทานอยู่ในประเทศใดประเทศหนึ่งทำให้มีการนำข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังมาใช้แค่ในระดับประเทศ [8] จากการศึกษาวิจัยของ Rienkhemaniyom K., Pazhani S. [9] พบว่าได้นำเสนอกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมสำหรับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิม ซึ่งมีที่ตั้งของผู้เกี่ยวข้องในโซ่อุปทานตั้งอยู่ในพื้นที่ครอบคลุมทั้ง 6 ทวีปทั่วโลก ในขณะที่งานวิจัยของ Rienkhemaniyom K. Pazhani S. and Janjarassuk U. [10] ได้นำเสนอการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก แต่มีข้อจำกัดคือ ในการกำหนดเขตความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักของผู้เกี่ยวข้องในเครือข่ายโซ่อุปทานได้นำข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังในระดับทวีปมาใช้ในการกำหนดเขตความน่าจะเป็น ทำให้การออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานอาจจะไม่สามารถจำลองเหตุการณ์การหยุดชะงักที่เกิดขึ้นจริงได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติในระดับประเทศมาใช้สำหรับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก

การออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักจะเป็นการออกแบบด้านกลยุทธ์ซึ่งจะเป็นการเลือกที่ตั้งภายในเครือข่ายโซ่อุปทานที่เหมาะสม เพื่อให้ทนต่อเหตุการณ์การหยุดชะงักที่เกิดขึ้นภายในเครือข่ายโซ่อุปทานโดยมีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดกำไรสูงสุดภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักที่ได้จำลองขึ้นมา [10] โดยจะใช้ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาสโตนอสติกแบบสองขั้นตอนในการแก้ปัญหาซึ่งแบ่งขั้นตอนการหาคำตอบออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะเป็นขั้นตอนการเลือกที่ตั้งของผู้ประกอบการภายในเครือข่ายโซ่อุปทานซึ่งก็คือตัวแปรตัดสินใจในขั้นตอนแรก โดยได้นำวิธีการจำลองการอบอุ่นซึ่งเป็นวิธีฮิวริสติกส์ที่เลียนแบบกระบวนการอบอุ่นในโลหะวิทยามาใช้สำหรับการหาคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และขั้นตอนที่สองจะใช้วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง (Sample Average Approximation method, SAA) ในการประมาณค่าของฟังก์ชันจุดประสงค์ โดยจะใช้โปรแกรม CPLEX ในการแก้ปัญหาเพื่อหาปริมาณการจัดส่งวัตถุดิบและสินค้าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เกิดกำไรสูงสุดของแต่ละเหตุการณ์เพื่อนำมาหาค่าประมาณของฟังก์ชันจุดประสงค์

สำหรับวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่างานวิจัยส่วนมากนิยมใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในการสร้างปัญหาค่าเฉลี่ยตัวอย่าง (Sample average problem) แทนการหาคำตอบจากเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นการใช้เลขสุ่ม

(Random number) ที่มีรูปแบบการกระจายตัวแบบเอกรูปมาช่วยในการสุ่มตัวอย่างหรือจำลองเหตุการณ์ เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้งานได้ง่าย แต่มีข้อจำกัดคือจำเป็นต้องใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวนมาก เพื่อให้คุณภาพของคำตอบที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้ จึงเป็นสาเหตุให้ต้องใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบที่มากขึ้น จากการศึกษาของ Beachkofski B.K. and Grandhi R.V. [11] พบว่ามีเทคนิคการสุ่มตัวอย่าง เช่น เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ ซึ่งเป็นเทคนิคการสุ่มตัวอย่างที่ถูกนำมาใช้เพื่อลดจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการหาคำตอบลงได้ โดยจะส่งผลให้ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยลง แต่คุณภาพของคำตอบที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้

ในงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบสโตนแคสติคภายใต้เหตุการณ์ที่ทำให้เกิดการหยุดชะงักภายในโซ่อุปทาน โดยนำข้อมูลสถิติการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติของแต่ละประเทศมาใช้ในการกำหนดเขตความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติสำหรับใช้ในการจำลองเหตุการณ์การหยุดชะงักเพื่อลดข้อจำกัดในงานวิจัยของ Rienkhemaniyom K. Pazhani S. and Janjarassuk U. [10] และใช้ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาสโตนแคสติคแบบสองขั้นตอนในการแก้ปัญหาซึ่งประกอบไปด้วยการใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอ่อนในการวางแผนกลยุทธ์การเลือกที่ตั้งภายในโซ่อุปทานที่เหมาะสม และการประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์สำหรับการจำลองเหตุการณ์การหยุดชะงักในขั้นตอนวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้แก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานที่มีขนาดใหญ่ โดยจะสามารถช่วยลดจำนวนตัวอย่างของเหตุการณ์ที่ใช้ลงได้ซึ่งจะส่งผลให้ใช้เวลาในการหาคำตอบที่น้อยลง ในขณะที่คุณภาพของคำตอบที่ได้ยังเทียบเท่าเดิม

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เก็บรวบรวมข้อมูลสถิติการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติในระดับประเทศเพื่อนำมาใช้กำหนดเขตความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบคำตอบจากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิม และการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ โดยใช้ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาสโตนแคสติคแบบสองขั้นตอนที่นำเสนอ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ข้อมูลสถิติการเกิดภัยพิบัติที่นำมาใช้ในแบบจำลองเป็นข้อมูลย้อนหลังช่วง ค.ศ. 1900 ถึงเดือนกันยายน ค.ศ. 2018 นำมาจาก EM-DAT: The Emergency Events Database - Université Catholique de Louvain (UCL) - CRED, D. Guha-Sapir - www.emdat.be, Brussels, Belgium.

1.3.2 ทดสอบวิธีการแก้ปัญหาที่นำเสนอกับปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักจากงานวิจัยของ Rienkhemaniyom K. Pazhani S. and Janjarassuk U. [10]

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.4.1 ศึกษาข้อมูล ความเป็นมาของปัญหาที่ต้องการปรับปรุงเทคนิคการแก้ปัญหา
- 1.4.2 ศึกษาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก
- 1.4.3 ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก
- 1.4.4 ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาสโตนสติกแบบสองขั้นตอน
- 1.4.5 ศึกษาเทคนิคการสุ่มตัวอย่าง สำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง
- 1.4.6 วิเคราะห์ผลที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอ
- 1.4.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถนำข้อมูลสถิติของการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติมาใช้ในการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน เพื่อให้เครือข่ายโซ่อุปทานนั้นสามารถทนทานต่อเหตุการณ์ภัยพิบัติธรรมชาติได้

1.5.2 สามารถนำไปใช้ในการวางแผนกลยุทธ์ในการกำหนดที่ตั้งของผู้เกี่ยวข้องภายในเครือข่ายโซ่อุปทาน เพื่อให้เครือข่ายโซ่อุปทานนั้นมีผลกำไรคาดหวังมากที่สุดภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักที่เกิดจากภัยพิบัติได้

1.5.3 วิธีการแก้ปัญหาสโตนสติกแบบสองขั้นตอนที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาประเภทอื่นๆ ที่จำเป็นต้องหาคำตอบแบบทันที เพื่อช่วยลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบลงได้ เช่น ปัญหาการกำหนดจุดจอดรถฉุกเฉินทางการแพทย์ เป็นต้น



รูปที่ 1.2 กรอบแนวความคิดในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

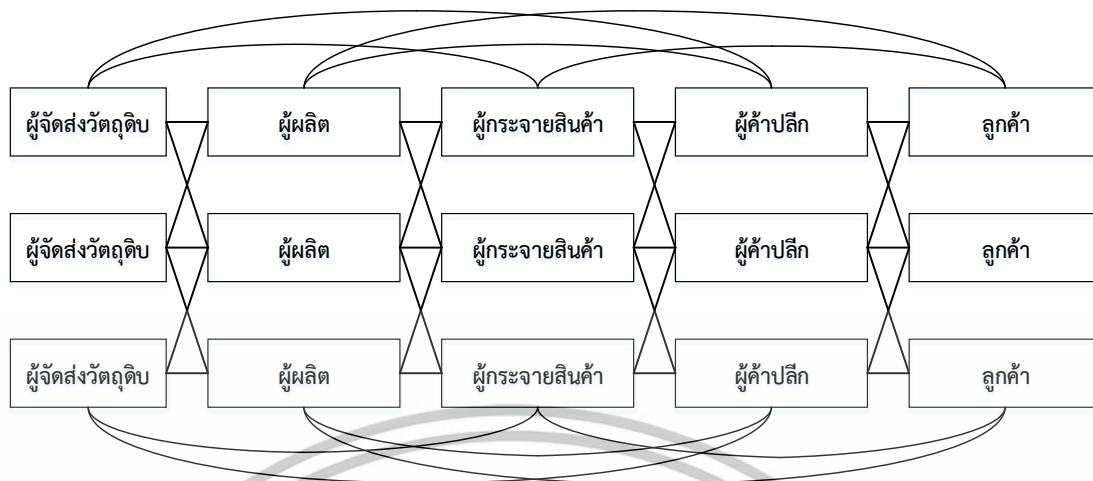
ในบทนี้เป็นกรกล่าวถึงทฤษฎีปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน การออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก วิธีการแก้ปัญหาสต็อกแคสติกโดยการจำลองเหตุการณ์ วิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกส์ วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง และการออกแบบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างซึ่งจะประกอบไปด้วยเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ รวมทั้งการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน และเทคนิคการสุ่มอย่างที่นำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาสต็อกแคสติก จากทฤษฎีและการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ จะถูกใช้เป็นข้อมูลและแนวทางสำหรับกำหนดกรอบแนวทางในการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 เครือข่ายโซ่อุปทาน

เครือข่ายโซ่อุปทาน หรือโซ่อุปทาน (Supply Chain Network) [12] จะประกอบไปด้วยทุกฝ่ายหรือทุกลำดับขั้นที่เกี่ยวข้องทั้งทางตรง หรือทางอ้อมในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ซึ่งไม่เพียงแต่อยู่ในส่วนของผู้ผลิตและผู้จัดส่งวัตถุดิบเท่านั้น แต่จะรวมไปถึงผู้ขนส่ง คลังสินค้า พ่อค้าคนกลาง และลูกค้าด้วย โดยทั่วไปลำดับขั้นของเครือข่ายโซ่อุปทาน (Supply Chain Network Stages) จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ผู้จัดส่งส่วนประกอบหรือวัตถุดิบ (Supplier)
- 2) ผู้ผลิต (Manufacturer)
- 3) ตัวแทนจำหน่ายหรือผู้กระจายสินค้า (Distributor)
- 4) ผู้ค้าปลีก (Retailer)
- 5) ลูกค้า (Customer)

ในแต่ละลำดับขั้นของเครือข่ายโซ่อุปทานจะมีการเชื่อมต่อกันผ่านการไหลของทั้งข้อมูลสินค้า และเงินทุนที่มีความสม่ำเสมอ โดยส่วนมากการไหลภายในเครือข่ายโซ่อุปทานจะเกิดขึ้นทั้งแบบไปและกลับ ลักษณะการทำงานของเครือข่ายโซ่อุปทานจะเริ่มตั้งแต่การเคลื่อนย้ายวัตถุดิบจากผู้ขายวัตถุดิบไปยังผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า ผู้ค้าปลีก จนกระทั่งเป็นสินค้าสำเร็จรูปส่งไปยังผู้บริโภค โดยที่เครือข่ายโซ่อุปทานส่วนมากจะมีโครงสร้างลำดับขั้นของเครือข่ายโซ่อุปทาน ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งในแต่ละเครือข่ายโซ่อุปทานอาจจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการออกแบบที่เหมาะสมที่ได้พิจารณาตามความต้องการของลูกค้าและบทบาทหน้าที่ของขั้นตอนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องต่อการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า



รูปที่ 2.1 โครงสร้างลำดับชั้นของเครือข่ายโซ่อุปทาน [12]

วัตถุประสงค์หลักของการสร้างเครือข่ายโซ่อุปทานคือการเพิ่มคุณค่าโดยรวมให้เกิดขึ้นมากที่สุด หรือการทำให้โซ่อุปทานส่วนเกิน (Supply Chain Surplus) มีค่าสูงสุด โดยคุณค่าสำหรับโซ่อุปทานเชิงธุรกิจส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการสร้างผลกำไรของโซ่อุปทาน ซึ่งก็คือผลต่างระหว่างรายได้ที่ได้จากมูลค่าการขายสินค้าสำเร็จรูปให้กับลูกค้า กับต้นทุนโดยรวมที่เกิดขึ้นภายในโซ่อุปทานที่ใช้ในการผลิตสินค้าสำเร็จรูปเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า โดยการวัดความสำเร็จของโซ่อุปทานนั้นจะอยู่ในรูปแบบของความสามารถในการสร้างผลกำไรของโซ่อุปทาน

ดังนั้นการจัดการเครือข่ายโซ่อุปทาน (Supply Chain Network Management, SCNM) จะหมายถึงการจัดการที่เหมาะสมของการไหลของข้อมูล ผลิตภัณฑ์ หรือเงินทุนที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนต่างๆ ในโซ่อุปทาน เพื่อให้เกิดความสามารถในการสร้างผลกำไรของทั้งโซ่อุปทานให้มากที่สุด ในการจัดการโซ่อุปทานให้ประสบผลสำเร็จนั้นต้องอาศัยการตัดสินใจต่างๆ มากมายที่เกี่ยวข้องกับการไหลของข้อมูล ผลิตภัณฑ์ และเงินทุน โดยสามารถแบ่งระดับขั้นตอนในการตัดสินใจออกเป็น 3 ด้านขึ้นอยู่กับความถี่ของแต่ละการตัดสินใจและขอบเขตของเวลาที่มีการตัดสินใจนั้นจะส่งผลกระทบต่อ ดังนี้

2.1.1 การออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน

ในด้านกลยุทธ์หรือการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน (Supply Chain Network Design, SCND) นี้จะเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจการออกแบบโครงสร้างของเครือข่ายโซ่อุปทาน และกระบวนการต่างๆ ที่จำเป็นต้องมีในแต่ละขั้นตอนของเครือข่ายโซ่อุปทาน ซึ่งการตัดสินใจที่เกิดขึ้นในส่วนนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นการตัดสินใจด้านกลยุทธ์ของเครือข่ายโซ่อุปทาน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจในการเลือกสถานที่ตั้ง ความสามารถในการผลิต โรงงานที่ใช้ในการจัดเก็บสินค้าคงคลัง ผลิตภัณฑ์ซึ่งจะถูกทำการผลิตหรือจัดเก็บ ณ สถานที่ต่างๆ ชนิดของการขนส่งที่ใช้ในการขนส่งระหว่างสถานที่ต่างๆ และชนิดของระบบข้อมูลที่เหมาะสม โดยการตัดสินใจในด้านกลยุทธ์หรือการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานนั้นส่วนมากจะเป็นการพิจารณาที่เกี่ยวข้องกับข้อกำหนดสำหรับการปฏิบัติในระยะยาว และจะมีผลด้านค่าใช้จ่ายที่สูงมากหากมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นโดยรู้ล่วงหน้าในช่วงเวลาสั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การวางแผนเครือข่ายโซ่อุปทาน

ในด้านการวางแผนเครือข่ายโซ่อุปทาน (Supply Chain Network Planning, SCNP) นี้จะเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจในการวางแผนโดยจะกำหนดนโยบายขึ้นมาเพื่อใช้ในการปฏิบัติภายใต้โครงสร้าง และข้อบังคับของเครือข่ายโซ่อุปทานที่ถูกกำหนดไว้เบื้องต้นในขั้นตอนของการตัดสินใจด้านกลยุทธ์ซึ่งนโยบายที่กำหนดขึ้นมานั้นจะมีผลต่อการดำเนินการในระยะสั้นๆ ซึ่งการวางแผนจะเกี่ยวข้องกับการจัดการสินค้าคงคลัง การกำหนดที่ตั้งสำรองในกรณีเกิดการขาดสินค้าคงคลัง โดยที่ในขั้นตอนการวางแผนนั้นจะต้องพิจารณาถึงความไม่แน่นอนในความต้องการของลูกค้า อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา และคู่แข่ง

2.1.3 การปฏิบัติการในเครือข่ายโซ่อุปทาน

ในด้านการดำเนินงานในเครือข่ายโซ่อุปทาน (Supply Chain Network Operation, SCNO) นี้จะเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจในการปฏิบัติงานต่างๆ ที่เกิดขึ้นในเครือข่ายโซ่อุปทานที่มีลักษณะของช่วงเวลาเป็นแบบรายสัปดาห์หรือรายวัน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิต การเคลื่อนย้ายสินค้าคงคลังให้เหมาะสมต่อรายการสั่งซื้อ และการส่งของ เป็นต้น จะเห็นได้ว่าชนิดของการปฏิบัติงานที่กล่าวมาข้างต้นส่วนมากจะเกิดขึ้นในระยะเวลาช่วงสั้นๆ ซึ่งเป้าหมายสำหรับการจัดการการปฏิบัติการในเครือข่ายโซ่อุปทานก็คือการลดความไม่แน่นอนในขั้นตอนการปฏิบัติการให้น้อยลง เพื่อให้เกิดความเหมาะสม ภายใต้ข้อบังคับที่เกิดขึ้นจากนโยบายในขั้นตอนการออกแบบ และการวางแผนเครือข่ายโซ่อุปทาน

2.2 การออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก

การออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานเป็นหนึ่งในการวางแผนเชิงกลยุทธ์สำหรับการจัดการเครือข่ายโซ่อุปทานที่สำคัญมากที่ใช้ในการกำหนดโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายโซ่อุปทาน (Supply Chain Network, SCN) ซึ่งจะช่วยให้เครือข่ายโซ่อุปทานนั้นๆ สามารถแข่งขัน และดำเนินกิจการในยุคปัจจุบันได้ โดยมีจุดประสงค์หลัก เพื่อให้ให้ผู้ประกอบการเกิดความพึงพอใจสูงสุด และหาต้นทุนต่ำที่สุดที่สามารถเป็นไปได้ของเครือข่ายโซ่อุปทานนั้นๆ [13] เป็นหนึ่งในวิธีการที่นิยมสำหรับใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายโซ่อุปทาน

สำหรับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักคือ การวางแผนเชิงกลยุทธ์ในการเลือกที่ตั้งของผู้ประกอบการภายในเครือข่ายโซ่อุปทานโดยพิจารณาถึงความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก เพื่อให้เครือข่ายโซ่อุปทานที่ทำการออกแบบสามารถทนต่อเหตุการณ์การหยุดชะงักได้

สำหรับปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานเป็นปัญหาที่มีการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหากันอย่างแพร่หลายมีรูปแบบของปัญหาที่มีความหลากหลาย โดยมีรายละเอียดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน ดังนี้

Heung-Suk Hwang [14] ศึกษาการออกแบบและเพิ่มประสิทธิภาพของห่วงโซ่อุปทานโลจิสติกส์ที่ประกอบไปด้วยผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า และลูกค้า ซึ่งได้พิจารณาระดับการให้บริการของคลังสินค้าหรือผู้กระจายสินค้า และตารางเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Schedule) โดยใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการแก้ปัญหาการครอบคลุมแบบสโตแคสติก (Stochastic Set-covering Problem) ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของคลังสินค้าหรือผู้กระจายสินค้า เพื่อให้ครอบคลุมความต้องการของลูกค้า โดยให้จำนวนคลังสินค้าหรือผู้กระจายสินค้าน้อยที่สุด และใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ที่ได้ทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหาคำตอบในการจัดตารางเส้นทาง การขนส่ง

Lian Qi and Zuo-Jun Max Shen [15] ศึกษาการออกแบบห่วงโซ่อุปทานที่ประกอบไปด้วยผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต และผู้ค้าปลีก ซึ่งได้พิจารณาความไม่แน่นอนความต้องการของผู้ค้าปลีก โดยใช้ตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปในการจำลองข้อมูลความต้องการของผู้ค้าปลีก และใช้ขั้นตอนวิธีลากรางเจียน (Lagrangian algorithm) ในการแก้ปัญหาแบบจำลองเพื่อเลือกตำแหน่งที่ตั้งของผู้ผลิต และได้ทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์คำตอบที่ได้ เพื่อแสดงผลกระทบของความไม่แน่นอนของห่วงโซ่อุปทานในการตัดสินใจออกแบบห่วงโซ่อุปทาน

Lian Qi et al. [16] ศึกษาปัญหาการออกแบบห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งได้พิจารณาความไม่แน่นอนของเหตุการณ์การหยุดชะงักที่เกิดขึ้นของแต่ละผู้ส่งวัตถุดิบ หรือผู้ค้าปลีก โดยใช้ตัวเลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปในการจำลองเหตุการณ์การหยุดชะงัก และใช้ขั้นตอนวิธีลากรางเจียน (Lagrangian algorithm) ในการแก้ปัญหาแบบจำลองเพื่อเลือกตำแหน่งที่ตั้งของผู้ค้าปลีก และเลือกลูกค้าที่ให้กับผู้ค้าปลีก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนจากการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง การขนส่ง และการเก็บสินค้ามีค่าต่ำที่สุด

Tingting Cui et al. [17] ศึกษาแบบจำลองความน่าเชื่อถือในการกำหนดสถานที่ตั้ง (Reliable facility location model) ซึ่งได้พิจารณาความไม่แน่นอนในการสั่งซื้อของลูกค้า โดยในการศึกษานี้ได้ใช้ปัญหาคำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming, MIP) และแบบจำลองการประมาณค่าแบบต่อเนื่อง (Continuum approximation model) สำหรับการหาต้นทุนเริ่มต้น และต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุดทั้งในเหตุการณ์ปกติและไม่ปกติ ซึ่งได้นำขั้นตอนวิธีลากรางเจียน (Lagrangian algorithm) มาใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อกำหนดสถานที่ตั้ง และลูกค้าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาคำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม และวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic method) ในการประมาณค่าต้นทุนรวมในระบบที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมที่สุด จากผลการทดลองพบว่า ขั้นตอนวิธีลากรางเจียนมีประสิทธิภาพที่ดีในการแก้ปัญหาขนาดกลาง และแบบจำลองการประมาณค่าแบบต่อเนื่องมีประสิทธิภาพที่ดีในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ อีกทั้งยังช่วยลดเวลาในการหาคำตอบ

Shukla et al. [18] เสนอกรอบแนวคิดสำหรับการออกแบบเครือข่ายห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain network design) ซึ่งมีการพิจารณาความล้มเหลวในการไหลภายในเครือข่ายห่วงโซ่อุปทานอันเนื่องมาจากสภาพอากาศที่เลวร้าย ภัยพิบัติทางธรรมชาติ หรือเหตุการณ์การหยุดชะงักที่เกิดจากมนุษย์สร้างขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการสิ่งอำนวยความสะดวก และการไหลภายในเครือข่ายห่วงโซ่อุปทาน โดยใช้วิธีการวางแผนเพื่อรองรับในแต่ละเหตุการณ์ และกำหนดปัญหาแบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มเชิงเส้นแบบผสม (Mixed Integer Linear Program model, MILP) ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการจัดการต้นทุนและความทนทานในแต่ละ

เหตุการณ์ที่สูงที่สุด จากผลการทดลองพบว่าเครือข่ายโซ่อุปทานเกิดความน่าเชื่อถือในการนำไปใช้งานมากขึ้น ทำให้เกิดกำไรที่สูงขึ้น และช่วยลดการอัตราการหยุดชะงักลงได้

Peng et al. [19] ศึกษาปัญหาการจัดการห่วงโซ่อุปทานเชิงกลยุทธ์สำหรับการออกแบบโซ่อุปทานให้เกิดความน่าเชื่อถือทั้งในสภาวะการณ์ปกติ และเมื่อเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก โดยนำเสนอแบบจำลองปัญหาที่กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming, MIP) ซึ่งมีจุดประสงค์ในการหาต้นทุนต่ำที่สุดในสภาวะการณ์ปกติ ในขณะที่ลดความเสี่ยงเมื่อเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักโดยใช้เกณฑ์ความทนทาน p (p -robustness criterion) และได้ใช้ขั้นตอนวิธีวิวิธวิธีแบบผสม (Hybrid metaheuristic algorithm) บนพื้นฐานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) การปรับปรุงวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local improvement) และวิธีการเพิ่มเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest augmenting path method) จากการทดลองพบว่าขั้นตอนวิธีวิวิธวิธีแบบผสมใช้เวลาในการหาคำตอบที่เร็วกว่าการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรม CPLEX ขณะที่ยังคงคุณภาพของคำตอบที่ได้ และพบว่ากรเพิ่มความน่าเชื่อถือของโซ่อุปทานนั้นจะส่งผลให้ต้นทุนรวมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

Jabbarzadeh et al. [20] ศึกษาปัญหาการออกแบบโซ่อุปทานซึ่งพิจารณาเหตุการณ์การหยุดชะงักที่มีสาเหตุมาจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ ผลกระทบที่เกิดจากมนุษย์ และอุปกรณ์ชำรุด โดยกำหนดแบบจำลองปัญหาที่กำหนดการจำนวนเต็มไม่เชิงเส้นแบบผสม (Mixed Integer Nonlinear Program model, MINP) ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อหาค่ากำไรรวมในโซ่อุปทานที่สูงที่สุด และพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาจากวิธีลากรางเจียนแบบผ่อน (Lagrangian relaxation) และวิธีเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบเหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่

Klibi and Martel [21] ศึกษาแบบจำลองสำหรับปัญหาการเลือกที่ตั้ง การขนส่งสำหรับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้ความไม่แน่นอน ซึ่งสภาพแวดล้อมในอนาคตของเครือข่ายโซ่อุปทานนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการแบบสุ่มและเหตุการณ์การหยุดชะงักที่เกิดจากความไม่แน่นอนของ ความจุคลังสินค้าและกระบวนการความต้องการต่อจุด โดยทำการเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาแบบจำลองสโตนแคสติค พบว่าการใช้การจำลองเหตุการณ์สำหรับปัญหาสโตนแคสติคให้ผลลัพธ์ที่ดี

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานจะพบว่าในขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์การหยุดชะงักงานวิจัยส่วนมากนิยมใช้เลขสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปหรือเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในการจำลองเหตุการณ์ และเซตความน่าจะเป็นของเหตุการณ์การหยุดชะงักที่เป็นไปได้ส่วนมากไม่ได้ใช้ข้อมูลทางสถิติที่เกิดขึ้นจริง ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการสุ่มตัวอย่างเพิ่มเติม โดยมีรายละเอียดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการสุ่มตัวอย่าง ดังนี้

M.D. Mckey et al. [22] เปรียบเทียบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Sampling or Random Sampling) เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้น (Stratified Sampling) และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ (Latin Hypercube Sampling) โดยได้นำเทคนิคการสุ่มตัวอย่างทั้ง 3 วิธีมาใช้ในการเลือกค่าสำหรับตัวแปรอินพุต จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าการประมาณค่าของค่าเฉลี่ยจากทั้ง 3 วิธีมีค่าเท่ากัน ในขณะที่การประมาณค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์มีค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุด และเมื่อนำไปทดสอบโดยใช้การประมาณค่าของรูปแบบการแจกแจงพบว่าเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุด

J.C. Helton et al. [23] เปรียบเทียบการใช้เลขสุ่ม (Random) และการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ (Latin hypercube sampling) จากผลการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความไวของผลลัพธ์จากแบบจำลองการไหลของของไหลแบบสองเฟส (Two-phase fluid flow) โดยแต่ละวิธีใช้จำนวนการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ 100 และ 300 ตัวอย่าง และทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง พบว่าผลการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความไวที่ได้จากทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกัน

M. Liefvendahla and R. Stocki [24] เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเปรียบเทียบเชิงคู่-คอลัมน์ (Columnwise-pairwise) และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithms) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ พบว่าวิธีการเปรียบเทียบเชิงคู่-คอลัมน์มีประสิทธิภาพที่ดีในการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ขนาดเล็ก และขนาดกลาง สำหรับขนาดใหญ่พบว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

Randall D. Manteufel [25] เสนอขั้นตอนวิธีการทำให้การสุ่มตัวอย่างที่มีการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ของตัวอย่างพารามิเตอร์อินพุตมีช่องว่างกระจายตัวที่สม่ำเสมอมากขึ้น เรียกวิธีการนี้ว่า การสุ่มตัวอย่างการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ (Distributed Hypercube Sampling) ซึ่งพัฒนาจากการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ (Latin hypercube sampling) โดยจะทำการคำนวณหาระยะทางระหว่างจุดตัวอย่างที่อยู่ใกล้กัน และใช้วิธีการแลกเปลี่ยน (Swapping method) เพื่อหาจุดที่ทำให้ระยะทางสั้นที่สุด และมีค่าสัมประสิทธิ์การแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่น้อยที่สุด โดยพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างตัวแปรแบบสุ่มขนาด 16 ตัวแปรสำหรับปัญหาแบบจำลองการไหลของของเหลวโดยให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ

Brian K. Beachkofski and Ramana V. Grandhi [11] เสนอเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ (Improved Distributed Hypercube Sampling) ที่พัฒนาจากการสุ่มตัวอย่างการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ โดยการเพิ่มเงื่อนไขระยะทางระหว่างจุดต้องใกล้เคียงหรือเท่ากับระยะทางที่เหมาะสมที่สุด และทำการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอ กับวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล และการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์สามารถทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีช่วงความเชื่อมั่น และสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนที่น้อยกว่าเทคนิคการสุ่มตัวอย่างวิธีอื่น

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการสุ่มตัวอย่างพบว่าเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของคำตอบ และช่วยเพิ่มสมรรถนะในการหาคำตอบให้ดียิ่งขึ้นได้

2.2.1 การหาความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก

EM-DAT: The Emergency Events Database - Université catholique de Louvain (UCL) - CRED, D. Guha-Sapir - www.emdat.be, Brussels, Belgium. [26] ได้ให้คำอธิบายเกี่ยวกับภัยพิบัติดังนี้ ภัยพิบัติสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ ภัยพิบัติทางธรรมชาติ (Natural) และภัยพิบัติทางเทคโนโลยี (Technological)

ภัยพิบัติทางธรรมชาติ สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะของการเกิดภัยพิบัติออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ ธรณีฟิสิกส์ (Geophysical) อุตุนิยมวิทยา (Meteorological) อุทกวิทยา (Hydrological) ภูมิอากาศ (Climatological) ชีววิทยา (Biological) และชั้นบรรยากาศนอกโลก (Extraterrestrial) โดยในแต่ละกลุ่มจะสามารถแบ่งประเภทของภัยพิบัติ ได้ดังนี้

1. ธรณีฟิสิกส์ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ แผ่นดินไหว (Earthquake) การเคลื่อนตัวของเปลือกโลก (Mass movement) และภูเขาไฟระเบิด (Volcanic activity)
2. อุตุนิยมวิทยา แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ อุณหภูมิสูง-ต่ำอย่างผิดปกติ (Extreme temperature) หมอก (Fog) และพายุ (Storm)
3. อุทกวิทยา แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ น้ำท่วม (Flood) แผ่นดินถล่ม (Landslide) และคลื่น (Wave action)
4. ภูมิอากาศ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ภัยแล้ง (Drought) การระเหิดออกของน้ำที่มาจากทะเลสาบธารน้ำแข็ง (Glacial Lake Outburst) และไฟป่า (Wildfire)
5. ชีววิทยา แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ โรคระบาด (Epidemic) การปนเปื้อนหรือการเข้าทำลายของแมลง (Insect infestation) และโรคติดต่อทางสัตว์ (Animal Accident)
6. ชั้นบรรยากาศนอกโลก แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศนอกโลก (Impact) และสภาพอากาศในอวกาศ (Space weather)

ภัยพิบัติทางเทคโนโลยี สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะของการเกิดภัยพิบัติออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ อุบัติเหตุจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial accident) อุบัติเหตุจากการขนส่ง (Transport accident) และอุบัติเหตุทั่วไป (Miscellaneous accident) โดยในแต่ละกลุ่มจะสามารถแบ่งประเภทของภัยพิบัติ ได้ดังนี้

1. อุบัติเหตุจากโรงงานอุตสาหกรรม แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ สารเคมีรั่วไหล (Chemical spill) การถล่ม (Collapse) การระเบิด (Explosion) ไฟไหม้ (Fire) แก๊สรั่ว (Gas leak) สารพิษ (Poisoning) กัมมันตภาพรังสี (Radiation) น้ำมันรั่ว (Oil spill) และอื่นๆ (Other)
2. อุบัติเหตุจากการขนส่ง แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ทางอากาศ (Air) ทางถนน (Road) ทางราง (Rail) และทางน้ำ (Water)
3. อุบัติเหตุทั่วไป แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ การถล่ม (Collapse) การระเบิด (Explosion) ไฟไหม้ (Fire) และอื่นๆ (Other)

สำหรับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานจะเป็นการวางแผนเกี่ยวกับการเลือกที่ตั้งภายในเครือข่ายโซ่อุปทาน ดังนั้นการหาความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักจะใช้ข้อมูลสถิติของการเกิดภัยทางธรรมชาติเท่านั้น โดยมีวิธีในการหาความน่าจะเป็น ดังนี้

ความน่าจะเป็น (Probability) คือ โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจศึกษาในแซมเปิลสเปซ โดยค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ใดๆ (A) จะมีค่าเท่ากับจำนวนสมาชิกของเหตุการณ์ A หารด้วยจำนวนสมาชิกในแซมเปิลสเปซทั้งหมดซึ่งมีจำนวนเท่ากับ N ดังสมการที่ 2.1

$$P(A) = \frac{n_A}{N} \quad (2.1)$$

โดยที่ $P(A)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A และ n_A คือจำนวนสมาชิกของเหตุการณ์ A

2.3 วิธีการแก้ปัญหาสโตแคสติกโดยการจำลองเหตุการณ์

โดยทั่วไปรูปแบบวิธีการแก้ปัญหาสโตแคสติกโดยการจำลองสถานการณ์สำหรับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน (Scenario-based stochastic program for SCND) ภายใต้ความไม่แน่นอนที่มีพารามิเตอร์สโตแคสติกอยู่ในแบบจำลองซึ่งเป็นเซตของสถานการณ์ที่ไม่ต่อเนื่อง แต่ทราบค่าความน่าจะเป็น สามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มหลัก คือ วิธีการแก้ปัญหาสโตแคสติกแบบสองขั้นตอน (Two-stage stochastic program) และวิธีการแก้ปัญหาสโตแคสติกแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage stochastic program) [27] ในการประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานอาจมีความยุ่งยากในขั้นตอนของการสร้างสถานการณ์และการหาค่าความน่าจะเป็นที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานในชีวิตจริง และการหาจำนวนสถานการณ์ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้สำหรับการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่

2.3.1 วิธีการแก้ปัญหาสโตแคสติกแบบสองขั้นตอน

วิธีการแก้ปัญหาสโตแคสติกแบบสองขั้นตอน (Two-stage stochastic program) เป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน โดยจะแบ่งขั้นตอนการตัดสินใจออกเป็นสองขั้นตอน ในขั้นตอนแรกจะเป็นขั้นตอนสำหรับการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์หรือระยะยาวนั่นก็คือการเลือกที่ตั้ง และกำลังการผลิต และขั้นตอนที่สองจะเป็นขั้นตอนสำหรับการตัดสินใจด้านการดำเนินงาน และยุทธวิธีนั่นก็คือการกำหนดปริมาณสินค้าคงคลัง ปริมาณการผลิต ปริมาณการขนส่ง และเส้นทางการขนส่ง โดยจะมีสมการรูปทั่วไปของวิธีการแก้ปัญหาสโตแคสติกแบบสองขั้นตอน ดังสมการที่ 2.2

$$\text{Min}_{x \in X} c^T x + Q(x) \quad (2.2)$$

โดยที่ $c \in R^n$ คือ เวกเตอร์ที่ทราบค่า

$x \in R^n$ คือ เวกเตอร์การตัดสินใจในขั้นตอนแรก

$X \in R^n$ คือ เซตของคำตอบที่เป็นไปได้สำหรับการตัดสินใจในขั้นตอนแรก

$Q(x)$ คือ ฟังก์ชันการขอความช่วยเหลือ (Recourse function) ซึ่งก็คือค่าเฉลี่ยของการตัดสินใจที่ได้หลังจากการตัดสินใจหรือการปรับปรุงข้อมูลใหม่ขั้นตอนแรก

จากสมการที่ 2.3 สมมติว่า ζ เป็นพารามิเตอร์สโตนอสติกที่มีความไม่ต่อเนื่องกันของข้อมูล และเป็นเวกเตอร์แบบจำกัด โดยจำนวนแบบจำกัดของเวกเตอร์ที่กล่าวข้างต้นคือเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ S คือ เซตของเหตุการณ์ทั้งหมดที่เป็นไปได้ และ $|S|$ คือ จำนวนของเหตุการณ์ ดังนั้น $\zeta^s, \forall s \in S$ คือ พารามิเตอร์สโตนอสติกที่ได้จากการตัดสินใจ และเซต $\{\zeta^1, \zeta^2, \dots, \zeta^{|S|}\}$ คือ พื้นที่ตัวอย่าง (Sample space) สำหรับพารามิเตอร์สโตนอสติกซึ่งมีความน่าจะเป็นเท่ากับ $\pi^1, \pi^2, \dots, \pi^{|S|}$ ตามลำดับ โดยสามารถเขียนฟังก์ชันการขอความช่วยเหลือได้ดังสมการที่ 2.3

$$Q(x) = E_{\zeta}(Q(x, \zeta^s)) = \sum_{s \in S} \pi^s x Q(x, \zeta^s) \quad (2.3)$$

สำหรับเหตุการณ์ที่ s ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ที่เหมาะสมในขั้นตอนที่สองของปัญหาทั่วไปสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.4

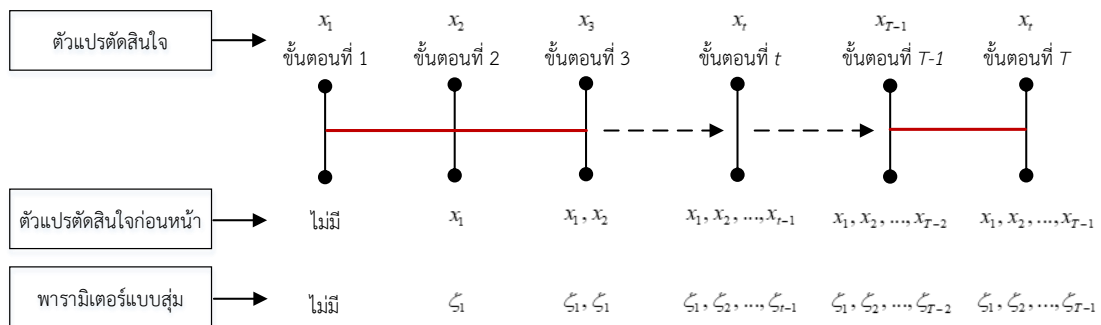
$$Q(x, \zeta^s) = \min_{y^s} \{(q^s)^T y^s : W^s y^s = h^s - T^s x, y^s \geq 0\} \quad (2.4)$$

โดยที่ $y^s \in R^{n_2}, \forall s \in S$ คือ เวกเตอร์การตัดสินใจในขั้นตอนที่สองสำหรับเหตุการณ์ s นอกจากนี้ในแต่ละเหตุการณ์ s จะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์สโตนอสติก ดังนี้ $q^s \in R^{n_2}, W^s \in R^{m_1 \times n_2}, T^s \in R^{m_1 \times n_1}$ และ $h^s \in R^{m_1}$ สามารถเขียนรวมกันได้เป็น $\zeta^s = \{q^s, W^s, T^s, h^s\}$

สำหรับวิธีการแก้ปัญหาสโตนอสติกแบบสองขั้นตอนนั้นส่วนมากจะนิยมใช้เทคนิคดีคอมโพสิชัน (Decomposition techniques) ในการแก้ปัญหา โดยเทคนิคที่นิยมนำมาใช้แก้ปัญหา เช่น เทคนิคเบนเดอร์ดีคอมโพสิชัน (Bender's decomposition) เป็นต้น

2.3.2 วิธีการแก้ปัญหาสโตนอสติกแบบหลายขั้นตอน

วิธีการแก้ปัญหาสโตนอสติกแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage stochastic program) [28] จะแบ่งขั้นตอนการตัดสินใจออกเป็น T ขั้นตอนซึ่งจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์แบบสุ่ม $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_{T-1}$ สำหรับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน ζ_i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, T-1$ จะเป็นเวกเตอร์ของพารามิเตอร์แบบสโตนอสติก เช่น ต้นทุน ความต้องการซื้อ ความต้องการขาย ความสามารถในการผลิต เป็นต้น โดยที่แต่ละขั้นตอน i จะหมายถึงพารามิเตอร์แบบสโตนอสติกหนึ่งตัวเท่านั้น สำหรับการกำหนดรูปแบบพารามิเตอร์สโตนอสติกในแต่ละขั้นตอนนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงตัวแปรตัดสินใจในขั้นตอนก่อนหน้าเพื่อให้แบบจำลองมีความสอดคล้องกัน โดยกำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจในขั้นตอน 1 ถึง T คือ $x_1, x_2, \dots, x_{T-1}, x_T$ ซึ่งสามารถแสดงลำดับขั้นของตัดสินใจและการพิจารณาพารามิเตอร์แบบสุ่มของแต่ละขั้นตอนได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลำดับชั้นของตัดสินใจและการพิจารณาพารามิเตอร์แบบสุ่มของวิธีการแก้ปัญหาสโตแคสติกแบบหลายขั้นตอน

2.3.3 วิธีการจำลองเหตุการณ์สำหรับปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบสโตแคสติก

วิธีการจำลองเหตุการณ์สำหรับปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบสโตแคสติก (Scenario generation for stochastic SCND problems) จะเป็นการนำวิธีการจำลองเหตุการณ์มาใช้ในวิธีการแก้ปัญหาสโตแคสติกแบบสองขั้นตอน และวิธีการแก้ปัญหาสโตแคสติกแบบหลายขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งวิธีการจำลองเหตุการณ์ที่นำมาใช้จะต้องสามารถจำลองเหตุการณ์ได้อย่างครอบคลุม เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประเมินในด้านคุณภาพและความยั่งยืนของคำตอบได้ โดยวิธีการจำลองเหตุการณ์ที่นิยมนำมาใช้คือ วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง (Sample Average Approximation method) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถช่วยลดตัวอย่างเหตุการณ์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาได้

2.4 วิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกส์

2.4.1 วิธีจำลองการอบอ่อน

การอบอ่อน (Annealing) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นกับโลหะ โดยทั่วไปเมื่อโลหะถูกนำไปให้ความร้อน จะมีการปล่อยให้เย็นลงอย่างช้าๆ จนถึงอุณหภูมิห้อง การให้ความร้อนกับโลหะจะทำให้อะตอมภายในโลหะเคลื่อนที่ไปมาได้อย่างอิสระ และการปล่อยให้อุณหภูมิลดลงอย่างช้าๆ จะช่วยให้อะตอมภายในโลหะมีการจัดเรียงตัวที่ดีขึ้น โดยขณะที่อุณหภูมิกำลังลดลงอย่างต่อเนื่อง ก็จะส่งผลให้ความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ของอะตอมลดลงด้วย จนในที่สุดเมื่อโลหะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง อะตอมของโลหะจะมีการจัดเรียงตัวแบบอาร์เรย์ (Array) ที่มีความสม่ำเสมอ ซึ่งจะสอดคล้องกับการจัดเรียงตัวของอะตอมที่พลังงานต่ำ ซึ่งสำหรับกระบวนการชุบ (Quenching) โลหะจะถูกทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว จะส่งผลให้การจัดเรียงอะตอมจะไม่สามารถแพร่กระจายไปได้ทั่วทั้งโลหะ ทำให้อะตอมของโลหะมีการเรียงตัวที่ไม่สม่ำเสมอ และสามารถเกิดการแตกหักได้ง่าย ซึ่งการอบอ่อนจะช่วยไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดดังกล่าว

ในปี 1980 Kirkpatrick et al. และ Cerný ได้นำแนวคิดของการอบอุ่นมาใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ [29] โดยจะมีขั้นตอนในการทำงาน 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. เพิ่มอุณหภูมิในเตาหลอมจนถึงค่าสูงสุดที่ทำให้เปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นของเหลว
2. ลดอุณหภูมิในเตาหลอมอย่างช้าๆ จนกระทั่งอุณหภูมิของโลหะเกิดการจัดเรียงตัวด้วยตัวเองในสถานะพื้นของของแข็ง

โดยช่วงที่อยู่ในสถานะของเหลวนุภาคทั้งหมดจะจัดเรียงตัวเองแบบสุ่ม ในขณะที่สถานะพื้นของของแข็งจะจัดเรียงตัวในรูปแบบของโครงสร้างตาข่ายที่มีแรงยึดเหนี่ยวสูงโดยใช้พลังงานต่ำ ซึ่งการที่จะทำให้อยู่ในสถานะพื้นของของแข็งได้นั้นจำเป็นต้องได้รับการเพิ่มอุณหภูมิ และการลดอุณหภูมิอย่างเหมาะสม เพื่อไม่ให้ของแข็งจะอยู่ในสถานะ meta-stable state แทน ซึ่งขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอุ่นสำหรับการหาค่าสูงสุด จะมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น i_{start} c_0 และ L_0
2. กำหนดให้ $k := 0$ และ $i := i_{start}$
3. กำหนดให้ $l := l$ โดยมีรอบการทำงานซ้ำถึง L_k
 - a. สร้าง j จาก S_i
 - b. เงื่อนไขแรก ถ้า $f(j) \geq f(i)$ แล้ว $i := j$
 - c. เงื่อนไขอื่นๆ ถ้า $\exp\left(\frac{f(j)-f(i)}{c_k}\right) > \text{random}(0,1)$ แล้ว $i := j$
4. กำหนดให้ $k := k + 1$
5. กำหนดให้ $l := L_k$
6. กำหนดให้ $c_k := c_k$
7. สิ้นสุดการทำงานเมื่อ $l := L_k$

2.5 วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง

วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง (Sample Average Approximation method) [30] จะทำการพิจารณาจากรูปแบบวิธีการแก้ปัญหาสโตแคสติก ดังนี้

$$\text{Min}_{x \in X} \{f(x) := E[F(x, \xi)]\} \quad (2.5)$$

โดยที่ $F(x, \xi)$ เป็นฟังก์ชันของเวกเตอร์ 2 ตัวแปร $x \in R^n$ และ $\xi \in R^d$ $X \in R^n$ คือ เซตที่เป็นไปได้ทั้งหมด และ $\xi \in \xi(\omega)$ คือเวกเตอร์แบบสุ่ม ในการหาค่าคาดหวังในสมการที่ 2.5 จำเป็นต้องทราบรูปแบบการกระจายตัวความน่าจะเป็นของ ξ ซึ่งสามารถมองสมการที่ 2.5 เป็นวิธีการ

แก้ปัญหาสโทแคสติกแบบสองขั้นตอนได้ โดยให้ $F(x, \zeta)$ และ ζ คือค่าที่เหมาะสมที่สุด และ เวกเตอร์ข้อมูลตามลำดับ ซึ่งจะสอดคล้องกับวิธีการแก้ปัญหาสโทแคสติกแบบสองขั้นตอนที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2 ฟังก์ชันค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง (Sample average function) สามารถเขียนในรูปแบบของ สมการได้ดังสมการที่ 2.6

$$\hat{f}_N(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F(x, \zeta^i) \quad (2.6)$$

โดยที่ $x \in X$ และ $\zeta^i \in \zeta^1, \dots, \zeta^N$

ในการสร้างตัวอย่างเหตุการณ์หรือ ζ จำนวน N เหตุการณ์นั้น โดยทั่วไปจะใช้เทคนิคการ สุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

2.5.1 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

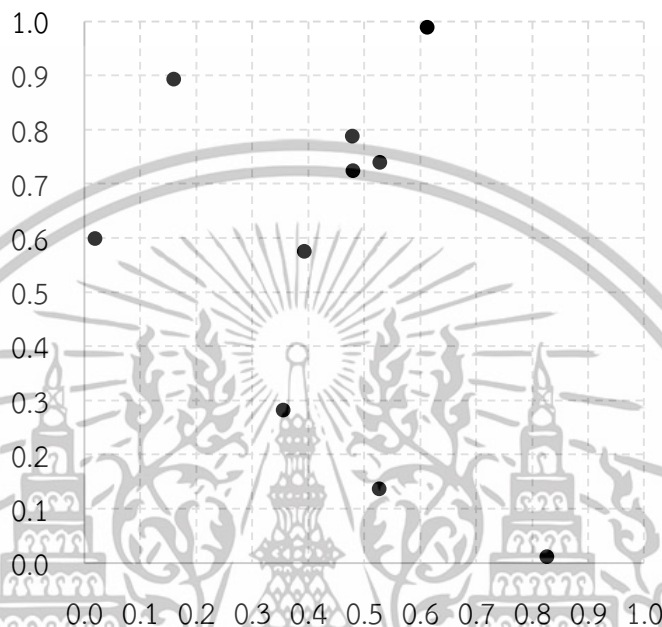
เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Sampling technique, MCS) เป็น หนึ่งในเทคนิคการสุ่มตัวอย่างที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาสโทแคสติกที่มีขนาดใหญ่ โดยจะทำการสร้าง เลขสุ่มที่มีการกระจายตัวแบบเอกรูป (Uniform distribution) อยู่ในช่วง $[0, 1]$ และมีความเป็น อิสระต่อกัน

ในการออกแบบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล หรือเมทริกซ์ $MCS(N, S)$ ที่มี ขนาด $N \times S$ โดยที่ N คือ จำนวนตัวอย่างและ S คือ จำนวนตัวแปรอิสระ เมทริกซ์ $MCS(N, S)$ จะถูกสร้างขึ้นมาจากเลขสุ่มแบบปกติ $u_{k,j} \sim U(0, 1)$ โดยที่ $k = 1, \dots, N$ และ $j = 1, \dots, S$ โดยที่เลข สุ่มที่ได้จะมีความเป็นอิสระต่อกัน

โดยมีตัวอย่างการออกแบบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลขนาด 10×2 หรือ $MCS(10, 2)$ ดังนี้ ทำการสร้างเมทริกซ์ $MCS(10, 2)$ จากเลขสุ่มจำนวน 20 เลขสุ่ม ซึ่งถูกแสดงไว้ดัง ด้านล่าง

$$MCS(10, 2) = \begin{bmatrix} 0.16019 & 0.893262 \\ 0.01913 & 0.599004 \\ 0.82717 & 0.010714 \\ 0.52777 & 0.136971 \\ 0.52787 & 0.739587 \\ 0.48078 & 0.723678 \\ 0.47893 & 0.787273 \\ 0.61325 & 0.988694 \\ 0.35614 & 0.282042 \\ 0.39307 & 0.575263 \end{bmatrix}$$

โดยแผนภาพการกระจายตัวของเมทริกซ์ $MCS(10, 2)$ จะแสดงดังรูปที่ 2.3 จากรูปจะพบว่า มีจำนวนจุดตัวอย่างทั้งหมด 10 จุดอยู่ในแผนภาพการกระจายตัวโดยได้ทำการแบ่งในแต่ละแถวและแต่ละหลักออกเป็น 10 ช่องโดยจะมีจำนวนทั้งหมด 100 ช่องซึ่งจะเห็นว่าในแต่ละแถวและแต่ละหลักจะมีจำนวนจุดตัวอย่างมากกว่า 1 จุด และมีบางแถวหรือบางหลักที่ไม่มีจุดตัวอย่าง



รูปที่ 2.3 แผนภาพการกระจายตัวของ $MCS(10, 2)$

2.5.2 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์

เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ (Latin Hypercube Sampling technique, LHS) ถูกคิดค้นขึ้นมาโดย McKay et al., [31] เป็นหนึ่งในเทคนิคการสุ่มตัวอย่างที่นิยมมาใช้สำหรับการออกแบบการทดลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อหาคำตอบจากแบบจำลอง โดยเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์จะช่วยให้มั่นใจได้ว่าส่วนที่เป็นตัวแทนของช่วงทั้งหมดของตัวแปรอินพุตแต่ละตัวจะถูกเลือก อีกทั้งยังทำให้ค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่างที่น้อยกว่าเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลอีกด้วย

ในการออกแบบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ขนาด $N \times S$ หรือเมทริกซ์ $LHS(N, S)$ ที่มีขนาด $N \times S$ โดยที่ N คือ จำนวนตัวอย่างและ S คือ จำนวนตัวแปรอิสระ จะมีขั้นตอนวิธีการออกแบบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เมทริกซ์ $P(N, S)$ จะถูกสร้างขึ้นมาจากในแต่ละคอลัมน์ของเมทริกซ์ P ประกอบด้วยการเรียงสับเปลี่ยนแบบสุ่มของจำนวนเต็มที่มีค่า 1 ถึง N

$$P(N,S) = \begin{bmatrix} p_{1,1} & \cdots & p_{1,S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{N,1} & \cdots & p_{N,S} \end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 2 เมทริกซ์ $U(N,S)$ จะถูกสร้างขึ้นมาจากเลขสุ่มในวิธีมอนติคาร์โล $u_{k,j} \sim U(0,1)$ โดยที่ $k=1,\dots,N$ และ $j=1,\dots,S$ ซึ่งเลขสุ่มที่ได้จะมีความเป็นอิสระต่อกัน

$$U(N,S) = \begin{bmatrix} u_{1,1} & \cdots & u_{1,S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{N,1} & \cdots & u_{N,S} \end{bmatrix}$$

ขั้นตอนที่ 3 เมทริกซ์ $LHS(N,S)$ จะถูกสร้างขึ้นมาจากสมการที่ 2.7 ซึ่งจะนำเมทริกซ์ที่ได้ในขั้นตอนนี้ไปใช้ในการจำลองเหตุการณ์

$$LHS(N,S) = \frac{1}{N} [P(N,S) - U(N,S)] \quad (2.7)$$

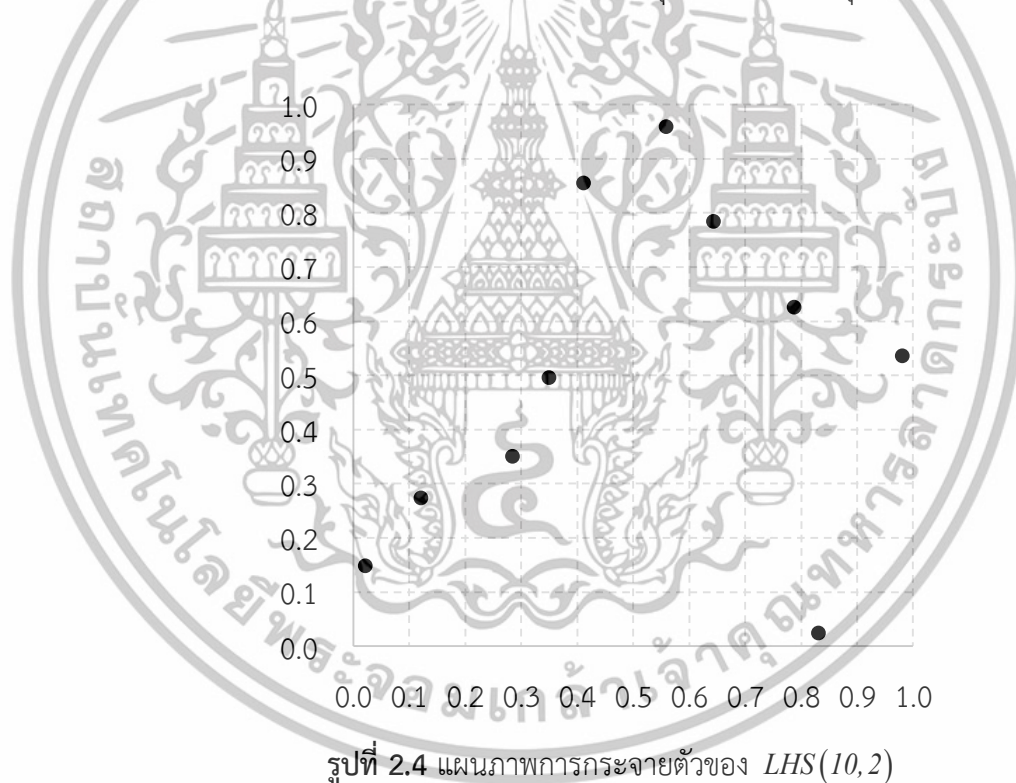
โดยมีตัวอย่างการออกแบบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเพอร์คิวขนาด 10×2 หรือ $LHS(10,2)$ ดังนี้ ทำการสร้างเมทริกซ์ $P(10,2)$ จากการเรียงสับเปลี่ยนแบบสุ่มของเลขจำนวนเต็ม $\{1,2,\dots,10\}$ และสร้างเมทริกซ์ $U(10,2)$ จากเลขสุ่มจำนวน 20 เลขสุ่ม ซึ่งถูกแสดงไว้ดังด้านล่าง

$$P(10,2) = \begin{bmatrix} 2 & 3 \\ 5 & 9 \\ 6 & 10 \\ 3 & 4 \\ 1 & 2 \\ 4 & 5 \\ 8 & 7 \\ 10 & 6 \\ 7 & 8 \\ 9 & 1 \end{bmatrix} \quad U(10,2) = \begin{bmatrix} 0.78828 & 0.26573 \\ 0.88091 & 0.45388 \\ 0.40278 & 0.40963 \\ 0.15111 & 0.49880 \\ 0.77641 & 0.52223 \\ 0.50390 & 0.04614 \\ 0.11723 & 0.74228 \\ 0.18544 & 0.64897 \\ 0.55755 & 0.15557 \\ 0.68550 & 0.76004 \end{bmatrix}$$

จากนั้นทำการสร้างเมทริกซ์ $LHS(10,2)$ จากสมการที่ 2.7 ซึ่งถูกแสดงไว้ดังด้านล่าง

$$LHS(10,2) = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 2 & 3 \\ 5 & 9 \\ 6 & 10 \\ 3 & 4 \\ 1 & 2 \\ 4 & 5 \\ 8 & 7 \\ 10 & 6 \\ 7 & 8 \\ 9 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.78828 & 0.26573 \\ 0.88091 & 0.45388 \\ 0.40278 & 0.40963 \\ 0.15111 & 0.49880 \\ 0.77641 & 0.52223 \\ 0.50390 & 0.04614 \\ 0.11723 & 0.74228 \\ 0.18544 & 0.64897 \\ 0.55755 & 0.15557 \\ 0.68550 & 0.76004 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.12117 & 0.27343 \\ 0.41191 & 0.85461 \\ 0.55972 & 0.95904 \\ 0.28489 & 0.35012 \\ 0.02236 & 0.14778 \\ 0.34961 & 0.49539 \\ 0.78828 & 0.62577 \\ 0.98146 & 0.53510 \\ 0.64424 & 0.78444 \\ 0.83145 & 0.02400 \end{bmatrix}$$

โดยแผนภาพการกระจายตัวของเมทริกซ์ $LHS(10,2)$ จะแสดงดังรูปที่ 2.4 จากรูปจะพบว่า มีจำนวนจุดตัวอย่างทั้งหมด 10 จุดอยู่ในช่องตารางที่ได้ทำการแบ่งไว้ทั้งหมด 100 ช่องที่มีขนาดเท่ากันซึ่งจะเห็นว่าในแต่ละแถวและแต่ละหลักจะมีจำนวนจุดตัวอย่างแค่ 1 จุดเท่านั้น



สำหรับการออกแบบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายแบบไฮเปอร์คิวบ์ จะมีขั้นตอนการออกแบบที่คล้ายกับการออกแบบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ แต่จะแตกต่างกันที่การสร้างเมทริกซ์ $P(N,S)$ ที่มีการหาระยะทางระหว่างจุด

2.5.3 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์

Randall D. Manteufel [25] ได้คิดค้นเทคนิคการสุ่มตัวอย่างการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์โดยการนำเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์มาเพิ่มเงื่อนไขในการหา ระยะทางระหว่างจุดซึ่งจะใช้การหาระยะทางระหว่างจุดแบบยูคลิด (Euclidean distance) สามารถ คำนวณได้จากสมการที่ 2.8 จากนั้น Brian K. Beachkofski [11] ได้ทำการปรับปรุงเทคนิคการสุ่ม ตัวอย่างการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ โดยทำการเพิ่มเงื่อนไขว่าระยะทางระหว่างจุดควรมีค่า ใกล้เคียงหรือเท่ากับระยะทางที่เหมาะสมหรือ d_{opt} ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.9 จะเรียก เทคนิคการสุ่มตัวอย่างนี้ว่า เทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ จาก เงื่อนไขที่ถูกเพิ่มขึ้นมาทำให้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์มี สัมประสิทธิ์ความผันแปรที่ต่ำ มีการกระจายตัวของจุดตัวอย่างครอบคลุมพื้นที่ตัวอย่าง เป็นหนึ่งใน เทคนิคการสุ่มตัวอย่างที่นิยมนำมาใช้ในการเพิ่มสมรรถนะในการหาคำตอบ

$$d(x_i, x_j) = d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^s |x_{ik} - x_{jk}|^2 \right]^{1/2}, i \in \{1, \dots, (N-1)\}, j \in \{(i+1), \dots, N\} \quad (2.8)$$

$$d_{opt} = \frac{N}{\sqrt{s}} \quad (2.9)$$

โดย x_{ik} คือ จำนวนเต็มที่ตำแหน่ง i ของตัวแปร k
 x_{jk} คือ จำนวนเต็มที่ตำแหน่ง j ของตัวแปร k
 $d(x_i, x_j)$ คือ ระยะทางระหว่าง x_{ik} กับ x_{jk} โดยที่ $i \neq j$
 d_{opt} คือ ระยะทางที่เหมาะสม

ในการออกแบบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ขนาด $N \times S$ หรือเมทริกซ์ $IHS(N, S)$ ที่มีขนาด $N \times S$ โดยที่ N คือ จำนวนตัวอย่าง และ S คือ จำนวนตัวแปรอิสระ ซึ่งมีขั้นตอนในการออกแบบดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดพารามิเตอร์เบื้องต้น (N, S, D) โดย D คือ จำนวนชุดตัวเลขที่สร้างขึ้น

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเมทริกซ์ $P_{IHS}(N, S)$ เฉพาะหลักสุดท้ายจากการออกแบบเทคนิคการสุ่ม

ตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้น $r := N - 1$

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อยังไม่ถึงจำนวนรอบที่กำหนด ($r \leq 2$)

■ สำหรับเมทริกซ์คำตอบ ทำขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

1. สร้างเมทริกซ์ $A(c, S)$ โดย $c = r.(d-1) + 1, \dots, r.d$ และ $d = 1, \dots, D$ ซึ่งในแต่ละค่า d เมทริกซ์ A จะประกอบด้วยการเรียงสับเปลี่ยนแบบสุ่มของจำนวนเต็มที่มีค่า 1 ถึง N และยังไม่ถูกเลือกจากเมทริกซ์ $P_{IHS}(N, S)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทหาระยะทางระหว่างจุดของ $P_{IHS}(r+1, S)$ กับ $A(l, S)$ จากสมการที่ 2.8 โดย

$$l = 1, \dots, r.d$$

3. นำเลขจำนวนเต็มในเมทริกซ์ A ตำแหน่ง l ที่ทำให้ค่าระยะทางระหว่างจุดใกล้เคียงกับค่า d_{opt} (จากสมการที่ 2.9) มากที่สุดมาใส่ในเมทริกซ์ $P_{IHS}(r, S)$

ขั้นตอนที่ 5 นำเลขจำนวนเต็มที่มีค่า 1 ถึง N และยังไม่ถูกเลือกจากเมทริกซ์ $P(N, S)$ หลักสุดท้ายมาใส่ในเมทริกซ์ $P_{IHS}(l, S)$

ขั้นตอนที่ 6 สร้างเมทริกซ์ $IHS(N, S)$ จากสมการที่ 2.7

โดยมีตัวอย่างการออกแบบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ขนาด 10×2 หรือ $IHS(10, 2)$ ดังนี้ ทำการกำหนดพารามิเตอร์เบื้องต้นให้ D เท่ากับ 2 ทำการสร้างเมทริกซ์ $P_{IHS}(10, 2)$ เฉพาะหลักสุดท้าย แสดงไว้ดังด้านล่าง

$$P_{IHS}(10, 2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 9 & 10 \end{bmatrix}$$

จากนั้นทำการสร้างเมทริกซ์ $A(18, 2)$ และทำการหาระยะทางระหว่างจุดในหลักสุดท้ายของเมทริกซ์ $P_{IHS}(10, 2)$ กับเมทริกซ์ $A(18, 2)$ โดยใช้สมการที่ 2.8 ซึ่งจะได้ระยะทางแสดงดังเมทริกซ์ d_e

$$A(18,2) = \begin{bmatrix} 4 & 3 \\ 3 & 8 \\ 6 & 4 \\ 5 & 5 \\ 10 & 6 \\ 7 & 7 \\ 8 & 9 \\ 1 & 1 \\ 3 & 2 \\ 2 & 3 \\ 4 & 7 \\ 5 & 4 \\ 7 & 5 \\ 6 & 6 \\ 1 & 9 \\ 8 & 8 \\ 10 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \quad d_e = \begin{bmatrix} 8.6023 \\ 6.3246 \\ 6.7082 \\ 6.4031 \\ 4.1231 \\ 3.6056 \\ 1.4142 \\ 12.0416 \\ 10.0000 \\ 9.8995 \\ 5.8310 \\ 7.2111 \\ 5.3852 \\ 5.0000 \\ 8.0623 \\ 2.2361 \\ 8.0623 \\ 11.4018 \end{bmatrix}$$

จากเมทริกซ์ d_e จะพบว่าข้อมูลแถวที่ 6 ของเมทริกซ์ $A(18,2)$ มีผลต่างของระยะทางระหว่างจุดกับค่า $d_{opt} = \frac{10}{\sqrt{10}} = 3.1623$ น้อยที่สุด ดังนั้นจึงนำข้อมูลแถวที่ 6 ของเมทริกซ์ $A(18,2)$ มาใส่ในเมทริกซ์ $P_{IHS}(10,2)$ แสดงไว้ดังด้านล่าง

$$P_{IHS}(10,2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 7 & 7 \\ 9 & 10 \end{bmatrix}$$

ทำการสร้างเมทริกซ์ $A(18,2)$ ใหม่ และทำการหาระยะทางระหว่างจุดของข้อมูลแถวที่ 9 ของเมทริกซ์ $P_{IHS}(10,2)$ กับเมทริกซ์ $A(18,2)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A(18,2) = \begin{bmatrix} 5 & 3 \\ 3 & 4 \\ 4 & 5 \\ 10 & 6 \\ 6 & 9 \\ 2 & 8 \\ 8 & 1 \\ 1 & 6 \\ 5 & 2 \\ 3 & 3 \\ 4 & 4 \\ 6 & 5 \\ 8 & 2 \\ 10 & 9 \\ 2 & 8 \\ 1 & 1 \\ 10 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \quad d_e = \begin{bmatrix} 4.4721 \\ 5.0000 \\ 3.6056 \\ 3.1623 \\ 2.2361 \\ 5.0990 \\ 6.0828 \\ 6.0828 \\ 5.3852 \\ 5.6569 \\ 4.2426 \\ 2.2361 \\ 5.0990 \\ 3.6056 \\ 5.0990 \\ 8.4853 \\ 5.8310 \\ 7.8102 \end{bmatrix}$$

ซึ่งจะพบว่าข้อมูลแถวที่ 4 ของเมทริกซ์ $A(18,2)$ มีผลต่างระยะทางระหว่างจุดกับค่า d_{opt} เท่ากับ 0 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ดีที่สุดดังนั้นจึงนำข้อมูลแถวที่ 4 ของเมทริกซ์ $A(18,2)$ มาใส่ในเมทริกซ์ $P_{IHS}(10,2)$ จากนั้นทำจนครบเงื่อนไขรอบการทำงานที่กำหนด จะได้เมทริกซ์ $P_{IHS}(10,2)$ ที่เสร็จสมบูรณ์และระยะทางระหว่างจุด ดังนี้

$$P_{IHS}(10,2) = \begin{bmatrix} 8 & 1 \\ 1 & 4 \\ 6 & 3 \\ 2 & 8 \\ 5 & 9 \\ 3 & 2 \\ 4 & 5 \\ 10 & 6 \\ 7 & 7 \\ 9 & 10 \end{bmatrix} \quad d_e = \begin{bmatrix} 7.6158 \\ 5.0990 \\ 6.4031 \\ 3.1623 \\ 7.2801 \\ 3.1623 \\ 6.0828 \\ 3.1623 \\ 3.6056 \end{bmatrix}$$

จากนั้นทำการสร้างเมทริกซ์ $L(10,2)$ จากสมการที่ 2.7 ซึ่งถูกแสดงไว้ดังด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$IHS(10,2) = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 8 & 1 \\ 1 & 4 \\ 6 & 3 \\ 2 & 8 \\ 5 & 9 \\ 3 & 2 \\ 4 & 5 \\ 10 & 6 \\ 7 & 7 \\ 9 & 10 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.78828 & 0.26573 \\ 0.88091 & 0.45388 \\ 0.40278 & 0.40963 \\ 0.15111 & 0.49880 \\ 0.77641 & 0.52223 \\ 0.50390 & 0.04614 \\ 0.11723 & 0.74228 \\ 0.18544 & 0.64897 \\ 0.55755 & 0.15557 \\ 0.68550 & 0.76004 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.72117 & 0.07343 \\ 0.01191 & 0.35461 \\ 0.55972 & 0.25904 \\ 0.18489 & 0.75012 \\ 0.42236 & 0.84778 \\ 0.24961 & 0.19539 \\ 0.38828 & 0.42577 \\ 0.98146 & 0.53510 \\ 0.64424 & 0.68444 \\ 0.83145 & 0.92400 \end{bmatrix}$$

โดยแผนภาพการกระจายตัวของเมทริกซ์ $IHS(10,2)$ จะแสดงดังรูปที่ 2.5 จากรูปจะพบว่ามีจำนวนจุดตัวอย่างทั้งหมด 10 จุดอยู่ในช่องตารางที่ได้ทำการแบ่งไว้ทั้งหมด 100 ช่องโดยแต่ละช่องมีขนาดเท่ากันซึ่งจะเห็นว่าในแต่ละแถวและแต่ละหลักจะมีจำนวนจุดตัวอย่างแค่ 1 จุดเท่านั้น เหมือนกันกับเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเพอร์คิวบ์ แต่การกระจายตัวของจุดตัวอย่างจะครอบคลุมพื้นที่ตัวอย่างมากกว่า



รูปที่ 2.5 แผนภาพการกระจายตัวของ $IHS(10,2)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

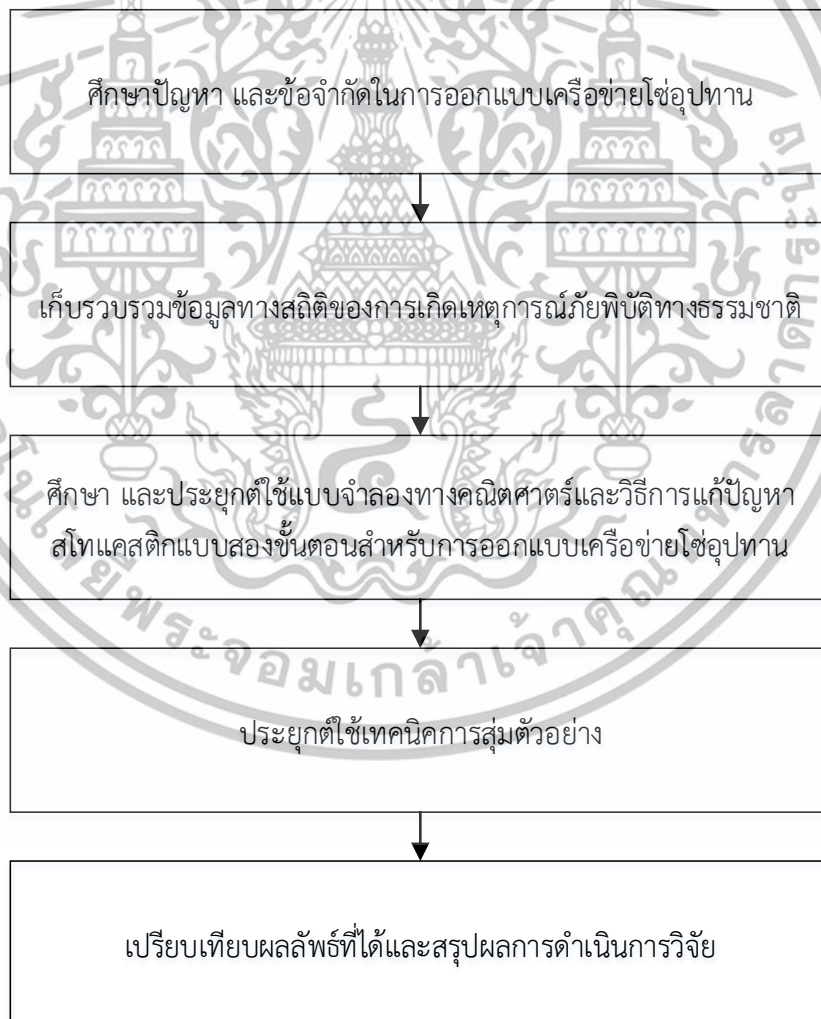
2.6 บทสรุปจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานพบว่าปัญหาจะถูกนำเสนอในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น แบบจำลองปัญหา กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม แบบจำลองปัญหา กำหนดการจำนวนเต็มเชิงเส้นแบบผสม และแบบจำลองปัญหา กำหนดการจำนวนเต็มไม่เชิงเส้นแบบผสม เป็นต้น สำหรับวิธีการแก้ปัญหา สโทแคสติกแบบสองขั้นตอนเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานที่มีการพิจารณาเหตุการณ์การหยุดชะงัก โดยขั้นตอนแรกวิธีวิธีวิสติกส์ เช่น ขั้นตอนวิธีลากรางเจียน ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และขั้นตอนวิธีจำลองการอบอุ่น จะถูกนำมาใช้ในการหาคำตอบซึ่งก็คือตัวแปรตัดสินใจของขั้นตอนแรก ตัวอย่างตัวแปรตัดสินใจในขั้นตอนแรก เช่น การเลือกที่ตั้งผู้เกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน เป็นต้น และขั้นตอนที่สองจะใช้วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่างและเทคนิคการสุ่มตัวอย่างจะถูกนำมาใช้ในการจำลองเหตุการณ์การหยุดชะงัก จากนั้นจะใช้โปรแกรม CPLEX ในการหาคำตอบของแต่ละเหตุการณ์การหยุดชะงักซึ่งก็คือตัวแปรตัดสินใจในขั้นตอนที่สอง ตัวอย่างตัวแปรตัดสินใจในขั้นตอนที่สอง เช่น ปริมาณการขนส่งวัตถุดิบหรือสินค้า ภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก และปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานส่วนมากจะเป็นการออกแบบสำหรับประเทศใดประเทศหนึ่งซึ่งจะมีการนำข้อมูลการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักมาใช้เฉพาะในระดับประเทศเท่านั้น จากการศึกษาพบว่างานวิจัยของ Rienkhemaniyom K. Pazhani S. and Janjarassuk U. [10] มีการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานซึ่งมีที่ตั้งของผู้เกี่ยวข้องในโซ่อุปทานตั้งอยู่ครอบคลุมทั่วโลก และพบว่าวิธีการแก้ปัญหาสโทแคสติกโดยการจำลองเหตุการณ์ส่วนมากนิยมใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลในการจำลองเหตุการณ์การหยุดชะงัก ซึ่งมีข้อจำกัดคือต้องมีการสุ่มเหตุการณ์ขึ้นมาจำนวนมาก เพื่อให้ได้คุณภาพของผลลัพธ์ที่ดี การประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ จึงถูกนำมาใช้เพื่อลดข้อจำกัดที่กล่าวมาข้างต้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้วัตถุประสงค์คือการเก็บรวบรวมข้อมูล และนำข้อมูลสถิติของการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติมาใช้ในขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์การหยุดชะงักสำหรับปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก และเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพในการหาคำตอบโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ในวิธีการแก้ปัญหาสโตนอสติกแบบสองขั้นตอน จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างที่นำเสนอในงานวิจัยกับเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลซึ่งเป็นเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบทั่วไปที่นิยมนำมาใช้ โดยผู้วิจัยได้ทำการแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็นลำดับขั้นตอน ดังรูปที่ 3.1

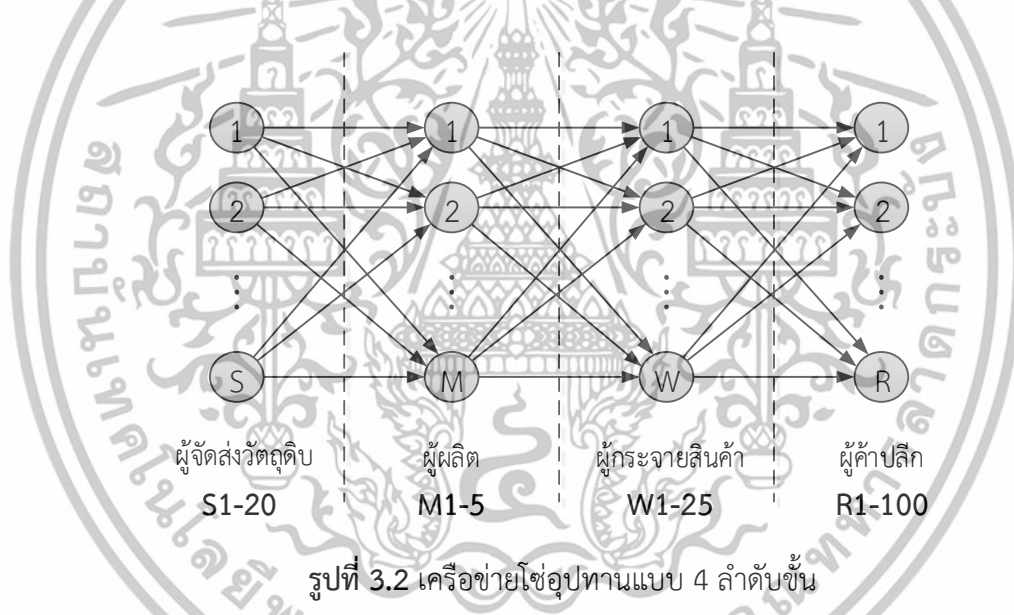


รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ปัญหาเครือข่ายโซ่อุปทานที่ใช้ทดสอบ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา และนำแบบจำลองเครือข่ายโซ่อุปทานแบบ 4 ลำดับชั้นจากงานวิจัยของ Rienkhemaniyom K. and Pazhani S. [9] ซึ่งประกอบไปด้วยผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า และผู้ค้าปลีก ดังรูปที่ 3.2 โดยจากสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นจริงนั้นจะพบว่าตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้าเป็นส่วนที่ไม่สามารถควบคุมได้จึงไม่ถูกนำมาพิจารณาในแบบจำลอง แบบจำลองนี้จึงประกอบไปด้วยตำแหน่งที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า และผู้ค้าปลีกเท่านั้น โดยลักษณะการทำงานภายในเครือข่ายโซ่อุปทาน จะเริ่มต้นตั้งแต่ผู้จัดส่งวัตถุดิบส่งวัตถุดิบไปยังผู้ผลิต จากนั้นผู้ผลิตจะทำการผลิตเป็นสินค้า และส่งต่อไปยังผู้กระจายสินค้า เพื่อทำการกระจายสินค้าไปยังผู้ค้าปลีก และขายให้กับลูกค้าต่อไป ซึ่งจำนวนผู้เกี่ยวข้องในเครือข่ายโซ่อุปทานสำหรับปัญหาเครือข่ายโซ่อุปทานที่ใช้ทดสอบจะประกอบไปด้วยผู้จัดส่งวัตถุดิบจำนวน 20 ราย ผู้ผลิตจำนวน 5 ราย ผู้กระจายสินค้าจำนวน 25 ราย และผู้ค้าปลีกจำนวน 100 ราย ซึ่งมีข้อมูลที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า และผู้ค้าปลีก แสดงดังตารางที่ ก.1 ก.2 ก.3 และ ก.4 ตามลำดับในภาคผนวก ก.



โดยที่ผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า และผู้ค้าปลีกแต่ละรายจะมีที่ตั้งครอบคลุมทั้ง 6 ทวีปทั่วโลกซึ่งประกอบไปด้วยทวีปแอฟริกา ทวีปเอเชีย ทวีปยุโรป ทวีปอเมริกาเหนือ ทวีปอเมริกาใต้ และทวีปออสเตรเลีย เมื่อแบ่งตามประเทศที่ตั้งจะครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 36 ประเทศ สำหรับประเทศที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต และผู้กระจายสินค้าจะตั้งอยู่ใน 28 ประเทศ และกำหนดให้ผู้จัดส่งวัตถุดิบทั้ง 20 ราย แทนด้วยสัญลักษณ์ S1 ถึง S20 ผู้ผลิตทั้ง 5 ราย แทนด้วยสัญลักษณ์ M1 ถึง M5 ผู้กระจายสินค้าทั้ง 25 ราย แทนด้วยสัญลักษณ์ W1 ถึง W25 และผู้ค้าปลีกทั้ง 100 ราย แทนด้วยสัญลักษณ์ C1 ถึง C100 โดยมีรายละเอียดที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า และผู้ค้าปลีกแต่ละรายแยกตามทวีปแสดงดังตารางที่ 3.1 และแยกตามประเทศแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า และผู้ค้าปลีกแยกตามทวีป

ทวีป	ผู้จัดส่งวัตถุดิบ	ผู้ผลิต	ผู้กระจายสินค้า	ผู้ค้าปลีก
ทวีปแอฟริกา	S16	M3	W17	R65-R68
ทวีปเอเชีย	S5, S8, S10, S11, S12, S15, S17, S18	M1, M2	W7, W9, W10, W11, W14, W15, W16, W19, W20, W21, W25	R25-R28, R33-R44, R53-R64, R73-R84, R97-R100
ทวีปยุโรป	S6, S7, S9, S14, S19	M4	W3, W4, W8, W13, W18, W22	R9-R16, R29-R32, R49-R52, R69-R72, R85-R88
ทวีปอเมริกาเหนือ	S4, S13, S20	M5	W6, W12, W23	R21-R24, R45-R48, R89-R92
ทวีปอเมริกาใต้	S1, S3	-	W1, W5, W24	R1-R4, R17-R20, R93-R96
ทวีปออสเตรเลีย	S2	-	W2	R5-R8
รวม	20	5	25	100

ตารางที่ 3.2 ตำแหน่งที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า และผู้ค้าปลีกแยกตามประเทศ

ประเทศ	ผู้จัดส่งวัตถุดิบ	ผู้ผลิต	ผู้กระจายสินค้า	ผู้ค้าปลีก
เกาหลีใต้	S11	-	-	R25
เช็กเกีย	-	-	-	R84
เนเธอร์แลนด์	S14	W13	-	R49-R52
เบลเยียม	-	W4	-	R13-R16
เม็กซิโก	S13	W12	-	R45-R48
เยอรมนี	S7	-	-	-
เวเนซุเอลา	-	-	-	R96
เวียดนาม	-	-	-	R97
แคนาดา	S4	W6	-	R21-R24
แอฟริกาใต้	S16	W17	M3	R65-R68
โคลอมเบีย	-	-	-	R94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) ตำแหน่งที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต ผู้กระจายสินค้า และผู้ค้าปลีกแยกตามประเทศ

ประเทศ	ผู้จัดส่งวัตถุดิบ	ผู้ผลิต	ผู้กระจายสินค้า	ผู้ค้าปลีก
ไต้หวัน	-	W19		R73-R76
ไทย	S17	W20, W25		R77-R80
จีน	S5	W7	M1	R26-R28, R99-R100
ญี่ปุ่น	S10	-	-	-
ตุรกี	S18	W21	-	R83
นิวซีแลนด์	-	-	-	R7
บราซิล	S3	W5	-	R17, R19-R20
ปากีสถาน	-	W14	-	R53, R55
ฝรั่งเศส	S6	W8	-	R30-R32
ฟิลิปปินส์	-	W15	-	R57-R60
มอนเตเนโกร	-	-	-	R42
มาเลเซีย	-	W11	-	R41, R43-R44
รัสเซีย	S15	W16	-	R61-R64
สวีเดน	-	W18	-	R69-R72
สหรัฐอเมริกา	S20	W23, W24	M4, M5	R2, R18, R29, R85, R89-R93, R95
สหราชอาณาจักร	S19	W22	-	R86-R88
หมู่เกาะเคย์แมน	S12	-	-	-
ออสเตรเลีย	S2	W2	-	R5-R6, R8
ออสเตรีย	-	W3	-	R9-R12
อาร์เจนตินา	S1	W1	-	R1, R3, R4
อาร์เมเนีย	-	-	-	R82
อิตาลี	S9	-	-	R98
อินเดีย	S8	W9	M2	R33-R36, R56, R81
อินโดนีเซีย	-	W10	-	R37-R40
อิหร่าน	-	-	-	R54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแบบจำลองเครือข่ายโซ่อุปทานที่ใช้ทดสอบ จะอยู่ภายใต้สมมติฐาน ดังนี้

1. ผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาซึ่งก็คือการเลือกที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ และผู้กระจายสินค้าจะถูกใช้เป็นกลยุทธ์ในการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน โดยความต้องการของผู้ค้าปลีกนั้นจะถูกกำหนดให้เป็นพารามิเตอร์ที่มีค่าแน่นอน (Deterministic) เพื่อให้ง่ายต่อการดูผลกระทบจากการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก

2. เหตุการณ์การหยุดชะงักจะสามารถเกิดขึ้นได้กับผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต หรือผู้กระจายสินค้า ในการดูผลกระทบที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์การหยุดชะงักในแบบจำลองเครือข่ายโซ่อุปทานนั้น ผู้วิจัยจะทำการจำลองเหตุการณ์ โดยใช้รูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของเหตุการณ์การหยุดชะงักที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติของการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ และกำหนดให้เป็นตัวแปรแบบไบนารี (Binary) ซึ่งจะมีค่า 0 กับ 1 โดยเมื่อเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักที่ประเทศใดในเครือข่ายโซ่อุปทานจะส่งผลให้ผู้เกี่ยวข้องในโซ่อุปทานที่ตั้งอยู่ในประเทศนั้นเกิดการหยุดชะงัก และความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักในแต่ละที่ตั้งเป็นอิสระต่อกัน

3. เซตของเหตุการณ์การหยุดชะงักที่เป็นไปได้ทั้งหมดเป็นแบบจำกัด ซึ่งจะมีจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมดเท่ากับ 2^n สำหรับแบบจำลองเครือข่ายที่ใช้ทดสอบนั้นจะมีจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมดที่เป็นไปได้เท่ากับ 2^{28} หรือ 268,435,456 เหตุการณ์

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลภัยพิบัติทางธรรมชาติ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวบรวม และนำข้อมูลสถิติของการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติในช่วงปี 1900 ถึง 2018 จาก EM-DAT The International Disaster Database Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (<https://www.emdat.be/>) ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลภัยพิบัติทางธรรมชาติ และทางเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นทั่วโลกมาใช้ในการกำหนดเขตความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักของแต่ละประเทศ โดยงานวิจัยนี้ได้พิจารณาเฉพาะข้อมูลสถิติของการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติเท่านั้น เนื่องจากเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ผู้ประกอบการหรือผู้เกี่ยวข้องภายในเครือข่ายโซ่อุปทานเกิดการหยุดชะงัก

โดยข้อมูลภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ได้มาจะอยู่ในรูปแบบของไฟล์ .csv และมีรูปแบบของข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3.3 ซึ่งแต่ละหลักจะประกอบไปด้วยข้อมูลปี ค.ศ. (year) รหัสประเทศ (iso) ชื่อประเทศ (country_name) ประเภทของภัยพิบัติ (disaster type) จำนวนครั้งที่เกิด (occurrence) จำนวนผู้เสียชีวิต (Total deaths) จำนวนผู้ได้รับบาดเจ็บ (Injured) จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ (Affected) จำนวนผู้ไม่มีที่อยู่อาศัย (Homeless) จำนวนผู้ได้รับผลกระทบทั้งหมด (Total affected) และมูลค่าความเสียหายทั้งหมด (Total damage ('000 US\$)) ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างข้อมูลสถิติของการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ

year	iso	country_name	disaster type	occurrence	Total deaths	Injured	Affected	Homeless	Total affected	Total damage
1900	JPN	Japan	Volcanic activity	1	30					
1901	JPN	Japan	Earthquake	1	18					
1902	JPN	Japan	Volcanic activity	1	125					
1907	JPN	Japan	Earthquake	1	41					
1910	JPN	Japan	Flood	1	1379					
1912	JPN	Japan	Storm	1	1000					20000
1914	JPN	Japan	Earthquake	2	129					
1914	JPN	Japan	Volcanic activity	1	140					20000
1917	JPN	Japan	Storm	1	4000					50000
1923	JPN	Japan	Earthquake	2	145144	103733	100000		203733	600000
1923	JPN	Japan	Landslide	1	200					
1923	JPN	Japan	Storm	1	3000					10000
1926	JPN	Japan	Volcanic activity	1	144					
1927	JPN	Japan	Earthquake	2	5850					80000
1930	JPN	Japan	Earthquake	1						
1933	JPN	Japan	Earthquake	2	6064					25000
1934	JPN	Japan	Storm	1	3006					50000
1938	JPN	Japan	Flood	1	933					
1943	JPN	Japan	Earthquake	1	1083					

จากตารางที่ 3.3 จะเห็นว่ารูปแบบของข้อมูลยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้จำเป็นต้องมีการจัดรูปแบบของข้อมูลใหม่ อีกทั้งข้อมูลทั้งหมดมีจำนวนมากถึงประมาณ 10,000 แถว จึงได้ใช้การเขียนโปรแกรมภาษา Python [32] เข้ามาช่วยในจัดการข้อมูลเพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการกำหนดเขตเหตุการณ์การหยุดชะงักได้ โดยขั้นตอนแรกจะใช้ชุดคำสั่ง GroupBy ในการจัดกลุ่มข้อมูลตามประเภทของข้อมูล country_name และ disaster type ซึ่งจะแบ่งขั้นตอนในการจัดกลุ่มออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การแยกข้อมูล การรวมผลลัพธ์ของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม และการรวมข้อมูล โดยมีขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรกจะนำข้อมูลซึ่งมีรูปแบบของข้อมูลดังตัวอย่างในตารางที่ 3.3 มาทำการแยกข้อมูลออกเป็นกลุ่มตามประเภทของภัยพิบัติซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.4 จากนั้นข้อมูลในแต่ละกลุ่มจะถูกนำมาทำการรวมผลลัพธ์ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.5 และขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นรวมข้อมูลซึ่งก็คือการนำข้อมูลที่ได้จากการรวมผลลัพธ์ในแต่ละกลุ่มมารวมเข้าเป็นตารางเดียวกันซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการแยกข้อมูล

Split	year	iso	country_name	disaster type	occurrence
Group 1	1901	JPN	Japan	Earthquake	1
	1907	JPN	Japan	Earthquake	1
	1914	JPN	Japan	Earthquake	2
	1923	JPN	Japan	Earthquake	2
	1927	JPN	Japan	Earthquake	2
	1930	JPN	Japan	Earthquake	1
	1933	JPN	Japan	Earthquake	2
	1943	JPN	Japan	Earthquake	1
Group 2	1910	JPN	Japan	Flood	1
	1938	JPN	Japan	Flood	1
Group 3	1923	JPN	Japan	Landslide	1
Group 4	1912	JPN	Japan	Storm	1
	1917	JPN	Japan	Storm	1
	1923	JPN	Japan	Storm	1
	1934	JPN	Japan	Storm	1
Group 5	1900	JPN	Japan	Volcanic activity	1
	1902	JPN	Japan	Volcanic activity	1
	1914	JPN	Japan	Volcanic activity	1
	1926	JPN	Japan	Volcanic activity	1

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการรวมผลลัพธ์ของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม

Split	country_name	disaster type	occurrence
Group 1	Japan	Earthquake	12
Group 2	Japan	Flood	2
Group 3	Japan	Landslide	1
Group 4	Japan	Storm	4
Group 5	Japan	Volcanic activity	4

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการรวมข้อมูล

country_name	disaster type	occurrence
Israel	Drought	1
Israel	Epidemic	1
Israel	Extreme temperature	2
Israel	Flood	4
Israel	Landslide	1
Israel	Storm	4
Israel	Wildfire	4
Japan	Drought	1
Japan	Earthquake	62
Japan	Epidemic	3
Japan	Extreme temperature	13
Japan	Flood	53
Japan	Landslide	22
Japan	Storm	176
Japan	Volcanic activity	16
Japan	Wildfire	1

จากนั้นจะใช้ชุดคำสั่ง GroupBy ในการจัดกลุ่มข้อมูลตามประเภทของข้อมูล country_name เพื่อทำการรวมผลลัพธ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นในประเทศนั้นๆ เข้าด้วยกัน โดยตัวอย่างข้อมูลหลังการจัดกลุ่มข้อมูลจะแสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างข้อมูลสถิติของการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติหลังการจัดกลุ่มข้อมูล

country_name	occurrence	Total deaths	Injured	Affected	Homeless	Total affected	Total damage ('000 US\$)
Afghanistan	183	24432	70744	9403734	219090	9693568	603320
Armenia	9	5	0	3895750	144	3895894	201453
Azerbaijan	15	68	680	2401744	172849	2575273	211200
Bahrain	1	111	0	0	0	0	0
Bangladesh	347	2993421	1066316	4.31E+08	14426930	4.47E+08	19812780
Bhutan	10	304	28	86341	1000	87369	3500
Brunei Darussalam	1	0	0	0	0	0	2000
Cambodia	39	2473	167	23515994	333755	23849916	1559110
China	899	12744406	1685089	3.2E+09	63982915	3.27E+09	5.31E+08
Cyprus	14	106	745	4990	150	5885	14440
Georgia	22	76	322	878910	8726	887958	700856
Hong Kong	136	24575	4066	100271	42361	146698	1335943
India	710	9132521	247281	2.37E+09	34625127	2.4E+09	93428006

จากนั้นข้อมูลสถิติของการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ได้ทำการจัดรูปแบบแล้วจะถูกนำไปใช้คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นโดยใช้สมการที่ 2.1 เพื่อนำไปสร้างแผนที่แสดงพื้นที่ความเสี่ยงในการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติโดยใช้โปรแกรม ArcMap สำหรับการเปรียบเทียบข้อมูลในระดับทวีปและระดับประเทศ และใช้ในการกำหนดเขตความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักจากภัยพิบัติทางธรรมชาติสำหรับการจำลองเหตุการณ์การหยุดชะงักในปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานต่อไป

3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการแก้ปัญหาสโทแคสติกแบบสองขั้นตอนมาใช้ในการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก โดยกระบวนการตัดสินใจแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะเลือกที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ และที่ตั้งและขนาดของผู้กระจายสินค้าเบื้องต้นก่อนที่จะเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก ขั้นตอนที่สองจะทำการหาปริมาณของสินค้าที่มีการไหลภายในเครือข่ายโซ่อุปทาน ตลอดจนปริมาณของยอดขายที่หายไป เพื่อชดเชยผลกระทบที่ได้รับจากการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าไรสูงสุดภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก สำหรับปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักที่นำมาใช้ในการทดสอบสามารถเขียนแทนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้ โดยมีข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังตารางที่ ก.5 ก.6 ก.7 ก.8 และ ก.9 ในภาคผนวก ก.

เซต (Sets)

- S คือ เซตของผู้จัดส่งวัตถุดิบ
- M คือ เซตของผู้ผลิต
- W คือ เซตของผู้กระจายสินค้า
- R คือ เซตของผู้ค้าปลีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- L คือ เซตระดับกำลังการบรรจุสินค้าของผู้กระจายสินค้า
 C คือ เซตของประเทศ
 K คือ เซตของเหตุการณ์การหยุดชะงัก

ดัชนี (Indices)

- s คือ ดัชนีของผู้จัดส่งวัตถุดิบ $s \in S$
 m คือ ดัชนีของผู้ผลิต $m \in M$
 w คือ ดัชนีของผู้กระจายสินค้า $w \in W$
 r คือ ดัชนีของผู้ค้าปลีก $r \in R$
 l คือ ดัชนีระดับกำลังการบรรจุสินค้าของผู้กระจายสินค้า $l \in L$
 c คือ ดัชนีของประเทศ $c \in C$
 k คือ ดัชนีของเหตุการณ์การหยุดชะงัก $k \in K$

พารามิเตอร์ (Parameters)

- cap_s คือ กำลังการผลิตของผู้จัดส่งวัตถุดิบ s
 cap_m คือ กำลังการผลิตของผู้ผลิต m
 cap_w^l คือ ระดับกำลังการบรรจุสินค้า l ของผู้กระจายสินค้า w
 d_r คือ ความต้องการผลิตภัณฑ์ของผู้ค้าปลีก r
 msm คือ ปริมาณการขนส่งขั้นต่ำจากผู้จัดส่งวัตถุดิบไปยังผู้ผลิต
 f_w^l คือ ต้นทุนคงที่เมื่อผู้กระจายสินค้า w ดำเนินการที่ระดับกำลังการบรรจุสินค้า l
 pm_{sm} คือ ต้นทุนการสั่งซื้อวัตถุดิบต่อหน่วยจากผู้จัดส่งวัตถุดิบ s โดยผู้ผลิต m
 tr_{mw} คือ ต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยจากผู้ผลิต m ไปยังผู้กระจายสินค้า w
 tr_{wr} คือ ต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยจากผู้กระจายสินค้า w ไปยังผู้ค้าปลีก r
 pc_m คือ ต้นทุนการผลิตสินค้าของผู้ผลิต m
 np คือ ราคาสินค้า
 ls_r คือ ต้นทุนการสูญเสียโอกาสในการขายต่อหน่วยของผู้ค้าปลีก r
 p_c คือ ความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักที่ประเทศ c

พารามิเตอร์แบบสุ่ม (Random Parameters)

- $\alpha_{sck} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าผู้จัดส่งวัตถุดิบ } s \text{ ที่ประเทศ } c \text{ ดำเนินการในเหตุการณ์ } k \\ 0 & \text{ถ้าผู้จัดส่งวัตถุดิบ } s \text{ เกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักที่ประเทศ } c \text{ ในเหตุการณ์ } k \end{cases}$
 $\delta_{wck} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าผู้กระจายสินค้า } w \text{ ที่ประเทศ } c \text{ ดำเนินการในเหตุการณ์ } k \\ 0 & \text{ถ้าผู้กระจายสินค้า } w \text{ เกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักที่ประเทศ } c \text{ ในเหตุการณ์ } k \end{cases}$
 $\beta_{mck} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าผู้ผลิต } m \text{ ที่ประเทศ } c \text{ ดำเนินการในเหตุการณ์ } k \\ 0 & \text{ถ้าผู้ผลิต } m \text{ เกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักที่ประเทศ } c \text{ ในเหตุการณ์ } k \end{cases}$
 p_k คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก k

ตัวแปรตัดสินใจขั้นตอนแรก (First-stage Decision Variables)

$$x_w^l = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าผู้กระจายสินค้า } W \text{ มีการดำเนินการที่กำลังการบรรจุขนาด } l \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

$$y_s = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าผู้ขายวัตถุดิบ } S \text{ ถูกเลือก} \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

ตัวแปรตัดสินใจขั้นตอนที่สอง (Second-stage Decision Variables)

QSM_{smk} คือ ปริมาณของวัตถุดิบที่ผู้ผลิต m ซื้อจากผู้จัดส่งวัตถุดิบ s ในเหตุการณ์ k

QMW_{mwk} คือ ปริมาณของสินค้าที่ส่งจากผู้ผลิต m ไปยังผู้กระจายสินค้า w ในเหตุการณ์ k

QWR_{wrk} คือ ปริมาณของสินค้าที่ส่งจากผู้กระจายสินค้า w ไปยังผู้ค้าปลีก r ในเหตุการณ์ k

LD_{rk} คือ ปริมาณของสินค้าที่สูญเสียโอกาสในการขายของผู้ค้าปลีก r ในเหตุการณ์ k

3.3.1 ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function)

จุดประสงค์ของแบบจำลองนี้คือการหากำไรสูงสุดของเครือข่ายโซ่อุปทาน (Z) ซึ่งก็คือผลต่างระหว่างต้นทุนรวมกับรายได้ที่คาดว่าจะได้รับ โดยฟังก์ชันจุดประสงค์สำหรับปัญหาการออกแบบโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยต้นทุนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรกซึ่งก็คือต้นทุนคงที่เมื่อผู้กระจายสินค้าเปิดดำเนินการ และกำไรที่ได้จากการขายสินค้าในขั้นตอนที่สองซึ่งก็คือผลต่างระหว่างรายได้ที่คาดว่าจะได้รับกับต้นทุนในการจัดการซึ่งประกอบไปด้วยต้นทุนการซื้อวัตถุดิบจากผู้จัดส่งวัตถุดิบ ต้นทุนการผลิตของผู้ผลิต ต้นทุนการขนส่งสินค้าระหว่างผู้ผลิตกับผู้กระจายสินค้า ต้นทุนการขนส่งสินค้าระหว่างผู้กระจายสินค้ากับผู้ค้าปลีก และต้นทุนการสูญเสียโอกาสในการขายซึ่งสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันจุดประสงค์ได้ดังสมการที่ 3.1

$$\begin{aligned} \text{Maximize } Z = & - \sum_{w \in W} \sum_{l \in L} f_w^l x_w^l + \sum_{k \in K} p_k \left[np \left(\sum_{w \in W} \sum_{r \in R} QWR_{wrk} \right) \right. \\ & - \left(\sum_{s \in S} \sum_{m \in M} pm_{sm} QSM_{smk} \right) - \left(\sum_{m \in M} \sum_{w \in W} tr_{mw} QMW_{mwk} + \sum_{w \in W} \sum_{r \in R} tr_{wr} QWR_{wrk} \right) \\ & \left. - \sum_{m \in M} pc_m \left(\sum_{w \in W} QMW_{mwk} \right) - \sum_{r \in R} ls_r LD_{rk} \right] \end{aligned} \quad (3.1)$$

3.3.2 เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

3.3.2.1 กำลังการผลิตของผู้จัดส่งวัตถุดิบ

ผลรวมของปริมาณวัตถุดิบที่จัดส่งจากผู้จัดส่งวัตถุดิบ s ไปยังผู้ผลิต m ทุกรายจะต้องมีปริมาณน้อยกว่าหรือเท่ากับกำลังการผลิตของผู้จัดส่งวัตถุดิบ s ในแต่ละเหตุการณ์ ดังสมการที่ 3.2

$$\sum_{m \in M} QSM_{smk} \leq cap_s \alpha_{sck} y_s, \quad \forall s \in S, c \in C, k \in K \quad (3.2)$$

3.3.2.2 การไหลภายในจากผู้จัดจ่ายวัตถุดิบไปยังผู้ผลิต

ปริมาณของวัตถุดิบที่จัดส่งจากผู้จัดส่งวัตถุดิบ s ไปยังผู้ผลิต m จะต้องมีความมากกว่าหรือเท่ากับปริมาณการขนส่งขั้นต่ำจากผู้จัดส่งวัตถุดิบไปยังผู้ผลิตในแต่ละเหตุการณ์ ดังสมการที่ 3.3

$$msm \cdot \alpha_{sck} y_s \leq QSM_{smk}, \quad \forall s \in S, c \in C, k \in K \quad (3.3)$$

3.2.2.3 กำลังการผลิตของผู้ผลิต

ผลรวมของปริมาณสินค้าที่จัดส่งจากผู้ผลิต m ไปยังผู้กระจายสินค้า w ทุกรายจะต้องมีปริมาณน้อยกว่าหรือเท่ากับกำลังการผลิตของผู้ผลิต m ในแต่ละเหตุการณ์ ดังสมการที่ 3.4

$$\sum_{w \in W} QMW_{mwk} \leq cap_m \beta_{mck}, \quad \forall m \in M, c \in C, k \in K \quad (3.4)$$

3.3.2.4 การไหลของวัตถุดิบระหว่างผู้จัดส่งวัตถุดิบและผู้ผลิต

ผลรวมของปริมาณวัตถุดิบที่จัดส่งจากผู้จัดส่งวัตถุดิบ s ทุกรายไปยังผู้ผลิต m ต้องเท่ากับผลรวมปริมาณของสินค้าที่จัดส่งจากผู้ผลิต m ไปยังผู้กระจายสินค้า w ทุกรายในแต่ละเหตุการณ์ ดังสมการที่ 3.5

$$\sum_{s \in S} QSM_{smk} = \sum_{w \in W} QMW_{mwk}, \quad \forall m \in M, k \in K \quad (3.5)$$

3.3.2.5 กำลังการบรรจุสินค้าของผู้กระจายสินค้า

ผลรวมของปริมาณสินค้าที่จัดส่งจากผู้ผลิต m ทุกรายไปยังผู้กระจายสินค้า w ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับผลรวมของระดับกำลังการบรรจุสินค้า l ของผู้กระจายสินค้า w ในแต่ละเหตุการณ์ ดังสมการที่ 3.6 โดยที่ผู้กระจายสินค้า w สามารถดำเนินการได้ที่ระดับกำลังการบรรจุสินค้าเดียวเท่านั้น ดังสมการที่ 3.7

$$\sum_{m \in M} QMW_{mwk} \leq \sum_{l \in L} cap_w \delta_{wck} x_w^l, \quad \forall w \in W, c \in C, k \in K \quad (3.6)$$

$$\sum_{l \in L} x_w^l \leq 1, \quad \forall w \in W \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.6 การไหลของสินค้าระหว่างผู้กระจายสินค้าและผู้ค้าปลีก

ผลรวมของปริมาณสินค้าที่จัดส่งจากผู้ผลิต m ทุกรายไปยังผู้กระจายสินค้า w ต้องเท่ากับผลรวมปริมาณสินค้าที่จัดส่งจากผู้กระจายสินค้า w ไปยังผู้ค้าปลีก r ทุกรายในแต่ละเหตุการณ์ ดังสมการที่ 3.8

$$\sum_{m \in M} QMW_{mwk} = \sum_{r \in R} QWR_{wrk}, \quad \forall w \in W, k \in K \quad (3.8)$$

3.3.2.7 ความต้องการของผู้ค้าปลีก

ผลรวมของปริมาณสินค้าที่จัดส่งจากผู้กระจายสินค้า w ทุกรายไปยังผู้ค้าปลีก r รวมกับปริมาณของสินค้าที่สูญเสียโอกาสในการขายของผู้ค้าปลีก r จะต้องเท่ากับความต้องการของผู้ค้าปลีก r ในแต่ละเหตุการณ์ ดังสมการที่ 3.9

$$\sum_{w \in W} QWR_{wrk} + LD_{rk} = d_r, \quad \forall r \in R, k \in K \quad (3.9)$$

3.3.2.8 เงื่อนไขอื่นๆ

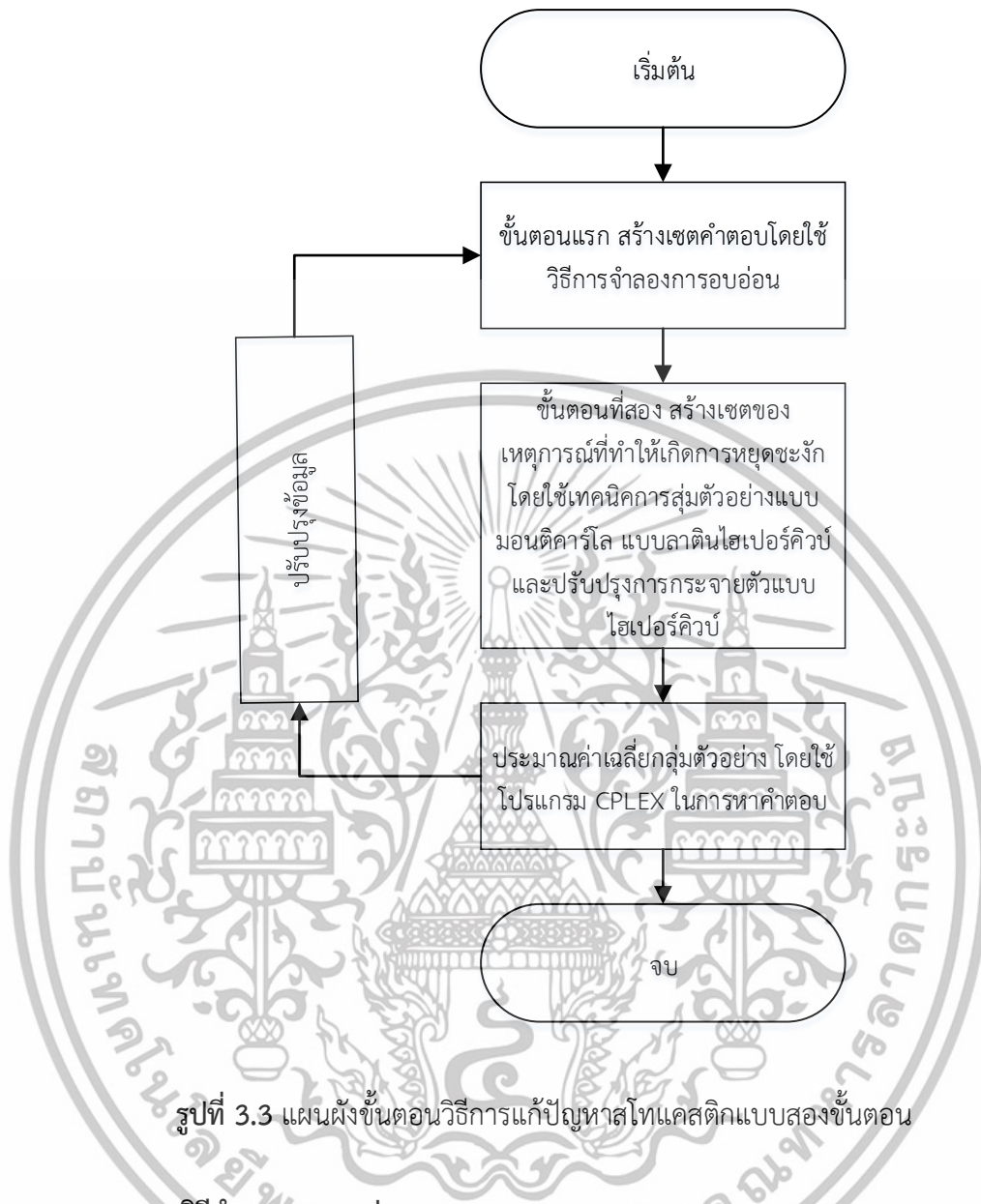
ปริมาณสินค้าที่จัดส่งจากผู้จัดส่ง s ไปยังผู้ผลิต m ปริมาณสินค้าที่จัดส่งจากผู้ผลิต m ไปยังผู้กระจายสินค้า w ปริมาณสินค้าที่จัดส่งจากผู้กระจายสินค้า w ไปยังผู้ค้าปลีก r และปริมาณของสินค้าที่สูญเสียโอกาสในการขายของผู้ค้าปลีก r ต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ในแต่ละเหตุการณ์ ดังสมการที่ 3.10

$$QSM_{smk}, QMW_{mwk}, QWC_{wrk}, LD_{rk} \geq 0 \quad (3.10)$$

3.4 วิธีการแก้ปัญหาสโทแคสติคแบบสองขั้นตอน

งานวิจัยนี้ได้นำวิธีการแก้ปัญหาสโทแคสติคแบบสองขั้นตอนมาใช้ในการแก้ปัญหาเครือข่ายโซ่อุปทานที่ใช้ทดสอบ โดยการแก้ปัญหาก็แบ่งขั้นตอนการหาคำตอบออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกได้นำวิธีการจำลองการอบอุ่นซึ่งเป็นวิธีวิธีริสติกส์มาใช้หาคำตอบซึ่งก็คือตัวแปรตัดสินใจในขั้นตอนแรก และขั้นตอนที่สองจะใช้วิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่างในการประมาณค่าของฟังก์ชันจุดประสงค์ จากการศึกษาพบว่าปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานที่ใช้ทดสอบเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ดังจะสังเกตได้จากจำนวนสถานที่ตั้งของผู้เกี่ยวข้องภายในโซ่อุปทาน และจำนวนเหตุการณ์การหยุดชะงักทั้งหมดที่เป็นไปได้ ดังนั้นในขั้นตอนวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่างจึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ในการจำลองเหตุการณ์การหยุดชะงัก หลังจากนั้นโปรแกรม CPLEX จะถูกนำมาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรตัดสินใจในขั้นตอนที่สองของแต่ละเหตุการณ์ ซึ่งมีแผนผังขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาสโทแคสติคแบบสองขั้นตอน ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนผังขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาสโตแคสติกแบบสองขั้นตอน

3.4.1 วิธีจำลองการรอบอ่อน

สำหรับในขั้นตอนแรกนั้นจะใช้วิธีจำลองการรอบอ่อนซึ่งเป็นวิธีอิวิริสติกส์ที่นิยมนำมาใช้หาคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยเลียนแบบกระบวนการรอบอ่อนในโลหะวิทยา ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการระบายความร้อนและการควบคุมอุณหภูมิของโลหะ เพื่อที่จะเพิ่มขนาดของผลึกและลดข้อบกพร่องของโครงสร้างโลหะนั้น โดยความร้อนจะทำให้อนุภาคออกมาจากตำแหน่งเดิมที่อยู่และเคลื่อนที่แบบสุ่ม การลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ จะทำให้อนุภาคมีโอกาสมากขึ้นในการหาตำแหน่งที่ทำให้ได้โครงสร้างของโลหะที่เหนียวและไม่เปราะ โดยมีพารามิเตอร์ และขั้นตอนวิธีจำลองการรอบอ่อนที่ใช้หาคำตอบในขั้นตอนแรกของวิธีการแก้ปัญหาสโตแคสติกแบบสองขั้นตอน ดังนี้

พารามิเตอร์

r	คือ ดัชนีของรอบการทำซ้ำ
c_r	คือ พารามิเตอร์ควบคุมที่รอบการทำซ้ำ r
c_0	คือ ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ควบคุม
c_{min}	คือ ค่าต่ำสุดของพารามิเตอร์ควบคุม
a, b	คือ เวกเตอร์คำตอบสำหรับขั้นตอนแรก
T	คือ จำนวนของคำตอบที่ทำการหาในแต่ละการทำซ้ำ
N	คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนของตัวอย่างเหตุการณ์การหยุดชะงัก)
\hat{Z}_N	คือ ค่าของคำตอบที่ได้จากสมการวัตถุประสงค์ โดยใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่าง N
P	คือ เวกเตอร์ความน่าจะเป็นของตัวแปรตัดสินใจขั้นตอนแรก (x และ y)
U	คือ เลขสุ่มแบบเอกรูป (มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1)
ρ	คือ สัมประสิทธิ์ของการปรับปรุงพารามิเตอร์ควบคุม
λ	คือ สัมประสิทธิ์ของการปรับปรุงความน่าจะเป็น

ขั้นตอนวิธีการจำลองการรอบอ่อน

- ขั้นตอนที่ 1** กำหนดค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นสำหรับวิธีการจำลองการรอบอ่อน ($\rho, \lambda, c_0, c_{min}, T, N, P$)
- ขั้นตอนที่ 2** สร้างคำตอบเบื้องต้น (a)
- ขั้นตอนที่ 3** กำหนดค่าเริ่มต้นดัชนีของรอบการทำซ้ำ ($r := 1$) และพารามิเตอร์ควบคุม ($c_r := c_0$)
- ขั้นตอนที่ 4** เมื่อค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่รอบการทำซ้ำ r ยังไม่เกินค่าต่ำสุดที่กำหนด ($c_r < c_{min}$)
- สำหรับจำนวนของคำตอบ T ที่ทำการหาในแต่ละการทำซ้ำ ทำขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้
 1. สร้างเวกเตอร์คำตอบเบื้องต้น (b)
 2. เงื่อนไขแรก ถ้า $\hat{Z}_N(b) \geq \hat{Z}_N(a)$ แล้ว $a := b$
 3. เงื่อนไขรองลงมา ถ้า $\exp\left(\frac{\hat{Z}_N(b) - \hat{Z}_N(a)}{c_r}\right) > U$ แล้ว $a := b$
 - ปรับค่าความน่าจะเป็นในเวกเตอร์ P
 - ให้ $c_r := \rho \cdot c_r$
 - ให้ $r := r + 1$
- ขั้นตอนที่ 5** ส่งค่าคำตอบที่ดีที่สุด

โดยคำตอบที่ได้จากขั้นตอนแรกก็คือการเลือกที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ และผู้กระจายสินค้าที่ทำให้เครือข่ายโซ่อุปทานที่ทำการออกแบบนั้นเกิดกำไรสูงสุดภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักที่ได้จำลองขึ้นมา

3.4.1.1 การสร้างเซตคำตอบ

ขั้นตอนวิธีการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในเวกเตอร์ P จะถูกนำมาใช้ในการสร้างและปรับปรุงเซตคำตอบ โดยเวกเตอร์ P จะทำการเก็บข้อมูลลักษณะเด่นของคำตอบที่เป็นไปได้ผ่านค่าความน่าจะเป็น สำหรับการสร้างเซตคำตอบตัวแปรตัดสินใจ x และ y ในขั้นตอนแรกนั้นจะถูกสร้างขึ้นแบบสุ่มโดยใช้ความน่าจะเป็นเริ่มต้นที่กำหนดไว้ในเวกเตอร์ P แบ่งเป็น 2 กรณี คือ การเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบ และการเลือกผู้กระจายสินค้า

สำหรับการเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบ โอกาสที่ผู้จัดส่งวัตถุดิบถูกเลือกจะขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในเวกเตอร์ P โดยกำหนดค่าเริ่มต้นให้ผู้จัดส่งวัตถุดิบแต่ละรายมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.9 ซึ่งเมื่อเลขสุ่มมีค่าน้อยกว่า 0.9 ผู้จัดส่งสินค้าจะถูกเลือก แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 0.9 จะไม่ถูกเลือก ดังเงื่อนไขในสมการที่ 3.11

$$y_s = \begin{cases} 1, & r \leq 0.9 \\ 0, & r > 0.9 \end{cases} \quad (3.11)$$

สำหรับการเลือกผู้กระจายสินค้า โอกาสที่ผู้กระจายสินค้าถูกเลือกจะขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในเวกเตอร์ P โดยกำหนดค่าเริ่มต้นให้ผู้กระจายสินค้าแต่ละรายมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.5 ซึ่งเมื่อเลขสุ่มมีค่าน้อยกว่า 0.5 ผู้กระจายสินค้าจะถูกเลือก แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 0.5 จะไม่ถูกเลือก ดังเงื่อนไขในสมการที่ 3.12

$$x'_w = \begin{cases} 1, & r \leq 0.5 \\ 0, & r > 0.5 \end{cases} \quad (3.12)$$

เนื่องจากผู้กระจายสินค้าแต่ละรายมีระดับกำลังการบรรจุสินค้า L ระดับ ดังนั้นในการเลือกผู้กระจายสินค้าจะใช้ค่าความน่าจะเป็นของระดับกำลังการบรรจุสินค้าที่มากที่สุดของผู้กระจายสินค้า ดังสมการที่ 3.13

$$p_w = \max(p_w^1, p_w^2, \dots, p_w^L) \quad (3.13)$$

โดยที่ $w \in W$ และ $p_w^1, p_w^2, \dots, p_w^L$ คือ ค่าความน่าจะเป็นที่อยู่ในเวกเตอร์ P

จากนั้นจะทำการสุ่มเลือกระดับกำลังการบรรจุสินค้าของผู้กระจายสินค้าแต่ละราย เนื่องจากผู้กระจายสินค้าแต่ละรายสามารถมีระดับกำลังการบรรจุสินค้าได้แค่ระดับเดียว โดยกำหนดให้ทุกระดับกำลังการบรรจุสินค้ามีความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกเท่ากัน โดยจะสร้างเลขสุ่มขึ้นมาถ้าอยู่ในช่วง 0.00–0.33 จะทำการเลือกระดับกำลังการบรรจุสินค้าที่ 1 0.34–0.66 จะทำการเลือกระดับกำลังการบรรจุสินค้าที่ 2 และ 0.67–1 จะทำการเลือกระดับกำลังการบรรจุสินค้าที่ 3

3.4.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างในการจำลองเหตุการณ์ และวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง

ในขั้นตอนที่สองจะเป็นการสร้างเซตของเหตุการณ์การหยุดชะงัก จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าจำนวนเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีจำนวนมากถึง 268,435,456 เหตุการณ์ ซึ่งในกรณีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่มีการสร้างเซตจำนวนของตัวอย่างเหตุการณ์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหา ดังนั้นการปรับปรุงเทคนิคการสุ่มตัวอย่างจึงเป็นหนึ่งในวิธีที่นิยมนำมาใช้เพื่อลดจำนวนของตัวอย่างเหตุการณ์เข้ามาช่วยในการจำลองเหตุการณ์ โดยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ เพื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล สำหรับการประมาณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในสมการที่ 3.1 จะใช้เซตคำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีจำลองการอบอุ่นมาเป็นตัวแปรตัดสินใจขั้นตอนแรกของการจำลอง จากนั้นจะใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างที่กล่าวไว้ข้างต้นในการสร้างเซตของตัวอย่างเหตุการณ์การหยุดชะงักขึ้นมาจำนวน N ตัวอย่างจากเซตของเหตุการณ์ K ที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยถ้าเลขสุ่มมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็น p_c จะไม่เกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความน่าจะเป็น p_c จะเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก ซึ่งค่าความน่าจะเป็น p_c สามารถหาได้จากการนำข้อมูลการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติมาคำนวณโดยใช้สมการที่ 2.1 ในขณะที่ความน่าจะเป็น p_c ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะถูกเปลี่ยนเป็น $1/N$ เพื่อทำการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่างซึ่งก็คือการหาตัวแปรตัดสินใจในขั้นตอนที่สองของแต่ละเหตุการณ์โดยจะใช้โปรแกรม CPLEX มาช่วยในการหาคำตอบ เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของกำไรที่มากที่สุดที่คาดว่าจะได้รับ โดยคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่สองก็คือปริมาณการขนส่งวัตถุดิบจากผู้จัดส่งวัตถุดิบไปยังผู้ผลิต ปริมาณการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้กระจายสินค้า ปริมาณการขนส่งสินค้าจากผู้กระจายสินค้าไปยังผู้ค้าปลีก และปริมาณสินค้าที่สูญเสียโอกาสในการขายของผู้ค้าปลีกซึ่งในแต่ละเหตุการณ์จะมีคำตอบที่ต่างกัน เนื่องจากจะใช้โปรแกรม CPLEX ในการหาคำตอบหรือตัวแปรตัดสินใจในขั้นตอนที่สองที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละเหตุการณ์ ในขณะที่คำตอบหรือตัวแปรตัดสินใจในขั้นตอนแรกซึ่งก็คือการเลือกที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบและผู้กระจายสินค้านั้นยังคงเดิม

3.4.3 การปรับปรุงข้อมูล

การปรับปรุงความน่าจะเป็นในเวกเตอร์ P จะช่วยเพิ่มโอกาสของการหาคำตอบในแต่ละรอบให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น โดยเมื่อเวกเตอร์ a^* ซึ่งเป็นเซตคำตอบของรอบปัจจุบันให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีกว่ารอบที่ผ่านมาจะทำการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในเวกเตอร์ P ของผู้จัดส่งวัตถุดิบ และผู้กระจายสินค้าแต่ละรายทั้งที่ถูกเลือกและไม่ถูกเลือกในรอบนั้น ซึ่งมีเงื่อนไขในการเพิ่มหรือลดความน่าจะเป็นในเวกเตอร์ P ดังสมการที่ 3.14

$$P_j = \begin{cases} P_j^{\lambda}, & a_j^* = 1 \\ \lambda P_j, & a_j^* = 0 \end{cases} \quad (3.14)$$

โดยที่ j คือตำแหน่งของตัวแปรตัดสินใจ x และ y ในเวกเตอร์ P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลลัพธ์

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio C# 2012 สำหรับการเขียนโปรแกรม เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา โดยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการหาคำตอบมีคุณสมบัติดังนี้ หน่วยประมวลผล Intel Core I7-6700HQ CPU@2.60GHz หน่วยความจำ 16GB DDR4 2133MHz

สำหรับการเปรียบเทียบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างนั้นจะทำการสร้างเลขสุ่มแบบเอกรูปซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ 50 ตัวอย่าง และจำนวนตัวแปรอิสระ 5 ตัวแปร จากนั้นจะนำเลขสุ่มที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างทั้ง 3 วิธีมาสร้างแผนภาพการกระจายตัว และหาระยะทางระหว่างจุดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์

สำหรับการเปรียบเทียบผลลัพธ์นั้นจะแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้ คือการเปรียบเทียบความถูกต้องและประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการแก้ปัญหาสโตนแคสติกแบบสองขั้นตอนที่นำเสนอกับการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรม CPLEX โดยได้ใช้ปัญหาแบบจำลองเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิมจากงานวิจัยของ Rienkhemaniyom K. and Pazhani S. [9] ในการทดสอบ และการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่างของเซตคำตอบจากการแก้ปัญหาแบบจำลองเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิม และเซตคำตอบจากการแก้ปัญหาแบบจำลองเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักที่ได้จากการใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล และการประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 50 และ 100 ตัวอย่างตามลำดับ โดยในแต่ละการทดลองจะมีการทำซ้ำ 10 ครั้ง และทำการกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้นสำหรับขั้นตอนวิธีการอบอุ่นไว้ดังนี้ c_0 เท่ากับ 50 c_{min} เท่ากับ 0.0001 T เท่ากับ 3 ρ เท่ากับ 0.85 และ λ เท่ากับ 0.97 สำหรับการเปรียบเทียบผลลัพธ์นั้นจะใช้วิธี Dunnett Multiple Comparisons และวิธี Fisher Pairwise Comparisons ในการวิเคราะห์ผล

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงผลการเก็บข้อมูลการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ ผลการเปรียบเทียบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ และผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ในวิธีการแก้ปัญหาสโตนแคสติงแบบสองขั้นตอนสำหรับปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติของทวีปแอฟริกา (Africa) ทวีปเอเชีย (Asia) ทวีปยุโรป (Europe) ทวีปอเมริกาเหนือ (North America) ทวีปอเมริกาใต้ (South America) และทวีปออสเตรเลีย (Australia) ย้อนหลังเดือนมกราคม ค.ศ. 1900 ถึงกันยายน ค.ศ. 2018 จากฐานข้อมูล EM-DAT: The Emergency Events Database - Université Catholique de Louvain (UCL) เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักจากภัยพิบัติทางธรรมชาติโดยใช้สมการที่ 2.1 โดยจากการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของแต่ละทวีปจะพบว่ามีจำนวนครั้งและค่าความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติแสดงดังตารางที่ 4.1 และใช้โปรแกรม ArcMap สร้างแผนที่แสดงค่าความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติของแต่ละทวีปโดยแบ่งตามระดับสีดังรูปที่ 4.1 สำหรับข้อมูลจากการเก็บรวบรวมการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติสามารถดูได้จากภาคผนวก ข.

ตารางที่ 4.1 จำนวนครั้งและค่าความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติปี 1900-2018 ของแต่ละทวีป

ทวีป	จำนวนครั้งในการเกิดภัยพิบัติ	ความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติ
แอฟริกา	2,658	0.19
เอเชีย	5,844	0.41
ยุโรป	1,668	0.12
อเมริกาเหนือ	2,349	0.16
อเมริกาใต้	1,157	0.08
ออสเตรเลีย	589	0.04
รวม	14,265	1.00

จากตารางที่ 4.1 พบว่าปี 1900-2018 ทั่วโลกมีการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติจำนวนทั้งหมด 14,265 ครั้ง โดยพบว่าทวีปเอเชียมีจำนวนครั้งในการเกิดภัยพิบัติมากที่สุดเท่ากับ 5,844 ครั้ง รองลงมาคือทวีปแอฟริกา ทวีปอเมริกาเหนือ ทวีปยุโรป และทวีปอเมริกาใต้ซึ่งมีจำนวนครั้งในการเกิดภัยพิบัติเท่ากับ 2,658 2,349 1,668 และ 1,157 ตามลำดับ ส่วนทวีปที่มีจำนวนครั้งในการเกิดภัยพิบัติน้อยสุดก็คือทวีปออสเตรเลียซึ่งมีจำนวนครั้งในการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติเท่ากับ 589 ครั้ง



รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติของแต่ละทวีปโดยแบ่งระดับสีตามช่วงความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติ

จากรูปที่ 4.1 พบว่าทวีปเอเชียมีพื้นที่เป็นสีแดงเนื่องจากมีค่าความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติมากที่สุดซึ่งมีค่าความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0.191151-0.407247 รองลงมาคือทวีปแอฟริกาซึ่งมีพื้นที่เป็นสีส้มมีค่าความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0.163694-0.191150 ทวีปอเมริกาเหนือซึ่งมีพื้นที่เป็นสีเหลืองมีค่าความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0.116238-0.163693 ทวีปยุโรปซึ่งมีพื้นที่เป็นสีเขียวเหลืองมีค่าความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0.080628-0.116237 และทวีปอเมริกาใต้ซึ่งมีพื้นที่เป็นสีเขียวอ่อนมีค่าความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0.041046-0.080627 ส่วนทวีปที่มีความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติน้อยที่สุดคือทวีปออสเตรเลียซึ่งมีพื้นที่เป็นสีเขียวเข้มมีความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0-0.041045 ซึ่งจะเห็นว่าข้อมูลระดับทวีปไม่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานเนื่องจากบางประเทศในทวีปนั้นอาจจะมีจำนวนครั้งในการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติจำนวนน้อย ถ้านำค่าความน่าจะเป็นในระดับทวีปไปใช้จะทำให้ไม่สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง

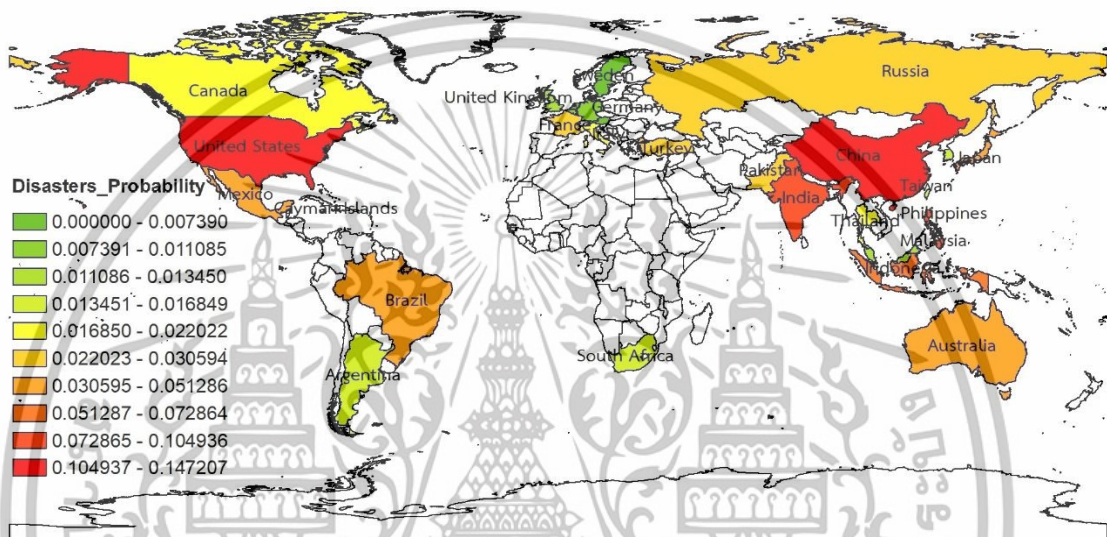
โดยข้อมูลจำนวนครั้งและความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติสามารถแยกตามประเทศที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต และผู้กระจายสินค้าแต่ละรายได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 จำนวนครั้งการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติปี 1900-2018 แยกตามประเทศ

ประเทศ	ผู้จัดตั้งวัตถุพิบัติ	ผู้กระจายสินค้า	ผู้ผลิต	จำนวนครั้งใน เกิดภัยพิบัติ	ความน่าจะเป็น
เกาหลีใต้	S11	-	-	114	0.016848951
เนเธอร์แลนด์	S14	W13	-	36	0.005320721
เบลเยียม	-	W4	-	65	0.009606858
เม็กซิโก	S13	W12	-	260	0.038427431
เยอรมนี	S7	-	-	75	0.011084836
แคนาดา	S4	W6	-	134	0.019804907
แอฟริกาใต้	S16	W17	M3	103	0.015223175
ไต้หวัน	-	W19	-	109	0.016109962
ไทย	S17	W20, W25	-	144	0.021282885
จีน	S5	W7	M1	899	0.132870234
ญี่ปุ่น	S10	-	-	347	0.051285841
ตุรกี	S18	W21	-	162	0.023943246
บราซิล	S3	W5	-	228	0.033697901
ปากีสถาน	-	W14	-	207	0.030594147
ฝรั่งเศส	S6	W8	-	159	0.023499852
ฟิลิปปินส์	-	W15	-	621	0.091782442
มาเลเซีย	-	W11	-	82	0.012119421
รัสเซีย	S15	W16	-	163	0.024091043
สวีเดน	-	W18	-	13	0.001921372
สหรัฐอเมริกา	S20	W23, W24	M4, M5	996	0.147206621
สหราชอาณาจักร	S19	W22	-	91	0.013449601
หมู่เกาะเคย์แมน	S12	-	-	7	0.001034585
ออสเตรเลีย	S2	W2	-	235	0.034732486
ออสเตรเลีย	-	W3	-	50	0.007389891
อาร์เจนตินา	S1	W1	-	114	0.016848951
อิตาลี	S9	-	-	149	0.022021874
อินเดีย	S8	W9	M2	710	0.104936447
อินโดนีเซีย	-	W10	-	493	0.072864322
รวม				6766	1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการเก็บข้อมูลการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติเฉพาะประเทศที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต และผู้กระจายสินค้าภายในเครือข่ายโซ่อุปทานที่ใช้ทดสอบซึ่งตั้งอยู่ใน 28 ประเทศ โดยพบว่าประเทศสหรัฐอเมริกา มีจำนวนครั้งในการเกิดภัยพิบัติมากที่สุดเท่ากับ 996 ครั้ง ซึ่งเป็นประเทศที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบที่ 20 ผู้กระจายสินค้าที่ 23 และ 24 และผู้ผลิตที่ 4 และ 5 โดยมีความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.14720621 ในส่วนของประเทศที่มีจำนวนครั้งในการเกิดภัยพิบัติน้อยที่สุดคือประเทศหมู่เกาะเคย์แมนซึ่งเป็นที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบที่ 12 โดยมีความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.001034585



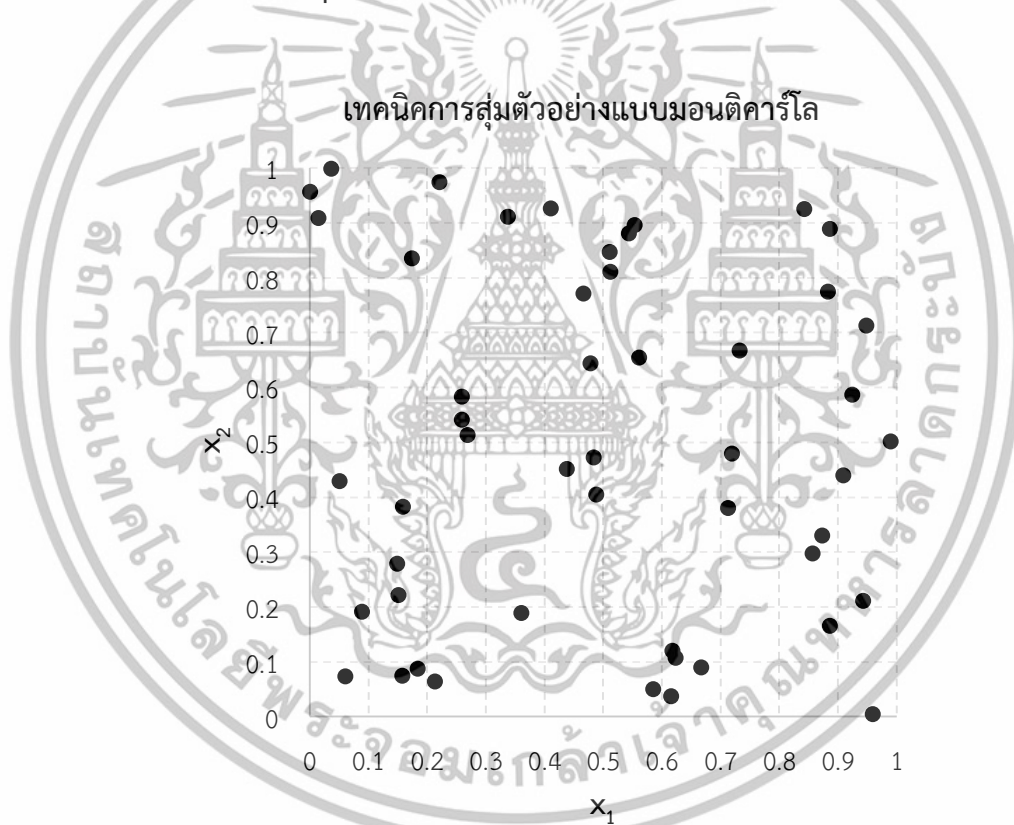
รูปที่ 4.2 แผนที่แสดงความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติของแต่ละประเทศโดยแบ่งระดับสีตามช่วงความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติ

จากรูปที่ 4.2 พบว่าประเทศที่มีความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติมากที่สุดคือประเทศสหรัฐอเมริกา จีน และอินเดียซึ่งมีพื้นที่เป็นสีแดง มีค่าความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0.104937-0.147207 ในส่วนของประเทศไทยและแคนาดานั้นมีพื้นที่เป็นสีเหลืองซึ่งมีค่าความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติอยู่ในระดับปานกลาง โดยมีค่าความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0.016850-0.022022 และประเทศที่มีค่าความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติน้อยที่สุดคือประเทศสวีเดน และหมู่เกาะเคย์แมนซึ่งมีพื้นที่เป็นสีเขียวเข้ม มีความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0-0.007390 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแผนที่แสดงความน่าจะเป็นในการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติของแต่ละทวีปในรูปที่ 4.1 จะพบว่าประเทศที่อยู่ในทวีปเอเชียมีช่วงความน่าจะเป็นครอบคลุมตั้งแต่สีเขียวจนถึงสีแดง ดังนั้นการใช้ข้อมูลในระดับประเทศจึงมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานและเสมือนกับเหตุการณ์จริงมากกว่าการใช้ข้อมูลในระดับทวีป

4.2 ผลการเปรียบเทียบเทคนิคการสุ่มตัวอย่าง

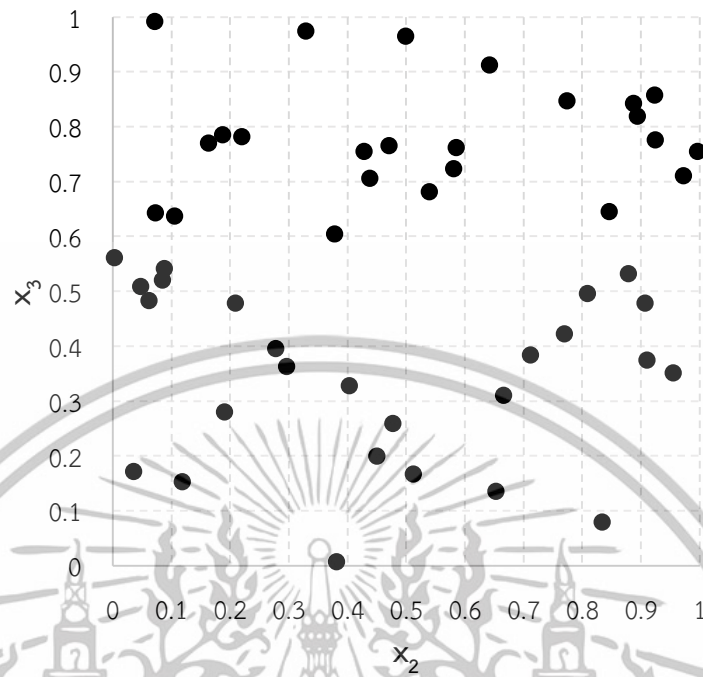
สำหรับการเปรียบเทียบเทคนิคการสุ่มตัวอย่าง จะทำการสร้างเลขสุ่มขึ้นมาโดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ โดยใช้จำนวนตัวอย่าง (N) เท่ากับ 50 ตัวอย่าง และจำนวนตัวแปรอิสระ (S) เท่ากับ 5 ตัวแปร จากนั้นทำการเปรียบเทียบเทคนิคการสุ่มตัวอย่างจากแผนภาพกระจายตัว ระยะห่างระหว่างจุด $d(i, j)$ และผลต่างระหว่างระยะห่างระหว่างจุดกับระยะห่างที่เหมาะสมที่สุด $d_e(i, j)$ โดยจะใช้สมการที่ 2.9 ในการหาระยะห่างระหว่างจุด และใช้สมการที่ 2.10 ในการหาระยะห่างที่เหมาะสมที่สุด โดยระยะห่างที่เหมาะสมที่สุดหรือ d_{opt} สำหรับเงื่อนไขการสร้างกลุ่มตัวอย่างนี้สามารถคำนวณได้ดังนี้ $d_{opt} = \frac{50}{\sqrt[5]{50}}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 22.86525

4.2.1 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

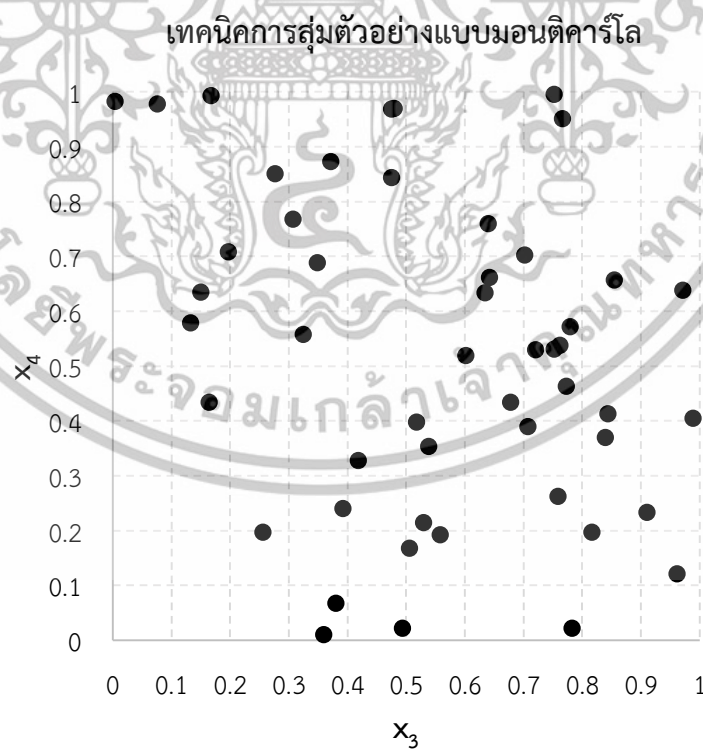


รูปที่ 4.3 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_1 และ x_2 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล



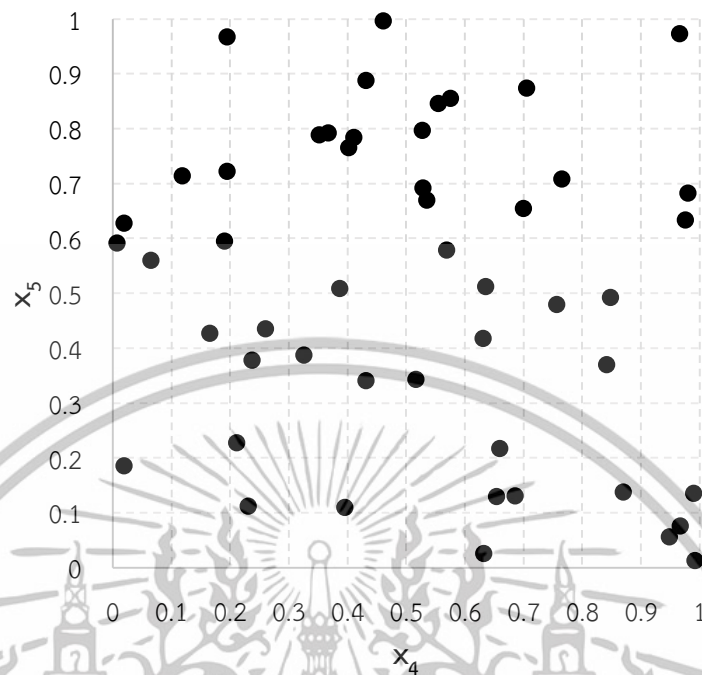
รูปที่ 4.4 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_2 และ x_3 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล



รูปที่ 4.5 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_3 และ x_4 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล



รูปที่ 4.6 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_4 และ x_5 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

จากรูปที่ 4.3 4.4 4.5 และ 4.6 แสดงแผนภาพการกระจายของตัวแปร x_1 , x_2 , x_3 , x_4 และ x_5 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล เมื่อทำการแบ่งพื้นที่ตัวอย่างออกเป็นมิติ 10×10 พบว่าในแต่ละแถวและแต่ละหลักจะมีจำนวนจุดตัวอย่างที่ไม่เท่ากัน ไม่มีรูปแบบของจุดตัวอย่างที่แน่นอน โดยจากแผนภาพจะเห็นว่าจุดตัวอย่างที่ถูกสร้างขึ้นมาจากตัวแปร x_1 , x_2 , x_3 , x_4 และ x_5 มีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอครอบคลุมพื้นที่การสุ่มตัวอย่าง ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาระยะห่างระหว่างจุดจะพบว่าเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลนั้นจะไม่มีเมทริกซ์ $P(N,S)$ ดังนั้นก่อนที่จะทำการคำนวณหาระยะห่างระหว่างจุดได้นั้น จำเป็นต้องใช้สมการที่ 2.8 ในการคำนวณย้อนกลับเพื่อหาเมทริกซ์ $P(N,S)$ ซึ่งแสดงค่าเมทริกซ์ $P(50,5)$ และระยะห่างระหว่างจุดที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเมทริกซ์ $P(50,5)$ และระยะห่างระหว่างจุดที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

N/S	1	2	3	4	5	$d(i, j)$	$d_e(i, j)$
1	45	8	39	48	3	47.96411	25.09886
2	21	47	40	24	51	22.27433	0.590926
3	48	36	19	3	28	27.88784	5.022583
4	3	22	38	51	1	31.38679	8.521536
5	26	41	25	1	32	12.51848	10.34678
6	22	23	10	36	44	18.60298	4.262277
7	11	50	36	20	26	0.86207	22.00319
8	5	10	14	43	25	5.82435	17.0409
9	8	14	20	12	19	13.64937	9.215878
10	9	4	26	20	6	11.75232	11.11293
11	13	28	35	22	17	10.70492	12.16033
12	0	49	18	35	7	2.80893	20.05632
13	11	3	25	49	4	3.05266	19.81259
14	31	2	9	51	7	29.19677	6.331514
15	37	34	16	39	36	1.92560	20.93966
16	25	24	39	27	34	11.09797	11.76729
17	14	26	8	22	45	23.48793	0.622673
18	30	3	26	8	22	4.35693	18.50832
19	45	17	50	33	26	1.71309	21.15217
20	8	4	33	39	24	11.98047	10.88478
21	51	26	49	6	36	6.89286	15.97239
22	8	11	40	29	29	28.19647	5.331213
23	32	6	8	32	1	10.28640	12.57885
24	28	45	27	11	12	5.02812	17.83713
25	43	47	44	33	7	28.23580	5.370545
26	8	20	0	50	35	27.80462	4.939369
27	17	46	19	44	7	25.31521	2.449959
28	9	43	4	50	32	4.48100	18.38425
29	28	46	42	10	37	19.32959	3.535661
30	36	19	31	26	17	3.82533	19.03993
31	32	5	32	32	21	19.11721	3.748044

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

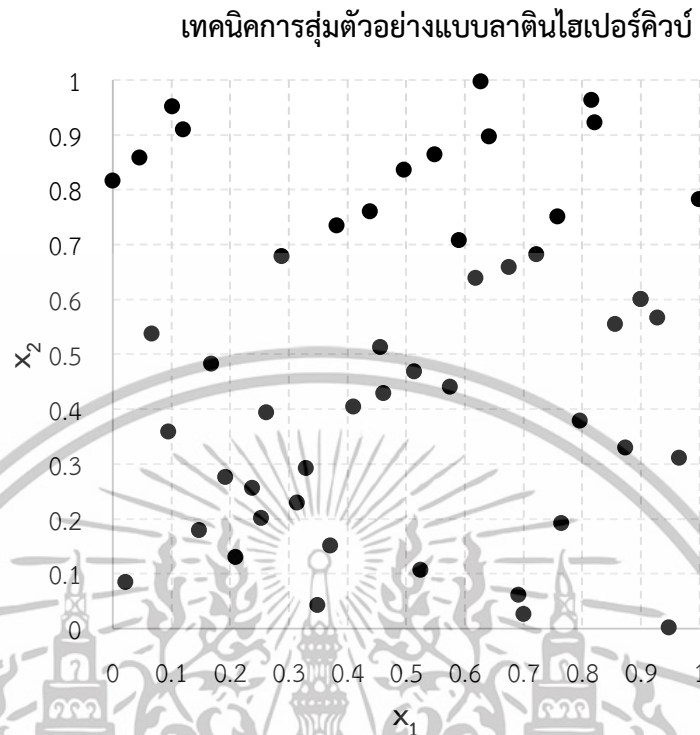
ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงค่าเมทริกซ์ $P(50,5)$ และระยะห่างระหว่างจุดที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

N/S	1	2	3	4	5	$d(i, j)$	$d_e(i, j)$
32	45	45	43	19	40	29.38629	6.521033
33	26	43	33	34	11	28.96811	6.102853
34	45	40	43	21	40	3.61922	19.24604
35	29	33	7	29	44	10.25048	12.61477
36	46	22	36	36	33	23.90023	1.034981
37	18	10	40	1	9	25.84198	2.976725
38	2	51	38	27	35	4.98789	17.87736
39	49	0	29	10	30	24.62637	1.761115
40	24	33	46	12	6	33.35774	10.49249
41	3	4	50	21	39	1.57977	21.28548
42	13	30	37	27	41	10.46064	12.40462
43	44	15	18	0	30	7.97994	14.88531
44	47	30	39	13	22	27.43514	4.569887
45	48	11	24	49	50	30.77054	7.905291
46	1	46	24	43	19	24.30234	1.437086
47	25	21	17	28	43	2.92258	19.94267
48	34	5	28	18	40	20.49005	2.375202
49	24	39	21	17	20	29.58003	6.714779
50	37	24	13	10	49	-	-
ค่าเฉลี่ย						16.57183	10.91401
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน						11.47894	7.113449

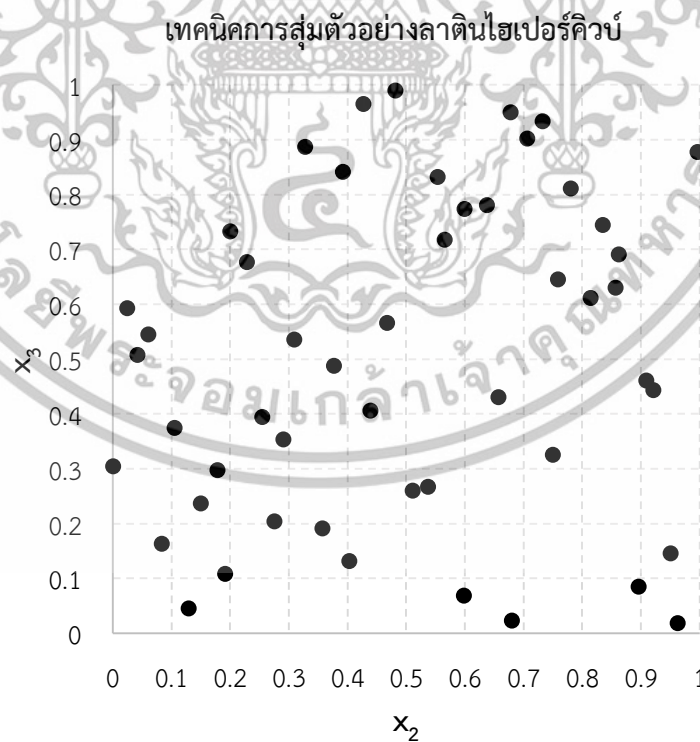
จากตารางที่ 4.3 พบว่ามีค่าระยะห่างระหว่างจุด $d(i, j)$ ที่น้อยสุดเท่ากับ 0.86207 และสูงสุดเท่ากับ 47.96411 โดยมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างระหว่างจุดเท่ากับ 16.57183 และ 11.47894 ตามลำดับซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระยะห่างระหว่างจุดกับค่า d_{opt} พบว่าเลขสุ่มที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลส่วนใหญ่มีระยะห่างระหว่างจุดที่น้อยกว่าค่า d_{opt} มากจึงทำให้จุดตัวอย่างอยู่ติดกันไม่กระจายตัวครอบคลุมพื้นที่การสุ่มตัวอย่าง และเมทริกซ์ $P(50,5)$ ของแต่ละตัวแปรนั้นมีเลขจำนวนเต็มที่มีค่าซ้ำกันดังจะเห็นได้จากตัวแปร x_i ที่เหตุการณ์ 9 20 22 และ 26 มีค่าเท่ากับ 8 ทำให้ไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ได้ เนื่องจากเมทริกซ์ $P(50,5)$ นั้นไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดคือไม่มีการเรียงสับเปลี่ยนของเลขจำนวนเต็ม 1 ถึง N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์



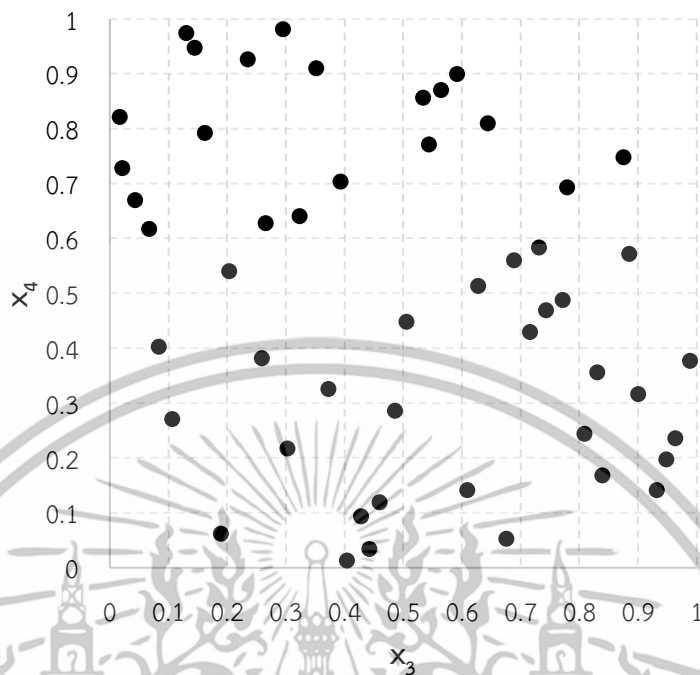
รูปที่ 4.7 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_1 และ x_2 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์



รูปที่ 4.8 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_2 และ x_3 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์

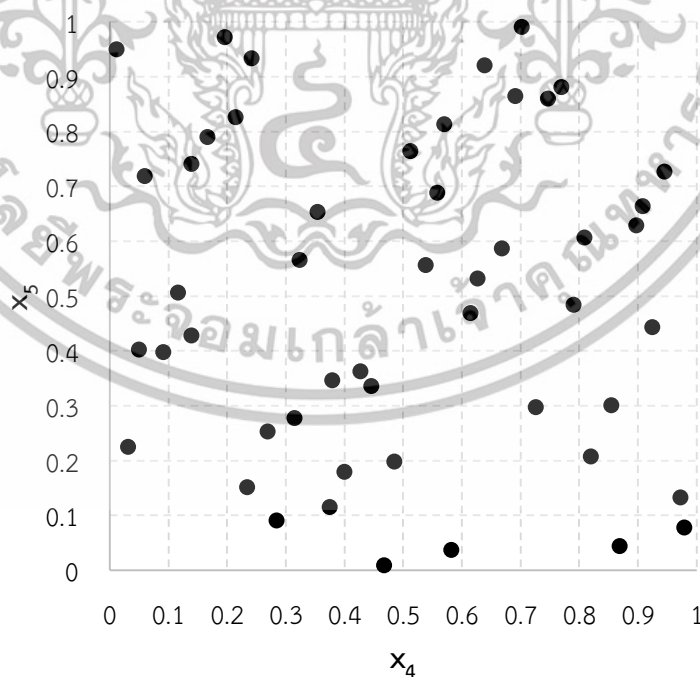
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการสุ่มตัวอย่างลาตินไฮเปอร์คิวบ์



รูปที่ 4.9 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_3 และ x_4 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์

เทคนิคการสุ่มตัวอย่างลาตินไฮเปอร์คิวบ์



รูปที่ 4.10 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_4 และ x_5 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 4.8 4.9 และ 4.10 แสดงแผนภาพการกระจายของตัวแปร x_1 , x_2 , x_3 , x_4 และ x_5 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ เมื่อทำการแบ่งพื้นที่ตัวอย่างออกเป็นมิติ 10×10 ในแต่ละแถวและแต่ละหลักจะมีจำนวนจุดตัวอย่างทั้งหมด 5 จุดเท่ากัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุดตัวอย่างที่ถูกสร้างขึ้นมาจากตัวแปร x_1 , x_2 , x_3 , x_4 และ x_5 มีรูปแบบของจุดตัวอย่างที่แน่นอน แต่การกระจายตัวของจุดยังพบว่ามีความที่ติดกันอยู่ไม่กระจายเต็มพื้นที่ตัวอย่าง เนื่องจากในขั้นตอนการออกแบบนั้นไม่ได้มีเงื่อนไขในการหาระยะห่างระหว่างจุดตัวอย่าง

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเมทริกซ์ $P(50,5)$ และระยะห่างระหว่างจุดที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์

N/S	1	2	3	4	5	$d(i, j)$	$d_e(i, j)$
1	33	45	5	21	9	61.91930	39.05405
2	35	4	28	39	45	14.62874	8.236514
3	36	2	30	45	32	42.53234	19.66709
4	38	38	17	33	46	24.61707	1.751815
5	28	44	35	28	35	49.10193	26.23668
6	19	8	12	47	23	56.09813	33.23288
7	29	23	21	1	48	40.23680	17.37155
8	12	13	20	36	50	47.78075	24.9155
9	43	28	42	18	33	29.05168	6.186425
10	34	33	22	5	20	43.61192	20.74667
11	44	17	45	29	41	34.78505	11.9198
12	45	31	39	25	10	61.04916	38.18391
13	5	18	10	4	36	57.05261	34.18735
14	8	9	15	50	4	45.82576	22.9605
15	27	6	19	17	29	28.33725	5.472002
16	11	7	3	34	30	45.31004	22.44479
17	16	12	34	3	21	38.91015	16.0449
18	15	34	48	10	49	17.43560	5.429657
19	14	20	43	9	40	47.56049	24.69524
20	40	19	25	15	5	48.38388	25.51863
21	7	46	24	6	26	38.53570	15.67045
22	25	42	38	24	1	45.92385	23.0586
23	32	50	44	38	43	54.03702	31.17177
24	9	25	50	19	6	59.94164	37.07639

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงค่าเมทริกซ์ $P(50,5)$ และระยะห่างระหว่างจุดที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์

N/S	1	2	3	4	5	$d(i, j)$	$d_e(i, j)$
25	37	35	2	37	15	26.38181	3.516559
26	23	26	13	20	18	35.45420	12.58894
27	13	11	37	30	2	61.22908	38.36383
28	41	49	1	42	11	67.08204	44.21679
29	48	1	16	11	42	33.34666	10.48141
30	39	10	6	14	13	45.80393	22.93868
31	4	27	14	32	27	55.22681	32.36155
32	42	47	23	2	12	54.65345	31.7882
33	18	3	26	23	17	30.03331	7.168062
34	2	5	9	40	25	60.74537	37.88012
35	47	29	36	22	19	61.85467	38.98942
36	6	48	8	48	37	41.26742	18.40217
37	10	14	11	27	28	38.18377	15.31851
38	22	39	33	41	31	40.58325	17.718
39	46	30	4	31	24	48.79549	25.93024
40	30	36	46	16	14	36.24914	13.38389
41	31	32	40	35	44	44.40721	21.54195
42	26	24	29	44	3	47.52894	24.66369
43	20	37	47	7	22	21.58703	1.278219
44	24	22	49	12	8	46.15192	23.28667
45	1	41	31	8	38	51.06858	28.20333
46	50	40	41	13	47	59.16925	36.304
47	17	15	18	46	34	40.01250	17.14725
48	3	43	32	26	39	54.64430	31.77905
49	21	21	7	49	7	36.41428	13.54903
50	49	16	27	43	16	-	-
ค่าเฉลี่ย						44.29676	22.04148
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน						12.42985	11.28854

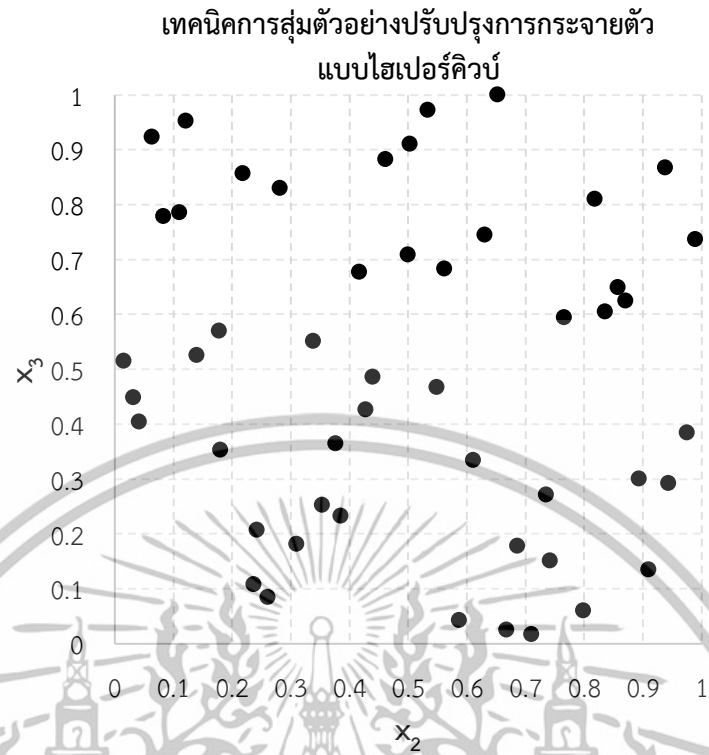
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าเมทริกซ์ $P(50,5)$ และระยะห่างระหว่างจุดที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ จะพบว่าระยะห่างระหว่างจุดที่น้อยสุดมีค่าเท่ากับ 14.62874 และสูงสุดมีค่าเท่ากับ 67.08204 โดยมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างระหว่างจุดเท่ากับ 44.29676 และ 12.42985 ตามลำดับซึ่งเมื่อพิจารณาว่าค่า $d_e(i, j)$ จะพบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างระยะห่างระหว่างจุดกับระยะห่างที่เหมาะสมที่สุดมีค่าเท่ากับ 22.04148 และ 11.28854 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าเลขสุ่มที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ส่วนมากมีระยะห่างระหว่างจุดที่มากกว่าค่า d_{opt} จึงทำให้จุดตัวอย่างอยู่ห่างกันมีการกระจายของจุดตัวอย่างที่ดีกว่าเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล อีกทั้งยังมีการกระจายตัวของจุดตัวอย่างที่ค่อนข้างครอบคลุมพื้นที่การสุ่มตัวอย่าง

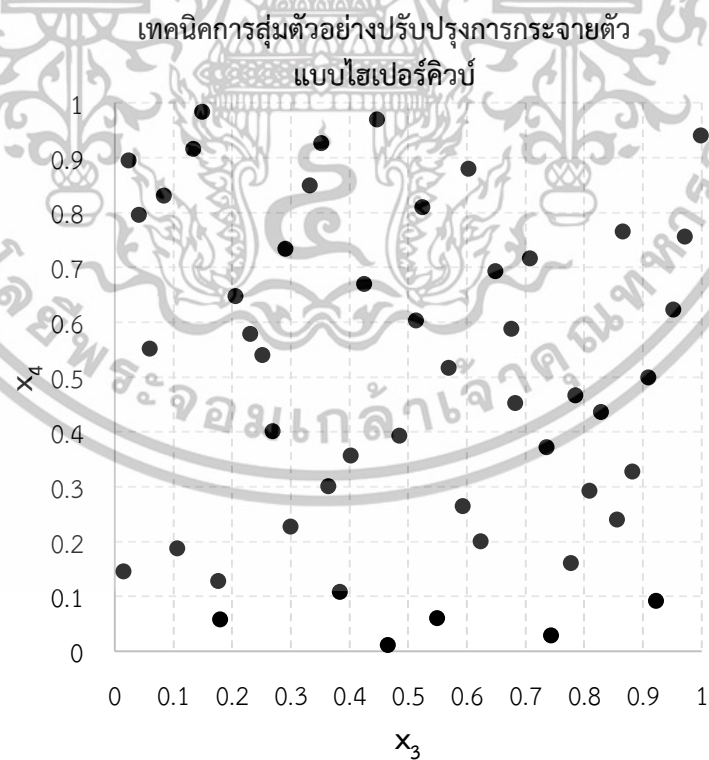
4.2.3 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์



รูปที่ 4.11 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_1 และ x_2 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์

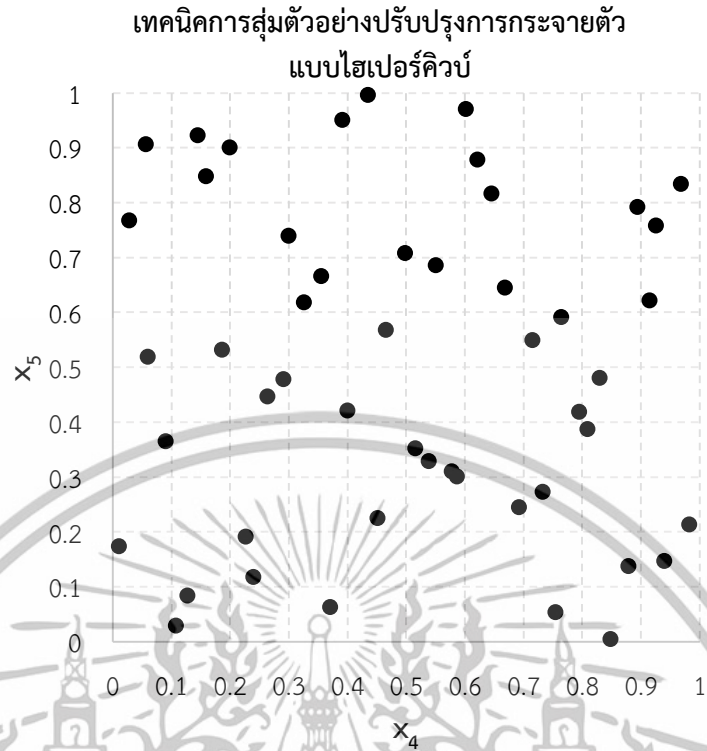


รูปที่ 4.12 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_2 และ x_3 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์



รูปที่ 4.13 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_3 และ x_4 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แผนภาพการกระจายของตัวแปร x_4 และ x_5 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์

จากรูปที่ 4.11 4.12 4.13 และ 4.14 แสดงแผนภาพการกระจายของตัวแปร x_1 x_2 x_3 x_4 และ x_5 ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ เมื่อทำการแบ่งพื้นที่ตัวอย่างออกเป็นมิติ 10×10 ในแต่ละแถวและแต่ละหลักจะมีจำนวนจุดตัวอย่างทั้งหมด 5 จุดเท่ากัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุดตัวอย่างที่ถูกสุ่มขึ้นมาของตัวแปร x_1 x_2 x_3 x_4 และ x_5 มีรูปแบบของจุดตัวอย่างที่แน่นอน อีกทั้งเมื่อพิจารณาการกระจายตัวของจุดตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างจุดมีการกระจายตัวที่ค่อนข้างเต็มพื้นที่ตัวอย่างมากกว่าเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ เนื่องจากในการออกแบบนั้นมีการเพิ่มเงื่อนไขในการหา ระยะห่างระหว่างจุดตัวอย่าง

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเมทริกซ์ $P(50,5)$ และระยะห่างระหว่างจุดที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่าง
ปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์

N/S	1	2	3	4	5	$d(i, j)$	$d_e(i, j)$
1	17	19	19	16	37	32.32646	9.461207
2	19	14	5	42	25	27.85678	4.991524
3	40	20	12	29	16	59.24525	36.38
4	3	44	32	11	45	49.77951	26.91426
5	44	26	46	25	36	51.14685	28.28159
6	35	36	1	8	47	31.46427	8.599013
7	45	23	25	20	48	41.18252	18.31727
8	12	1	26	31	49	59.95832	37.09307
9	27	27	49	38	3	37.06751	14.20225
10	39	41	41	15	24	45.11097	22.24572
11	5	28	24	1	9	58.14637	35.28111
12	13	10	18	47	38	52.13444	29.26919
13	37	17	28	4	26	27.5318	4.666547
14	33	11	43	13	6	45.65085	22.7856
15	4	39	30	14	23	36.01389	13.14863
16	32	32	38	2	39	43.06971	20.20446
17	36	50	37	19	4	45.01111	22.14586
18	30	9	29	26	18	44.50843	21.64317
19	46	45	16	12	10	44.50843	21.64317
20	38	47	44	39	30	60.9754	38.11015
21	31	16	10	3	46	58.50641	35.64116
22	14	49	20	6	2	54.96362	32.09837
23	50	21	34	30	15	57.66281	34.79756
24	6	15	42	22	50	26.4764	3.611152
25	21	24	45	17	31	42.0119	19.14665
26	8	33	50	48	8	49.56813	26.70288
27	23	7	48	32	44	24.97999	2.114739
28	20	5	39	9	43	36.48287	13.61762
29	49	3	21	18	34	32.64966	9.784403
30	43	2	23	49	42	50.75431	27.88906
31	22	12	6	10	27	39.24283	16.37758

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) แสดงค่าเมทริกซ์ $P(50,5)$ และระยะห่างระหว่างจุดที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์

N/S	1	2	3	4	5	$d(i, j)$	$d_e(i, j)$
32	18	29	35	23	12	48.46648	25.60123
33	42	13	11	33	41	62.20932	39.34407
34	7	4	47	5	19	55.19058	32.32533
35	28	35	9	7	5	54.69004	31.82478
36	10	6	40	24	29	47.92703	25.06178
37	16	42	31	44	7	39.68627	16.82102
38	1	8	27	41	20	22.86919	0.003941
39	9	25	36	36	28	35.04283	12.17758
40	2	30	3	40	21	22.84732	0.017933
41	11	40	4	28	35	30.21589	7.350637
42	26	22	22	34	33	22.86919	0.003941
43	15	18	13	27	17	36.20773	13.34248
44	24	34	2	45	40	32.46537	9.600114
45	25	37	14	21	22	39.08964	16.22439
46	48	38	8	50	11	25.29822	2.432969
47	29	31	17	43	1	30.52868	7.663422
48	47	43	33	35	13	22.86919	0.003941
49	34	48	15	37	14	22.84732	0.017933
50	41	46	7	46	32	-	-
ค่าเฉลี่ย						41.16955	18.30576
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน						12.10916	12.1069

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่าเมทริกซ์ $P(50,5)$ และระยะห่างระหว่างจุดที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ จะพบว่าระยะห่างระหว่างจุดที่น้อยสุดมีค่าเท่ากับ 22.84732 และสูงสุดมีค่าเท่ากับ 62.20932 โดยมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างระหว่างจุดเท่ากับ 41.16955 และ 12.10916 ตามลำดับซึ่งเมื่อพิจารณาว่า $d_e(i, j)$ จะพบว่าค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างระยะห่างระหว่างจุดกับระยะห่างที่เหมาะสมที่สุดมีค่าเท่ากับ 18.30576 และ 12.1069 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยของระยะทางระหว่างจุดและ $d_e(i, j)$ มีค่าน้อยกว่าเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์จึงทำให้จุดตัวอย่างกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่การสุ่มตัวอย่างมากกว่าทั้งสองวิธีที่กล่าวมาข้างต้น

4.3 ผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน

จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิมจากงานวิจัยของ Rienkhemaniyom K. Pazhani S. and Janjarassuk U. [10] ซึ่งไม่มีการพิจารณาเหตุการณ์การหยุดชะงัก และการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานที่มีการพิจารณาเหตุการณ์การหยุดชะงักจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ โดยมีวัตถุประสงค์หลักของการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานเหมือนกันนั่นคือ เพื่อเลือกที่ตั้งของผู้เกี่ยวข้องภายในเครือข่ายโซ่อุปทานที่ทำให้เครือข่ายโซ่อุปทานนั้นเกิดกำไรสูงสุด

4.3.1 ผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิม

โดยคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิมที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรม CPLEX คือจะทำการเลือกที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบจำนวน 13 รายจาก 20 ราย ผู้กระจายสินค้าจำนวน 3 รายจาก 25 ราย และผู้ผลิตจำนวน 5 ราย โดยมีกำไรสูงสุดของเครือข่ายโซ่อุปทานเท่ากับ 13,248,679.26 ซึ่งใช้เวลาในการหาคำตอบเท่ากับ 3.54 วินาที โดยแสดงรายละเอียดผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้กระจายสินค้า และผู้ผลิตที่ถูกเลือกแยกตามประเทศดังตารางที่ 4.6 และตำแหน่งที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต และผู้กระจายสินค้าแสดงดังรูปที่ 4.15

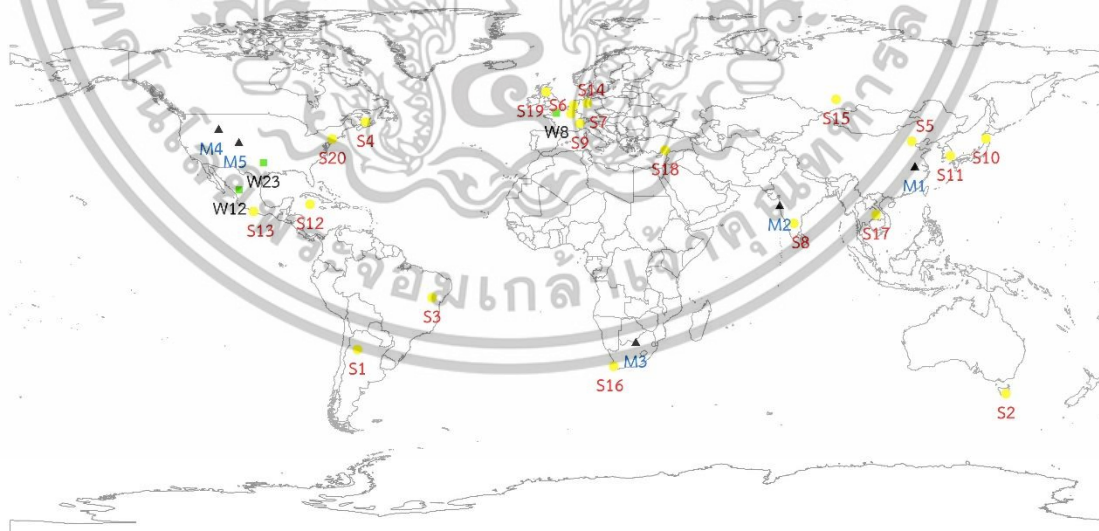
ตารางที่ 4.6 ผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้กระจายสินค้า และผู้ผลิตที่ถูกเลือกจากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิม

ประเทศ	ผู้จัดส่งวัตถุดิบ	ผู้กระจายสินค้า	ผู้ผลิต
เกาหลีใต้	S11	-	-
เนเธอร์แลนด์	S14	-	-
เบลเยียม	-	-	-
เม็กซิโก	S13	W12	-
เยอรมนี	S7	-	-
แคนาดา	S4	-	-
แอฟริกาใต้	S16	-	M3
ไต้หวัน	-	-	-
ไทย	S17	-	-
จีน	-	-	M1
ญี่ปุ่น	S10	-	-
ตุรกี	-	-	-
บราซิล	-	-	-
ปากีสถาน	-	-	-
ฝรั่งเศส	S6	W8	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) ผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้กระจายสินค้า และผู้ผลิตที่ถูกเลือกจากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิม

ประเทศ	ผู้จัดส่งวัตถุดิบ	ผู้กระจายสินค้า	ผู้ผลิต
ฟิลิปปินส์	-	-	-
มาเลเซีย	-	-	-
รัสเซีย	S15	-	-
สวีเดน	-	-	-
สหรัฐอเมริกา	-	W23	M4, M5
สหราชอาณาจักร	-	-	-
หมู่เกาะเคย์แมน	-	-	-
ออสเตรเลีย	-	-	-
ออสเตรีย	-	-	-
อาร์เจนตินา	S1	-	-
อิตาลี	S9	-	-
อินเดีย	S8	-	M2
อินโดนีเซีย	-	-	-
รวม	13	3	5



รูปที่ 4.15 ตำแหน่งที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ ผู้ผลิต และผู้กระจายสินค้าจากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตำแหน่งที่ตั้งในรูปที่ 4.15 พบว่าผู้กระจายสินค้าจะถูกเลือกเพียงแค่ 3 แห่ง ทั้งนี้ก็เพื่อจะทำให้มีต้นทุนคงที่ในการเปิดดำเนินการน้อยที่สุด อีกทั้งยังทำการเลือกผู้กระจายสินค้าที่มีสถานที่ตั้งอยู่ใกล้กับผู้ผลิตอีกด้วยเพื่อจะทำให้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าต่ำที่สุด สำหรับในวิธีการแก้ปัญหาสโตนแคสติงแบบสองขั้นตอนนั้นคำตอบในส่วนนี้จะเป็คำตอบหรือตัวแปรตัดสินใจในขั้นตอนแรก

โดยมีปริมาณการขนส่งวัตถุดิบจากผู้จัดส่งวัตถุดิบไปยังผู้ผลิตแสดงดังตารางที่ 4.7 ปริมาณการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้กระจายสินค้าแสดงดังตารางที่ 4.8 ปริมาณการขนส่งสินค้าจากผู้กระจายสินค้าไปยังผู้ค้าปลีกแสดงดังตารางที่ ค.1 และจะมีปริมาณสินค้าที่สูญเสียโอกาสในการขายของผู้ค้าปลีก R25 เท่ากับ 59 ชิ้น ส่วนผู้ค้าปลีกรายอื่นสามารถทำตามเงื่อนไขความต้องการซื้อของผู้ค้าปลีกได้ สำหรับในวิธีการแก้ปัญหาสโตนแคสติงแบบสองขั้นตอนนั้นคำตอบในส่วนนี้จะเป็คำตอบหรือตัวแปรตัดสินใจในขั้นตอนที่สอง

ตารางที่ 4.7 ปริมาณการขนส่งวัตถุดิบจากผู้จัดส่งวัตถุดิบไปยังผู้ผลิต

ผู้ผลิต \ ผู้จัดส่งวัตถุดิบ	M1	M2	M3	M4	M5
S1	0	0	3969	0	0
S4	0	0	0	0	6295
S6	0	0	0	5788	0
S7	0	0	0	2936	0
S8	0	6882	0	0	0
S9	0	0	2308	0	0
S10	3767	0	0	0	0
S11	3670	0	0	0	0
S13	0	0	0	0	6188
S14	0	0	3604	0	0
S15	0	4048	0	0	0
S16	0	0	6597	0	0
S17	0	3453	0	0	0

ตารางที่ 4.8 ปริมาณการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้กระจายสินค้า

ผู้กระจายสินค้า \ ผู้ผลิต	M1	M2	M3	M4	M5
W8	3143	0	16478	0	0
W12	0	0	0	8724	12483
W23	4294	14383	0	0	0

จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยใช้ขั้นตอนวิธีจำลองการอบอุ่นที่นำเสนอซึ่งเป็นวิธีฮิวริสติกส์ กับผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรม CPLEX จากงานวิจัยของ Rienkhemaniyom K. Pazhani S. and Janjarassuk U. [10] ผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีจำลองการอบอุ่นจากการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง มีค่าน้อยสุดเท่ากับ 12,947,235.31 ค่าสูงสุดเท่ากับ 13,128,362.27 และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13,073,903.86 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรม CPLEX เท่ากับ 2.28 0.91 และ 1.32 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และมีเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบโดยใช้วิธีจำลองการอบอุ่นเท่ากับ 26.04 วินาที โดยสำหรับการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิมจะพบว่าโปรแกรม CPLEX สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ อีกทั้งยังใช้เวลาในการหาคำตอบที่เร็วกว่าวิธีจำลองการอบอุ่น ในขณะที่วิธีจำลองการอบอุ่นจะได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรม CPLEX และวิธีจำลองการอบอุ่น

การทดลองที่	ค่าที่เหมาะสมที่สุด (CPLEX)	วิธีจำลองการอบอุ่น	ผลต่าง	ผลต่าง(%)
1	13,248,679.26	13,076,228.45	172,450.81	1.30%
2		13,085,655.93	163,023.33	1.23%
3		13,050,508.22	198,171.04	1.50%
4		12,947,235.31	301,443.95	2.28%
5		13,012,821.51	235,857.75	1.78%
6		13,119,363.01	129,316.25	0.98%
7		13,093,557.64	155,121.63	1.17%
8		13,100,206.36	148,472.90	1.12%
9		13,128,362.27	120,316.99	0.91%
10		13,125,099.92	123,579.34	0.93%
ค่าเฉลี่ย	13,248,679.26	13,073,903.86	174,775.40	1.32%

จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีแก้ปัญหาโทแคสติกแบบสองขั้นตอน กับผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรม CPLEX ผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีแก้ปัญหาสโทแคสติคแบบสองขั้นตอน กับโปรแกรม

CPLEX

การทดลองที่	Original design	N = 20	N = 50	N = 100
1	13,248,679.26	13,096,522.68	13,051,966.74	13,184,154.53
2		12,920,227.45	13,155,981.66	13,180,699.57
3		12,942,537.45	13,003,074.42	13,057,226.19
4		13,171,893.86	13,089,908.03	13,073,942.27
5		13,065,948.69	12,983,342.65	13,007,254.34
6		13,149,727.22	12,932,378.48	13,193,867.37
7		13,027,280.15	12,974,604.06	13,074,024.28
8		13,154,910.60	13,168,145.63	13,149,428.82
9		13,103,227.15	13,070,412.66	13,091,222.72
10		13,149,634.13	13,123,011.48	13,060,618.83
ค่าเฉลี่ย		13,078,190.94	13,055,282.58	13,107,243.89
ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน		89,409.60	80,567.36	64,753.36

จากตารางที่ 4.10 เมื่อนำค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีแก้ปัญหาสโทแคสติคแบบสองขั้นตอนที่ได้ทำการทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้งมาเปรียบเทียบกับค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้วิธี CPLEX พบว่าค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการทดลองโดยใช้จำนวนการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ 20 50 และ 100 ตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 13,078,190.94 13,055,282.58 และ 13,107,243.89 ตามลำดับ มีเปอร์เซ็นต์ผลต่างเท่ากับ 1.29% 1.46% และ 1.07% ตามลำดับ โดยจะพบว่าที่จำนวนการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ 100 ตัวอย่างจะให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์ที่น้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 64,753.36 โดยที่ใช้เวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบที่จำนวนการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ 20 50 และ 100 ตัวอย่างเท่ากับ 22.69235 62.17371 และ 122.8201 ตามลำดับ

4.3.2 ผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก

ในการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักได้นำค่าความน่าจะเป็นการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติจากตารางที่ 4.2 มาใช้ในการกำหนดเขตความน่าจะเป็นเพื่อใช้สำหรับการจำลองการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก โดยผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์แสดงดังตารางที่ 4.11 4.12 และ 4.13 ซึ่งในส่วนของคำตอบนั้นจะแสดงเฉพาะคำตอบในขั้นตอนแรกก็คือการเลือกที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ และผู้กระจายสินค้า เนื่องจากคำตอบในขั้นตอนที่สองจะเป็นปริมาณการขนส่งวัตถุดิบและสินค้าที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละเหตุการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล

การทดลองที่	N = 20	N = 50	N = 100
1	12,926,743.17	12,936,504.50	12,418,851.37
2	12,418,814.86	12,537,833.87	12,125,486.15
3	12,919,320.51	12,464,742.63	12,274,587.18
4	12,546,105.51	12,504,353.57	12,059,285.24
5	12,288,548.63	12,366,851.17	12,412,839.32
6	12,846,196.02	12,621,856.67	11,995,844.01
7	12,952,681.61	12,346,809.29	12,403,648.33
8	12,797,331.73	12,415,321.97	12,493,808.13
9	12,882,444.22	12,549,969.87	11,953,054.86
10	12,006,506.97	11,823,100.12	12,280,738.77
ค่าเฉลี่ย	12,658,469.32	12,456,734.37	12,241,814.33
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	327,145.91	278,571.02	195,392.62

จากตารางที่ 4.11 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล พบว่าค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่างมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 12,658,469.32 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 327,145.91 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่างมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 12,241,814.33 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 195,392.62 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์ที่มากขึ้นค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์จะมีค่าน้อยลง โดยจะมีเวลาเฉลี่ยในการหาค่าตอบที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 50 และ 100 ตัวอย่าง เท่ากับ 23.4268 63.7586 และ 131.9066 วินาทีตามลำดับ โดยเขตคำตอบที่ได้จะแสดงดังตารางที่ ค.2 ค.3 และ ค.4 ในภาคผนวก ค.

ตารางที่ 4.12 ผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์

การทดลองที่	N = 20	N = 50	N = 100
1	12,642,518.12	12,366,938.00	12,361,466.82
2	12,733,552.23	12,350,100.60	12,395,395.96
3	12,889,892.29	12,596,252.39	12,144,992.79
4	12,614,137.62	12,245,459.46	12,145,819.64
5	12,829,700.50	12,230,005.34	12,337,473.02
6	12,451,608.42	12,267,053.54	12,235,948.35
7	12,662,216.00	12,516,111.08	12,095,806.17
8	12,784,819.79	12,416,559.89	12,376,100.96
9	12,725,576.22	12,304,294.31	12,312,008.01

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์

การทดลองที่	N = 20	N = 50	N = 100
10	12,845,273.92	12,267,006.76	12,159,280.17
ค่าเฉลี่ย	12,717,929.51	12,355,978.14	12,256,429.19
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	130,617.31	121,918.61	112,858.22

จากตารางที่ 4.12 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ พบว่า ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่างมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 12,845,273.92 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 130,617.31 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่างมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 12,159,280.17 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 112,858.22 จึงเห็นได้ว่าเมื่อใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์ที่มากขึ้นค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์จะมีค่าน้อยลง โดยจะมีเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 50 และ 100 ตัวอย่าง เท่ากับ 22.1242 58.3204 และ 126.2866 วินาที ตามลำดับ โดยเซตคำตอบที่ได้จะแสดงดังตารางที่ ค.5 ค.6 และ ค.7 ในภาคผนวก ค.

ตารางที่ 4.13 ผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์

การทดลองที่	N = 20	N = 50	N = 100
1	12,667,922.72	12,447,920.82	12,656,825.03
2	12,493,816.03	12,415,280.28	12,374,974.29
3	12,885,094.19	12,832,035.92	12,451,776.01
4	12,870,805.02	12,531,119.61	12,473,585.73
5	12,383,552.65	12,734,438.28	12,556,064.49
6	12,786,465.83	12,611,572.54	12,436,350.29
7	12,557,801.48	12,542,831.53	12,408,204.56
8	12,737,479.30	12,461,034.63	12,188,605.54
9	12,981,165.99	12,369,792.39	12,498,946.70
10	12,799,825.98	12,621,321.79	12,403,965.72
ค่าเฉลี่ย	12,716,392.92	12,556,734.78	12,444,929.84
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	189,310.93	145,813.12	122,353.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.13 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ พบว่าค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่างมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 12,716,392.92 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 189,310.93 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่างมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 12,444,929.84 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 122,353.16 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์ที่มากขึ้นค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์จะมีค่าน้อยลง โดยจะมีเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 50 และ 100 ตัวอย่าง เท่ากับ 23.1523 63.6837 และ 131.4701 วินาทีตามลำดับ โดยเซตคำตอบที่ได้จะแสดงดังตารางที่ ค.8 ค.9 และ ค.10 ในภาคผนวก ค.

จากนั้นคำตอบที่ได้จากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิม และการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักโดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างทั้ง 3 วิธีที่กล่าวมาข้างต้นจะถูกนำมาประเมินคำตอบโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง เพื่อดูความสามารถในการทนทานต่อเหตุการณ์การหยุดชะงักของคำตอบที่ได้จากแต่ละวิธี

ตารางที่ 4.14 ผลลัพธ์การประเมินค่าจากเซตคำตอบที่ได้จากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิมโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง

การทดลองที่	ผลลัพธ์
1	11,950,373.24
2	11,838,016.30
3	11,831,140.24
4	11,780,590.92
5	11,789,481.46
6	11,895,626.39
7	11,886,468.32
8	11,880,323.77
9	11,838,575.11
10	11,801,826.73
ค่าเฉลี่ย	11,849,242.25
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	53,573.30

จากตารางที่ 4.14 แสดงผลลัพธ์การประเมินค่าจากเซตคำตอบที่ได้จากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิม โดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง พบว่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเท่ากับ 11,950,373.24 โดยมีค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์จากการทดลองเท่ากับ 11,849,242.25 และ 53,573.30 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 ผลลัพธ์การประเมินค่าจากเซตคำตอบที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง

การทดลองที่	N = 20	N = 50	N = 100
1	11,621,036.69	12,125,437.22	12,009,805.94
2	11,851,151.56	11,947,473.61	11,981,417.92
3	11,448,720.92	12,049,300.08	12,004,185.16
4	12,045,964.41	11,935,091.85	11,830,527.34
5	12,239,861.49	12,065,857.69	12,118,408.82
6	11,982,653.16	12,273,107.33	12,027,116.72
7	11,991,857.49	11,834,090.51	11,922,442.47
8	11,894,812.90	11,923,011.41	11,960,271.74
9	12,107,121.93	12,013,970.80	11,982,746.14
10	11,990,353.93	11,905,938.10	12,314,238.09
ค่าเฉลี่ย	11,917,353.45	12,007,327.86	12,015,116.03
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	231,904.94	127,375.64	128,360.49

จากตารางที่ 4.15 แสดงผลลัพธ์การประเมินค่าจากเซตคำตอบที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล โดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากเซตคำตอบโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง ให้ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์มากที่สุดเท่ากับ 12,015,116.03 โดยที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์เท่ากับ 128,360.49 ในขณะที่ผลลัพธ์ที่ได้จากเซตคำตอบโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่าง ให้ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์น้อยที่สุดเท่ากับ 11,917,353.45 โดยที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์เท่ากับ 231,904.94 ซึ่งพบว่าผลลัพธ์การประเมินค่าของเซตคำตอบที่ใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์มากกว่ามีแนวโน้มที่จะให้ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่มากขึ้น ในขณะที่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีแนวโน้มที่จะลดลง

ตารางที่ 4.16 ผลลัพธ์การประเมินค่าจากเซตคำตอบที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์โดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง

การทดลองที่	N = 20	N = 50	N = 100
1	12,021,276.54	12,084,566.77	12,205,660.98
2	11,803,161.93	12,001,033.19	12,025,548.87
3	11,764,893.29	12,102,797.52	12,253,177.27
4	11,900,538.30	11,933,895.06	12,036,425.55
5	12,069,740.39	12,005,124.05	12,108,325.88
6	11,965,995.91	12,240,113.63	12,018,966.35
7	11,850,312.59	11,970,434.28	12,021,044.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 (ต่อ) ผลลัพธ์การประเมินค่าจากเซตคำตอบที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์โดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง

การทดลองที่	N = 20	N = 50	N = 100
8	11,923,637.15	12,107,842.53	11,991,006.18
9	11,895,807.91	11,959,351.78	12,030,475.50
10	12,181,880.13	11,962,579.32	12,086,241.92
ค่าเฉลี่ย	11,937,724.42	12,036,773.81	12,077,687.32
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	126,393.21	95,338.11	87,563.27

จากตารางที่ 4.16 แสดงผลลัพธ์การประเมินค่าจากเซตคำตอบที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ โดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากเซตคำตอบที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง ให้ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์มากที่สุดเท่ากับ 12,077,687.32 โดยที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์เท่ากับ 87,563.27 ในขณะที่ผลลัพธ์ที่ได้จากเซตคำตอบที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่าง ให้ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์น้อยที่สุดเท่ากับ 11,937,724.42 โดยที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์เท่ากับ 126,393.21 ซึ่งพบว่าผลลัพธ์การประเมินค่าของเซตคำตอบที่ใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์มากกว่ามีแนวโน้มที่จะให้ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่มากขึ้น ในขณะที่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีแนวโน้มที่จะลดลง

ตารางที่ 4.17 ผลลัพธ์การประเมินค่าจากเซตคำตอบที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์โดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง

การทดลองที่	N = 20	N = 50	N = 100
1	11,995,022.96	12,100,972.52	12,216,896.39
2	12,035,209.45	12,058,604.49	12,164,074.23
3	11,978,127.91	12,081,895.29	12,160,618.86
4	12,028,525.72	11,926,934.64	12,219,163.85
5	12,137,617.15	12,026,091.44	12,215,308.00
6	12,013,732.81	12,006,984.89	12,303,932.34
7	11,974,524.30	12,030,005.17	12,120,805.43
8	12,214,891.49	12,039,252.00	12,129,939.93
9	12,159,551.67	12,074,781.63	12,167,503.29
10	12,034,294.78	12,088,767.38	12,121,436.02
ค่าเฉลี่ย	12,057,149.82	12,043,428.94	12,181,967.83
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	83,321.90	51,052.38	57,433.51

จากตารางที่ 4.17 แสดงผลลัพธ์การประเมินค่าจากเซตคำตอบที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างโดยวิธีกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ โดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากเซตคำตอบที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง ให้ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์มากที่สุดเท่ากับ 12,181,967.83 โดยที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์เท่ากับ 57,433.51 ในขณะที่ผลลัพธ์ที่ได้จากเซตคำตอบที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่าง ให้ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์น้อยที่สุดเท่ากับ 12,057,149.82 โดยที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์เท่ากับ 83,321.90 ซึ่งพบว่าผลลัพธ์การประเมินค่าของเซตคำตอบที่ใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์มากกว่ามีแนวโน้มที่จะให้ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่มากขึ้น ในขณะที่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีแนวโน้มที่จะลดลง

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ที่ใช้วิธี Dunnett Multiple Comparisons

เพื่อให้ง่ายต่อการนำผลไปวิเคราะห์และกล่าวถึงนั้นจะทำการกำหนดให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาเครือข่ายโซ่อุทานแบบดั้งเดิมแทนด้วย Original Design และให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาเครือข่ายโซ่อุทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักโดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 50 และ 100 ตัวอย่างแทนด้วย MCS-20 MCS-50 และ MCS-100 ตามลำดับ เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 50 และ 100 ตัวอย่างแทนด้วย LHS-20 LHS-50 และ LHS-100 ตามลำดับ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 50 และ 100 ตัวอย่างแทนด้วย IHS-20 IHS-50 และ IHS-100 ตามลำดับ

สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่างจากวิธีที่กล่าวมาข้างต้น จะทำการทดสอบด้วยวิธี One-way ANOVA ก่อนนำไปวิเคราะห์โดยใช้วิธี Dunnett Multiple Comparisons และวิธี Fisher Pairwise Comparisons โดยกำหนดสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

H_0 : ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่างจากทุกวิธีมีค่าเท่ากัน

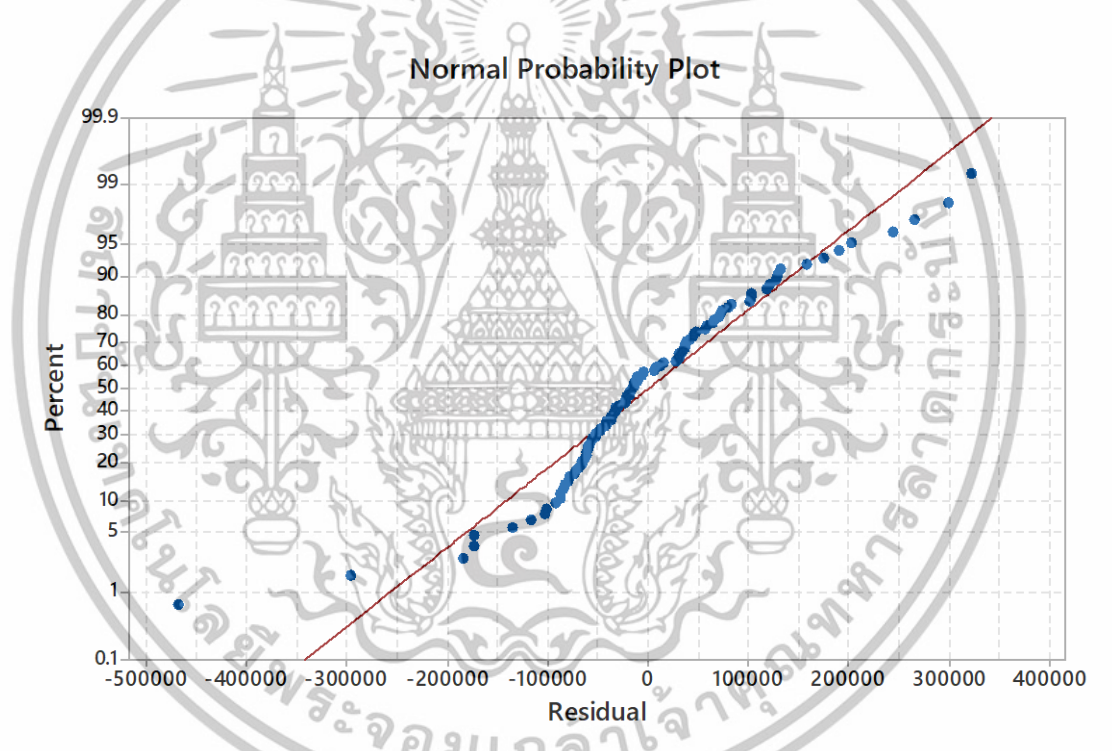
H_1 : ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่างจากทุกวิธีมีอย่างน้อยหนึ่งคู่ที่มีค่าต่างกัน

ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่างโดยวิธี One-way ANOVA

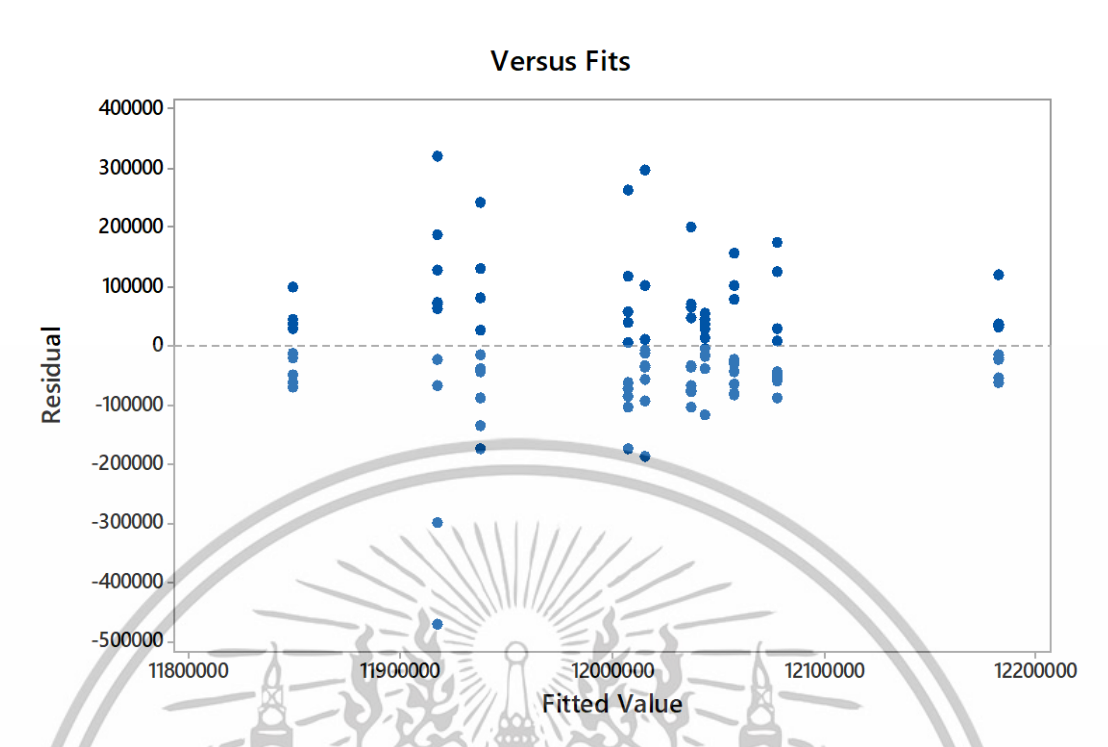
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	9	7.78E+11	86487722195	6.41	0.000
Error	90	1.21E+12	13493039018		
Total	99	1.99E+12			

จากตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่างโดยวิธี One-way ANOVA ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาค่า P-Value พบว่าค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) นั่นก็คือมีค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่างอย่างน้อยหนึ่งคู่มีค่าต่างกัน

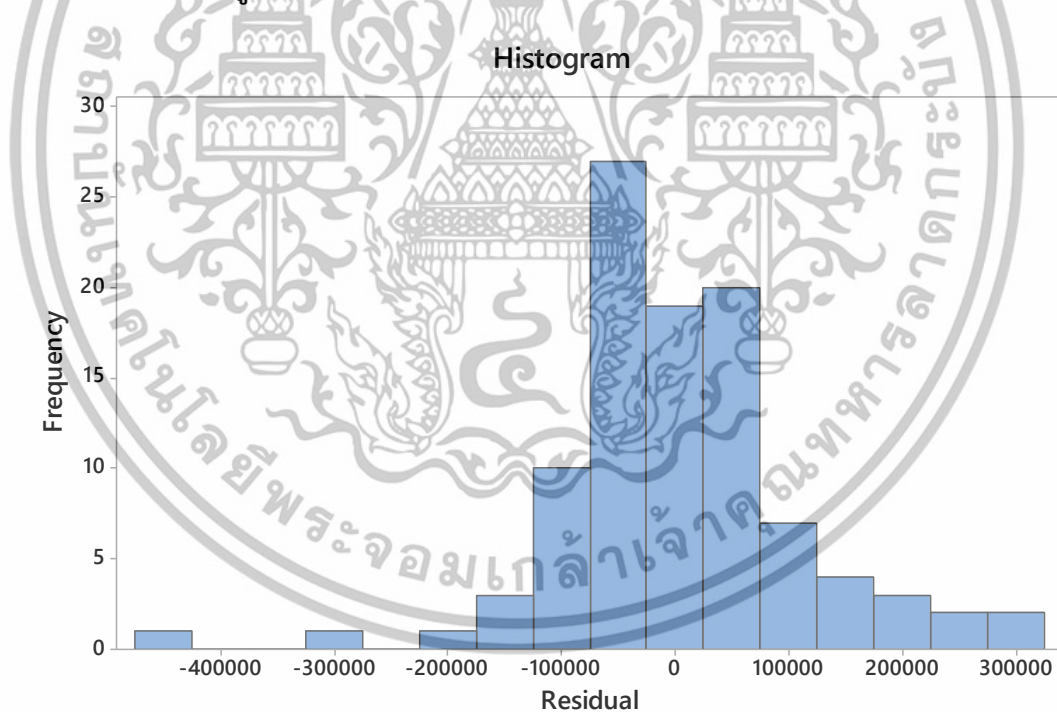
จากนั้นได้นำผลลัพธ์จากการประเมินค่าโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่างมาเปรียบเทียบกันโดยใช้วิธี Dunnett Multiple Comparisons with a Control ซึ่งกำหนดให้ผลลัพธ์การประเมินค่าที่ได้จากเซตคำตอบของการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิมอยู่ในระดับกลุ่มควบคุม ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลจากการพลอตค่าความคลาดเคลื่อน (Residual Plot) ดังรูปที่ 4.16 4.17 และ 4.18 และผลการจัดกลุ่มแสดงดังตารางที่ 4.19



รูปที่ 4.16 Normal Probability Plot ของผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินค่า



รูปที่ 4.17 Versus Fits ของผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินค่า



รูปที่ 4.18 Histogram ของผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลจากค่าความคลาดเคลื่อน (Residual Plot) จากรูปที่ 4.16 และ 4.18 ไม่พบความผิดปกติของข้อมูลเนื่องจากข้อมูลมีการกระจายตัวเข้าสู่เส้น Ideal Normal และค่าความคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติหรือ Normal ($iid \sim N(0, \sigma^2)$) จากรูปที่ 4.17 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ดังนั้นผลลัพธ์จากการประเมินค่าโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่างสามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนได้

ตารางที่ 4.19 ผลการจัดกลุ่มจากวิธี Dunnett ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

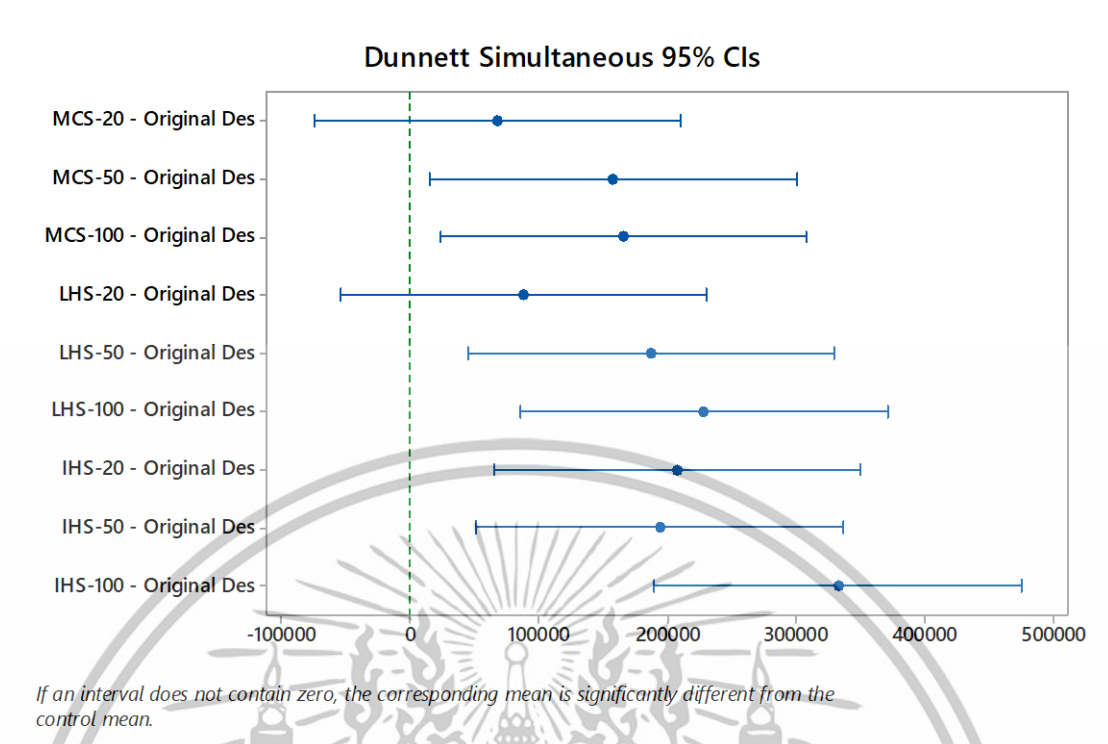
Factor	N	Mean	Grouping
Original Design (control)	10	11849242	A
IHS-100	10	12181968	
LHS-100	10	12077687	
IHS-20	10	12057150	
IHS-50	10	12043429	
LHS-50	10	12036774	
MCS-100	10	12015116	
MCS-50	10	12007328	
LHS-20	10	11937724	A
MCS-20	10	11917353	A

จากตารางที่ 4.19 พบว่าผลลัพธ์การประเมินค่าของเซตคำตอบที่ได้จากการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักโดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่างถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับผลลัพธ์การประเมินค่าที่ได้จากเซตคำตอบของการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิม ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์จากวิธี Dunnett Simultaneous Tests for Level Mean - Control Mean ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากวิธี Dunnett Simultaneous Tests for Level Mean - Control Mean

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
MCS-20 - Original Design	68111	51948	(-74281, 210503)	1.31	0.715
MCS-50 - Original Design	158086	51948	(15694, 300477)	3.04	0.022
MCS-100 - Original Design	165874	51948	(23482, 308266)	3.19	0.014
LHS-20 - Original Design	88482	51948	(-53910, 230874)	1.7	0.43
LHS-50 - Original Design	187532	51948	(45140, 329923)	3.61	0.004
LHS-100 - Original Design	228445	51948	(86053, 370837)	4.4	0
IHS-20 - Original Design	207908	51948	(65516, 350299)	4	0.001
IHS-50 - Original Design	194187	51948	(51795, 336578)	3.74	0.003
IHS-100 - Original Design	332726	51948	(190334, 475117)	6.4	0

จากตารางที่ 4.20 ผลจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์การประเมินค่าที่ได้จากเซตคำตอบของการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิม กับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักโดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักโดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่างให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.745 และ 0.43 ตามลำดับ และมีผลต่างของค่าเฉลี่ยเท่ากับ 68,111 และ 88,482 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า P-Value พบว่ามีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้นไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าที่ได้จากสองวิธีข้างต้นต่างกันกับค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การประเมินค่าของการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิม ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบจากวิธี Dunnett Simultaneous Tests ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ผลการเปรียบเทียบจากวิธี Dunnnett Simultaneous Tests

4.3.4 ผลการวิเคราะห์ที่ใช้วิธี Fisher Pairwise Comparisons

จากนั้นได้นำค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่างมาเปรียบเทียบกันโดยใช้วิธี Fisher LSD Method ซึ่งผลการจัดกลุ่มแสดงดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ผลการจัดกลุ่มจากวิธี Fisher LSD Method ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Factor	N	Mean	Grouping
IHS-100	10	12181968	A
LHS-100	10	12077687	B
IHS-20	10	12057150	B
IHS-50	10	12043429	B
LHS-50	10	12036774	B C
MCS-100	10	12015116	B C D
MCS-50	10	12007328	B C D
LHS-20	10	11937724	C D E
MCS-20	10	11917353	D E
Original Design	10	11849242	E

จากตารางที่ 4.21 พบว่าผลลัพธ์การประเมินค่าจากเซตคำตอบของ Original Design MCS-20 และ LHS-20 ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม E ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์น้อยที่สุดเท่ากับ 11,849,242 11,917,353 และ 11,917,353 ในขณะที่ IHS-50 IHS-20 และ LHS-100 ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม B ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์เท่ากับ 12,043,429 12,057,150 และ 12,077,687 ซึ่งสูงเป็นอันดับที่สอง ในขณะที่ IHS-100 ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม A ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์มากที่สุดเท่ากับ 12,181,968 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์จากวิธี Fisher Individual Tests for Differences of Means ดังตารางที่ ง.1 ในภาคผนวก ง.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นบทสรุปงานวิจัยการใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ในวิธีการแก้ปัญหาสโตนคัทแบบสองขั้นตอนสำหรับปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงัก สรุปผลการรวบรวมและนำข้อมูลการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติผลการเปรียบเทียบเทคนิคการสุ่มตัวอย่าง และผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์ โดยผลดังกล่าวจะถูกนำมาอภิปราย และเสนอข้อแนะนำต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติ

จากการรวบรวม และนำข้อมูลการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติย้อนหลังช่วง ค.ศ. 1900 ถึงเดือนกันยายน ค.ศ. 2018 ของแต่ละประเทศมาใช้ในการกำหนดเขตความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติสำหรับการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบสโตนคัทซึ่งพิจารณาความไม่แน่นอนของการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักเพื่อลดข้อจำกัดจากงานวิจัยของ Rienkhemaniyom K. Pazhani S. and Janjarassuk U. [10] ที่ใช้ข้อมูลสถิติของการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติธรรมชาติในทวีปที่ตั้งของผู้เกี่ยวข้องภายในเครือข่ายโซ่อุปทานในการกำหนดเขตความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก พบว่าสามารถช่วยให้การออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบสโตนคัทซึ่งพิจารณาความไม่แน่นอนของการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักเป็นตัวแทนปัญหาที่เกิดขึ้นจริงได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากได้ใช้ข้อมูลสถิติของการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติธรรมชาติในประเทศที่ตั้งของผู้เกี่ยวข้องภายในเครือข่ายโซ่อุปทานในการกำหนดเขตความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงัก ซึ่งเมื่อเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักที่ประเทศใดประเทศหนึ่งจะส่งให้ผู้เกี่ยวข้องภายในเครือข่ายโซ่อุปทานที่อยู่ในประเทศนั้นๆ เกิดการหยุดชะงัก

สำหรับการหาคำตอบได้นำวิธีการแก้ปัญหาสโตนคัทแบบสองขั้นตอนมาใช้ในการแก้ปัญหาการออกแบบโซ่อุปทาน ซึ่งในขั้นตอนแรกได้นำขั้นตอนวิธีการรอบอ่อนมาใช้ในการกำหนดที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ และผู้กระจายสินค้า และขั้นตอนที่สองได้นำวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่างร่วมกับวิธีการหาคำตอบโดยใช้โปรแกรม CPLEX มาใช้ในการหาปริมาณการขนส่งสูงสุดภายในเครือข่ายโซ่อุปทานสำหรับแต่ละเหตุการณ์การหยุดชะงักที่เป็นไปได้ และได้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ในขั้นตอนวิธีการประมาณค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่างสำหรับการจำลองเหตุการณ์การหยุดชะงัก เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการค้นหาคำตอบ

5.1.2 การเปรียบเทียบเทคนิคการสุ่มตัวอย่าง

จากการเปรียบเทียบการกระจายตัว และระยะห่างระหว่างจุดที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ จากการพิจารณาแผนภาพการกระจายตัวพบว่าเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลการกระจายตัวของจุดตัวอย่างไม่มีรูปแบบที่แน่นอนไม่ครอบคลุมพื้นที่ตัวอย่าง เนื่องจากในแต่ละแถวและแต่ละหลักมีจำนวนจุดตัวอย่างที่ไม่เท่ากัน และมีระยะห่างระหว่างจุดที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์การกระจายตัวของจุดตัวอย่างมีรูปแบบที่แน่นอนเนื่องจากในแต่ละแถวและแต่ละหลักจะมีจำนวนจุดตัวอย่างที่เท่ากัน โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลต่างระยะห่างระหว่างจุดกับระยะทางที่เหมาะสมที่สุดหรือ d_{opt} ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.04148 และ 18.30576 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์มีการกระจายตัวของจุดตัวอย่างที่ครอบคลุมพื้นที่ตัวอย่างมากกว่าเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์

5.1.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์

จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิมโดยใช้โปรแกรม CPLEX กับผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนวิธีจำลองการอบอ่อนซึ่งเป็นวิธีฮิวริสติกส์ที่ใช้ในวิธีการแก้ปัญหาสหาคณิตศาสตร์แบบสองขั้นตอนที่น่าเสนอในงานวิจัย พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม CPLEX มีค่าเท่ากับ 13,248,679.26 ในขณะที่ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีจำลองการอบอ่อนจากการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13,073,903.86 ซึ่งมีผลต่างของผลลัพธ์เท่ากับ 174,775.40 และเปอร์เซ็นต์ผลต่างของผลลัพธ์เท่ากับ 1.32% และการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีแก้ปัญหาสหาคณิตศาสตร์แบบสองขั้นตอนที่ใช้ในงานวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการทดลองโดยใช้จำนวนการสุ่มตัวอย่าง 20 50 และ 100 เท่ากับ 13,078,190.94 13,055,282.58 และ 13,107,243.89 และเปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างผลลัพธ์จากโปรแกรม CPLEX เท่ากับ 1.29% 1.46% และ 1.07% ตามลำดับ โดยพบว่าที่จำนวนการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ 100 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์จะมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 64,753.36 จากการทดลองพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม CPLEX ขั้นตอนวิธีจำลองการอบอ่อน และวิธีการแก้ปัญหาสหาคณิตศาสตร์แบบสองขั้นตอนมีคุณภาพของผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน

จากผลการทดสอบการประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ในวิธีการแก้ปัญหาสหาคณิตศาสตร์แบบสองขั้นตอนกับปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ พบว่าค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการแก้ปัญหาสหาคณิตศาสตร์แบบสองขั้นตอนโดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โล เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ ที่จำนวนการสุ่มตัวอย่าง 20 50 และ 100 ตัวอย่าง มีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อใช้จำนวนการสุ่มตัวอย่างที่มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 3,000 ตัวอย่าง ของเซตคำตอบจากการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานแบบดั้งเดิมโดยใช้โปรแกรม CPLEX และเซตคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายโซ่อุปทานภายใต้เหตุการณ์การหยุดชะงักโดยใช้วิธีการแก้ปัญหาสโตนแคสติงแบบสองขั้นตอนที่ได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ และเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 20 50 และ 100 ตัวอย่าง ผลการเปรียบเทียบจากวิธี Dunnett Multiple Comparisons พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าของเซตคำตอบที่ได้จาก Original Design MCS-20 และ LHS-20 ถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน และผลการเปรียบเทียบจากวิธี Fisher Pairwise Comparisons พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าของเซตคำตอบที่ได้จาก IHS-100 ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม A ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยค่าคาดหวังของกำไรในเครือข่ายโซ่อุปทานที่สูงสุดเท่ากับ 12,181,968 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าของเซตคำตอบที่ได้จาก LHS-100 IHS-20 IHS-50 LHS-50 MCS-100 และ MCS-50 ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม B ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าของเซตคำตอบที่ได้จาก LHS-20 LHS-50 MCS-50 และ MCS-100 ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม C ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าของเซตคำตอบที่ได้จาก LHS-20 MCS-20 MCS-50 และ MCS-100 ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม D และผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่าของเซตคำตอบที่ได้จาก LHS-20 MCS-20 และ Original Design ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม E ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความทนทานต่อเหตุการณ์การหยุดชะงักของวิธีการแก้ปัญหาแต่ละวิธี

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเซตคำตอบที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 100 ตัวอย่างสามารถทนทานต่อเหตุการณ์การหยุดชะงักได้ดีที่สุด โดยใช้เวลาในการหาคำตอบเท่ากับ 131.4701 วินาที ในขณะที่เซตคำตอบที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 20 ตัวอย่างสามารถทนทานต่อเหตุการณ์การหยุดชะงักได้ดีรองลงมา โดยใช้เวลาในการหาคำตอบเท่ากับ 23.1523 วินาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเวลาในการหาคำตอบกับเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนการสุ่มตัวอย่างเท่ากับ 50 ตัวอย่าง ซึ่งให้ผลลัพธ์อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แต่ใช้เวลาในการหาคำตอบเท่ากับ 58.3204 วินาที พบว่าสามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบลงได้ถึง 60.30 เปอร์เซ็นต์ในขณะที่เซตของคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ได้มีคุณภาพเท่าเดิม

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากฐานข้อมูลการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่นำมาใช้นั้นเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลในระดับประเทศ ในขณะที่ที่ตั้งของผู้เกี่ยวข้องในโซ่อุปทานตั้งอยู่ในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งในประเทศนั้น ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถเป็นตัวแทนของการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักที่เกิดขึ้นจริงได้ดีเท่าที่ควร จึงควรมีการใช้ฐานข้อมูลระดับเขตที่ตั้งของผู้เกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน หรือทำการแบ่งพื้นที่การเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติตามสัดส่วนพื้นที่ของประเทศนั้น เพื่อให้สามารถเป็นตัวแทนของการเกิดเหตุการณ์การหยุดชะงักที่เกิดขึ้นจริงได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง สามารถนำเทคนิคการสุ่มตัวอย่างวิธีการอื่นๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการหาคำตอบให้ดียิ่งขึ้นได้ เช่น เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่เหมาะสม [33] (Optimal Latin Hypercube Sampling) เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Haraguchi M., Lall U. “Flood risks and impacts: A case study of Thailand’s floods in 2011 and research questions for supply chain decision making” **International Journal of Disaster Risk Reduction**, vol. 14, part 3, December 2015. pp. 256-272
- [2] The World Bank. “The world bank supports thailand's post-floods recovery effort.” [Online]. Available : <http://www.worldbank.org/en/news/feature/2011/12/13/world-bank-supports-thailands-post-floods-recovery-effort>. 2011
- [3] FM Global. “2018 RESILIENCE INDEX METHODOGY” [Online]. Available : https://www.fmglobal.com/~media/Files/FMGlobal/Resilience%20Index/Resilience_Methodology.pdf?la=en. 2018
- [4] Chopra S., Sodhi M.S. “Management Risk To Avoid Supply-Chain Breakdown” **MIT Sloan Management Review**, vol. 46, no. 1, 2004. pp. 53-61
- [5] Cohen M.A., Moon S. “An integrated model for logistics network design” **Annals of Operations Research**, vol. 144, April 2006. pp. 59-82
- [6] Bidhandi H.M., Yusuff R.M., Megat Ahmad M.H. “Development of a new approach for deterministic supply chain network design” **European Journal of Operational Research**, vol. 198, 2009. pp. 121-128
- [7] Hatefe S.M., Jolai F. “Robust and reliable forward–reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions” **Applied Mathematical Modelling**, vol. 38, 2014. pp. 2630-2647
- [8] Klibi W., Alain M. “The design of robust value-creating supply chain networks” **OR Spectrum**, 2013. pp. 867-903
- [9] Rienkhemaniyom K., Pazhani S. A Supply Chain Network Design Considering Network Density, in: **Toward Sustainable Operations of Supply Chain and Logistics System**, Springer. 2015.
- [10] Rienkhemaniyom K., Pazhani S., Janjarassuk U. “Resilience improvement in supply chain network design” **Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference**, 2015. pp. 475-482
- [11] Beachkofski B.K., Grandhi R.V. “Improved Distributed Hypercube Sampling” **American Institute of Aeronautics & Astronautics**, 2002. pp. 1-7
- [12] Chopra S., Meindl P. **Supply Chain Management Strategy, Planning, and Operation**. 6th ED. Courier Kendallville : Pearson Education Limited. 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] Chopra S. “Designing the distribution network in a supply chain” **Transportation Research Part E**, vol. 39, 2003. pp. 123-140
- [14] Hwang H. “Design of supply-chain logistics system considering service level” **Computers & Industrial Engineering**, vol. 43, 2002. pp. 283-297
- [15] Qi L., Max Shen Z. “A Supply Chain Design Model With Unreliable Supply” **Naval Research Logistics**, vol. 54, 2007. Pp. 829-844
- [16] Qi L., Max Shen Z., Snyder L.V. “The Effect of Supply Disruptions on Supply Chain Design Decisions” **Transport Science**, vol. 40, no. 2, May 2010. pp. 274-289
- [17] Cui T., Ouyang Y., Max Shen Z. “Reliable Facility Location Design Under the Risk of Disruptions” **Operational Research**, vol. 58, no. 4, part 1, July-August 2010. pp.998-1011
- [18] Shukla A., Lalit V.A., Venkatasubramanian V. “Optimizing efficiency-robustness trade-offs in supply chain design under uncertainty due to disruptions” **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, vol. 41, no. 6, 2011. pp. 623-646
- [19] Peng P., Snyder L.V., Lim A., Liu Z. “Reliable logistics network design with facility disruptions” **Transportation Research Part B**, vol. 45, 2011. pp. 1190-1211
- [20] Jabbarzadeh A., Jalali Naini S.G., Davoudpour H., Azad N. “Designing a Supply Chain Network under the Risk of Disruptions” **Mathematical Problems in Engineering**, 2012. pp. 1-23
- [21] Klibi W., Martel A. “Modeling approaches for the design of resilient supply networks under disruptions” **International Journal of Economics**, vol. 135, 2012. pp. 882-898
- [22] Mckey M.D., Beckman R.J., Conover W.J. “Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code” **Technometrics**, vol. 21, no. 2, 1979. pp. 239-245
- [23] Helton J.C., Davis F.J., Johnson J.D. “A comparison of uncertainty and sensitivity analysis results obtained with random and Latin hypercube sampling” **Reliability Engineering and System Safety**, vol. 89, 2005. pp. 305-330
- [24] Liefvendahl M., Stocki R. “A study on algorithms for optimization of Latin Hypercubes” **Journal of Statistical Planning and Inference**, vol. 136, 2006. pp. 3231-3247
- [25] Manteufel R.D. “DISTRIBUTED HYPERCUBE SAMPLING ALGORITHM” **American Institute of Aeronautics & Astronautics**, 2001. pp. 1-6
- [26] EM-DAT: The Emergency Events Database - Université catholique de Louvain (UCL) - CRED, D. Guha-Sapir - www.emdat.be, Brussels, Belgium.

- [27] Birge J.R., Louveaux F. **Introduction to Stochastic Programming**. 2nd ED. Springer Science+Business Media, LLC. 2011.
- [28] Defourny B., Ernst D., Wehenkel L. “Multistage Stochastic Programming: A Scenario Tree Based Approach to Planning under Uncertainty” **Decision Theory Models for Applications in Artificial Intelligence: Concepts and Solutions**, Hershey, Pennsylvania, USA: Information Science Publishing. 2012
- [29] Burke E.K., Kendall G. **Search Methodologies Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques**. 2nd ED. Springer. 2014.
- [30] Shapiro A. “Monte Carlo Sampling Methods” **Handbooks in operation research and management science**, vol. 10, 2003. pp. 353-425
- [31] Fang K., Li R., Sudjianto A. **Design and Modeling for Computer Experiments**. Taylor & Francis Group, LLC. 2006.
- [32] VanderPlas J. **Python Data Science Handbook Essential Tools for Working with Data**. 1st ED. O’Reilly Media, Inc. 2016.
- [33] Viana A.C. F., Venter G., Balabanov V. “An algorithm for fast optimal hypercube design of experiments” **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, vol. 82, 2010. pp. 135-156



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
รายละเอียดตำแหน่งที่ตั้งของผู้เกี่ยวข้องในเครือข่ายโซ่อุปทาน
และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ตั้งของผู้จัดส่งวัตถุดิบ

ผู้จัดส่งวัตถุดิบ	พิกัดละติจูด	พิกัดลองจิจูด
1	-28.468991	-65.778972
2	-42.881903	147.323815
3	-11.409874	-41.280858
4	46.23824	-63.13107
5	39.90403	116.407526
6	48.956682	4.363073
7	52.375892	9.73201
8	12.971599	77.594563
9	45.734955	7.313076
10	40.825421	140.736668
11	35.179554	129.075642
12	19.286814	-81.37207
13	16.863794	-99.881614
14	51.697816	5.303675
15	53.716667	91.45
16	-33.924869	18.424055
17	15.865923	104.635463
18	37	35.321333
19	56.114073	-3.791896
20	40.714353	-74.005973

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลที่ตั้งของผู้กระจายสินค้า

ผู้กระจายสินค้า	พิกัดละติจูด	พิกัดลองจิจูด
1	-26.185201	-58.17537
2	-12.462827	130.841777
3	47.070714	15.439504
4	49.685136	5.81048
5	-1.455021	-48.502368
6	48.428421	-123.365644
7	36.625604	114.539085
8	49.182863	-0.370679
9	13.052414	80.250825
10	-6.914744	107.609811
11	5.976474	116.115777
12	24.02772	-104.653176
13	53.201233	5.799913
14	31.54505	74.340683
15	13.24034	123.540001
16	52.033333	113.5
17	-28.72929	24.75404
18	60.60646	15.6355
19	24.915712	121.673937
20	15.865678	104.625777
21	36.88414	30.70563
22	53.584441	-2.428619
23	32.912624	-96.638883
24	40.036426	-88.957026
25	16.991202	103.238976

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลที่ตั้งของผู้ผลิต

ผู้ผลิต	พิกัดละติจูด	พิกัดลองจิจูด
1	31.820587	117.227239
2	19.075984	72.877656
3	-25.837762	25.594752
4	44.071581	-111.44829
5	39.729432	-104.83192

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลที่ตั้งของผู้ค้าปลีก

ผู้ค้าปลีก	พิกัดละติจูด	พิกัดลองจิจูด
1	-32.890183	-68.84405
2	35.686975	-105.937799
3	-31.527273	-68.521408
4	-40.811909	-62.996204
5	-31.953004	115.857469
6	-33.867487	151.20699
7	-45.484893	170.714887
8	-27.471011	153.023449
9	47.80949	13.05501
10	47.269212	11.404102
11	48.20353	15.63817
12	47.50075	9.74231
13	51.054342	3.717424
14	50.467388	4.871985
15	50.632557	5.579666
16	50.454241	3.956659
17	2.819538	-60.671401
18	33.588689	-117.664182
19	-5.794478	-35.210953
20	-5.089212	-42.801627
21	63.75	-68.54917
22	53.544389	-113.490927

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 (ต่อ) ข้อมูลที่ตั้งของผู้ค้าปลีก

ผู้ค้าปลีก	พิกัดละติจูด	พิกัดลองจิจูด
23	52.939916	-73.549136
24	62.453972	-114.371789
25	37.394253	126.956821
26	34.516839	110.894206
27	30.176768	111.779894
28	31.723248	119.597897
29	28.549445	-81.772854
30	50.62925	3.057256
31	43.296482	5.36978
32	48.583148	7.747882
33	23.259933	77.412615
34	26.846511	80.946683
35	15.299326	74.123996
36	10.786999	79.137827
37	-3.328499	114.589203
38	-1.596672	103.615799
39	-3.972201	122.514903
40	-0.502183	117.153801
41	4.61175	101.113506
42	42.091211	19.089904
43	3.043061	101.440657
44	1.530976	110.34422
45	20.522222	-100.812222
46	22.29448	-97.853415
47	26.910278	-101.422222
48	19.245226	-103.733455
49	52.383626	4.635956
50	51.498796	3.610998
51	52.516775	6.083022
52	53.219383	6.566502

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 (ต่อ) ข้อมูลที่ตั้งของผู้ค้าปลีก

ผู้ค้าปลีก	พิกัดละติจูด	พิกัดลองติจูด
53	30.209459	67.018173
54	35.898333	49.772222
55	24.893379	67.028061
56	25.169511	75.85399
57	13.324096	123.645139
58	14.852739	120.816038
59	8.947538	125.540623
60	10.652141	124.852563
61	43.30191	45.67228
62	54.551858	36.285097
63	58.52557	31.274193
64	59.083333	159.933333
65	-29.600607	30.379412
66	-23.896171	29.448626
67	-25.465833	30.985278
68	-33.924869	18.424055
69	65.58389	22.153174
70	55.604981	13.003822
71	56.879004	14.805852
72	63.825847	20.263035
73	24.957619	121.298783
74	23.4611	120.242
75	24.833333	121.011944
76	22.758333	121.144444
77	14.353236	100.568967
78	6.541102	101.280408
79	14.589605	100.455052
80	15.865678	104.625777
81	19.209401	73.093948
82	40.946667	43.781389

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 (ต่อ) ข้อมูลที่ตั้งของผู้ค้าปลีก

ผู้ค้าปลีก	พิกัดละติจูด	พิกัดลองติจูด
83	37.856041	27.841631
84	50.009826	12.920558
85	42.373616	-71.109734
86	56.469718	-2.988098
87	57.649454	-3.318485
88	56.643558	-2.889062
89	32.814018	-96.948894
90	37.804364	-122.271114
91	25.788969	-80.226439
92	33.953349	-117.396156
93	37.562992	-122.325525
94	11.466402	-72.772516
95	29.061947	-98.473375
96	4.983826	-61.729958
97	10.241361	106.37626
98	44.694705	8.193115
99	40.610562	109.96745
100	36.50204	102.104287

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 พารามิเตอร์แบบจำลองเครือข่ายโซ่อุปทานที่ใช้ทดสอบ

พารามิเตอร์	ตัวแปร	รูปแบบข้อมูล
ต้นทุนรวมของสินค้า	pp	750
ราคาสินค้า	np	900
ต้นทุนการสั่งซื้อวัตถุดิบ	pm_{sm}	$\sim \text{Unif}(60, 65\%) * pp + (\text{disssm} / 250)$
ต้นทุนการผลิตสินค้า	pc_m	$\sim \text{Unif}(8, 12\%) * pp$
ต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยจากผู้ผลิตไปยังผู้กระจายสินค้า	tr_{mw}	$\sim \text{Unif}(5.5, 6.5\%) * pp$
ต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยจากผู้กระจายสินค้าไปยังผู้ค้าปลีก	tr_{wr}	$\sim \text{Unif}(8.5, 9.5\%) * pp$
ความต้องการผลิตภัณฑ์ของผู้ค้าปลีก	d_r	$\sim \text{Unif}(500, 700)$

ตารางที่ ก.6 ต้นทุนการสั่งซื้อ กำลังการผลิตของผู้จัดส่งวัตถุดิบ กำลังการผลิตและต้นทุนการผลิตของผู้ผลิต

ต้นทุนการผลิต	M1	M2	M3	M4	M5	กำลังการผลิตของผู้จัดส่งวัตถุดิบ
S1	508.78	514.72	474.87	503.67	477.98	3,969
S2	486.66	476.62	494.57	515.11	497.16	5,483
S3	496.18	503.00	481.71	489.27	503.19	3,113
S4	482.22	502.98	486.84	481.18	461.25	6,295
S5	466.21	486.01	492.10	489.03	479.46	5,975
S6	498.06	485.64	505.89	472.90	473.15	5,788
S7	505.11	497.65	490.10	474.56	481.14	6,900
S8	494.95	458.17	491.42	511.33	521.52	6,882
S9	492.79	485.13	476.75	489.09	499.79	6,990
S10	462.62	490.70	503.81	490.97	496.66	3,767
S11	453.20	486.09	492.61	500.56	483.09	3,670
S12	495.56	492.78	509.75	478.51	485.36	5,646
S13	516.55	491.81	491.99	479.30	465.88	6,188
S14	486.67	490.83	472.78	493.42	490.51	3,604
S15	490.16	470.87	496.63	482.15	502.01	4,304
S16	508.98	472.37	457.84	506.45	519.29	6,597
S17	482.13	469.72	504.41	505.41	496.63	3,453

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 (ต่อ) ต้นทุนการสั่งซื้อ กำลังการผลิตของผู้จัดส่งวัตถุดิบ กำลังการผลิตและต้นทุนการผลิตของผู้ผลิต

ต้นทุนการผลิต	M1	M2	M3	M4	M5	กำลังการผลิตของผู้จัดส่งวัตถุดิบ
S18	490.39	491.91	501.77	497.74	481.54	4,538
S19	495.06	498.61	488.26	494.26	486.26	5,057
S20	516.22	494.49	488.89	484.91	493.27	4,578
ต้นทุนการผลิตผู้ซื้อผลิต	82.56	76.70	62.24	76.57	83.73	
กำลังการผลิตของผู้ผลิต	17,442	18,262	16,478	11,029	12,829	

ตารางที่ ก.7 ระยะทางระหว่างผู้จัดส่งวัตถุดิบกับผู้ผลิต

	M1	M2	M3	M4	M5
S1	12,143	9,756	5,466	5,782	5,338
S2	5,502	6,363	6,417	8,647	8,803
S3	10,471	8,038	4,446	5,816	5,383
S4	7,043	7,154	7,428	2,322	2,129
S5	560	2,947	7,380	5,915	6,351
S6	5,498	4,264	5,331	4,932	4,945
S7	5,170	4,055	5,488	4,912	4,965
S8	2,824	525	4,405	8,454	8,791
S9	5,519	4,113	5,076	5,189	5,195
S10	1,442	4,221	8,639	5,060	5,513
S11	720	3,580	7,945	5,774	6,226
S12	8,696	9,262	7,812	2,435	1,983
S13	8,270	9,904	8,897	1,997	1,607
S14	5,351	4,236	5,496	4,822	4,855
S15	1,977	2,589	6,747	5,545	5,907
S16	7,856	5,121	704	9,699	9,324
S17	1,356	2,101	6,038	7,711	8,152
S18	4,533	2,579	4,387	6,461	6,562
S19	5,446	4,620	5,919	4,344	4,377
S20	7,373	7,790	7,838	1,907	1,619

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ระยะทางระหว่างผู้จัดส่งวัตถุดิบ

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
S1	100000	7076	1972	5164	11636	6868	7190	9852	6865	10714	11450	3459	3873	7004	10346	4846	11372	7942	6876	4808
S2	7076	100000	8645	10928	6037	10626	10389	5842	10470	5797	5514	9185	8150	10579	7446	6226	4878	8909	10868	10323
S3	1972	8645	100000	4207	10041	5008	5340	8316	4966	10400	10686	3456	4452	5167	8538	4050	10129	5971	5138	4163
S4	5164	10928	4207	100000	6484	3044	3168	7674	3264	6243	6759	2130	2921	3011	5370	7502	8078	4788	2572	664
S5	11636	6037	10041	6484	100000	5033	4701	2999	5077	1278	765	8189	7871	4877	1503	8050	1805	4231	4939	6827
S6	6868	10626	5008	3044	5033	100000	333	4786	261	5688	5706	5031	5963	193	3531	5791	5847	1752	600	3708
S7	7190	10389	5340	3168	4701	333	100000	4580	471	5361	5373	5215	6084	193	3200	5985	5556	1630	602	3831
S8	9852	5842	8316	7674	2999	4786	4580	100000	4631	4236	3543	9787	10367	4760	2915	5057	1819	3087	5145	8305
S9	6865	10470	4966	3264	5077	261	471	4631	100000	5801	5772	5211	6177	421	3573	5547	5780	1562	862	3927
S10	10714	5797	10400	6243	1278	5688	5361	4236	5801	100000	744	7482	6876	5506	2418	9290	2758	5288	5424	6395
S11	11450	5514	10686	6759	765	5706	5373	3543	5772	744	100000	8176	7618	5539	2214	8574	2014	4995	5548	6991
S12	3459	9185	3456	2130	8189	5031	5215	9787	5211	7482	8176	100000	1226	5040	7374	7497	9973	6773	4643	1543
S13	3873	8150	4452	2921	7871	5963	6084	10367	6177	6876	7618	1226	100000	5931	7513	8468	9624	7708	5484	2256
S14	7004	10579	5167	3011	4877	193	193	4760	421	5506	5539	5040	5931	100000	3379	5968	5750	1777	479	3675
S15	10346	7446	8538	5370	1503	3531	3200	2915	3573	2418	2214	7374	7513	3379	100000	7451	2710	2869	3473	5854
S16	4846	6226	4050	7502	8050	5791	5985	5057	5547	9290	8574	7497	8468	5968	7451	100000	6613	5019	6356	7807
S17	11372	4878	10129	8078	1805	5847	5556	1819	5780	2758	2014	9973	9624	5750	2710	6613	100000	4432	5990	8526
S18	7942	8909	5971	4788	4231	1752	1630	3087	1562	5288	4995	6773	7708	1777	2869	5019	4432	100000	2232	5452
S19	6876	10868	5138	2572	4939	600	602	5145	862	5424	5548	4643	5484	479	3473	6356	5990	2232	100000	3233
S20	4808	10323	4163	664	6827	3708	3831	8305	3927	6395	6991	1543	2256	3675	5854	7807	8526	5452	3233	100000

ตารางที่ ก.9 กำลังการผลิตและต้นทุนคงที่ของผู้กระจายสินค้า

	ระดับกำลังการผลิตที่ 1		ระดับกำลังการผลิตที่ 2		ระดับกำลังการผลิตที่ 3	
	กำลังการผลิต	ต้นทุนคงที่	กำลังการผลิต	ต้นทุนคงที่	กำลังการผลิต	ต้นทุนคงที่
W1	10704	429710	13972	484574	20815	599472
W2	9221	404814	16831	532581	18571	561788
W3	11475	442658	16286	523435	23349	642000
W4	8217	387955	16900	533729	20054	586685
W5	7982	384007	14727	497248	20575	595437
W6	8451	391883	13892	483239	18241	556251
W7	6244	354828	16988	535214	22484	627484
W8	10030	418406	15965	518043	19621	579420
W9	5969	350216	17592	545354	22075	620613
W10	9303	406197	14467	492889	21678	613955
W11	10930	433503	15089	503333	19982	585475
W12	8310	389518	17200	538780	21207	606052
W13	6841	364853	17675	546755	22429	626558
W14	10844	432061	15275	506460	21700	614329
W15	11362	440753	17524	544214	19656	580012
W16	7181	370575	12708	463363	20022	586151
W17	7347	373362	17101	537118	21393	609170
W18	8648	395190	15305	506954	19381	575390
W19	9152	403661	14547	494239	23218	639801
W20	7691	379137	14665	496211	22235	623307
W21	6931	366364	16977	535030	23565	645632
W22	10637	428585	12036	452082	21585	612395
W23	9518	409799	13224	472028	18677	563570
W24	7578	377227	15985	518368	19037	569619
W25	8287	389135	17718	547476	18519	560910

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดภัยพิบัติ

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปแอฟริกา

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Algeria	Drought	1	0
	Earthquake	20	1367579
	Epidemic	2	568
	Extreme temperature	2	125000
	Flood	50	806025
	Insect infestation	2	0
	Landslide	1	696
	Storm	4	10122
Angola	Wildfire	2	0
	Drought	8	5863900
	Epidemic	19	143660
	Flood	38	1245773
Benin	Landslide	1	0
	Drought	2	2215000
	Epidemic	25	25073
	Flood	19	3186547
	Storm	1	800
Botswana	Wildfire	3	9959
	Drought	6	1344900
	Epidemic	3	36897
	Flood	11	178584
	Insect infestation	1	0
Burkina Faso	Storm	1	400
	Drought	13	12413290
	Epidemic	25	207368

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปแอฟริกา

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Burkina Faso	Flood	20	649957
	Insect infestation	3	0
Burundi	Drought	6	3062500
	Earthquake	1	120
	Epidemic	15	1378259
	Flood	23	110417
	Landslide	2	3680
	Storm	6	49365
Cabo Verde	Drought	10	40000
	Epidemic	2	32491
	Flood	1	150
	Insect infestation	2	0
	Storm	3	7722
	Volcanic activity	2	8806
Cameroon	Drought	5	598900
	Epidemic	24	53782
	Flood	16	388266
	Insect infestation	2	0
	Landslide	1	100
	Volcanic activity	3	13447
Central African Republic	Drought	1	0
	Epidemic	11	6156
	Flood	16	185146
	Storm	10	37096
	Wildfire	2	835
Chad	Drought	11	9742800
	Epidemic	22	82085
	Flood	17	1437542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปแอฟริกา

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Chad	Insect infestation	5	0
	Storm	3	1445
Comoros (the)	Drought	1	0
	Earthquake	1	10000
	Epidemic	6	7562
	Flood	2	67637
	Storm	7	124863
	Volcanic activity	6	309200
Congo (the Democratic Republic of the)	Drought	2	800000
	Earthquake	5	23161
	Epidemic	72	719324
	Flood	28	469672
	Landslide	6	2093
	Storm	5	103036
	Volcanic activity	3	170400
Congo (the)	Wildfire	3	59898
	Drought	1	0
	Epidemic	16	16747
	Flood	9	173114
Côte d'Ivoire	Landslide	1	668
	Drought	1	0
	Epidemic	14	9050
	Flood	12	41100
Djibouti	Landslide	1	10006
	Drought	9	1188008
	Epidemic	5	4047
	Flood	7	689300
	Storm	2	25775

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปแอฟริกา

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Egypt	Earthquake	5	92996
	Epidemic	3	143
	Extreme temperature	4	171
	Flood	12	234498
	Mass movement (dry)	2	997
	Storm	8	47860
Equatorial Guinea	Epidemic	1	946
Eritrea	Drought	3	5600000
	Flood	2	7013
	Insect infestation	1	0
	Storm	1	15675
Ethiopia	Drought	16	77141879
	Earthquake	7	585
	Epidemic	25	192447
	Flood	54	3145176
	Insect infestation	4	0
	Landslide	3	211
	Mass movement (dry)	1	0
	Volcanic activity	3	11000
	Wildfire	1	5
Gabon	Epidemic	8	18708
	Flood	2	87845
	Storm	3	4330
Gambia (the)	Drought	9	1321100
	Epidemic	4	909
	Flood	9	93469
	Insect infestation	4	0
	Storm	4	16806

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปแอฟริกา

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Gambia (the)	Wildfire	1	5000
Ghana	Drought	3	12512000
	Earthquake	1	0
	Epidemic	22	91471
	Flood	20	4889990
	Storm	1	12
	Wildfire	1	1500
	Drought	2	0
Guinea	Earthquake	1	21436
	Epidemic	16	40070
	Flood	13	409341
	Landslide	1	492
	Storm	1	0
	Wildfire	1	777
	Drought	6	132000
Guinea-Bissau	Epidemic	8	105380
	Flood	4	58542
	Insect infestation	3	0
	Storm	3	16966
	Wildfire	1	1500
Kenya	Drought	15	51800000
	Earthquake	2	0
	Epidemic	35	6889875
	Flood	55	3464110
	Landslide	4	26
	Storm	1	0
	Wildfire	1	1500
Lesotho	Drought	7	3715015
	Epidemic	3	4196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปแอฟริกา

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Lesotho	Flood	5	185000
	Storm	7	9351
Liberia	Drought	1	0
	Epidemic	12	34353
	Extreme temperature	1	1000000
	Flood	6	53841
	Insect infestation	1	500000
	Mass movement (dry)	1	200
	Storm	2	5500
Libya	Earthquake	1	0
	Flood	2	2000
	Insect infestation	1	0
Madagascar	Drought	8	4675290
	Epidemic	7	44469
	Flood	7	188210
	Insect infestation	2	2300000
	Storm	55	10334219
Malawi	Drought	8	28278702
	Earthquake	3	70836
	Epidemic	15	64153
	Flood	38	2847713
	Storm	3	6358
Mali	Drought	11	6927000
	Epidemic	19	28196
	Flood	23	288827
	Insect infestation	5	0
Mauritania	Drought	13	11315681
	Epidemic	6	3694

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปแอฟริกา

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Mauritania	Flood	16	183319
	Insect infestation	4	0
	Storm	3	2517
Mauritius	Drought	1	0
	Epidemic	2	2661
	Flood	1	82
	Storm	19	1039263
Morocco	Drought	5	412000
	Earthquake	3	38465
	Epidemic	1	2942
	Extreme temperature	6	2477500
	Flood	31	638455
	Insect infestation	4	0
	Landslide	1	12216
	Mass movement (dry)	1	0
	Storm	4	117000
	Mozambique	Drought	13
Earthquake		1	1476
Epidemic		28	373781
Flood		36	9783753
Insect infestation		1	0
Landslide		2	2800
Storm		24	4441128
Namibia	Wildfire	1	3023
	Drought	8	2143200
	Epidemic	7	13174
	Flood	14	1101952
Niger (the)	Animal accident	1	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปแอฟริกา

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Niger (the)	Drought	15	27374486
	Epidemic	43	270381
	Flood	26	2046197
	Insect infestation	6	0
	Storm	1	1253
Nigeria	Drought	1	3000000
	Epidemic	61	318197
	Extreme temperature	2	0
	Flood	46	10413929
	Insect infestation	2	0
	Landslide	3	1800
Rwanda	Storm	6	17012
	Drought	6	4156545
	Earthquake	2	2286
	Epidemic	12	7399
	Flood	15	2012104
	Landslide	5	11949
Sao Tome and Principe	Storm	2	6553
	Drought	1	93000
Senegal	Epidemic	3	2412
	Drought	10	9038702
	Epidemic	12	36178
	Flood	21	1210857
	Insect infestation	5	0
Seychelles	Storm	3	96853
	Earthquake	1	4830
	Epidemic	2	5714
	Flood	2	5672

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปแอฟริกา

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Seychelles	Storm	2	9800
Sierra Leone	Epidemic	16	50580
	Flood	8	245507
	Landslide	2	11921
	Storm	3	10003
	Wildfire	1	2257
Somalia	Drought	15	18419124
	Earthquake	1	105083
	Epidemic	29	126427
	Flood	41	3492678
	Storm	5	816380
South Africa	Drought	9	20175000
	Earthquake	9	3450
	Epidemic	7	112385
	Extreme temperature	3	20
	Flood	36	580356
	Landslide	1	0
South Sudan	Storm	28	651451
	Wildfire	10	12880
	Drought	2	7900000
	Epidemic	6	12133
	Flood	10	1142791
Sudan (the)	Drought	9	27210000
	Earthquake	2	8015
	Epidemic	39	244810
	Extreme temperature	1	0
	Flood	34	7096317
	Insect infestation	5	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปแอฟริกา

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Sudan (the)	Storm	2	30
	Wildfire	1	0
Swaziland	Drought	6	2122000
	Epidemic	3	3677
	Flood	3	274900
	Storm	3	640185
	Wildfire	1	1500
Tanzania, United Republic of	Drought	10	12737483
	Earthquake	11	148592
	Epidemic	32	174350
	Flood	43	1187730
	Insect infestation	2	0
	Landslide	1	150
	Storm	5	8894
	Wildfire	1	0
Togo	Drought	3	550000
	Epidemic	12	12170
	Flood	12	595212
	Storm	1	15
Tunisia	Drought	2	31400
	Earthquake	1	0
	Flood	15	555267
	Insect infestation	2	0
	Wildfire	1	2000
Uganda	Drought	9	4975000
	Earthquake	6	58100
	Epidemic	41	345720
	Flood	20	1072859

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปแอฟริกา

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Uganda	Landslide	5	20593
	Storm	4	10152
Zambia	Drought	5	4173204
	Epidemic	19	69916
	Flood	18	5179908
	Insect infestation	2	0
	Landslide	1	150
Zimbabwe	Drought	7	19122618
	Epidemic	22	622789
	Flood	11	344022
	Storm	6	115498

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปเอเชีย

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Afghanistan	Drought	6	6558000
	Earthquake	32	722748
	Epidemic	20	254317
	Extreme temperature	7	370952
	Flood	84	1419055
	Insect infestation	1	0
	Landslide	24	336780
	Storm	8	31716
Armenia	Wildfire	1	0
	Complex Disasters	1	3500000
	Drought	1	297000
	Earthquake	1	15000
	Extreme temperature	1	12000
	Flood	3	7144
	Landslide	1	750
Azerbaijan	Storm	1	64000
	Drought	1	0
	Earthquake	5	734973
	Extreme temperature	1	0
Bahrain	Flood	7	1840300
	Landslide	1	0
	Epidemic	1	0
Bangladesh	Complex Disasters	1	128400
	Drought	7	25002000
	Earthquake	9	19395
	Epidemic	31	3043218
	Extreme temperature	23	414200
	Flood	94	332243089

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปเอเชีย

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Bangladesh	Landslide	5	136470
	Storm	177	85995682
Bhutan	Earthquake	2	20028
	Epidemic	2	741
	Flood	3	1600
	Storm	2	65000
	Wildfire	1	0
Brunei Darussalam	Wildfire	1	0
Cambodia	Complex Disasters	1	900000
	Drought	6	9050000
	Epidemic	9	417938
	Flood	19	13297587
	Storm	4	184391
China	Drought	39	530000000
	Earthquake	164	76409029
	Epidemic	10	9829
	Extreme temperature	14	81220002
	Flood	290	2084208875
	Insect infestation	1	0
	Landslide	71	2481215
	Mass movement (dry)	7	5475
	Storm	297	496234552
	Wildfire	6	56616
Cyprus	Drought	2	0
	Earthquake	2	1965
	Epidemic	2	280
	Extreme temperature	3	500
	Storm	4	3140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปเอเชีย

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Cyprus	Wildfire	1	0
Georgia	Drought	1	696000
	Earthquake	4	30212
	Flood	14	153078
	Storm	3	8668
Hong Kong	Drought	7	0
	Epidemic	1	1456
	Extreme temperature	1	7
	Flood	25	57563
	Landslide	6	4287
	Storm	64	74382
India	Wildfire	32	9003
	Complex Disasters	1	710000
	Drought	15	1391841000
	Earthquake	32	28565623
	Epidemic	68	421473
	Extreme temperature	59	250
	Flood	289	868119689
	Insect infestation	1	0
	Landslide	49	3848421
	Mass movement (dry)	2	0
	Storm	190	108077732
Wildfire	4	0	
Indonesia	Drought	10	4804220
	Earthquake	118	9227912
	Epidemic	35	689029
	Flood	191	10641729
	Landslide	58	497942

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปเอเชีย

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Indonesia	Mass movement (dry)	1	701
	Storm	13	32283
	Volcanic activity	57	1504877
	Wildfire	10	3444142
Iran (Islamic Republic of)	Drought	2	37625000
	Earthquake	110	2930370
	Epidemic	3	2500
	Extreme temperature	1	0
	Flood	81	4121964
	Landslide	4	144
	Storm	13	206794
Iraq	Wildfire	1	0
	Drought	2	500000
	Earthquake	2	6469
	Epidemic	7	8041
Israel	Flood	12	548511
	Drought	1	0
	Epidemic	1	139
	Extreme temperature	2	0
	Flood	4	1000
	Landslide	1	13
	Storm	4	2003610
Japan	Wildfire	4	80399
	Drought	1	0
	Earthquake	62	1819337
	Epidemic	3	2000534
	Extreme temperature	13	127267
	Flood	53	9132243

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปเอเชีย

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Japan	Landslide	22	25773
	Storm	176	8080054
	Volcanic activity	16	100048
	Wildfire	1	222
Jordan	Drought	2	330000
	Earthquake	1	0
	Epidemic	1	715
	Extreme temperature	2	12
	Flood	6	24321
	Insect infestation	1	0
	Storm	3	225
Kazakhstan	Earthquake	1	36626
	Epidemic	3	873
	Extreme temperature	3	605012
	Flood	12	151147
	Landslide	1	0
	Storm	1	0
	Wildfire	1	8000
Korea (the Democratic People's Republic of)	Complex Disasters	1	8000000
	Drought	3	21000000
	Earthquake	1	0
	Epidemic	3	129774
	Flood	26	13015663
Korea (the Republic of)	Storm	8	729690
	Drought	2	2800000
	Earthquake	2	34889
	Epidemic	5	41607
Korea (the Republic of)	Extreme temperature	2	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปเอเชีย

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Korea (the Republic of)	Flood	37	3261963
	Landslide	9	7714
	Storm	54	686052
	Wildfire	3	5150
Kuwait	Epidemic	1	1
	Flood	1	200
Kyrgyzstan	Drought	1	2000000
	Earthquake	9	176063
	Epidemic	3	935
	Extreme temperature	2	50
	Flood	4	21623
	Landslide	9	68216
	Storm	2	9075
Lao People's Democratic Republic (the)	Drought	5	4250000
	Epidemic	9	55929
	Flood	26	4564611
	Storm	6	1436199
Lebanon	Earthquake	1	200
	Flood	3	18500
	Mass movement (dry)	1	0
	Storm	6	1106267
	Wildfire	1	15
Macao	Epidemic	1	1
	Storm	6	4186
Malaysia	Drought	2	2205000
	Earthquake	2	5073
	Epidemic	13	32047
	Flood	48	1630780

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปเอเชีย

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Malaysia	Landslide	4	291
	Mass movement (dry)	1	0
	Storm	8	58372
	Wildfire	4	3000
Maldives	Earthquake	1	27214
	Epidemic	2	12547
	Flood	2	1949
	Storm	1	23849
Mongolia	Drought	1	450000
	Earthquake	1	0
	Epidemic	3	3268
	Extreme temperature	4	2155113
	Flood	6	286650
	Landslide	1	0
	Storm	9	2011000
	Wildfire	3	5061
Myanmar	Earthquake	9	39775
	Epidemic	4	800
	Flood	30	5241342
	Landslide	7	147582
	Mass movement (dry)	1	0
	Storm	21	4143320
Nepal	Wildfire	2	78588
	Drought	6	4903000
	Earthquake	8	6372100
	Epidemic	20	174797
	Extreme temperature	8	25210
	Flood	49	5513577

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปเอเชีย

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Nepal	Landslide	25	450630
	Mass movement (dry)	1	0
	Storm	7	359
	Wildfire	3	54000
Oman	Flood	2	200
	Storm	9	32879
Pakistan	Drought	1	2200000
	Earthquake	31	7275388
	Epidemic	11	18978
	Extreme temperature	18	80574
	Flood	94	79383822
	Insect infestation	1	0
	Landslide	22	34154
	Mass movement (dry)	2	0
	Storm	27	2604699
Palestine, State of	Epidemic	1	943
	Flood	4	14500
	Storm	3	81121
Philippines (the)	Drought	9	6734894
	Earthquake	32	5857237
	Epidemic	18	149422
	Flood	150	33510034
	Insect infestation	2	200
	Landslide	30	317546
	Mass movement (dry)	3	0
	Storm	349	165259751
Volcanic activity	27	1881508	
Wildfire	1	300	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปเอเชีย

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Saudi Arabia	Epidemic	3	571
	Flood	20	32049
	Storm	2	122
Singapore	Epidemic	4	15289
Sri Lanka	Drought	11	10756000
	Earthquake	1	1019306
	Epidemic	10	440537
	Flood	64	16114875
	Landslide	6	1927
	Storm	10	2339457
Syrian Arab Republic	Drought	2	1629000
	Epidemic	2	4165
	Flood	3	245000
	Landslide	1	23
	Storm	4	3852
Taiwan (Province of China)	Earthquake	15	174513
	Epidemic	2	250309
	Extreme temperature	1	0
	Flood	9	68389
	Landslide	1	134
Tajikistan	Storm	81	3457910
	Drought	2	3800000
	Earthquake	11	48662
	Epidemic	6	24046
	Extreme temperature	3	2002500
	Flood	29	800513
	Insect infestation	1	0
	Landslide	13	97384

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปเอเชีย

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Tajikistan	Mass movement (dry)	1	0
	Storm	2	2330
Thailand	Drought	11	41982602
	Earthquake	5	84546
	Epidemic	7	43373
	Extreme temperature	2	1000000
	Flood	79	60141812
	Landslide	3	43110
	Storm	36	4266063
	Wildfire	1	0
Timor-Leste	Drought	2	120000
	Earthquake	1	2003
	Epidemic	2	533
	Flood	5	4505
Turkey	Storm	1	8730
	Earthquake	78	6924689
	Epidemic	8	204855
	Extreme temperature	7	8450
	Flood	41	1785020
	Landslide	12	13487
	Mass movement (dry)	1	1069
	Storm	10	13909
Turkmenistan	Wildfire	5	1150
	Earthquake	1	0
United Arab Emirates (the)	Flood	1	420
	Flood	1	188
Uzbekistan	Drought	1	600000
	Earthquake	2	50000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปเอเชีย

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Uzbekistan	Epidemic	1	148
	Flood	1	1500
	Landslide	1	0
	Mass movement (dry)	1	400
Viet Nam	Drought	6	7860000
	Epidemic	11	107958
	Flood	86	32908368
	Insect infestation	1	0
	Landslide	6	39074
	Storm	108	53350361
	Wildfire	1	0
Yemen	Complex Disasters	1	1437214
	Earthquake	1	40039
	Epidemic	6	3972
	Flood	26	428975
	Landslide	3	31
	Storm	4	125065
	Volcanic activity	1	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปยุโรป

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Albania	Drought	1	3200000
	Earthquake	6	8429
	Epidemic	2	292
	Extreme temperature	5	237235
	Flood	15	205586
	Landslide	1	26
	Storm	2	525000
	Wildfire	1	75
Austria	Earthquake	1	0
	Extreme temperature	5	0
	Flood	17	61616
	Landslide	8	10380
	Storm	19	630
Belarus	Epidemic	2	887
	Extreme temperature	6	95314
	Flood	4	92000
	Storm	2	21390
Belgium	Drought	1	0
	Earthquake	2	1030
	Epidemic	1	104
	Extreme temperature	9	0
	Flood	23	11125
	Storm	29	1878
Bosnia and Herzegovina	Drought	2	62575
	Epidemic	1	400
	Extreme temperature	4	20347
	Flood	13	1329340
	Landslide	1	403

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปยุโรป

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Bosnia and Herzegovina	Storm	2	1090
Bulgaria	Drought	2	0
	Earthquake	6	3962
	Extreme temperature	9	393
	Flood	19	60017
	Landslide	1	0
	Storm	6	5890
	Wildfire	4	176
Croatia	Drought	1	0
	Earthquake	1	2000
	Extreme temperature	6	200
	Flood	10	14976
	Storm	2	3500
	Wildfire	6	106
Czech Republic (the)	Extreme temperature	6	0
	Flood	13	1622332
	Storm	7	15
Denmark	Drought	1	0
	Storm	15	0
Estonia	Extreme temperature	3	0
	Storm	1	100
Finland	Flood	1	400
	Storm	2	0
France	Drought	4	0
	Earthquake	2	2
	Epidemic	2	6
	Extreme temperature	16	10200
	Flood	48	101128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปยุโรป

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
France	Landslide	13	338
	Storm	61	4015469
	Wildfire	13	18429
Germany	Earthquake	2	1675
	Epidemic	2	609
	Extreme temperature	10	165
	Flood	17	543708
	Landslide	1	0
	Storm	43	30505
Greece	Drought	1	0
	Earthquake	34	1038374
	Extreme temperature	8	176
	Flood	26	22754
	Storm	8	612
	Wildfire	14	9223
Hungary	Drought	3	0
	Earthquake	1	1800
	Extreme temperature	5	500
	Flood	16	238865
	Storm	7	15598
Iceland	Earthquake	3	205
	Flood	1	280
	Landslide	4	83
	Volcanic activity	5	5200
Ireland	Epidemic	2	1375
	Flood	6	4700
	Storm	16	200
Italy	Drought	4	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปยุโรป

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Italy	Earthquake	37	1087347
	Epidemic	2	10001
	Extreme temperature	9	0
	Flood	47	2880573
	Landslide	15	19597
	Storm	23	7524
	Volcanic activity	5	21024
	Wildfire	7	320
Latvia	Epidemic	1	102
	Extreme temperature	4	0
	Storm	3	0
Lithuania	Drought	3	0
	Extreme temperature	6	0
	Flood	2	0
	Storm	3	780000
Luxembourg	Extreme temperature	1	0
	Flood	2	0
	Storm	8	0
Macedonia (the former Yugoslav Republic of)	Drought	1	10000
	Earthquake	1	100
	Epidemic	1	200
	Extreme temperature	6	16322
	Flood	11	254923
	Storm	1	3
Moldova (the Republic of)	Wildfire	2	1000000
	Drought	3	216194
	Epidemic	1	1647
	Extreme temperature	2	7374

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปยุโรป

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Moldova (the Republic of)	Flood	7	51957
	Storm	2	2625580
Montenegro	Extreme temperature	1	4500
	Flood	4	7886
	Wildfire	1	200
Netherlands (the)	Earthquake	1	20
	Epidemic	1	200
	Extreme temperature	5	0
	Flood	4	315000
Norway	Storm	25	250101
	Flood	3	6100
	Landslide	1	0
Poland	Storm	7	600
	Drought	1	0
	Earthquake	1	1050
	Extreme temperature	19	0
	Flood	14	368577
	Storm	17	9466
Portugal	Wildfire	2	0
	Drought	3	0
	Extreme temperature	5	0
	Flood	14	53534
	Storm	9	4291
Romania	Wildfire	13	154822
	Drought	2	0
	Earthquake	13	392850
	Epidemic	3	5271
	Extreme temperature	20	10259

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปยุโรป

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Romania	Flood	48	1636151
	Landslide	1	330
	Storm	11	8593
Russian Federation (the)	Drought	5	1000000
	Earthquake	11	60190
	Epidemic	10	158246
	Extreme temperature	21	759198
	Flood	61	2314699
	Impact	1	301491
	Insect infestation	1	0
	Landslide	9	2558
	Storm	21	21489
	Wildfire	23	116174
Serbia	Earthquake	1	27030
	Extreme temperature	9	91734
	Flood	13	91735
Slovakia	Extreme temperature	5	89
	Flood	12	48995
	Storm	2	10324
	Wildfire	1	0
Slovenia	Earthquake	2	1305
	Extreme temperature	2	50000
	Flood	3	14550
	Storm	2	1050
Spain	Drought	4	6000000
	Earthquake	3	15390
	Epidemic	3	2135
	Extreme temperature	8	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปยุโรป

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Spain	Flood	31	750695
	Landslide	1	129
	Storm	22	60412
	Wildfire	16	20227
Sweden	Epidemic	2	350
	Extreme temperature	1	0
	Flood	2	0
	Landslide	1	50
Switzerland	Storm	7	0
	Epidemic	1	1
	Extreme temperature	6	0
	Flood	8	5601
	Landslide	10	3851
	Mass movement (dry)	1	200
	Storm	31	252
Ukraine	Drought	1	0
	Epidemic	3	6771
	Extreme temperature	8	147626
	Flood	15	2640754
	Storm	7	56662
United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (the)	Earthquake	2	4501
	Epidemic	4	194
	Extreme temperature	8	47
	Flood	34	435763
	Fog	1	0
	Landslide	1	0
	Storm	41	327000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปอเมริกาเหนือ

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Antigua and Barbuda	Drought	1	75000
	Storm	12	51914
Bahamas (the)	Flood	2	1000
	Storm	25	40113
Barbados	Drought	1	0
	Earthquake	1	1
	Flood	2	310
	Storm	8	10617
Belize	Extreme temperature	1	0
	Flood	5	77600
	Storm	15	258925
Canada	Drought	5	55000
	Earthquake	1	0
	Epidemic	7	2008917
	Extreme temperature	6	200
	Flood	41	307287
	Landslide	3	44
	Mass movement (dry)	5	3547
	Storm	43	15587
	Wildfire	23	217077
	Costa Rica	Drought	4
Earthquake		14	164493
Epidemic		2	16786
Flood		28	642733
Landslide		1	200
Storm		9	985836
Volcanic activity		7	109771
Wildfire		2	1200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปอเมริกาเหนือ

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Cuba	Drought	7	920000
	Earthquake	2	5877
	Epidemic	2	50181
	Flood	24	1081951
	Storm	43	22116106
	Wildfire	2	0
Dominica	Earthquake	1	100
	Storm	14	196283
Dominican Republic (the)	Drought	1	240000
	Earthquake	2	2015
	Epidemic	8	48153
	Flood	28	4351575
	Storm	35	2912796
	Wildfire	3	0
El Salvador	Drought	6	1100000
	Earthquake	10	2549991
	Epidemic	10	86951
	Extreme temperature	1	0
	Flood	16	429342
	Landslide	2	0
	Storm	16	288785
	Volcanic activity	2	65079
Grenada	Drought	1	0
	Flood	1	0
	Storm	5	61210
Guatemala	Drought	6	4253081
	Earthquake	17	6450010
	Epidemic	9	50785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปอเมริกาเหนือ

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Guatemala	Extreme temperature	4	12634
	Flood	29	1005544
	Landslide	11	55091
	Mass movement (dry)	2	3028
	Storm	15	1103675
	Volcanic activity	14	1742920
	Wildfire	2	0
Haiti	Drought	9	6905217
	Earthquake	2	3700000
	Epidemic	8	588177
	Flood	59	927536
	Landslide	2	1060
	Storm	44	7193512
Honduras	Drought	11	1557335
	Earthquake	5	52519
	Epidemic	9	96049
	Flood	36	1789352
	Landslide	1	0
	Mass movement (dry)	1	0
	Storm	23	2982172
Jamaica	Wildfire	1	0
	Drought	4	191545
	Earthquake	1	90000
	Epidemic	5	580
	Flood	13	903712
	Landslide	1	0
	Mass movement (dry)	1	0
Storm	31	1709705	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปอเมริกาเหนือ

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Mexico	Drought	7	2565000
	Earthquake	34	4114674
	Epidemic	3	53212
	Extreme temperature	17	136000
	Flood	68	4884328
	Landslide	12	320
	Storm	104	8615276
	Volcanic activity	10	161908
Nicaragua	Wildfire	5	0
	Complex Disasters	1	12500
	Drought	5	1013000
	Earthquake	10	748175
	Epidemic	12	21342
	Flood	22	697532
	Landslide	1	5769
	Storm	22	1758877
Panama	Volcanic activity	5	321370
	Wildfire	3	16000
	Complex Disasters	1	3000
	Drought	3	81000
	Earthquake	4	21511
	Epidemic	5	5554
	Flood	37	225373
Saint Kitts and Nevis	Storm	6	40800
	Wildfire	1	1436
	Flood	1	0
Saint Lucia	Storm	9	14280
	Drought	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปอเมริกาเหนือ

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Saint Lucia	Earthquake	1	0
	Flood	2	21984
	Landslide	1	175
	Storm	14	289950
Saint Vincent and the Grenadines	Drought	1	0
	Flood	7	44049
	Storm	10	28442
	Volcanic activity	3	22000
Trinidad and Tobago	Drought	1	0
	Earthquake	1	17
	Flood	2	210
	Landslide	1	1200
	Storm	7	51560
	Volcanic activity	1	200
United States of America (the)	Drought	15	0
	Earthquake	42	75367
	Epidemic	5	406703
	Extreme temperature	36	31
	Flood	182	12403576
	Landslide	6	1656
	Storm	627	100004253
	Volcanic activity	2	5000
	Wildfire	81	886574

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปอเมริกาใต้

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Argentina	Drought	3	0
	Earthquake	5	246065
	Epidemic	2	17249
	Extreme temperature	8	28500
	Flood	61	14450131
	Landslide	5	35030
	Storm	21	143698
	Volcanic activity	4	66200
Bolivia (Plurinational State of)	Wildfire	5	152752
	Drought	13	4637744
	Earthquake	3	18050
	Epidemic	12	51472
	Extreme temperature	5	42772
	Flood	43	3589336
	Landslide	8	182053
	Storm	2	18740
Brazil	Wildfire	4	9600
	Drought	18	78812000
	Earthquake	2	23286
	Epidemic	18	1983463
	Extreme temperature	8	600
	Flood	135	20206435
	Insect infestation	1	2000
	Landslide	24	4238314
Chile	Storm	19	237993
	Wildfire	3	12000
	Drought	2	120000
	Earthquake	31	9921984

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปอเมริกาใต้

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Chile	Epidemic	1	40
	Extreme temperature	9	86100
	Flood	34	1657067
	Landslide	5	82983
	Storm	14	504479
	Volcanic activity	9	86650
	Wildfire	12	21722
Colombia	Drought	2	100000
	Earthquake	25	1460319
	Epidemic	5	41555
	Flood	80	16257096
	Insect infestation	1	0
	Landslide	42	76082
	Mass movement (dry)	3	2411
	Storm	9	140415
	Volcanic activity	11	56964
	Wildfire	3	200
Ecuador	Drought	4	744665
	Earthquake	19	787832
	Epidemic	13	170656
	Flood	32	2021313
	Landslide	15	81606
	Mass movement (dry)	1	0
	Volcanic activity	13	1479425
Guyana	Drought	3	607200
	Flood	8	671048
Paraguay	Drought	9	1791290

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปอเมริกาใต้

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Paraguay	Epidemic	8	138199
	Extreme temperature	3	0
	Flood	22	1443620
	Storm	8	148057
	Wildfire	1	125000
Peru	Drought	8	3606104
	Earthquake	46	6269328
	Epidemic	14	383304
	Extreme temperature	12	5392620
	Flood	55	6183906
	Insect infestation	1	0
	Landslide	32	790678
	Mass movement (dry)	2	0
	Storm	4	667412
	Volcanic activity	3	8040
Wildfire	1	1000	
Suriname	Flood	3	36148
Uruguay	Drought	2	11135
	Extreme temperature	4	2400
	Flood	17	254333
	Storm	6	5112
Venezuela (Bolivarian Republic of)	Drought	1	0
	Earthquake	8	88905
	Epidemic	7	42871
	Flood	31	945739
	Landslide	4	21518
	Storm	4	7630

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปอเมริกาใต้

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Australia	Drought	10	7080000
	Earthquake	4	11430
	Epidemic	2	2022
	Extreme temperature	6	4602784
	Flood	63	315819
	Insect infestation	2	0
	Landslide	2	101
	Storm	107	4154264
	Wildfire	39	91128
Fiji	Drought	3	361455
	Earthquake	2	0
	Flood	12	264825
	Storm	38	1470681
Kiribati	Drought	1	84000
	Epidemic	1	352
	Flood	2	305
	Storm	2	2200
Marshall Islands (the)	Drought	2	27384
	Epidemic	1	218
	Flood	2	960
	Storm	1	6000
Micronesia (Federated States of)	Drought	2	128800
	Epidemic	1	3431
	Flood	1	0
	Storm	6	43834
New Zealand	Drought	2	0
	Earthquake	10	634076
	Epidemic	2	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปอเมริกาใต้

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
New Zealand	Extreme temperature	1	0
	Flood	38	31387
	Landslide	1	600
	Storm	13	4180
	Volcanic activity	2	70
	Wildfire	1	130
Palau	Storm	2	1250
Papua New Guinea	Drought	3	3060000
	Earthquake	15	189238
	Epidemic	7	11001
	Flood	15	577193
	Landslide	11	16103
	Mass movement (dry)	2	1000
	Storm	7	231225
	Volcanic activity	16	234367
	Wildfire	1	8000
Samoa	Drought	1	0
	Earthquake	1	5584
	Flood	1	0
	Storm	11	391707
	Wildfire	1	1000
Solomon Islands	Drought	3	380
	Earthquake	9	18110
	Epidemic	2	7912
	Flood	5	90080
	Storm	17	322971
	Volcanic activity	1	6000
Tonga	Drought	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปอเมริกาใต้

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้งการเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบ
Tonga	Earthquake	2	6012
	Storm	17	282999
	Volcanic activity	1	2500
Tuvalu	Drought	1	0
	Storm	6	6163
Vanuatu	Earthquake	9	15105
	Epidemic	2	3351
	Flood	2	3951
	Landslide	1	3000
	Storm	28	485143
	Volcanic activity	6	29900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปออสเตรเลีย

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้ง การเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับ ผลกระทบ
Australia	Drought	10	7080000
	Earthquake	4	11430
	Epidemic	2	2022
	Extreme temperature	6	4602784
	Flood	63	315819
	Insect infestation	2	0
	Landslide	2	101
	Storm	107	4154264
	Wildfire	39	91128
Fiji	Drought	3	361455
	Earthquake	2	0
	Flood	12	264825
	Storm	38	1470681
Kiribati	Drought	1	84000
	Epidemic	1	352
	Flood	2	305
	Storm	2	2200
Marshall Islands (the)	Drought	2	27384
	Epidemic	1	218
	Flood	2	960
	Storm	1	6000
Micronesia (Federated States of)	Drought	2	128800
	Epidemic	1	3431
	Flood	1	0
	Storm	6	43834
New Zealand	Drought	2	0
	Earthquake	10	634076
	Epidemic	2	1
	Extreme temperature	1	0
	Flood	38	31387
	Landslide	1	600
	Storm	13	4180
	Volcanic activity	2	70
Wildfire	1	130	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 (ต่อ) ข้อมูลการเกิดภัยพิบัติย้อนหลังปี 1900-2018 ของทวีปออสเตรเลีย

ประเทศ	ประเภทภัยพิบัติ	จำนวนครั้ง การเกิดภัยพิบัติ	จำนวนผู้ได้รับ ผลกระทบ
Palau	Storm	2	1250
Papua New Guinea	Drought	3	3060000
	Earthquake	15	189238
	Epidemic	7	11001
	Flood	15	577193
	Landslide	11	16103
	Mass movement (dry)	2	1000
	Storm	7	231225
	Volcanic activity	16	234367
	Wildfire	1	8000
Samoa	Drought	1	0
	Earthquake	1	5584
	Flood	1	0
	Storm	11	391707
	Wildfire	1	1000
Solomon Islands	Drought	3	380
	Earthquake	9	18110
	Epidemic	2	7912
	Flood	5	90080
	Storm	17	322971
	Volcanic activity	1	6000
Tonga	Drought	1	0
	Earthquake	2	6012
	Storm	17	282999
	Volcanic activity	1	2500
Tuvalu	Drought	1	0
	Storm	6	6163
	Earthquake	9	15105
	Epidemic	2	3351
	Flood	2	3951
	Landslide	1	3000
	Storm	28	485143
	Volcanic activity	6	29900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
เซตคำตอบและผลลัพธ์จากการทดลอง

ตารางที่ ค.1 ปริมาณการขนส่งสินค้าจากผู้กระจายสินค้าไปยังผู้ค้าปลีก

ผู้กระจายสินค้า ผู้ค้าปลีก	W8	W12	W23
R1	541	0	0
R2	0	581	0
R3	500	0	0
R4	0	0	530
R5	0	679	0
R6	0	565	0
R7	0	632	0
R8	638	0	0
R9	0	605	0
R10	0	0	561
R11	528	0	0
R12	639	0	0
R13	541	0	0
R14	572	0	0
R15	0	0	585
R16	0	0	654
R17	0	0	620
R18	0	0	538
R19	0	685	0
R20	0	545	0
R21	676	0	0
R22	641	0	0
R23	0	0	509
R24	0	567	0
R25	636	0	0
R26	0	646	0
R27	629	0	0
R28	0	645	0
R29	0	0	672
R30	0	510	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ปริมาณการขนส่งสินค้าจากผู้กระจายสินค้าไปยังผู้ค้าปลีก

ผู้กระจายสินค้า ผู้ค้าปลีก	W8	W12	W23
R31	0	0	561
R32	0	593	0
R33	630	0	0
R34	0	0	624
R35	0	0	537
R36	651	0	0
R37	0	544	0
R38	0	0	507
R39	635	0	0
R40	661	0	0
R41	0	0	517
R42	0	675	0
R43	630	0	0
R44	0	658	0
R45	0	0	536
R46	0	609	0
R47	500	0	0
R48	0	538	0
R49	0	522	0
R50	0	369	198
R51	0	550	0
R52	0	530	0
R53	0	0	524
R54	0	0	636
R55	548	0	0
R56	0	635	0
R57	0	568	0
R58	0	563	0
R59	601	0	0
R60	0	666	0
R61	592	0	0
R62	683	0	0
R63	557	0	0
R64	0	0	559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ปริมาณการขนส่งสินค้าจากผู้กระจายสินค้าไปยังผู้ค้าปลีก

ผู้กระจายสินค้า ผู้ค้าปลีก	W8	W12	W23
R65	0	0	653
R66	604	0	0
R67	0	0	655
R68	699	0	0
R69	0	0	607
R70	553	0	0
R71	0	0	663
R72	0	509	0
R73	336	276	0
R74	505	0	0
R75	0	547	0
R76	0	0	545
R77	0	640	0
R78	0	0	630
R79	0	0	697
R80	569	0	0
R81	0	534	0
R82	0	0	620
R83	0	585	0
R84	0	566	0
R85	699	0	0
R86	0	0	632
R87	697	0	0
R88	0	557	0
R89	0	0	663
R90	682	0	0
R91	0	647	0
R92	508	0	0
R93	0	518	0
R94	0	0	549
R95	0	0	666
R96	0	0	556
R97	0	0	673
R98	540	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ปริมาณการขนส่งสินค้าจากผู้กระจายสินค้าไปยังผู้ค้าปลีก

ผู้กระจายสินค้า \ ผู้ค้าปลีก	W8	W12	W23
R99	0	533	0
R100	0	615	0

ในส่วนของเซตคำตอบการเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบ และผู้กระจายสินค้าและผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่างจะแสดงดังตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.2 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
1	Opened warehouses: 0 1 0 0 0 1 1 0 Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 Objective value: 12926743.165425 Computation time : 23.3346322 secs.
2	Opened warehouses: 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Objective value: 12418814.862765 Computation time : 24.3279047 secs.
3	Opened warehouses: 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 Selected suppliers: 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Objective value: 12919320.5079 Computation time : 23.5989065 secs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
4	<p>Opened warehouses: 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 0 1</p> <p>Objective value: 12546105.508385 Computation time : 20.3954828 secs.</p>
5	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12288548.62517 Computation time : 24.7667976 secs.</p>
6	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12846196.01985 Computation time : 26.8033335 secs.</p>
7	<p>Opened warehouses: 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0</p> <p>Selected suppliers: 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12952681.61154 Computation time : 25.5247068 secs.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
8	Opened warehouses: 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Objective value: 12797331.733625
9	Opened warehouses: 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 Objective value: 12882444.22173 Computation time : 20.3496107 secs.
10	Opened warehouses: 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 0 0 0 Selected suppliers: 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Objective value: 12006506.96986 Computation time : 21.336518 secs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซตคำตอบการเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบ และผู้กระจายสินค้าและผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหา โดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ ค.3

ตารางที่ ค.3 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 ตัวอย่าง

การทดลองที่ 1	เซตคำตอบและผลลัพธ์
1	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1</p> <p>Objective value: 12936504.498308 Computation time : 75.3380218 secs.</p>
2	<p>Opened warehouses: 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12537833.873454 Computation time : 68.6424155 secs.</p>
3	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1</p> <p>Objective value: 12464742.627364 Computation time : 59.6869217 secs.</p>
4	<p>Opened warehouses: 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0</p> <p>Selected suppliers: 1</p> <p>Objective value: 12504353.573938 Computation time : 45.2858772 secs.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมายและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 ตัวอย่าง

การทดลองที่ 1	เซตคำตอบและผลลัพธ์
5	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1</p> <p>Objective value: 12366851.167674 Computation time : 57.7765644 secs.</p>
6	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1</p> <p>Objective value: 12621856.665824 Computation time : 73.808892 secs.</p>
7	<p>Opened warehouses: 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1</p> <p>Objective value: 12346809.29288 Computation time : 70.8589626 secs.</p>
8	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0</p> <p>Selected suppliers: 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0</p> <p>Objective value: 12415321.970076 Computation time : 72.7440055 secs.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
2	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1</p> <p>Selected suppliers: 1</p> <p>Objective value: 12125486.149609 Computation time : 140.0786019 secs.</p>
3	<p>Opened warehouses: 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 0 1</p> <p>Objective value: 12274587.176586 Computation time : 122.3456406 secs.</p>
4	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 1</p> <p>Objective value: 12059285.241292 Computation time : 128.5333896 secs.</p>
5	<p>Opened warehouses: 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 0 1</p> <p>Objective value: 12412839.318724 Computation time : 152.1971762 secs.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมอนติคาร์โลที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
10	Opened warehouses: 0 1 0 Selected suppliers: 1 Objective value: 12280738.771419 Computation time : 91.6415415 secs.

เซตคำตอบการเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบ และผู้กระจายสินค้าและผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ ค.5

ตารางที่ ค.5 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
1	Opened warehouses: 0 1 0 Selected suppliers: 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Objective value: 12642518.11831 Computation time : 24.1682865 secs.
2	Opened warehouses: 0 1 0 1 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 Selected suppliers: 1 1 0 1 0 Objective value: 12733552.2304 Computation time : 19.8107083 secs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่
จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
3	<p>Opened warehouses: 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12889892.289 Computation time : 24.2353852 secs.</p>
4	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12614137.61949 Computation time : 19.1747604 secs.</p>
5	<p>Opened warehouses: 0 0 1 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12829700.49984 Computation time : 21.4013779 secs.</p>
6	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12451608.42016 Computation time : 22.0694301 secs.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่
จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
7	<p>Opened warehouses: 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1</p> <p>Objective value: 12662216.00343 Computation time : 19.6896265 secs.</p>
8	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1</p> <p>Objective value: 12784819.790485 Computation time : 26.667469 secs.</p>
9	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1</p> <p>Objective value: 12725576.224474 Computation time : 23.8761458 secs.</p>
10	<p>Opened warehouses: 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12845273.92148 Computation time : 20.1488291 secs.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซตคำตอบการเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบ และผู้กระจายสินค้าและผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหา โดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ ค.6

ตารางที่ ค.6 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวน ตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
1	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 0 1 1 1 0 1</p> <p>Objective value: 12366937.998974 Computation time : 66.8546559 secs.</p>
2	<p>Opened warehouses: 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0</p> <p>Objective value: 12350100.596738 Computation time : 60.5247878 secs.</p>
3	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0</p> <p>Objective value: 12596252.392844 Computation time : 45.8545261 secs.</p>
4	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0</p> <p>Selected suppliers: 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12245459.46495 Computation time : 48.5814982 secs.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่
จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
5	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12230005.340936 Computation time : 45.8038991 secs.</p>
6	<p>Opened warehouses: 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1</p> <p>Objective value: 12267053.539516 Computation time : 65.8741479 secs.</p>
7	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 0 1 1 1 0 0 1</p> <p>Objective value: 12516111.075488 Computation time : 68.8040617 secs.</p>
8	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1</p> <p>Objective value: 12416559.891708 Computation time : 64.436994 secs.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่
จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
9	Opened warehouses: 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 Selected suppliers: 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 Objective value: 12304294.30705 Computation time : 64.5171141 secs.
10	Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 Selected suppliers: 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 Objective value: 12267006.764642 Computation time : 51.9525799 secs.

เซตคำตอบการเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบ และผู้กระจายสินค้าและผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหา
โดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง
แสดงดังตารางที่ ค.7

ตารางที่ ค.7 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวน
ตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
1	Opened warehouses: 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 Selected suppliers: 1 0 1 Objective value: 12361466.817242 Computation time : 124.5085165 secs.

ตารางที่ ค.7 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่
จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
2	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1</p> <p>Objective value: 12395395.964838 Computation time : 122.4166651 secs.</p>
3	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 0 1</p> <p>Objective value: 12144992.791611 Computation time : 121.437281 secs.</p>
4	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12145819.638716 Computation time : 92.7204715 secs.</p>
5	<p>Opened warehouses: 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12337473.018789 Computation time : 122.0020089 secs.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ที่
จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
10	Opened warehouses: 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1 0 0 0 Selected suppliers: 1 Objective value: 12159280.174611 Computation time : 125.1710989 secs.

เซตคำตอบการเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบ และผู้กระจายสินค้าและผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหา
โดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์
เท่ากับ 20 ตัวอย่างแสดงดังตารางที่ ค.8

ตารางที่ ค.8 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบ
ไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 20 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
1	Opened warehouses: 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Objective value: 12667922.71627 Computation time : 21.3214974 secs.
2	Opened warehouses: 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 Selected suppliers: 1 1 1 1 1 0 1 Objective value: 12493816.03444 Computation time : 20.5612041 secs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซตคำตอบการเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบ และผู้กระจายสินค้าและผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหา โดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 ตัวอย่างแสดงดังตารางที่ ค.9

ตารางที่ ค.9 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
1	Opened warehouses: 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Objective value: 12447920.817258 Computation time : 63.4124147 secs.
2	Opened warehouses: 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 Objective value: 12415280.277806 Computation time : 65.7302361 secs.
3	Opened warehouses: 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Objective value: 12832035.923312 Computation time : 65.3990991 secs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
4	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0</p> <p>Objective value: 12531119.608926 Computation time : 66.614017 secs.</p>
5	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 1 0 1</p> <p>Objective value: 12734438.283824 Computation time : 62.0785007 secs.</p>
6	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 0 1</p> <p>Objective value: 12611572.544542 Computation time : 60.232231 secs.</p>
7	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12542831.525344 Computation time : 65.9021262 secs.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 50 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
8	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1</p> <p>Objective value: 12461034.625808 Computation time : 64.9073351 secs.</p>
9	<p>Opened warehouses: 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 0 0 1 0 1</p> <p>Objective value: 12369792.39483 Computation time : 60.4415911 secs.</p>
10	<p>Opened warehouses: 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1</p> <p>Objective value: 12621321.793486 Computation time : 62.1195642 secs.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซตคำตอบการเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบ และผู้กระจายสินค้าและผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหา โดยใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่างแสดงดังตารางที่ ค.10

ตารางที่ ค.10 เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
1	Opened warehouses: 00000000000000000000000000000000 00000000000000000000000000000001 0000000000001000000001000000 Selected suppliers: 11111011111011111111 Objective value: 12656825.027322 Computation time : 146.6892948 secs.
2	Opened warehouses: 000000010000000000000000000000 00000000000000000000000001000000 00010000000000000000000001000000 Selected suppliers: 111111111111111111110111 Objective value: 12374974.291575 Computation time : 141.7712926 secs.
3	Opened warehouses: 000000000000000000000000000000 000000000000010000000000000000 00000000010000000000000001000000 Selected suppliers: 111111111111111111111111 Objective value: 12451776.01052 Computation time : 131.3900365 secs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
4	<p>Opened warehouses: 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 0 1</p> <p>Objective value: 12473585.727783 Computation time : 117.2208086 secs.</p>
5	<p>Opened warehouses: 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1</p> <p>Objective value: 12556064.48908 Computation time : 131.102833 secs.</p>
6	<p>Opened warehouses: 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 0 1</p> <p>Objective value: 12436350.285808 Computation time : 152.013222 secs.</p>
7	<p>Opened warehouses: 0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 1 0 1</p> <p>Objective value: 12408204.562923 Computation time : 112.5309047 secs.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 (ต่อ) เซตคำตอบและผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคการสุ่มตัวอย่างปรับปรุงการกระจายตัวแบบไฮเปอร์คิวบ์ที่จำนวนตัวอย่างเหตุการณ์เท่ากับ 100 ตัวอย่าง

การทดลองที่	เซตคำตอบและผลลัพธ์
8	<p>Opened warehouses: 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 0 0 1 0 1</p> <p>Objective value: 12188605.536563 Computation time : 148.0482386 secs.</p>
9	<p>Opened warehouses: 0 0 1 0 0 1 0</p> <p>Selected suppliers: 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1</p> <p>Objective value: 12498946.702007 Computation time : 99.4579661 secs.</p>
10	<p>Opened warehouses: 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0</p> <p>Selected suppliers: 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1</p> <p>Objective value: 12403965.719066 Computation time : 134.4764647 secs.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.
ผลการวิเคราะห์

ตารางที่ ง.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากวิธี Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
MCS-20 - Original Design	68111	51948	(-35093, 171315)	1.31	0.193
MCS-50 - Original Design	158086	51948	(54882, 261290)	3.04	0.003
MCS-100 - Original Design	165874	51948	(62670, 269078)	3.19	0.002
LHS-20 - Original Design	88482	51948	(-14722, 191686)	1.7	0.092
LHS-50 - Original Design	187532	51948	(84328, 290736)	3.61	0.001
LHS-100 - Original Design	228445	51948	(125241, 331649)	4.4	0
IHS-20 - Original Design	207908	51948	(104704, 311112)	4	0
IHS-50 - Original Design	194187	51948	(90983, 297391)	3.74	0
IHS-100 - Original Design	332726	51948	(229522, 435930)	6.4	0
MCS-50 - MCS-20	89974	51948	(-13230, 193178)	1.73	0.087
MCS-100 - MCS-20	97763	51948	(-5441, 200967)	1.88	0.063
LHS-20 - MCS-20	20371	51948	(-82833, 123575)	0.39	0.696

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากวิธี Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
LHS-50 - MCS-20	119420	51948	(16216, 222624)	2.3	0.024
LHS-100 - MCS-20	160334	51948	(57130, 263538)	3.09	0.003
IHS-20 - MCS-20	139796	51948	(36592, 243000)	2.69	0.008
IHS-50 - MCS-20	126075	51948	(22871, 229280)	2.43	0.017
IHS-100 - MCS-20	264614	51948	(161410, 367818)	5.09	0
MCS-100 - MCS-50	7788	51948	(-95416, 110992)	0.15	0.881
LHS-20 - MCS-50	-69603	51948	(-172807, 33601)	-1.34	0.184
LHS-50 - MCS-50	29446	51948	(-73758, 132650)	0.57	0.572
LHS-100 - MCS-50	70359	51948	(-32845, 173563)	1.35	0.179
IHS-20 - MCS-50	49822	51948	(-53382, 153026)	0.96	0.34
IHS-50 - MCS-50	36101	51948	(-67103, 139305)	0.69	0.489
IHS-100 - MCS-50	174640	51948	(71436, 277844)	3.36	0.001
LHS-20 - MCS-100	-77392	51948	(-180596, 25812)	-1.49	0.14
LHS-50 - MCS-100	21658	51948	(-81546, 124862)	0.42	0.678

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากวิธี Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
LHS-100 - MCS-100	62571	51948	(-40633, 165775)	1.2	0.232
IHS-20 - MCS-100	42034	51948	(-61170, 145238)	0.81	0.421
IHS-50 - MCS-100	28313	51948	(-74891, 131517)	0.55	0.587
IHS-100 - MCS-100	166852	51948	(63648, 270056)	3.21	0.002
LHS-50 - LHS-20	99049	51948	(-4155, 202253)	1.91	0.06
LHS-100 - LHS-20	139963	51948	(36759, 243167)	2.69	0.008
IHS-20 - LHS-20	119425	51948	(16221, 222629)	2.3	0.024
IHS-50 - LHS-20	105705	51948	(-2501, 208909)	2.03	0.045
IHS-100 - LHS-20	244243	51948	(141039, 347447)	4.7	0
LHS-100 - LHS-50	40914	51948	(-62291, 144118)	0.79	0.433
IHS-20 - LHS-50	20376	51948	(-82828, 123580)	0.39	0.696
IHS-50 - LHS-50	6655	51948	(-96549, 109859)	0.13	0.898
IHS-100 - LHS-50	145194	51948	(41990, 248398)	2.79	0.006
IHS-20 - LHS-100	-20538	51948	(-123742, 82667)	-0.4	0.694

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากวิธี Fisher Individual Tests for Differences of Means

Difference of Levels	Difference of Means	SE of Difference	95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
IHS-50 - LHS-100	-34258	51948	(-137462, 68946)	-0.66	0.511
IHS-100 - LHS-100	104281	51948	(1076, 207485)	2.01	0.048
IHS-50 - IHS-20	-13721	51948	(-116925, 89483)	-0.26	0.792
IHS-100 - IHS-20	124818	51948	(21614, 228022)	2.4	0.018
IHS-100 - IHS-50	138539	51948	(35335, 241743)	2.67	0.009

จากตารางที่ ง.1 ผลการเปรียบเทียบ MCS-20 - Original Design และ LHS-20 - Original Design ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ พบว่ามีค่า P-Value เท่ากับ 0.193 และ 0.092 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้นไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าของ MCS-20 และ LHS-20 ต่างกันกับค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การประเมินค่าของ Original Design

ผลการเปรียบเทียบ MCS-50 - MCS-20 MCS-100 - MCS-20 และ LHS-20 - MCS-20 มีค่า P-Value เท่ากับ 0.087 0.063 และ 0.696 ตามลำดับ ดังนั้นไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าของ MCS-50 MCS-100 และ LHS-20 ต่างกันกับค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การประเมินค่าของ MCS-20

ผลการเปรียบเทียบ MCS-100 - MCS-50 LHS-20 - MCS-50 LHS-50 - MCS-50 LHS-100 - MCS-50 IHS-20 - MCS-50 และ IHS-50 - MCS-50 มีค่า P-Value เท่ากับ 0.881 0.184 0.572 0.179 0.340 และ 0.489 ตามลำดับ ดังนั้นไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าของ MCS-100 LHS-20 LHS-50 LHS-100 IHS-20 และ IHS-50 ต่างกันกับค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การประเมินค่าของ LHS-50

ผลการเปรียบเทียบ LHS-20 - MCS-100 LHS-50 - MCS-100 LHS-100 - MCS-100 IHS-20 - MCS-100 และ IHS-50 - MCS-100 มีค่า P-Value เท่ากับ 0.140 0.678 0.232 0.421 และ 0.587 ตามลำดับ ดังนั้นไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าของ LHS-20 LHS-50 LHS-100 IHS-20 และ IHS-50 ต่างกันกับค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การประเมินค่าของ LHS-50

ผลการเปรียบเทียบ LHS-50 - LHS-20 มีค่า P-Value เท่ากับ 0.060 ดังนั้นไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าของ LHS-50 ต่างกันกับค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การประเมินค่าของ LHS-20

ผลการเปรียบเทียบ LHS-100 - LHS-50 IHS-20 - LHS-50 และ IHS-50 - LHS-50 มีค่า P-Value เท่ากับ 0.433 0.696 และ 0.898 ตามลำดับ ดังนั้นไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าของ LHS-100 IHS-20 และ IHS-50 ต่างกันกับค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การประเมินค่าของ LHS-50

ผลการเปรียบเทียบ IHS-20 - LHS-100 และ IHS-50 - LHS-100 มีค่า P-Value เท่ากับ 0.694 และ 0.511 ตามลำดับ ดังนั้นไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าของ IHS-20 และ IHS-50 ต่างกันกับค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การประเมินค่าของ LHS-100

ผลการเปรียบเทียบ IHS-50 - IHS-20 มีค่า P-Value เท่ากับ 0.792 ดังนั้นไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการประเมินค่าของ IHS-50 ต่างกันกับค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การประเมินค่าของ IHS-20



ภาคผนวก จ.
บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference 2016

Using Latin Hypercube Sampling to Improve Solution for a Supply Chain Network Design Problem

Kantapit Kaewsuan

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand
Tel: (+66) 086-544-8998, Email: kantapit.k@gmail.com

Udom Janjarassuk

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand
Tel: (+66) 02-329-8339 ext. 228, Email: kjdom@gmail.com

Kanokporn Rienkhemaniyom

Graduate School of Management and Innovation
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand
Tel: (+66) 02-470-9776, Email: kanokporn.rie@gmail.com

Chumpol Yuangyai†

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand
Tel: (+66) 02-329-8339 ext. 224, Email: kvchumpo@kmitl.ac.th

Abstract. In this paper, we focus on a supply chain network design problem in determining the number and location of facilities, as well as the flows between them. Due to globalization and complexity in supply chain environment, recent supply chain network design studies have incorporated uncertainty and disruption risk into the design decisions in order to make supply chain network more robust and resilience. To deal with the unexpected disruptions, a Latin Hypercube Sampling (LHS) method is used to generate disruptive scenarios for model evaluation. We compare the solutions with those from the Monte Carlo Sampling (MCS) technique. The results show that LHS provides smaller standard deviation than the MCS technique as it yields a good approximation of the sample space. This further indicates that LHS use less sample size leading to more efficient computational time in obtaining solutions.

Keywords: Supply chain network design, Facility disruption, Two-stage stochastic program, Simulated annealing, Latin hypercube sampling

1. INTRODUCTION

Supply chain network design is a crucial strategic decision as it effects will last for many years under dynamic business environment (Klibi et al., 2010). In addition, uncertainties and risks are intensified in the supply chain network where demand and cost vary and disruptions are unpredictable. Therefore, the design of supply chain network should be resilience to uncertainty and possible disruptions in the network. In many supply chain network design studies, Monte Carlo Sampling technique has been applied in order to generate scenarios for model evaluation.

In this paper, we focus on the use of a sampling technique called Latin Hypercube Sampling for supply chain network design under facility disruptions.

In this study we use a two-stage stochastic programming model from Rienkhemaniyom et al. (2016) that formulated for a supply chain network design problem considering possibility of facility disruption. The model is used for a single-product supply chain network which includes suppliers, manufacturing plants, warehouses, and retailers where the facilities are located in different places around the world. The objective function is to maximize the expected profit under facility

† :Corresponding Author

disruptions. In the first stage, suppliers and warehouses are selected. In the second stage, the quantity of product purchased, produced and transported between facilities are determined under disruptive scenarios so that the expected profit is maximized. A simulated annealing meta-heuristic algorithm (SA) is used to find near optimal solutions. In terms of sampling technique, the Monte Carlo Sampling (MCS) technique is used in constructing the sample average problem in order to get the estimate of the objective function value.

Beside MCS, there are several sampling techniques available to reduce the variance of the estimate and to improve the quality of solutions, for example Latin Hypercube Sampling (LHS), and Antithetic Variates Sampling (AVS).

In this paper, we apply Latin Hypercube Sampling (LHS) technique to generate disruptive scenarios. Several studies have discussed the advantages of LHS, for instance, Fattahi et al. (2014) and Shi et al. (2013) stated that LHS covers more of domain of the random variables.

Hence, the objective of this study is to improve solution of a supply chain network design problem by using LHS technique to sampling disruptive scenarios.

2. LITERATURE REVIEW

For a stochastic linear program, it can be solved approximately by generating a subset of all possible random scenarios. The value of the optimal solution to the sampled problem provides an estimate of the true objective function value. However, the estimator is known to be optimistically biased (Freimer et al., 2012). The bias and variance of the solution are also related to which sampling method has been used. Freimer et al. (2012) studied the impact of sampling methods: antithetic variates and Latin Hypercube sampling, on the bias and variance reduction in a two-stage stochastic linear program for a newsvendor problem. The first-stage solution is to choose the order quantity, while the second-stage solution decides on how much of the available stock after demand has been realized. The results show that both sampling method are effective at reducing variance, however LHS sampling approach outperforms the antithetic variates method in both bias and variance reduction.

K.R.M dos Santos et al. (2015) presented a benchmark studies that comparing MCS with four modern sampling techniques, including Importance Sampling Monte Carlo, Asymptotic Sampling, Enhanced Sampling, and Subset Simulation. The sampling techniques are combined with three schemes for generating the samples, which consists of Simple Sampling, LHS, and Antithetic Variates Sampling. The results from this paper show that Importance Sampling is extremely efficient for evaluating small failure probabilities but it can be an issue for some problems. Subset Simulation yields very good performance for all problems. Enhanced Sampling has performance better than Asymptotic Sampling. LHS

outperforms Simple Sampling and Antithetic Variates Sampling.

The Latin Hypercube Sampling (LHS) is a stratified-random procedure where samples are obtained from their distributions. The cumulative distribution for each variable is divided into N equiprobable intervals. Assuming that the variables are independent, a value is selected randomly from each interval. (Yushumito et al., 2012).

LHS has been used in various applications, including supply chain network design problem as it becomes a very large and complex problem when disruption is considered (Garcia-Herrerros and Grossmann, 2013). Keyvanshokoo (2015) has applied LHS to generate scenarios for transportation cost. Govindan and Fattahi (2015) used LHS to generate a set of demand scenarios. Yushumito et al., (2012). Deleris et al. (2005) proposed a Monte Carlo based technique to evaluate supply chain network under risks.

From the review, we observe that Monte Carlo Sampling (MCS) is a common and widely used technique for scenario generations, including disruption, in supply chain network design problem. For LHS, it has also been used to generate demand and cost scenarios. However, very few studies have used Latin Hypercube Sampling for generating disruptive scenarios. In this paper, we use LHS technique to generate disruptive scenario for a supply chain network design proposed by Rienkhemaniyom et al. (2016). Then, we compare the solution quality, in terms of variance, and computational time with the original work.

3. SUPPLY CHAIN NETWORK DESIGN

PROBLEM

3.1 Problem description

The original study of a supply chain network design problem proposed in Rienkhemaniyom et al. (2016) involves a two-stage stochastic program for a supply chain network design under facility disruption for a four-stage supply chain which consists of suppliers, manufacturing plants, warehouses, and retailers (as show in Figure 1) under single-product supply chain network environment. The facilities are located around the world. Locations of manufacturing plants and retailers are known, while suppliers and location of warehouses are decisions to be made. The objective function is to maximize the expected profit under facility disruptions. Simulated annealing meta-heuristic algorithm is used to find a good solution, and MCS technique is used for generating disruptive scenarios. In this study, a disruption may occur at any region, which leads to disruption of suppliers, manufacturing plants, or warehouses that are located in the disrupted region. The decision variables are to select the suppliers and the location of warehouses so that the expected profit of the supply chain is maximized.

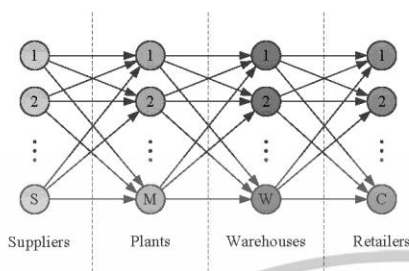


Figure 1. Supply chain network

3.2 Mathematical model

The two-stage stochastic programming model of a supply chain network design problem that proposed in Rienkhemaniyom et al. (2016) can be summarized as follows.

Notation:

Sets

- S Set of suppliers
- M Set of manufacturing plants
- W Set of warehouses
- C Set of retailers
- L Set of warehouse capacities
- K Set of disruptive scenarios

Indices

- s Index of suppliers, $s \in S$
- m Index of manufacturing plants, $m \in M$
- w Index of warehouses, $w \in W$
- c Index of retailer, $c \in C$
- l Index of warehouse capacities, $l \in L$
- k Index of disruptive scenarios, $k \in K$

Parameter

- cap_m Production capacity at manufacturing plant m
- cap_s Capacity at supplier s
- cap_w^l Capacity at warehouse w of size l
- d_c Demand for products at retailer c
- msm Minimum transportation quantity form supplier s to manufacturer m
- f_w^l Fixed cost of opening a warehouse w of capacity l
- pm_{sm} Purchasing cost of material from supplier s by plant m
- tr_{mw} Transportation cost per unit from plant m to warehouse w
- tr_{wc} Transportation cost per unit from warehouse w to retailer c
- pc_m Production cost for a product at plant m
- np Price of a product

ls_c Lost sales cost at retailer c

Random Parameters

- $\alpha_{sk} = \begin{cases} 1 & \text{if supplier } s \text{ is operated in scenario } k \\ 0 & \text{if a disruption occurs at supplier } s \text{ in scenario } k \end{cases}$
- $\delta_{wk} = \begin{cases} 1 & \text{if warehouse } w \text{ is operated in scenario } k \\ 0 & \text{if a disruption occurs at warehouse } w \text{ in scenario } k \end{cases}$
- $\beta_{mk} = \begin{cases} 1 & \text{if plant } m \text{ is operated in scenario } k \\ 0 & \text{if a disruption occurs at plant } m \text{ in scenario } k \end{cases}$
- p_k The probability of disruption occurs in scenario k

First-stage Decision Variables

- $x_w^l = \begin{cases} 1 & \text{if warehouse } w \text{ is operated with size } l \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$
- $y_s = \begin{cases} 1 & \text{if supplier } s \text{ is selected} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$

Second-stage Decision Variables

- QSM_{smk} Quantity of raw material purchased from supplier s by plant m in scenario k
- QMW_{mwk} Quantity of products shipped from plant m to warehouse w in scenario k
- QWC_{wck} Quantity of products shipped from warehouse w to retailer c in scenario k
- LD_{ck} Quantity of sales lost at retailer c in scenario k

3.2.1 Objective Function

The objective is to maximize the expected supply chain profit (Z) which is the difference between the total cost and the expected revenue. The first-stage cost is the fixed cost of opening warehouse and the second-stage cost is the difference of the expected revenue and operation costs.

$$\text{Maximize } Z = - \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} f_w^l x_w^l + \sum_{k \in K} p_k \left[np \left(\sum_{w \in W} \sum_{c \in C} QWC_{wck} \right) - \left(\sum_{s \in S} \sum_{m \in M} pm_{sm} QSM_{smk} \right) - \left(\sum_{m \in M} \sum_{w \in W} tr_{mw} QMW_{mwk} + \sum_{w \in W} \sum_{c \in C} tr_{wc} QWC_{wck} \right) - \sum_{m \in M} pc_m \left(\sum_{w \in W} QMW_{mwk} \right) - \sum_{c \in C} ls_c LD_{ck} \right] \quad (1)$$

3.2.2 Constraints

Supplier capacity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{m \in M} QSM_{smk} \leq cap_s \alpha_{sk} y_s, \quad \forall s \in S, k \in K \quad (2)$$

Inter-stage flow

$$msm \cdot \alpha_{sk} y_s \leq QSM_{smk} \leq cap_s \alpha_{sk} y_s, \quad \forall s \in S, k \in K \quad (3)$$

Production capacity

$$\sum_{w \in W} QMW_{mwk} \leq cap_m \beta_{mk}, \quad \forall m \in M, k \in K \quad (4)$$

Material flow between suppliers and plants

$$\sum_{s \in S} QSM_{smk} = \sum_{w \in W} QMW_{mwk}, \quad \forall m \in M, k \in K \quad (5)$$

Warehouse capacity

$$\sum_{m \in M} QMW_{mwk} \leq \sum_{l \in L} cap_w \delta_{wk} x_w^l, \quad \forall w \in W, k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{l \in L} x_w^l \leq 1, \quad \forall w \in W \quad (7)$$

Product flow between warehouse and retailers

$$\sum_{m \in M} QMW_{mwk} = \sum_{c \in C} QWC_{wck}, \quad \forall w \in W, k \in K \quad (8)$$

Demand requirement

$$\sum_{w \in W} QWC_{wck} + LD_{ck} = d_c, \quad \forall c \in C, k \in K \quad (9)$$

Non-negativity

$$QSM_{smk}, QMW_{mwk}, QWC_{wck}, LD_{ck} \geq 0 \quad (10)$$

For disruptive scenarios, the authors use the number of disasters from the Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED (<http://www.emdat.be/>). The number of disasters occurred in each region is used to estimate the occurrence or probability of disruption (as shown in Table 1). Hence, this probability will be used for generating disruptive scenarios by LHS.

Table 1. Number of disasters reported during 1966-2015.

Region	Number of disasters	Probability of occurrence
Africa	3,954	0.2
Asia	8,560	0.42
Australia	628	0.03

Europe	2,576	0.13
North America	2,575	0.13
South America	1,923	0.09

3.3 Solution Methodology

A simulated annealing meta-heuristic algorithm (SA) is applied in Rienkhemaniyom et al. (2016) for finding the solution. The first-stage solution is obtained outside the model, and the second-stage solution is obtained by re-optimizing the associated second-stage problem from a given first-stage solution. In this study LHS technique is used to construct the sample average problem instead of solving problem with all possible scenarios. This technique is known as the sample average approximation (SAA) technique in A. Shapiro (2003). The solver CPLEX is used to solve the second-stage sample average problem in order to estimate the objective function value. The general framework of the algorithm is showed in Figure 2

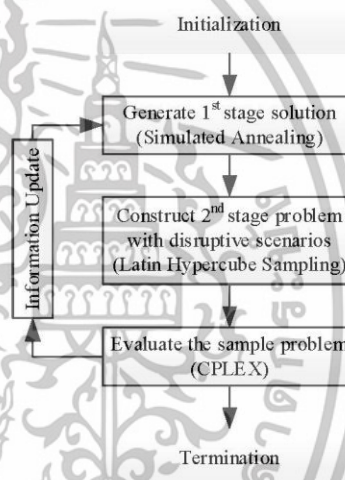


Figure 2. The general framework of the proposed methodology

3.3.1 Simulated Annealing

Simulated annealing (SA) is a probabilistic technique for solving global optimization problem in Aarts et al. (2005). The algorithm has inspiration come from annealing in metallurgy, a thermal process involving heating and controlled cooling of a solid for the particles to arrange themselves in the ground state.

Parameter	
r	Index of iterations
c_r	Control parameter at iteration
c_0	Initial value of the control parameter
c_{min}	Minimum value of the control parameter
a, b	First-stage solution vectors
T	Number of solution evaluated in each iteration
N	Sample size (the number of sampled scenarios)
\hat{Z}_N	Estimate of the objective function value by using sample size N
P	The probability vector of the first-stage variables (x and y)
U	Random number in $[0, 1)$
ρ	Coefficient of the control parameter update
λ	Coefficient of the probabilities update

$$\exp\left(\frac{\hat{Z}_N(b) - \hat{Z}_N(a)}{c_r}\right) \quad (11)$$

The parameters ρ, λ, c_0, T, N and the probability vector P are initialize parameters. The algorithm generates a feasible first-stage solution vector from the probability vector P . In each iteration, the algorithm will search for a better solution. The objective values are compared between current solution a and new solution b . The new solution b will be accepted if its objective value is better than the current objective values or if the probability of acceptance in Equation (11) is greater than a randomly generated number U . The control parameter c_r plays the role of temperature control in the cooling progress, which controls the probability of accepting solution in the algorithm. The value of c_r is decreased by a factor of ρ in each iteration, which reducing the chance of accepting worse solutions. At the end of each iteration, the probability vector is updated from the current solution vector. The algorithm terminates when c_r is less than a given value c_{min} .

4. LATIN HYPERCUBE SAMPLING

LHS technique was introduced by McKay et al. (1979). It is one of the sampling techniques that has been used in computer experiment for finding simulation solution. In this study, we use LHS to generate disruptive scenarios to ensure that all disruptive scenarios will be occurred in each input variables. Due to the advantages of LHS technique, we expect to obtain solutions that have a smaller standard deviation of the sample mean compared to those from the MCS technique in the original paper.

4.1 Latin Hypercube Design

A Latin hypercube design (LHD) with N samples and S input variables, denoted by $LHD(N, S)$, is an $N \times S$ matrix (i.e. a matrix with N rows and S columns). Hence, a LHS can be

generated by the following steps.

Step 1. The matrix $P(N, S)$ was generated, which each column of matrix P consists of a random permutation of the integer 1 to N .

$$P(N, S) = \begin{bmatrix} p_{1,1} & \dots & p_{1,S} \\ \vdots & & \vdots \\ p_{N,1} & \dots & p_{N,S} \end{bmatrix}$$

Step 2. The random numbers in Monte Carlo methods (Simply random sampling) $u_{k,j} \sim U(0, 1), k = 1, \dots, N, j = 1, \dots, S$ which are mutually independent are generated to form the matrix $U(N, S)$.

$$U(N, S) = \begin{bmatrix} u_{1,1} & \dots & u_{1,S} \\ \vdots & & \vdots \\ u_{N,1} & \dots & u_{N,S} \end{bmatrix}$$

Step 3. The matrix $L(N, S)$ was generated from Equation (12), and this matrix is used for generating the disruptive scenarios.

$$L(N, S) = \frac{1}{N} [P(N, S) - U(N, S)] \quad (12)$$

Figure 3 shows a scatter plot of MCS for sample size $N = 40$ with two input variables. There is no pattern of points in each row and each column. The portions of its range are not represented in each of the input variables.

Figure 4 shows a scatter plot of LHS for sample size $N = 40$. We can see that each row and each column contain eight points, and the points are uniformly distributed in the corresponding row and column. It shows that each input variables has all portions of its range covered. For sample size $N = 40$, when dividing the sample space of LHS into ten regions, each region will contain exactly four points.

In this study, LHS technique is used to draw N samples from the set of original scenarios K . The objective function value Z in Equation (1) is estimated by substituting the first-stage solution obtained from SA, and then the sample average second-stage problem is constructed by using LHS technique. The random vector in the model is replaced by the sampled scenarios, and the probability p_k is changed to $1/N$ in the objective function. The resulting sample average problem is then solved by using CPLEX.

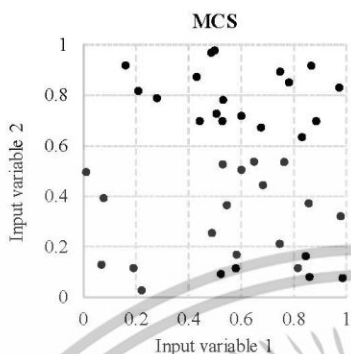


Figure 3. Scatter plot of samples generated by MCS

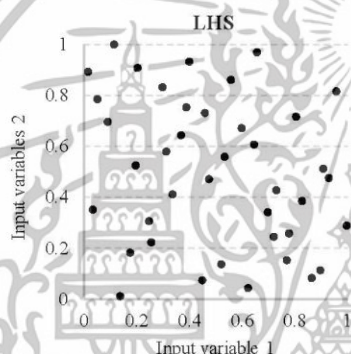


Figure 4. Scatter plot of samples generated by LHS

5. RESULTS AND DISCUSSIONS

Table 2 presents a summary of comparison of the supply chain profit values under disruptive scenarios between the MCS and our proposed LHS sampling from running 10 experiment trials in different cases. In most cases, the LHS provides better objective values and smaller standard deviations compared to the MCS. For example, at $N = 50$, the LHS sampling method yields a standard deviation of profit of \$281,123.69, while it requires $N = 100$ for the MCS method to achieve the similar result (the standard deviation of profit under MCS sampling method is \$293,121.62). When considering disruption with sample size 100, the MCS technique has an average profit value \$9,833,097.05, and the standard deviation of profit value is \$293,121.62. On the other hand, the supply chain network solutions from the LHS has an average profit value \$10,023,344.56, and the standard deviation of profit value is \$239,643.36. The results show that the standard deviation of solution when using LHS with sample size 100 can be reduced by 18.24 percent, and the average profit value is also improved, but it is not significantly different.

6. CONCLUSION

This paper presents an application of LHS technique in a supply chain network design problem. LHS is used to generate disruptive scenarios. The results show that the standard deviations of solutions are reduced as compared to the results from the MCS technique when using the same sample size as in Rienkhemaniyom et al. (2016). In solving large stochastic programming model for a supply chain network problem, LHS is an effective sampling technique that could provide good solutions while using small sample sizes. In future study, we will consider other new sampling techniques to reduce sample sizes and standard such as Optimal Latin Hypercube Sampling technique to generate disruptive scenarios.

Table 2: Comparison of objective values between two sampling techniques with different sample sizes

Sampling technique	Objective values	N = 20	N = 50	N = 100
		Average	11,723,298.14	10,370,222.87
	Standard deviation	472,645.30	382,156.18	293,121.62
	Average	11,897,192.75	10,366,350.96	10,023,344.56
	Standard deviation	400,506.95	281,123.69	239,643.36
	Average Difference	1.48%	-0.04%	1.93%
	Standard deviation Difference	-15.26%	-26.44%	-18.24%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REFERENCES

- Aarts, E., J. Korst, W. Michiels (2005) Simulated annealing. *Search methodologies*, Springer, 187-210.
- Deleris, L. A., & Erhun, F. (2005, December). Risk management in supply networks using monte-carlo simulation. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005*. (pp. 7-pp). IEEE.
- Fang K.T., Runze Li, Agus Sudjianto (2006) *Latin Hypercube Sampling and Its Modifications*. Design and Modeling for Computer Experiments, Taylor & Francis Group, 47-51.
- Fattahi, M., Mahootchi, M., Moattar Hussein, S. M., Keyvanshokoh, E., & Alborzi, F. (2014). Investigating replenishment policies for centralised and decentralised supply chains using stochastic programming approach. *International Journal of Production Research*, 1-29.
- Freimer, M.B., Jeffrey T. Linderoth, Douglas J. Thomas (2012) The impact of sampling methods on bias and variance in stochastic linear programs. *Computational Optimization & Applications*, 51, 51-75
- Garcia-Herreros, P., Wassick, J.M., and Grossmann, I.E. (2013). Design of resilient supply chains using sample average approximation (SAA). *International Conference on Stochastic Programming*, July 2013, Italy.
- Govindan, K., and Fattahi, M. (2015). Investigating risk and robustness measures for supply chain network design under demand uncertainty. A case study of glass supply chain. *International Journal of Production Economics*.
- Keyvanshokoh, E. (2015). Hybrid robust and stochastic optimization for closed-loop supply chain network design using accelerated Benders decomposition. *Graduate Theses and Dissertations*. Iowa State University.
- K.R.M. dos Santos, A. T. Back (2015) A benchmark study on intelligent sampling techniques in Monte Carlo simulation. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 12, 624-248
- Olsson, A., Sandberg, G., & Dahlblom, O. (2003). On Latin hypercube sampling for structural reliability analysis. *Structural Safety*, 25, 47-68.
- Rienkhemaniyom, K., C. Yuangyai, U. Janjarassuk. (2016) Two-stage stochastic program for supply chain network design under facility disruptions. Working paper.
- Shapiro, A. (2003) Monte Carlo sampling methods. *Handbooks in operations research and management science*, 10, 353-425.
- Shi, W., Liu, Z., Shang, J., & Cui, Y. (2013). Multi-criteria robust design of a JIT-based cross-docking distribution center for an auto parts supply chain. *European Journal of Operational Research*, 229, 695-706.
- Yushimoto, W. F., Jaller, M., & Ukkusuri, S. (2012). A Voronoi-based heuristic algorithm for locating distribution centers in disasters. *Networks and Spatial Economics*, 12(1), 21-39.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายกันตพิชญ์ แก้วสุวรรณ
วัน เดือน ปีเกิด	22 มิถุนายน 2533 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	111/1 ซอยอ่อนนุช 40 ถนนสุขุมวิท 77 แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250
ประวัติการศึกษา	2555 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2557	Radio Frequency Engineer บริษัท หัวเว่ย เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด
ปัจจุบัน	ผู้จัดการงานวิเคราะห์และพัฒนาเครื่องมือความเสี่ยงเครดิตลูกค้าธุรกิจ ธนาคารกสิกรไทย
ผลงานทางวิชาการ	
	Kaewsuwan K., Janjarassuk U., Rienkhemaniyom K., Yuangyai C. “Using Latin Hypercube Sampling to Improve Solution for a Supply Chain Network Design Problem” <i>Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference</i> , 2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้