

ตัวแบบจำลองการสับไฟโดยการแจกแจงเบตาภายใต้เกณฑ์คะแนนความเรียงลำดับ

นายภาณุพงศ์ ภู่อระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

SIMULATION MODEL FOR CARD SHUFFLING BY BETA DISTRIBUTION  
UNDER SEQUENCING-SCORE CRITERIA

Mr. Phanupong Phutrakool

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Statistics

Department of Statistics

Faculty of Commerce and Accountancy

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ตัวแบบจำลองการสับไฟโดยการแจกแจงเบตาภายใต้

เกณฑ์คะแนนความเรียงลำดับ

โดย

นายภานุพงศ์ ภูตระกูล

สาขาวิชา

สถิติ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร.อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดิ์

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พสุ เดชะรินทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพร วีระถาวร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(อาจารย์ ดร.อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดิ์)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.อนันตณัฐ กันต์ธัญญรัตน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ เทียนสุวรรณ)

ภาณุพงศ์ ภูตระกูล: ตัวแบบจำลองการสับไพ่โดยการแจกแจงเบตาภายใต้เกณฑ์คะแนนความเรียงลำดับ. (SIMULATION MODEL FOR CARD SHUFFLING BY BETA DISTRIBUTION UNDER SEQUENCING-SCORE CRITERIA) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ.ดร.อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดิ์, 148 หน้า.

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงจำนวนครั้งในการสับไพ่เพื่อให้ไพ่มีความเป็นสุ่มจึงได้จำลองการสับไพ่แบบ The Stripping หรือ Overhand shuffle โดยกำหนดรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่มีกการแจกแจงแบบเบตา(Beta Distribution) และการแจกแจงของความหนาของการสับไพ่มีกการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง(Discrete Uniform Distribution) ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวแบบของการสับไพ่ โดยการจำลองตัวแบบทั้งหมด 9 ตัวแบบด้วย การทำซ้ำ 10,000 ครั้งในแต่ละตัวแบบ และใช้ค่าระดับความสุ่ม(Randomness level) ของสำรับไพ่ด้วยเกณฑ์ความเรียงลำดับ (Sequencing-score criteria) ในการเปรียบเทียบ ผู้วิจัยได้นิยาม ค่าระดับความสุ่มของไพ่

$$R(P_k) = \left( 1 - \frac{S(P_k)}{\text{No. of card}} \right) \times 100\% \quad \text{เมื่อ } R(P_k) \text{ คือ ระดับความสุ่มของสำรับไพ่ } S(P_k) \text{ คือ}$$

ความเรียงลำดับที่มีค่ามากที่สุดของสำรับไพ่ และ  $P_k$  คือฟังก์ชันลำดับของไพ่หลังจากการสับไพ่ในการสับไพครั้งที่  $k$  โดยที่  $k = 5, 6, \dots, 40$  เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบตัวแบบจำลองทั้ง 9 ตัวแบบ ผลการวิจัยพบว่า สำหรับเกณฑ์ระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ 80% ตัวแบบของผู้สับไพ่เลือกการสับไพ่วางและมีความหนาของการสับไพ่วางเป็นแบบที่ดีที่สุดและมีจำนวนครั้งให้น้อยที่สุดคือ 7 ครั้ง สำหรับเกณฑ์ระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ 85% และ 90% ตัวแบบของผู้สับไพ่วางเลือกการสับไพ่วางและมีความหนาของการสับไพ่วางเป็นแบบที่ดีที่สุดและมีจำนวนครั้งให้น้อยที่สุดคือ 10 ครั้ง และ 19 ครั้ง ตามลำดับ และสำหรับเกณฑ์ระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ 95% นั้น ไม่มีตัวแบบที่ทำให้ไพ่วางระดับความสุ่มอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เลย

ภาควิชา..... สถิติ..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา..... สถิติ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา..... 2555.....

## 5381864926: MAJOR STATISTICS

KEYWORDS: SHUFFLE A DECK OF CARD/ RANDOMNESS LEVEL/ BETA DISTRIBUTION

PHANUPONG PHUTRAKOOL: SIMULATION MODEL FOR CARD SHUFFLING BY BETA DISTRIBUTION UNDER SEQUENCING-SCORE CRITERIA. ADVISOR: ANUPAP SOMBOONSAVATDEE, Ph.D., 148 pp.

The purpose of this research is to study the appropriate number of times one should shuffle a deck of cards to achieve a certain level of randomness. In this study, we simulate the Stripping or Overhand shuffling with the assumption that the cut-position is beta-distributed and the thickness of shuffling is discrete-uniform-distributed. Nine models of different combinations of the cut-positions and the thicknesses of shuffling are studied with the simulation size of 10,000 and the results are compared using the randomness level

$$R(P_k) = \left( 1 - \frac{S(P_k)}{\text{No. of card}} \right) \times 100\% , \text{ where } R(P_k) \text{ is the randomness level, } S(P_k) \text{ is}$$

the maximum sequencing-score, and  $P_k$  is the order function after shuffling at the  $k^{th}$  shuffling with  $k = 5, 6, \dots, 40$  for all comparisons. From the study, with the acceptable randomness level of 80 percent, the middle-card-moderate-thickness model gives the best result with the minimum number of shuffling of 7. For the acceptable randomness level of 85 percent and of 90 percent, the under-card-low-thickness model gives the best result with minimum number of shuffling as 10 and 19, respectively. However, no models can achieve the acceptable randomness level of 95 percent or more.

Department:..... Statistics..... Student's Signature.....

Field of Study:..... Statistics..... Advisor's Signature.....

Academic Year :..... 2012.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร.อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ สั่งสอนและให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพร วีระถาวร ประธานกรรมการ อาจารย์ ดร.อนันตณัฐ กันต์ธัญญวัฒน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ เทียนสุวรรณ ผู้เป็นกรรมการ ที่ช่วยตรวจสอบและแก้ไข วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ แก่ผู้วิจัยจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ทำยนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย และกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ตลอดจนทุกคนในครอบครัวซึ่งสนับสนุนและให้กำลังใจเสมอ มาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	5
1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและตัวสถิติที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ทฤษฎีพื้นฐาน.....	7
2.2 การแจกแจงที่ใช้ในการวิจัย.....	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	11
3.1 แผนการดำเนินการวิจัย.....	11
3.2 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย.....	12
3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	25

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	28
4.1 สรุปผลการทดลองเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับความสับสนทั้ง 9 ตัวแบบ.....	28
4.1.1 ตัวแบบที่ 1 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของ การสับไฟแบบนี้.....	28
4.1.2 ตัวแบบที่ 2 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของ การสับไฟแบบกลาง.....	34
4.1.3 ตัวแบบที่ 3 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของ การสับไฟแบบมาก.....	40
4.1.4 ตัวแบบที่ 4 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของ การสับไฟแบบนี้.....	46
4.1.5 ตัวแบบที่ 5 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของ การสับไฟแบบกลาง.....	52
4.1.6 ตัวแบบที่ 6 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของ การสับไฟแบบมาก.....	58
4.1.7 ตัวแบบที่ 7 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของ การสับไฟแบบนี้.....	64
4.1.8 ตัวแบบที่ 8 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของ การสับไฟแบบกลาง.....	70
4.1.9 ตัวแบบที่ 9 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของ การสับไฟแบบมาก.....	76
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสับสนกับ ความหนาของการสับไฟ.....	82
4.2.1 ตัวแบบที่ 1 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของ การสับไฟแบบนี้.....	82
4.2.2 ตัวแบบที่ 2 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของ การสับไฟแบบกลาง.....	83



สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2.3	ตัวแบบที่ 3 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก.....	84
4.2.4	ตัวแบบที่ 4 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบนี้.....	85
4.2.5	ตัวแบบที่ 5 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง.....	86
4.2.6	ตัวแบบที่ 6 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก.....	87
4.2.7	ตัวแบบที่ 7 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบนี้.....	88
4.2.8	ตัวแบบที่ 8 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง.....	89
4.2.9	ตัวแบบที่ 9 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก.....	90
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	91
5.1	สรุปผลการวิจัยโดยใช้เกณฑ์จำนวนครั้งที่น้อยที่สุด.....	91
5.2	สรุปผลการวิจัยโดยใช้เกณฑ์เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสูง.....	95
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	97
5.3.1	ด้านการนำไปใช้ประโยชน์.....	97
5.3.2	ด้านการศึกษาวิจัย.....	98
	รายการอ้างอิง.....	101
	ภาคผนวก.....	102
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	148

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงค่า $E(X), Var(X)$ และรูปแบบการแจกแจงของตัวแปรสุ่มของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ.....	16
3.2 แสดงรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟและความหนาของการสับไฟตัวแบบที่ 1 - 9.....	23
4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่ม, ความแปรปรวนของระดับความสุ่ม, 2.5 <sup>th</sup> Percentile, 97.5 <sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 1 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	28
4.2 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 1 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	31
4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่ม, ความแปรปรวนของระดับความสุ่ม, 2.5 <sup>th</sup> Percentile, 97.5 <sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 2 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	34
4.4 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 2 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	37
4.5 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่ม, ความแปรปรวนของระดับความสุ่ม, 2.5 <sup>th</sup> Percentile, 97.5 <sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 3 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	40
4.6 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 3 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	43
4.7 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่ม, ความแปรปรวนของระดับความสุ่ม, 2.5 <sup>th</sup> Percentile, 97.5 <sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 4 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	46
4.8 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 4 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	49

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5 <sup>th</sup> Percentile, 97.5 <sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 5 เมื่อทำการสับไฟ ตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	52
4.10 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 5 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	55
4.11 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5 <sup>th</sup> Percentile, 97.5 <sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 6 เมื่อทำการสับไฟ ตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	58
4.12 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 6 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	61
4.13 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5 <sup>th</sup> Percentile, 97.5 <sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 7 เมื่อทำการสับไฟ ตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	64
4.14 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 7 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	67
4.15 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5 <sup>th</sup> Percentile, 97.5 <sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 8 เมื่อทำการสับไฟ ตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	70
4.16 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 8 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	73
4.17 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5 <sup>th</sup> Percentile, 97.5 <sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 9 เมื่อทำการสับไฟ ตั้งแต่ 5-40 ครั้ง.....	76

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.18 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความถี่ที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 9 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง	79
4.19 แสดงค่า $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ , $E[\% \Delta]$ และ $Var[\% \Delta]$ ของตัวแบบที่ 1 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง	82
4.20 แสดงค่า $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ , $E[\% \Delta]$ และ $Var[\% \Delta]$ ของตัวแบบที่ 2 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง	83
4.21 แสดงค่า $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ , $E[\% \Delta]$ และ $Var[\% \Delta]$ ของตัวแบบที่ 3 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง	84
4.22 แสดงค่า $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ , $E[\% \Delta]$ และ $Var[\% \Delta]$ ของตัวแบบที่ 4 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง	85
4.23 แสดงค่า $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ , $E[\% \Delta]$ และ $Var[\% \Delta]$ ของตัวแบบที่ 5 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง	86
4.24 แสดงค่า $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ , $E[\% \Delta]$ และ $Var[\% \Delta]$ ของตัวแบบที่ 6 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง	87
4.25 แสดงค่า $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ , $E[\% \Delta]$ และ $Var[\% \Delta]$ ของตัวแบบที่ 7 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง	88
4.26 แสดงค่า $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ , $E[\% \Delta]$ และ $Var[\% \Delta]$ ของตัวแบบที่ 8 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง	89
4.27 แสดงค่า $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ , $E[\% \Delta]$ และ $Var[\% \Delta]$ ของตัวแบบที่ 9 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง	90
5.1 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนของระดับความถี่ของไฟ และจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าระดับความถี่ของไฟอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ 80 เปอร์เซนต์ ของตัวแบบที่ 1-9	92

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.2	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนของระดับความสุ่มของไฟ และจำนวนครั้ง ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าระดับความสุ่มของไฟอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ 85 เปอร์เซ็นต์ ของตัวแบบที่ 1-9.....	93
5.3	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนของระดับความสุ่มของไฟ และจำนวนครั้ง ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าระดับความสุ่มของไฟอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ 90 เปอร์เซ็นต์ ของตัวแบบที่ 1-9.....	94
5.4	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนของระดับความสุ่มของไฟ และจำนวนครั้ง ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าระดับความสุ่มของไฟอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ 95 เปอร์เซ็นต์ ของตัวแบบที่ 1-9.....	95
5.5	แสดงค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสุ่ม ของไฟในการสับไฟครั้งที่ $k$ .....	96

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงการสับไพ่แบบ The all overhand shuffle.....	3
1.2 แสดงการสับไพ่แบบ The some overhand shuffle.....	3
3.1 แสดง pdf. ของการแจกแจงแบบ <i>Beta</i> (4.4375,13.3125).....	13
3.2 แสดง pdf. ของการแจกแจงแบบ <i>Beta</i> (12,12).....	14
3.3 แสดง pdf. ของการแจกแจงแบบ <i>Beta</i> (13.3125,4.4375).....	15
3.4 แสดงการสับไพ่ครั้งที่ 1 แบบ The some overhand shuffle ที่ค่า $L_1(i) = l$ และ $T[2]_l(i) = t$ .....	20
3.5 แสดงการสับไพ่ครั้งที่ 1 แบบ The some overhand shuffle ที่ค่า $L_1(i) = l$ และ $T[2]_l(i) = t$ .....	20
3.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในการศึกษาความสัมพันธ์ของ ค่าระดับความสุ่มในตัวแบบที่ 1.....	26
4.1 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไพ่เลือกการสับไพ่ ส่วนบนและมีความหนาของการสับไพ่น้อย (ตัวแบบที่ 1).....	30
4.2 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 1 ผู้สับไพ่เลือกการสับไพ่น้อย และมีความหนาของการสับไพ่น้อย เมื่อทำการสับไพ่ทั้งหมด $k$ ครั้ง.....	33
4.3 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไพ่เลือกการสับไพ่ ส่วนบนและมีความหนาของการสับไพ่แบบกลาง (ตัวแบบที่ 2).....	36
4.4 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 2 ผู้สับไพ่เลือกการสับไพ่น้อย และมีความหนาของการสับไพ่แบบกลาง เมื่อทำการสับไพ่ทั้งหมด $k$ ครั้ง.....	39
4.5 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไพ่เลือกการสับไพ่ ส่วนบนและมีความหนาของการสับไพ่แบบมาก(ตัวแบบที่ 3).....	42

### สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.6 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสูงที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เพอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 3 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบน และมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด $k$ ครั้ง.....	45
4.7 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสูงของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย(ตัวแบบที่ 4).....	48
4.8 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสูงที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เพอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 4 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลาง และมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด $k$ ครั้ง.....	51
4.9 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสูงของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง(ตัวแบบที่ 5).....	57
4.10 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสูงที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เพอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 5 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลาง และมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด $k$ ครั้ง.....	55
4.11 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสูงของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก(ตัวแบบที่ 6).....	60
4.12 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสูงที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เพอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 6 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลาง และมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด $k$ ครั้ง.....	63
4.13 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสูงของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย(ตัวแบบที่ 7).....	66
4.14 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสูงที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เพอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 7 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่าง และมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด $k$ ครั้ง.....	69

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.15	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง(ตัวแบบที่ 8).....72
4.16	กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 8 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่าง และมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด $k$ ครั้ง.....75
4.17	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก (ตัวแบบที่ 9).....78
4.18	กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 9 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่าง และมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด $k$ ครั้ง.....81



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไฟ คืออุปกรณ์ประเภทหนึ่งที่มีใช้ในการศึกษาความน่าจะเป็นและการเล่นเพื่อความบันเทิง โดยผู้เล่นจะต้องใช้ทักษะหลายด้าน เนื่องจากการเล่นไฟมีหลายมาตรฐานหลายรูปแบบซึ่งใช้ในโอกาสต่างๆกัน แต่รูปแบบที่นิยมที่สุด คือไฟฝรั่ง หรือไฟปอก ซึ่งไฟฝรั่ง 1 ชุดประกอบด้วยไฟที่มีรูปแบบลายพิมพ์แตกต่างกันทั้งหมด 52 ใบ เรียกว่า สำหรับไฟ เมื่อเริ่มทำการเล่นทุกครั้ง ผู้เล่นจะต้องทำการสับไฟ เพื่อให้ลำดับของไฟเป็นไปอย่างสุ่ม ปัญหาคือผู้เล่นจะทราบได้อย่างไรว่า ลำดับของไฟนั้นมีความเป็นสุ่มแล้ว รวมถึงควรกำหนดกฎเกณฑ์อย่างไร เพื่อให้ลำดับของไฟนั้นเป็นไปอย่างสุ่ม

การศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองการสับไฟนั้นเป็นปัญหาที่ได้รับความนิยม และมีผู้ทำวิจัยหลายท่านได้สร้างตัวแบบขึ้นมามากมายเพื่ออธิบายรูปแบบของการสับไฟ เช่น การศึกษาจำนวนครั้งที่ทำการสับไฟเพื่อให้ลำดับของไฟเป็นไปอย่างสุ่ม (Brad Mann 1998) ได้อธิบายถึงการใช่วิธีเรียงสับเปลี่ยนในการศึกษาความเป็นสุ่มของไฟ

วิธีการสับไฟนั้นมีความสำคัญมากประการหนึ่งที่ส่งผลให้ลำดับของไฟเป็นไปอย่างสุ่มและวิธีการสับไฟมีหลายประเภท ผู้วิจัยเลือกวิธี The Stripping หรือ Overhand shuffle ซึ่งประกอบด้วย 2 รูปแบบคือ The all overhand shuffle และ The some overhand shuffle เนื่องจากสามารถทำได้ง่ายที่สุดและไม่ต้องอาศัยทักษะมาก

ทวิศักดิ์ จันทรมณี (2555) ได้เสนอแนวคิดที่ว่า การแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟถูกกำหนดด้วยพฤติกรรมของผู้สับไฟ เช่น การแจกแจงแบบปกติ การแจกแจงแบบเบตา เป็นต้น และพบว่า ปัจจัยของการสับไฟแบบวิธี Overhand shuffle นั้นมี 2 ปัจจัยคือ ตำแหน่งที่ทำการสับไฟ และความหนาของการสับไฟ โดยตำแหน่งที่ทำการสับไฟมีการแจกแจงใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบเบตา และความหนาของการสับไฟมีการแจกแจงใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง

จากเหตุผลที่กล่าวมา ผู้วิจัยศึกษาพบว่า การที่ตำแหน่งของไฟมีการเรียงกันอย่างมีลำดับ ทำให้ไฟนั้นมีความสุ่มลดลง โดยการเรียงลำดับของไฟนั้นมีหลาย order-sequence เช่น

2-order-sequence, 3-order-sequence ไปจนถึง 52-order-sequence ซึ่งก็คือไฟที่มีการเรียงลำดับกันอย่างสมบูรณ์ ดังนั้น การที่ไฟมีการเรียงลำดับกันสูง ยิ่งทำให้ความสับสนลดลงมากขึ้น ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาหาเกณฑ์ใหม่ๆ ที่มีความสามารถในการวัดความละเอียดอ่อนของการเรียงลำดับของไฟตั้งแต่ 2 ใบขึ้นไป เนื่องจากการที่ลำดับของไฟมีการเรียงกันมากกว่า 2 ใบ ควรที่จะทำให้เกิดผลกระทบกับความสับสนของสำรับไฟมากกว่าการที่ลำดับของไฟมีการเรียงกันเพียง 2 ใบ เกณฑ์ความเรียงลำดับจึงเป็นเกณฑ์ใหม่ที่น่าสนใจ และสามารถใช้อตรวจสอบความเป็นสับสนของไฟได้ดีและมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษา และเปรียบเทียบถึงตัวแบบการสับไฟเฉพาะบุคคล ณ ตำแหน่งที่ทำการสับไฟ สำหรับการแจกแจงแบบเบตาที่มีค่าพารามิเตอร์แตกต่างกัน

1.2.2 เปรียบเทียบตัวแบบการสับไฟแบบ The Stripping หรือ Overhand shuffle ซึ่งประกอบด้วย 2 รูปแบบคือ The all overhand shuffle และ The some overhand shuffle

1.2.3 เพื่อหาจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการสับไฟเฉพาะบุคคล ณ ตำแหน่งที่ทำการสับไฟ สำหรับการแจกแจงแบบเบตาที่มีค่าพารามิเตอร์แตกต่างกัน เพื่อให้ลำดับของไฟนั้นมีความเป็นสับสน

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบระดับความสับสนที่ยอมรับได้

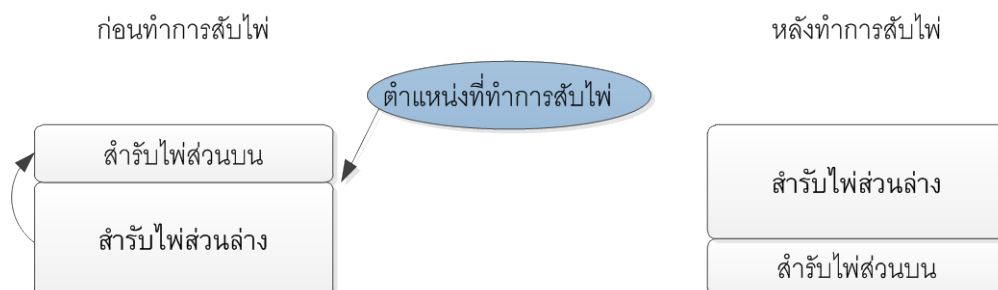
## 1.3 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

1.3.1 สำรับไฟ (A deck of cards) คือ ชุดของไฟที่มีรูปแบบลายพิมพ์แตกต่างกันทั้งหมด 52 ใบ ประกอบด้วยไฟ 4 ชุดสัญลักษณ์ โดยจะเรียงจากชุดสัญลักษณ์ ดอกจิก, ข้าวหลามตัด, โพธิ์แดง และโพธิ์ดำ ตามลำดับ ในแต่ละชุดสัญลักษณ์จะประกอบด้วยแต้ม Ace, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, Jack, Queen และ King ตามลำดับ

1.3.2 การสับไฟแบบ The Stripping หรือ Overhand shuffle มี 2 รูปแบบคือ The all overhand shuffle และ The some overhand shuffle

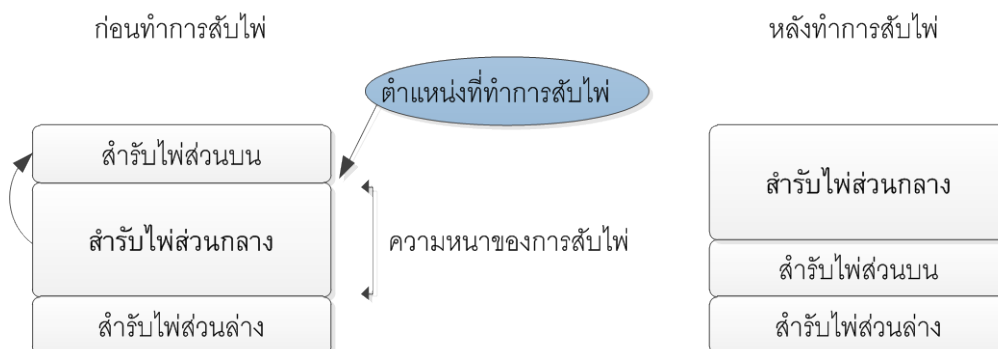
1.3.2.1 The all overhand shuffle หมายถึง ทำการตัดไฟ ณ ตำแหน่งที่ต้องการสับไฟ โดยแบ่งสำรับไฟออกเป็น สำรับไฟส่วนบน และสำรับไฟส่วนล่าง จากนั้น นำสำรับไฟส่วนล่างทั้งหมดมาวางทับบนสำรับไฟส่วนบน ถือเป็นการสับไฟ 1 ครั้ง ดังแสดงในรูปภาพที่ 1.1

รูปภาพที่ 1.1 แสดงการสับไฟแบบ The all overhand shuffle



1.3.2.2 The some overhand shuffle หมายถึง ทำการตัดไฟ โดยแบ่งสำหรับไฟ ออกเป็น ส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่าง หลังจากนั้น นำสำหรับไฟส่วนกลางทั้งหมดมาวางทับบน สำหรับไฟส่วนบน ถือเป็นการสับไฟ 1 ครั้ง ดังแสดงในรูปภาพที่ 1.2

รูปภาพที่ 1.2 แสดงการสับไฟแบบ The some overhand shuffle



1.3.3 พฤติกรรมของผู้สับไฟ (Behavior of player) หมายถึง รูปแบบการแจกแจงของการสับไฟเฉพาะบุคคล ซึ่งประกอบด้วย 2 ปัจจัยคือ ตำแหน่งที่ทำการสับไฟ และความหนาของการสับไฟ

1.3.4 ตำแหน่งที่ทำการสับไฟ (Cut position) หมายถึง ตำแหน่งบนสุดของไฟที่ผู้สับไฟ เลือกตัดไฟ และนำมาวางทับบนสำหรับไฟส่วนบน สำหรับการสับไฟแบบ The Stripping หรือ Overhand shuffle ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ **Beta** สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1.3.4.1 การสับไฟส่วนบน หมายถึง รูปแบบของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ **Beta**(4.4375,13.3125)

1.3.4.2 การสับไพ่ส่วนกลาง หมายถึง รูปแบบของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ *Beta* (12,12)

1.3.4.3 การสับไพ่ส่วนล่าง หมายถึง รูปแบบของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ *Beta* (13.3125,4.4375)

หมายเหตุ การแจกแจงแบบ *Beta* ( $\alpha, \beta$ ) ประกอบด้วยพารามิเตอร์  $\alpha$  (พารามิเตอร์สัดส่วน) และพารามิเตอร์  $\beta$  (พารามิเตอร์มาตราส่วน) รายละเอียดอยู่ในหัวข้อที่ 3.2.1

1.3.5 ความหนาของการสับไพ่ (Thickness of the shuffling) หมายถึง จำนวนของไพ่สำหรับกลาง ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง สำหรับ The some overhand shuffle เท่านั้น แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1.3.5.1 ความหนาของการสับไพ่แบบน้อย หมายถึง จำนวนของไพ่สำหรับกลาง ตั้งแต่ 1 ถึง 8 ใบ

1.3.5.2 ความหนาของการสับไพ่แบบกลาง หมายถึง จำนวนของไพ่สำหรับกลาง ตั้งแต่ 9 ถึง 17 ใบ

1.3.5.3 ความหนาของการสับไพ่แบบมาก หมายถึง จำนวนของไพ่สำหรับกลาง ตั้งแต่ 18 ถึง 26 ใบ

1.3.6 ระดับความสุ่ม (Randomness level) ของสับไพ่ด้วยเกณฑ์ความเรียงลำดับ หมายถึง มาตรฐานวัดความสุ่มของการเรียงลำดับของไพ่

หมายเหตุ ระดับความสุ่ม รายละเอียดอยู่ในหัวข้อที่ 3.2.3

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 สนใจศึกษาไพ่ออกหรือไพ่วิ่ง 1 ชุด ซึ่งมีจำนวนไพ่ทั้งหมด 52 ใบ

1.4.2 ทำการสับไพ่ตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

1.4.3 ศึกษาพฤติกรรมของผู้สับไพ่แบบ Stripping หรือ Overhand shuffle ซึ่งประกอบด้วย The all overhand shuffle และ The some overhand shuffle

1.4.4 พิจารณาตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ (Cut position) สำหรับ การสับไพ่แบบ The all overhand shuffle และ The some overhand shuffle ที่มีการแจกแจงแบบ *Beta* ที่มีพารามิเตอร์ ( $\alpha, \beta$ )

1.4.5 พิจารณาความหนาของการสับไพ่ (Thickness of the shuffling) สำหรับการสับไพ่แบบ The some overhand shuffle เท่านั้น ที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่องที่มีพารามิเตอร์ ( $p$ )

1.4.6 ใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 2.15.0 ในการสร้างแบบจำลองการสับไพ่

1.4.7 กำหนดระดับความสุ่มเพื่อใช้วัดระดับความสุ่ม (Randomness level) ของไพ่

## 1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาการแจกแจงของตัวแปรสุ่มในรูปแบบของการแจกแจงแบบเบตาและการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง

1.5.2 ศึกษารูปแบบการสับไพ่แบบ Stripping หรือ Overhand shuffle ซึ่งประกอบด้วย The all overhand shuffle และ The some overhand shuffle

1.5.3 กำหนดรูปแบบของพฤติกรรมสับไพ่ ซึ่งมีปัจจัยคือ ตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ และความหนาของการสับไพ่ รวมทั้งประมาณค่าพารามิเตอร์การแจกแจงของการสับไพ่ตามรูปแบบที่กำหนด

1.5.4 สร้างแบบจำลองการสับไพ่ด้วยโปรแกรม R

1.5.5 ระบุถึงระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ วิเคราะห์และเปรียบเทียบเพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดถึงระดับความสุ่ม (Randomness level) ของไพ่ว่า อยู่ในระดับความสุ่มที่ยอมรับได้หรือไม่

1.5.6 พิจารณาถึงเกณฑ์ เพื่อแสดงให้เห็นว่า ลำดับของตำแหน่งไพ่มีความเป็นสุ่ม

1.5.7 สรุปผลการศึกษา

## 1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้นำเสนอผลการวิจัยโดยเสนอผลสรุปของค่าระดับความสุ่มและจำนวนครั้งที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ไพ่มีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ตามที่ผู้วิจัยกำหนด โดยมีตัวแบบทั้งหมด 9 ตัวแบบ และนำเสนอในรูปแบบของตารางและกราฟ โดยการนำเสนอผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 นำเสนอผลการเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดที่ทำให้ไพ่มีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ โดยแบ่งตามระดับความสุ่ม

ส่วนที่ 2 นำเสนอผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความถี่กับความหนาของการสับไฟ

ส่วนที่ 3 นำเสนอการประยุกต์ตัวแบบจำลองการสับไฟเฉพาะบุคคล

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้เกณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดถึงระดับความถี่ของไฟ

1.7.2 เพื่อกำหนดเกณฑ์สำหรับจำนวนครั้งของการสับไฟเฉพาะบุคคลด้วยวิธี Stripping หรือ Overhand shuffle เพื่อให้ลำดับของตำแหน่งไฟเป็นไปอย่างสุ่มตามระดับเกณฑ์ที่กำหนด

1.7.3 เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาเปรียบเทียบเกณฑ์อื่นๆที่เกี่ยวข้องต่อไป

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี และตัวสถิติที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และการแจกแจงที่สนใจศึกษา ได้แก่ การแจกแจงแบบเบตา และการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง

#### 2.1 ทฤษฎีพื้นฐาน

##### 2.1.1 สัมประสิทธิ์ความเบ้ (Coefficient of skewness)

สัมประสิทธิ์ความเบ้ ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย  $\gamma_1$  เป็นค่าที่ใช้วัดระดับความเอนเอียงหรือความเบ้ (Skewness) หรือความสมมาตร (Symmetry) ของการแจกแจงข้อมูล

- ถ้าการแจกแจงไม่มีความเบ้ หรือมีความสมมาตร (Symmetry) จะได้ค่า  $\gamma_1 = 0$
- ถ้าการแจกแจงเบ้ขวา (Right skewness) หรือเบ้บวก (Positive skewness)

จะได้ค่า  $\gamma_1 > 0$

- ถ้าการแจกแจงเบ้ซ้าย (Left skewness) หรือเบ้ลบ (Negative skewness)

จะได้ค่า  $\gamma_1 < 0$

การวัดค่าความเบ้หรือหาค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้  $\gamma_1$  ของการแจกแจงจะพิจารณาจากค่าโมเมนต์ศูนย์กลางอันดับที่ 3 โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้  $\gamma_1$  ของการแจกแจงของ  $X$  มีนิยามดังนี้

$$\gamma_1 = \frac{E[(X - E(X))^3]}{(\text{Var}(X))^{3/2}}$$

ในกรณีที่ไมทราบค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้  $\gamma_1$  ของการแจกแจงของ  $X$  เราสามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้  $\gamma_1$  ได้จากข้อมูลตัวอย่างโดยใช้ตัวประมาณโมเมนต์ซึ่งมีสูตรดังต่อไปนี้

$$\gamma_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 / n \right]}{\left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n \right]^{3/2}}$$

### 2.1.2 สัมประสิทธิ์ความโด่ง (Coefficient of kurtosis)

สัมประสิทธิ์ความโด่งใช้สัญลักษณ์แทนด้วย  $\gamma_2$  เป็นค่าที่ใช้วัดความโด่งชั้น (Kurtosis) ของการแจกแจงข้อมูล โดยใช้ความโด่งชั้นของการแจกแจงแบบปกติเป็นฐานในการเปรียบเทียบว่า การแจกแจงนั้นมีความโด่งชั้นแตกต่างจากความโด่งชั้นของการแจกแจงแบบปกติหรือไม่

- การแจกแจงแบบปกติ มีค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง  $\gamma_2 = 3$  (Mesokurtic)
- ถ้าการแจกแจงของประชากรใดมีค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง  $\gamma_2 > 3$  ถือว่ามีความโด่งชั้นมากกว่าการแจกแจงแบบปกติ (Leptokurtic)
- ถ้าการแจกแจงของประชากรใดมีค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง  $\gamma_2 < 3$  ถือว่ามีความโด่งชั้นน้อยกว่าการแจกแจงแบบปกติ (Platykurtic)

การวัดค่าความโด่งหรือหาค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง  $\gamma_2$  ของการแจกแจงจะพิจารณาจากค่าโมเมนต์ศูนย์กลางอันดับที่ 4 โดยค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง  $\gamma_2$  ของการแจกแจงของ  $X$  มีนิยามดังนี้

$$\gamma_2 = \frac{E[(X - E(X))^4]}{(\text{Var}(X))^2}$$

ในกรณีที่ไมทราบค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง  $\gamma_2$  ของการแจกแจงของ  $X$  เราสามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง  $\gamma_2$  ได้จากข้อมูลตัวอย่างโดยใช้ตัวประมาณโมเมนต์ซึ่งมีสูตรดังต่อไปนี้

$$\gamma_2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 / n \right]}{\left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n \right]^2}$$



## 2.2 การแจกแจงที่ใช้ในการวิจัย

### 2.2.1 การแจกแจงแบบเบตา (Beta Distribution)

กำหนดให้  $X$  เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบเบตาด้วยพารามิเตอร์  $\alpha$  และ  $\beta$  จะได้ฟังก์ชันความหนาแน่นของ  $X$  เป็นดังนี้

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{\int_0^1 x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1} dx} = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}$$

โดยที่  $0 < x < 1$ ,  $\alpha > 0$ ,  $\beta > 0$

$x$  เป็นค่าของข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบเบตา

$\alpha$  เป็นพารามิเตอร์รูปร่าง (Shape parameter)

$\beta$  เป็นพารามิเตอร์มาตราส่วน (Scale parameter)

ถ้าตัวแปรสุ่ม  $X$  มีการแจกแจงแบบเบตา จะได้ว่า

- ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม  $X$

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$$

- ค่าความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม  $X$

$$Var(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)}$$

- ค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ ( $\gamma_1$ )

$$\gamma_1 = \frac{2(\beta - \alpha)(\alpha + \beta + 1)^{1/2}}{(\alpha + \beta + 2)(\alpha\beta)^{1/2}}$$

- ค่าสัมประสิทธิ์ความโด่ง ( $\gamma_2$ )

$$\gamma_2 = \frac{3(\alpha + \beta + 1)2(\alpha + \beta)^2 + \alpha\beta(\alpha + \beta - 6)}{(\alpha\beta)(\alpha + \beta + 2)(\alpha + \beta + 3)}$$

### 2.2.2 การแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง (Discrete Uniform Distribution)

คือการแจกแจงของตัวแปรสุ่มซึ่งค่าแต่ละค่าของตัวแปรสุ่มมีความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นเท่าๆกัน ลักษณะทั่วไปของการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่องมีดังนี้

ให้ค่าของตัวแปรสุ่ม  $X$  ประกอบด้วย  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$  ด้วยความน่าจะเป็นเท่าๆกัน

สูตรของการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่องของตัวแปรสุ่ม  $X$  คือ  $f(x; k) = \frac{1}{k}$

เมื่อ  $x = x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแบบจำลองการสับไพ่แบบ The Stripping หรือ Overhand shuffle และจำนวนครั้งของการสับไพ่ โดยผู้วิจัยจำลองพฤติกรรมของผู้สับไพ่ โดยสมมติการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่และความหนาของการสับไพ่ ภายใต้ขอบเขตการสับไพ่แบบ The Stripping หรือ Overhand shuffle โดยกำหนดให้ตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ หมายถึง ตำแหน่งบนสุดของไพ่ที่ผู้สับไพ่เลือกตัดไพ่ และนำมาวางทับบนสำหรับไพ่ส่วนบน ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งของไพ่เป็นไปได้อย่างตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1-52 ผู้วิจัยจึงเลือกสมมติให้การแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่นั้นมีการแจกแจงแบบเบตา ที่ได้รับการปรับให้มีค่าอยู่ระหว่าง 1-52 แล้ว และจากพิจารณาพบว่า การแจกแจงแบบเบตานั้นจะมีความเหมาะสมในการจำลองตำแหน่งของการสับไพ่มากที่สุด รวมทั้งกำหนดให้ความหนาของการสับไพ่นั้นมีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวแบบของการสับไพ่ โดยการจำลองตัวแบบทั้งหมด 9 ตัวแบบ ด้วยการทำซ้ำ 10,000 ครั้งในแต่ละตัวแบบ และใช้ระดับความสุ่มของสำรับไพ่ในการเปรียบเทียบ ผู้วิจัยได้นิยามระดับความสุ่ม (Randomness level) ของสำรับไพ่ด้วยเกณฑ์ความเรียงลำดับ หมายถึง มาตรฐานวัดความสุ่มของการเรียงลำดับ ของไพที่กำหนดด้วย 
$$R(P_k) = \left(1 - \frac{S(P_k)}{52}\right) \times 100\%$$
 เมื่อ  $R(P_k)$  คือ ระดับความสุ่มของไพ่  $S(P_k)$  คือค่าความเรียงลำดับสูงสุดของไพ่ และ  $P_k$  คือฟังก์ชันลำดับของไพหลังจากการสับไพ่ ในการสับไพครั้งที่  $k$  เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบตัวแบบจำลองทั้ง 9 ตัวแบบ โดยใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 2.15.0 ในการจำลองข้อมูล ในบทนี้ได้กล่าวถึงแผนการดำเนินการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1 แผนการดำเนินการวิจัย

3.1.1 ศึกษาการแจกแจงของตัวแปรสุ่มในรูปแบบของการแจกแจงแบบเบตาและการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง

3.1.2 ศึกษาแบบจำลองการสับไพ่แบบ Stripping หรือ Overhand shuffle ซึ่งประกอบด้วย The all overhand shuffle และ The some overhand shuffle

3.1.3 กำหนดรูปแบบของพฤติกรรมกรรมการสับไพ่ ซึ่งมีปัจจัยคือ ตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ และความหนาของการสับไพ่ รวมทั้งประมาณค่าพารามิเตอร์การแจกแจงของการสับไพ่ตามรูปแบบที่กำหนด

3.1.4 สร้างตัวแบบจำลองการสับไพ่ทั้งหมด 9 ตัวแบบด้วยโปรแกรม R

3.1.5 วิเคราะห์และระบุถึงระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ รวมทั้งเปรียบเทียบเพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดถึงระดับความสุ่ม (Randomness level) ของไพ่

3.1.6 พิจารณาเกณฑ์ เพื่อแสดงให้เห็นว่าลำดับของตำแหน่งไพ่มีความเป็นสุ่ม

3.1.7 ตรวจสอบและแก้ไขความสมบูรณ์ของตัวแบบพร้อมจัดทำรูปเล่ม

3.1.8 สรุปผลการศึกษา

### 3.2 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ตอน ประกอบด้วย การนิยามตัวแบบจำลองการสับไพ่ ขั้นตอนการสร้างโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ตัวแบบ และกำหนดเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบตัวแบบ

3.2.1 นิยามความหมายและข้อกำหนดของพฤติกรรมของผู้สับไพ่

พฤติกรรมของผู้สับไพ่ (Behavior of player) หมายถึง รูปแบบการแจกแจงของการสับไพ่เฉพาะบุคคล ซึ่งประกอบด้วย 2 ปัจจัยคือ ตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ และความหนาของการสับไพ่

3.2.2 นิยามความหมายและข้อกำหนดของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่

ตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ (Cut position) หมายถึง ตำแหน่งบนสุดของไพ่ที่ผู้สับไพเลือกตัดไฟ และนำมาวางทับบนสำหรับไฟส่วนบน สำหรับการสับไพ่แบบ The Stripping หรือ Overhand shuffle โดยมีการแจกแจงแบบเบตา สำหรับตัวแบบในการวิจัยนี้ คือ การสับไฟส่วนบน การสับไฟส่วนกลาง และการสับไฟส่วนล่าง

(1) การสับไฟส่วนบน

นิยาม การสับไฟส่วนบน หมายถึง รูปแบบของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่โดยผู้เล่น ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ *Beta* (4.4375, 13.3125)

กำหนดให้ ตัวแปรสุ่ม  $X$  มีการแจกแจงแบบเบตา

- ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม  $X$  เท่ากับ 0.25

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} = 0.25$$

- ค่าความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม  $X$  เท่ากับ 0.01

$$\text{Var}(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} = 0.01$$

จากข้อกำหนดข้างต้น ได้ระบบสมการ 2 ตัวแปรคือ

$$\frac{\alpha}{\alpha + \beta} = 0.25 \quad \text{_____ (1)}$$

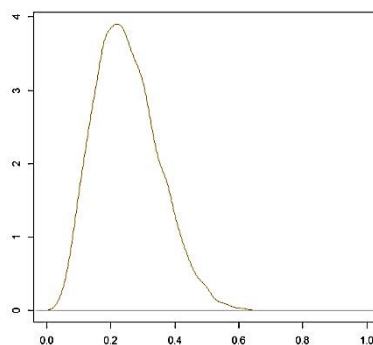
$$\frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} = 0.01 \quad \text{_____ (2)}$$

ผลเฉลยของระบบสมการคือ  $\alpha = 4.4375$  และ  $\beta = 13.3125$  ตามลำดับ

ดังนั้น การแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟของการสับไฟส่วนบนคือ

$Beta(4.4375, 13.3125)$  ซึ่งมี pdf. ดังแสดงในรูปภาพที่ 3.1

รูปภาพที่ 3.1 แสดง pdf. ของการแจกแจงแบบ  $Beta(4.4375, 13.3125)$



สรุปได้ว่า การสับไฟส่วนบน หมายถึงรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ  $Beta(4.4375, 13.3125)$

(2) การสับไฟส่วนกลาง

นิยาม การสับไฟส่วนกลาง หมายถึง รูปแบบของตำแหน่งที่ทำการสับไฟโดยผู้เล่น ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ  $Beta(12, 12)$

กำหนดให้ ตัวแปรสุ่ม  $X$  มีการแจกแจงแบบเบตา

- ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม  $X$  เท่ากับ 0.5

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} = 0.5$$

- ค่าความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม  $X$  เท่ากับ 0.01

$$\text{Var}(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} = 0.01$$

จากข้อกำหนดข้างต้น ได้ระบบสมการ 2 ตัวแปรคือ

$$\frac{\alpha}{\alpha + \beta} = 0.5 \quad \text{_____ (1)}$$

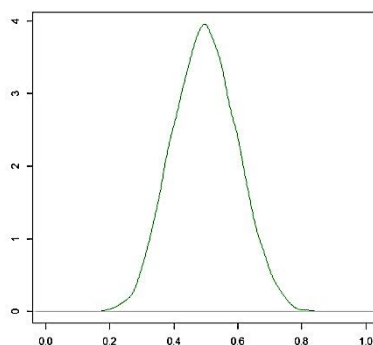
$$\frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} = 0.01 \quad \text{_____ (2)}$$

ผลเฉลยของระบบสมการคือ  $\alpha = 12$  และ  $\beta = 12$  ตามลำดับ

ดังนั้น การแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟของการสับไฟส่วนกลางคือ

$Beta(12, 12)$  ซึ่งมี pdf. ดังแสดงในรูปภาพที่ 3.2

รูปภาพที่ 3.2 แสดง pdf. ของการแจกแจงแบบ  $Beta(12, 12)$



สรุปได้ว่า การสับไฟส่วนกลาง หมายถึงรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ  $Beta(12, 12)$

(3) การสับไฟส่วนล่าง

นิยาม การสับไฟส่วนล่าง หมายถึง รูปแบบของตำแหน่งที่ทำการสับไฟโดยผู้เล่น ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ  $Beta(13.3125, 4.4375)$

กำหนดให้ ตัวแปรสุ่ม  $X$  มีการแจกแจงแบบเบตา

- ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม  $X$  เท่ากับ 0.75

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} = 0.75$$

- ค่าความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม  $X$  เท่ากับ 0.01

$$\text{Var}(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} = 0.01$$

จากข้อกำหนดข้างต้น ได้ระบบสมการ 2 ตัวแปรคือ

$$\frac{\alpha}{\alpha + \beta} = 0.75 \quad \text{_____ (1)}$$

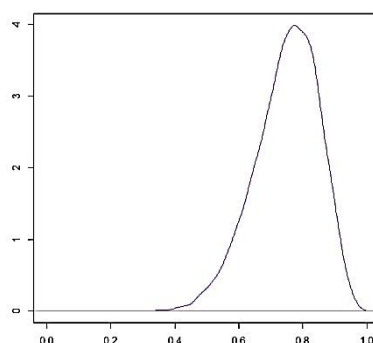
$$\frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} = 0.01 \quad \text{_____ (2)}$$

ผลเฉลยของระบบสมการคือ  $\alpha = 13.3125$  และ  $\beta = 4.4375$  ตามลำดับ

ดังนั้น การแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟของการสับไฟส่วนล่างคือ

$Beta(13.3125, 4.4375)$  ซึ่งมี pdf. ดังแสดงในรูปภาพที่ 3.3

รูปภาพที่ 3.3 แสดง pdf. ของการแจกแจงแบบ  $Beta(13.3125, 4.4375)$



สรุปได้ว่า การสับไฟส่วนล่าง หมายถึงรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ ซึ่งเป็นการแจกแจงแบบ  $Beta(13.3125, 4.4375)$

จากการแบ่งประเภทของตำแหน่งที่ทำการสับไฟที่กล่าวมาในข้างต้น สามารถสรุปดังตารางที่ 3.1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า  $E(X)$ ,  $Var(X)$  และรูปแบบการแจกแจงของตัวแปรสุ่มของตำแหน่งทำการสับไพ่

ตำแหน่งทำการสับไพ่	$E(X)$	$Var(X)$	รูปแบบการแจกแจงของตัวแปรสุ่ม
การสับไพ่วางบน	0.25	0.01	$Beta(4.4375, 13.3125)$
การสับไพ่วางกลาง	0.50	0.01	$Beta(12, 12)$
การสับไพ่วางล่าง	0.75	0.01	$Beta(13.3125, 4.4375)$

### 3.2.3 นิยามความหมายและข้อกำหนดของความหนาของการสับไพ่

ความหนาของการสับไพ่ (Thickness of the shuffling) หมายถึง จำนวนของไพ่สำหรับกลาง สำหรับการสับไพ่แบบ The some overhand shuffle เท่านั้น ซึ่งจะต้องไม่เกินกึ่งหนึ่งของไพ่ นั่นคือไม่เกิน 26 ใบ โดยมีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง สำหรับการสับไพ่ในการวิจัยนี้ได้กำหนดประเภทความหนาของการสับไพ่ไว้ทั้งหมด 3 ประเภทคือ ความหนาของการสับไพ่วางบน ความหนาของการสับไพ่วางกลาง และความหนาของการสับไพ่วางล่าง

#### (1) ความหนาของการสับไพ่วางบน

นิยาม ความหนาของการสับไพ่วางบน หมายถึง จำนวนของไพ่วางบนตั้งแต่ 1 ถึง 8 ใบ

กำหนดให้ ตัวแปรสุ่ม  $X$  มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง แทนจำนวนไพ่วางบน

สูตรของการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่องของ  $X$  คือ  $U_1(x) = \frac{1}{8}$  เมื่อ  $x = 1, 2, 3, \dots, 8$

ความหนาของการสับไพ่วางบน สำหรับการสับไพ่วางบนครั้งที่  $k$  คือ  $T[1]_k(i)$  โดย  $T[1]_k(i) = \lceil 7i + 1 \rceil$  เมื่อ  $i \in U[0, 1]$

#### (2) ความหนาของการสับไพ่วางกลาง

นิยาม ความหนาของการสับไพ่วางกลาง หมายถึง จำนวนของไพ่วางกลางตั้งแต่ 9 ถึง 17 ใบ

กำหนดให้ ตัวแปรสุ่ม  $X$  มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง แทนจำนวนไพ่วางกลาง



สูตรของการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่องของ  $X$  คือ  $U_2(x) = \frac{1}{9}$

เมื่อ  $x = 9, 10, 11, \dots, 17$

ความหนาของการสับไฟแบบกลาง สำหรับการสับไฟครั้งที่  $k$  คือ  $T[2]_k(i)$

โดย  $T[2]_k(i) = \lceil 8i + 9 \rceil$  เมื่อ  $i \in U[0,1]$

(3) ความหนาของการสับไฟแบบมาก

นิยาม ความหนาของการสับไฟแบบมาก หมายถึง จำนวนของไฟสำหรับกลาง ตั้งแต่ 18 ถึง 26 ไบ

กำหนดให้ ตัวแปรสุ่ม  $X$  มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง แทนจำนวนไฟสำหรับกลาง

สูตรของการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่องของ  $X$  คือ  $U_3(x) = \frac{1}{9}$

เมื่อ  $x = 18, 19, 20, \dots, 26$

ความหนาของการสับไฟแบบมาก สำหรับการสับไฟครั้งที่  $k$  คือ  $T[3]_k(i)$

โดย  $T[3]_k(i) = \lceil 8i + 18 \rceil$  เมื่อ  $i \in U[0,1]$

หมายเหตุ ให้  $L_k(i) = \lceil 52i \rceil$  แทนตำแหน่งที่ทำการสับไฟครั้งที่  $k$  เมื่อ  $i \in \text{Beta}(\alpha, \beta)$  ในกรณีที่  $x + L_k(i) > 52$  (ความหนาในบางตำแหน่งมีค่าเกินตำแหน่งที่เป็นไปได้) ให้ทำการเปลี่ยนค่าโดยให้  $x = \lceil 52 - L_k(i) \rceil + 1$

### 3.2.4 ระดับความสุ่ม (Randomness level)

จากการวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของผู้สับไฟซึ่งประกอบด้วย ตำแหน่งที่ทำการสับไฟและความหนาของการสับไฟในรูปแบบต่างๆที่ได้กล่าวมา ความสำคัญคือ ผู้เล่นจะทราบได้อย่างไรว่า ลำดับของไฟนั้นมีความเป็นสุ่มอย่างแท้จริง สำหรับเกณฑ์ที่ใช้วัดลำดับของไฟว่ามีความเป็นสุ่มหรือไม่คือ ระดับความสุ่ม (Randomness level) ซึ่งมีผู้วิจัยหลายท่านได้นิยามไว้หลายรูปแบบแตกต่างกันออกไป สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นิยามระดับความสุ่มของการสับไฟดังนี้

#### 3.2.4.1 นิยามของระดับความสุ่ม

นิยาม ระดับความสุ่ม (Randomness level) ของสับไฟด้วยเกณฑ์ความเรียงลำดับ หมายถึง มาตราวัดความสุ่มของการเรียงลำดับของไฟ เช่น ถ้าไฟมีการเรียงลำดับอย่างสมบูรณ์ จะมีระดับความสุ่มที่ต่ำ และถ้าไฟมีการเรียงลำดับแบบไม่ต่อเนื่อง จะทำให้มีระดับความสุ่มที่สูงขึ้น หรือในความหมายที่ว่า ระดับความสุ่มของไฟแปรผกผัน

กับค่าความเรียงลำดับของไพ่ กำหนดด้วยค่าของ  $R(P_k) = \left(1 - \frac{S(P_k)}{\text{No. of card}}\right) \times 100\%$  เมื่อ  $R(P_k)$  คือ ระดับความสุ่ม (Randomness Level) ของสำรับไพ่  $S(P_k)$  คือความเรียงลำดับ (Sequencing-Score) ที่มีค่ามากที่สุดของสำรับไพ่ ซึ่งถ้าไพมีการเรียงกันของลำดับ จะเริ่มนับ order-sequence โดยจะนับทีละใบที่ติดกัน ถ้ามี 2 ใบติดกันถือเป็น 2-order-sequence, ถ้ามี 3 ใบติดกันถือเป็น 3-order-sequence และนับไปเรื่อยๆจนหมดสำรับ  $P_k$  คือ ฟังก์ชันลำดับของไพหลังจากการสับไพในการสับไพครั้งที่  $k$  และ  $\text{No. of card}$  คือจำนวนไพทั้งหมด เช่น

ถ้าไพสำรับหนึ่งมีจำนวน 10 ใบ และความเรียงลำดับที่มีค่ามากที่สุดของสำรับไพเท่ากับ 3 หรือ  $S(P_k) = 3$  ไพ่สำรับนั้นจะมีระดับความสุ่มของไพ  $R(P_k) = \left(1 - \frac{3}{10}\right) \times 100\%$  นั่นคือมีระดับความสุ่มของไพเท่ากับ 70%

#### 3.2.4.2 เกณฑ์ในการกำหนดระดับความสุ่มของไพที่ยอมรับได้

ผู้วิจัยกำหนดระดับความสุ่มของไพที่ยอมรับได้ที่ระดับ 80%, 85%, 90% และ 95% โดย

ไพมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ 80% หมายถึง สำรับไพที่มีค่าระดับความสุ่มไม่น้อยกว่า 80

ไพมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ 85% หมายถึง สำรับไพที่มีค่าระดับความสุ่มไม่น้อยกว่า 85

ไพมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ 90% หมายถึง สำรับไพที่มีค่าระดับความสุ่มไม่น้อยกว่า 90

ไพมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ 95% หมายถึง สำรับไพที่มีค่าระดับความสุ่มไม่น้อยกว่า 95

#### 3.2.5 ตัวแบบจำลองการสับไพโดยการแจกแจงแบบเบตา

ในหัวข้อนี้ กล่าวถึงตัวแบบการสับไพโดยการแจกแจงแบบเบตา ซึ่งผู้วิจัยได้กล่าวถึงเนื้อหาส่วนที่เกี่ยวข้องกับนิยาม และทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องไว้ในเนื้อหาข้างต้น เพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำคัญในการสร้างตัวแบบ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

##### ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาตัวแบบที่ทำการศึกษา

## (1) ตำแหน่งที่ทำการสับไฟ

- ถ้าผู้ทำการทดลองการสับไฟมีพฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกการสับไฟส่วนบน ดังนั้น รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟเป็นแบบ  $Beta(4.4375, 13.3125)$
- ถ้าผู้ทำการทดลองการสับไฟมีพฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกการสับไฟส่วนกลาง ดังนั้น รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟเป็นแบบ  $Beta(12, 12)$
- ถ้าผู้ทำการทดลองการสับไฟมีพฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกการสับไฟส่วนล่าง ดังนั้น รูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟเป็นแบบ  $Beta(13.3125, 4.4375)$

## (2) ความหนาของการสับไฟ

- ถ้าความหนาของการสับไฟแบบน้อย ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่จะเลือกไฟสำหรับกลางจำนวนตั้งแต่ 1 ถึง 8 ไบ มีค่าเป็น 0.125 เท่ากันทุกค่า
- ถ้าความหนาของการสับไฟแบบกลาง ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่จะเลือกไฟสำหรับกลางจำนวนตั้งแต่ 9 ถึง 17 ไบ มีค่าเป็น 0.111 เท่ากันทุกค่า
- ถ้าความหนาของการสับไฟแบบมาก ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่จะเลือกไฟสำหรับกลางจำนวนตั้งแต่ 18 ถึง 26 ไบ มีค่าเป็น 0.111 เท่ากันทุกค่า

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาถึงลำดับของไฟ

ก่อนเริ่มทำการสับไฟ ลำดับของไฟทั้ง 52 ไบ เรียงดังต่อไปนี้ กำหนดให้ไฟไบที่  $i$  อยู่ในตำแหน่งที่  $P_0(i)$  จะได้ว่า  $P_0(i) = i$  เมื่อ  $i \in \{1, 2, 3, \dots, 52\}$

## (1) เลือกตำแหน่งที่ทำการสับไฟ

ทำการสุ่มตัวอย่างที่มีการแจกแจงแบบ  $Beta(\alpha, \beta)$  เมื่อ  $\alpha > 0$ ,  $\beta > 0$  จำนวน 1 ค่า นำมาแปลงเป็นตำแหน่งที่ทำการสับไฟในการสับไฟครั้งที่  $k$  นั่นคือ  $L_k(i)$  โดยนิยามดังนี้

นิยาม ตำแหน่งที่ทำการสับไฟในการสับไฟครั้งที่  $k$  หรือ  $L_k(i) = \lceil 52i \rceil$  เมื่อ  $i \in Beta(\alpha, \beta)$  และ  $k$  คือการสับไฟครั้งที่  $k$

## (2) เลือกความหนาของการสับไฟ

ทำการสุ่มตัวอย่างที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง จำนวน 1 ค่า นำมาแปลงเป็นความหนาของการสับไฟในการสับไฟครั้งที่  $k$  นั่นคือ  $T[2]_k(i)$  โดยในครั้งนี ผู้วิจัยเลือกความหนาของการสับไฟแบบกลาง โดยมีนิยามดังนี้

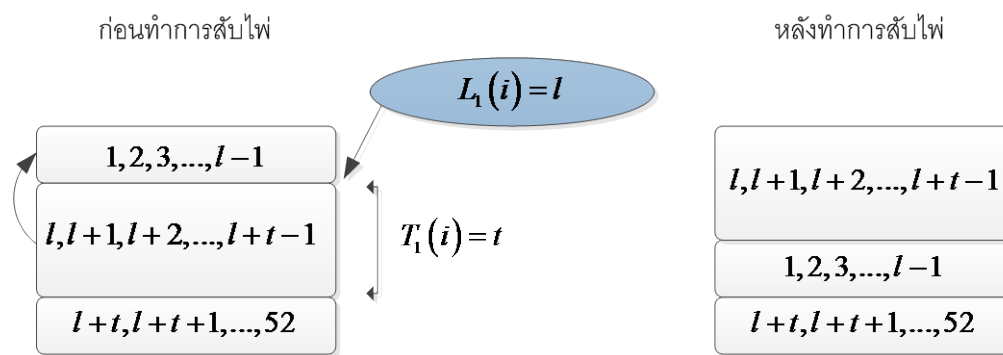
นิยาม ความหนาของการสับไฟแบบกลางในการสับไฟครั้งที่  $k$  หรือ  $T[2]_k(i) = \lceil 8i + 9 \rceil$  เมื่อ  $i \in U(0, 1)$  และ  $k$  คือการสับไฟครั้งที่  $k$

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาการสับไพ่ตามขั้นตอนต่อไปนี้

สับไพ่ครั้งที่ 1 สมมติได้ค่า  $L_1(i) = l$  และ  $T[2]_1(i) = t$

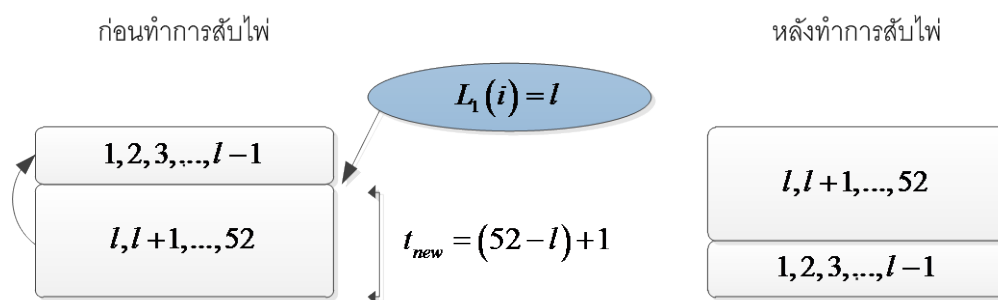
กรณีที่ 1 ถ้า  $L_1(i) = l + t \leq 52$  เป็นการสับไพ่แบบ The some overhand shuffle ดังแสดงในรูปภาพที่ 3.4

รูปภาพที่ 3.4 แสดงการสับไพ่ครั้งที่ 1 แบบ The some overhand shuffle ที่ค่า  $L_1(i) = l$  และ  $T[2]_1(i) = t$



กรณีที่ 2 ถ้า  $L_1(i) = l + t > 52$  เป็นการสับไพ่แบบ The all overhand shuffle ต้องทำการเปลี่ยนค่า  $t$  เป็น  $t_{new} = (52 - l) + 1$  ดังแสดงในรูปภาพที่ 3.5

รูปภาพที่ 3.5 แสดงการสับไพ่ครั้งที่ 1 แบบ The all overhand shuffle ที่ค่า  $L_1(i) = l$  และ  $T[2]_1(i) = t_{new} = (52 - l) + 1$



หรืออาจกล่าวในรูปแบบของฟังก์ชันลำดับได้ว่า

กรณีที่ 1 ถ้า  $L_1(i) = l + t \leq 52$  เป็นการสับไพ่แบบ The some overhand shuffle เขียนเป็นอันดับของฟังก์ชันได้ดังนี้

กำหนดให้  $P_k(i)$  แทนฟังก์ชันลำดับของไพ่ใบที่  $i$  หลังจากการสับไพ่ ในการสับไพครั้งที่  $n$  โดยที่  $i = 1, 2, 3, \dots, 52$ ,  $n \in \mathbb{N} \cup \{0\}$  และ  $P_0(i) = i$

จากการสับไพครั้งที่ 1 สมมติได้ค่า  $L_1(i) = l$  และ  $T[2]_1(i) = t$  จากนิยามข้างต้น จะได้ว่า

$$S_0 = (P_0(1), P_0(2), \dots, P_0(l-1), P_0(l), \dots, P_0(l+t-1), P_0(l+t), \dots, P_0(52))$$

$$S_0 = (1, 2, \dots, l-1, l, \dots, l+t-1, l+t, \dots, 52)$$

เมื่อ  $S_0$  แทนตำแหน่งของสำรับไพ่ทั้งหมด ก่อนทำการสับไพ่ และ

$$S_1 = (P_1(1), P_1(2), \dots, P_1(l-1), P_1(l), \dots, P_1(l+t-1), P_1(l+t), \dots, P_1(52))$$

$$S_1 = (P_0(l), \dots, P_0(l+t-1), P_0(1), P_0(2), \dots, P_0(l-1), P_0(l+t), \dots, P_0(52))$$

$$S_1 = (l, \dots, l+t-1, 1, 2, \dots, l-1, l+t, \dots, 52)$$

เมื่อ  $S_1$  แทนตำแหน่งของสำรับไพ่ทั้งหมด หลังทำการสับไพ่ 1 ครั้ง

กรณีที่ 2 ถ้า  $L_1(i) = l + t > 52$  เป็นการสับไพ่แบบ The all overhand shuffle ต้องทำการเปลี่ยนค่า  $t$  เป็น  $t_{new} = (52 - l) + 1$  เขียนเป็นอันดับของฟังก์ชันได้ดังนี้

จากการสับไพครั้งที่ 1 สมมติได้ค่า

$$L_1(i) = l \text{ และ } T[2]_1(i) = t_{new} = (52 - l) + 1 \text{ จากนิยามข้างต้น จะได้ว่า}$$

$$S_0 = (P_0(1), P_0(2), \dots, P_0(l-1), P_0(l), \dots, P_0(52))$$

$$S_0 = (1, 2, \dots, l-1, l, 52)$$

เมื่อ  $S_0$  แทนตำแหน่งของสำรับไพ่ทั้งหมด ก่อนทำการสับไพ่ และ

$$S_1 = (P_1(1), P_1(2), \dots, P_1(l-1), P_1(l), P_1(52))$$

$$S_1 = (P_0(l), \dots, P_0(52), P_0(1), P_0(2), \dots, P_0(l-1))$$

$$S_1 = (l, \dots, 52, 1, 2, \dots, l-1)$$

เมื่อ  $S_1$  แทนตำแหน่งของสำรับไพ่ทั้งหมด หลังทำการสับไพ่ 1 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าระดับความสุ่ม(Randomness level) ของไพ่

หมายเหตุ ระดับความสุ่ม รายละเอียดอยู่ในหัวข้อที่ 3.2.3

### 3.2.6 ตัวแบบจำลองการสับไพ่โดยการแจกแจงแบบเบตาที่ใช้ในงานวิจัย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการจำลองตัวแบบการสับไพ่แบบ The Stripping หรือ Overhand shuffle และจำนวนครั้งในการสับไพ่ โดยกำหนดรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ให้มีการแจกแจงแบบเบตา และการแจกแจงความหนาของการสับไพ่ให้มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่อง ผู้วิจัยได้ศึกษาตัวแบบการสับไพ่โดยจำลองตัวแบบทั้งหมด 9 ตัวแบบ ดังต่อไปนี้

ตำแหน่งที่ทำการสับไพ่ มีทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่

- (1) การสับไพ่วบนบน
- (2) การสับไพ่วบนกลาง
- (3) การสับไพ่วบนล่าง

ความหนาของการสับไพ่ มีทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่

- (1) ความหนาของการสับไพ่แบบน้อย
- (2) ความหนาของการสับไพ่แบบกลาง
- (3) ความหนาของการสับไพ่แบบมาก

จากข้อกำหนดของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่และความหนาของการสับไพ่สามารถสร้างตัวแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 9 ตัวแบบ ดังนี้

ตัวแบบที่ 1 ผู้สับไพ่เลือกการสับไพ่วบนบนและมีความหนาของการสับไพ่แบบน้อย

(Model 1 top-card-low-thickness)

ตัวแบบที่ 2 ผู้สับไพ่เลือกการสับไพ่วบนบนและมีความหนาของการสับไพ่แบบกลาง

(Model 2 top-card-moderate-thickness)

ตัวแบบที่ 3 ผู้สับไพ่เลือกการสับไพ่วบนบนและมีความหนาของการสับไพ่แบบมาก

(Model 3 top-card-high-thickness)

ตัวแบบที่ 4 ผู้สับไพ่เลือกการสับไพ่วบนกลางและมีความหนาของการสับไพ่แบบน้อย

(Model 4 middle-card-low-thickness)

ตัวแบบที่ 5 ผู้สับไพ่เลือกการสับไพ่วบนกลางและมีความหนาของการสับไพ่แบบกลาง

(Model 5 middle-card-moderate-thickness)

ตัวแบบที่ 6 ผู้สับไพ่เลือกการสับไพ่วบนกลางและมีความหนาของการสับไพ่แบบมาก

(Model 6 middle-card-high-thickness)

ตัวแบบที่ 7 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

(Model 7 under-card-low-thickness)

ตัวแบบที่ 8 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

(Model 8 under-card-moderate-thickness)

ตัวแบบที่ 9 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

(Model 9 under-card-high-thickness)

จากตัวแบบทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟและความหนาของการสับไฟ  
ตัวแบบที่ 1 – 9

ชื่อตัวแบบ	การแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ	ความหนาของการสับไฟ(ใบ)
Model 1 top-card-low-thickness	<i>Beta</i> (4.4375,13.3125)	1 - 8
Model 2 top-card-moderate-thickness	<i>Beta</i> (4.4375,13.3125)	9 – 17
Model 3 top-card-high-thickness	<i>Beta</i> (4.4375,13.3125)	18 – 26
Model 4 middle-card-low-thickness	<i>Beta</i> (12,12)	1 – 8
Model 5 middle-card-moderate-thickness	<i>Beta</i> (12,12)	9 – 17
Model 6 middle-card-high-thickness	<i>Beta</i> (12,12)	18 – 26
Model 7 under-card-low-thickness	<i>Beta</i> (13.3125,4.4375)	1 – 8
Model 8 under-card-moderate-thickness	<i>Beta</i> (13.3125,4.4375)	9 - 17
Model 9 under-card-high-thickness	<i>Beta</i> (13.3125,4.4375)	18 - 26

3.2.7 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งของการสับไฟ

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งของการสับไฟ โดยทำการศึกษาทั้งหมด 9 ตัวแบบ และขอบเขตของจำนวนครั้งที่ทำการสับไฟคือ 5-40 ครั้งเท่านั้น โดยขั้นตอนการศึกษาแต่ละตัวแบบมีดังต่อไปนี้

3.2.7.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งของการสับไฟของตัวแบบที่ 1

ผู้วิจัยสร้างแบบจำลองของตัวแบบที่ 1 ตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 เริ่มต้นการสร้างแบบจำลอง ให้จำนวนครั้งที่สับไฟ  $k = 5$

ขั้นที่ 2 ทำการสับไฟจำนวน  $k$  ครั้ง พร้อมทั้งสุ่มค่าตำแหน่งที่ทำการสับไฟ  $l \in \text{Beta}(4.4375, 13.3125)$  และสุ่มความหนาของการสับไฟ  $t \in (1, 2, 3, \dots, 8)$  ด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน

ขั้นที่ 3 พิจารณาว่า  $l + t < 52$  หรือไม่

ขั้นที่ 3.1 ถ้าคำตอบคือ "ใช่" ให้ทำการสับไฟแบบ the some overhand shuffling

ขั้นที่ 3.2 ถ้าคำตอบคือ "ไม่ใช่" ให้ทำการสับไฟแบบ the all overhand shuffling

ขั้นที่ 4 ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 2 ถึง 3 จำนวน  $k$  รอบ

ขั้นที่ 5 คำนวณค่าระดับความสุ่ม  $R(P_k)$

ขั้นที่ 6 ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ถึง 5 จำนวน 10,000 รอบ

ขั้นที่ 7 คำนวณค่า  $E(R(P_k))$ , 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile จากข้อมูลที่ได้ในขั้นที่ 6

ขั้นที่ 8 ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึง 7 โดยเปลี่ยนค่า  $k$  โดย  $k = 6, 7, \dots, 40$

3.2.7.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งของการสับไฟของตัวแบบที่ 2 ถึง 9

ผู้วิจัยสร้างแบบจำลองของตัวแบบที่ 2 ถึง 9 ตามขั้นตอนซึ่งเหมือนกับตัวแบบที่ 1 หัวข้อที่ 3.2.7.1 โดยเปลี่ยนรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ และความหนาของการสับไฟตามตารางที่ 3.2

3.2.8 การศึกษาจำนวนครั้งให้น้อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความเป็นสุ่มที่ยอมรับได้

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงจำนวนครั้งให้น้อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความเป็นสุ่มที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยศึกษาทั้งหมด 9 ตัวแบบ และใช้ข้อมูลจากหัวข้อที่ 3.2.7 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งของการสับไฟ มาช่วยในการวิเคราะห์ โดยสังเกตจากจำนวนครั้งที่ทำการสับไฟครั้งที่  $k$  ถ้าค่าของ  $k$  ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าระดับความสุ่มหรือ  $R(P_k) \geq 80, 85, 90$  และ  $95$  เรียกว่า จำนวนครั้งให้น้อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ



แต่ถ้าค่าระดับความสับสนหรือ  $R(P_k) < 80$  ทุก  $k = 5, 6, \dots, 40$  สามารถสรุปได้ว่าระดับความสับสนไม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แม้จะทำการสับไฟแล้วถึง 40 ครั้ง

3.2.9 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสนกับความหนาของการสับไฟ

นิยาม เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสนในการสับไฟครั้งที่  $k$  หรือ  $\% \Delta_k$  หาได้จากสูตร

$$\% \Delta_k = \frac{E(R(P_k)) - E(R(P_{k-1}))}{E(R(P_{k-1}))} \times 100\%$$

เมื่อ  $E(R(P_k))$  คือ ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของระดับความสับสนของไฟในการสับไฟครั้งที่  $k$

ผู้วิจัยได้คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสนในการสับไฟครั้งที่  $k$  หรือ  $\% \Delta_k$  โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการจำลองตัวแบบที่ 1 ถึง 9 โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

ขั้นที่ 1 พิจารณาข้อมูล  $E(R(P_5)), E(R(P_6)), \dots, E(R(P_{40}))$  ที่ได้จากการจำลองในแต่ละตัวแบบ

ขั้นที่ 2 คำนวณค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$  โดยใช้สูตร

$$\% \Delta_k = \frac{E(R(P_k)) - E(R(P_{k-1}))}{E(R(P_{k-1}))} \times 100\% \quad ; k = 5, 6, \dots, 40$$

ขั้นที่ 3 คำนวณค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสน  $E[\% \Delta]$  ของแต่ละตัวแบบโดยใช้สูตร

$$E[\% \Delta] = \frac{\sum_{k=6}^{40} (\% \Delta_k)}{35}$$

และค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสน  $Var[\% \Delta]$  ของแต่ละตัวแบบโดยใช้สูตร

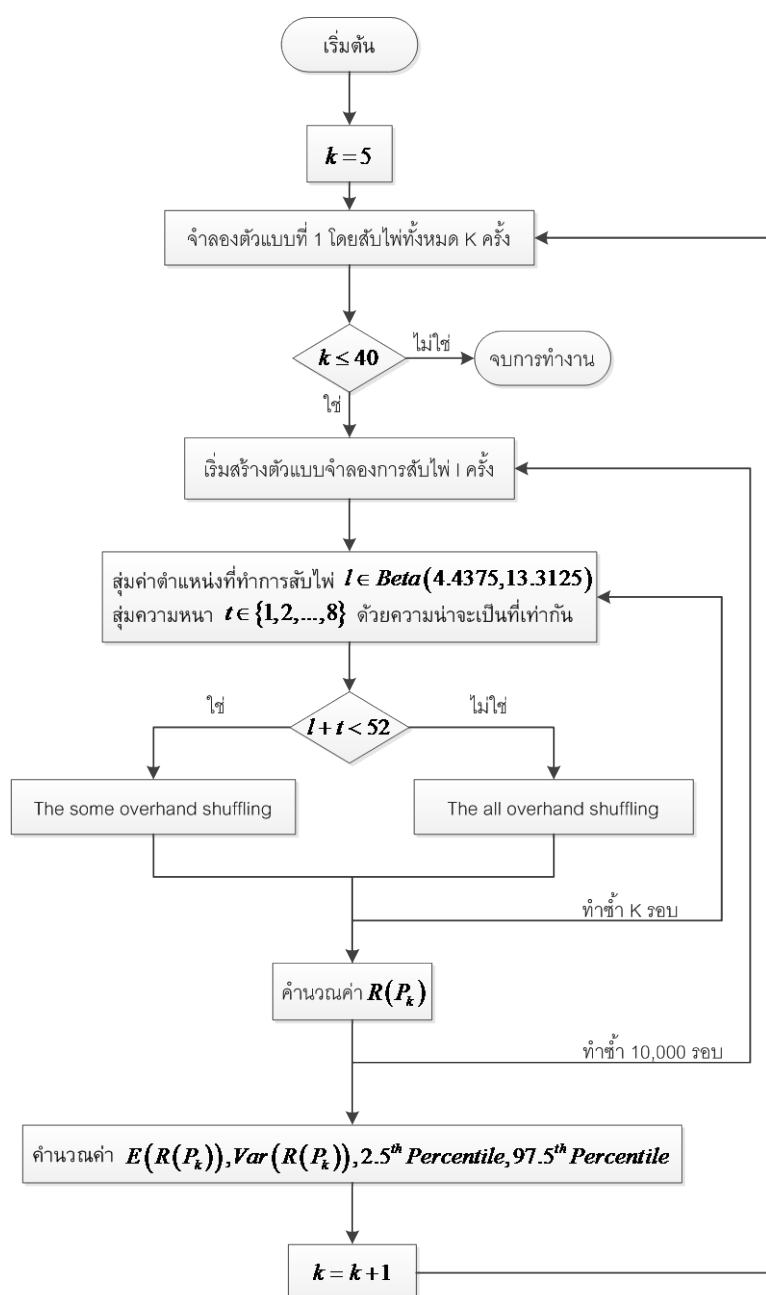
$$Var[\% \Delta] = \frac{\sum_{k=6}^{40} (\% \Delta_k - E[\% \Delta])^2}{35}$$

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสน  $E[\% \Delta]$  แล้ว ผู้วิจัยได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความสับสน  $E[\% \Delta]$  กับความหนาของการสับไฟ ซึ่งประกอบด้วย ความหนาแบบน้อย ความหนาแบบกลาง และความหนาแบบมาก ตามลำดับ

### 3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เขียนด้วยโปรแกรม R เวอร์ชัน 2.15.0 ซึ่งในแต่ละสถานการณ์การทดลองจะกระทำซ้ำ 10,000 ครั้งในแต่ละตัวแบบ ดังแสดงในรูปภาพที่ 3.6

รูปภาพที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสุ่มในตัวแบบที่ 1 (ตัวแบบผู้สับไพ่เลือกการสับไพ่ส่วนบนและมีความหนาของการสับไพ่แบบน้อย) กับจำนวนครั้งที่สับไพ่ โดยเริ่มจำนวนครั้งที่สับไพ่ตั้งแต่ 5 ถึง 40 ครั้ง



สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสับสนในตัวแบบที่ 2 ถึง 9 นั้น เหมือนกับตัวแบบที่ 1 โดยเปลี่ยนรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไฟ และความหนาของการสับไฟตามตารางที่ 3.2

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ (1) เป็นการแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสนกับจำนวนครั้งที่สับสนตั้งแต่ 5-40 ครั้ง ของตัวแบบทั้งหมด 9 ตัวแบบ ส่วนที่ (2) เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสับสนกับความหนาของการสับสนทั้งหมด 9 ตัวแบบ

#### 4.1 ผลการทดลองค่าเฉลี่ยของระดับความสับสนกับจำนวนครั้งที่สับสนตั้งแต่ 5-40 ครั้งของตัวแบบทั้งหมด 9 ตัวแบบ

4.1.1 ตัวแบบที่ 1 ผู้สับสนเลือกการสับสนส่วนบนและมีความหนาของการสับสนน้อย ผู้วิจัยจำลองตัวแบบที่ 1 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.1 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

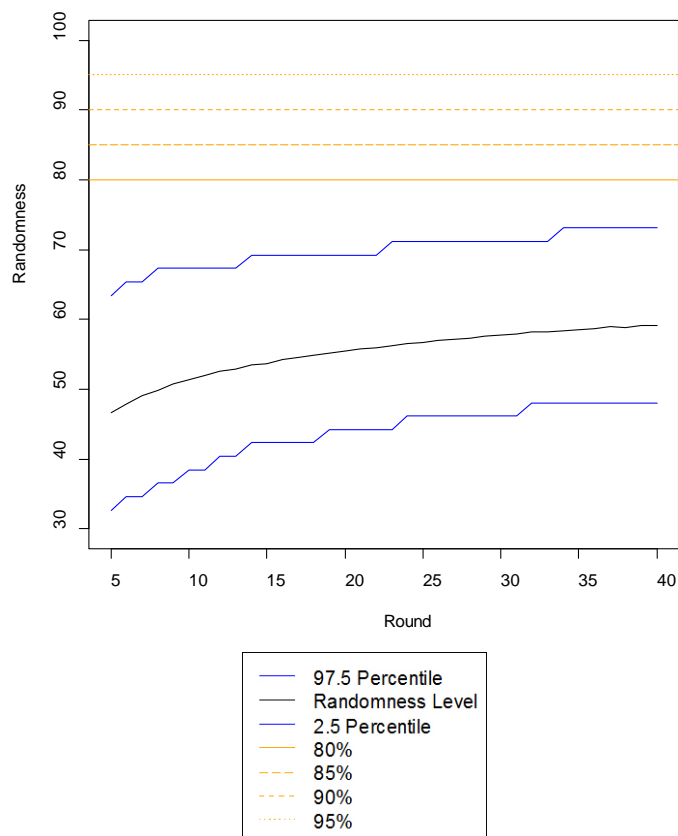
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 1 เมื่อทำการสับสนตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้งของการสับสน	ค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน	ความแปรปรวนของระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
5	46.59	68.33	32.69	63.46
6	47.86	63.70	34.62	65.38
7	49.01	61.55	34.62	65.38
8	49.80	58.66	36.54	67.31
9	50.67	57.85	36.54	67.31
10	51.29	54.36	38.46	67.31
11	51.91	52.75	38.46	67.31
12	52.60	52.15	40.38	67.31
13	52.82	50.75	40.38	67.31
14	53.48	50.94	42.31	69.23
15	53.70	49.58	42.31	69.23

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 1 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้งของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน	ความแปรปรวนของระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
16	54.18	46.82	42.31	69.23
17	54.49	46.55	42.31	69.23
18	54.80	46.01	42.31	69.23
19	55.16	45.73	44.23	69.23
20	55.48	45.69	44.23	69.23
21	55.71	43.59	44.23	69.23
22	55.97	43.76	44.23	69.23
23	56.29	43.11	44.23	71.15
24	56.55	43.30	46.15	71.15
25	56.72	41.07	46.15	71.15
26	56.99	41.84	46.15	71.15
27	57.17	41.46	46.15	71.15
28	57.28	40.77	46.15	71.15
29	57.60	39.77	46.15	71.15
30	57.72	39.79	46.15	71.15
31	57.93	40.05	46.15	71.15
32	58.14	39.47	48.08	71.15
33	58.20	37.64	48.08	71.15
34	58.43	39.56	48.08	73.08
35	58.52	38.01	48.08	73.08
36	58.61	37.96	48.08	73.08
37	58.91	38.36	48.08	73.08
38	58.85	37.05	48.08	73.08
39	59.09	38.21	48.08	73.08
40	59.18	37.54	48.08	73.08

รูปภาพที่ 4.1 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย (ตัวแบบที่ 1)



พิจารณาตัวแบบที่ 1 จากรูปภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าน้อยกว่า 80 ทุกค่า  $k \leq 40$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[48.08, 73.08]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 59.18

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มน้อยกว่า 80 แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง ซึ่งไม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความชุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 1 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

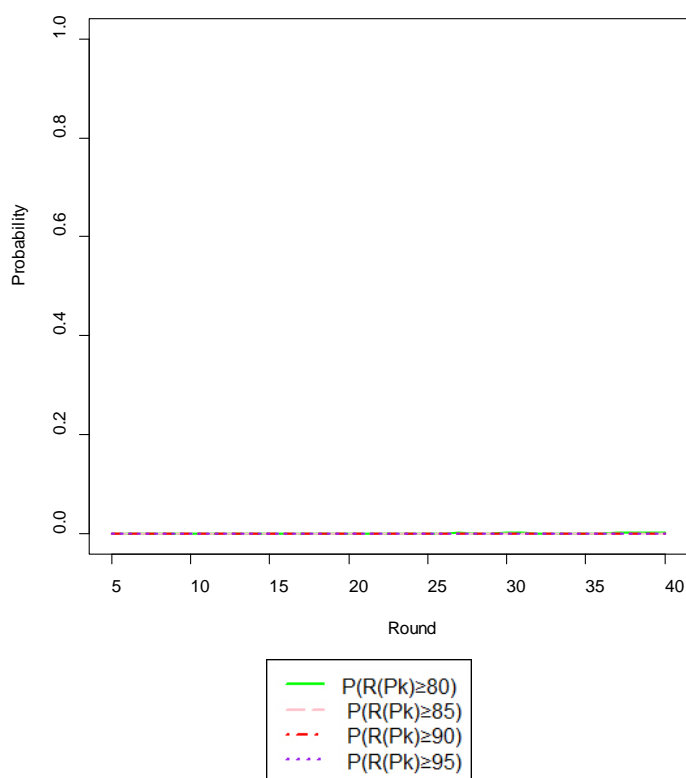
จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความชุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 1 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
32	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00
40	0.00	0.00	0.00	0.00



รูปภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 1 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 1 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง พบว่า ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เท่ากับ 0 แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง

4.1.2 ตัวแบบที่ 2 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง  
 ผู้วิจัยจำลองตัวแบบที่ 2 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.2 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

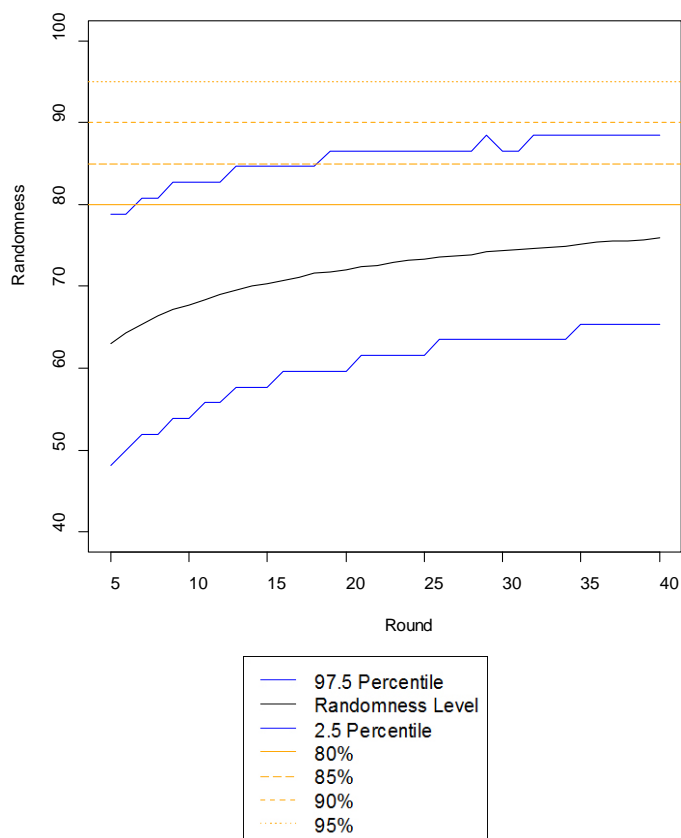
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน,  
 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 2 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของ ระดับความสับสน	ความแปรปรวนของ ระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
5	62.95	62.20	48.08	78.85
6	64.32	59.06	50.00	78.85
7	65.40	56.08	51.92	80.77
8	66.41	54.60	51.92	80.77
9	67.18	52.30	53.85	82.69
10	67.75	51.43	53.85	82.69
11	68.41	50.32	55.77	82.69
12	68.96	48.99	55.77	82.69
13	69.54	48.24	57.69	84.62
14	70.04	46.13	57.69	84.62
15	70.29	47.00	57.69	84.62
16	70.70	45.05	59.62	84.62
17	71.04	44.59	59.62	84.62
18	71.57	44.01	59.62	84.62
19	71.75	43.78	59.62	86.54
20	71.98	43.17	59.62	86.54
21	72.46	42.51	61.54	86.54
22	72.49	42.06	61.54	86.54
23	72.90	41.47	61.54	86.54
24	73.19	40.36	61.54	86.54
25	73.29	40.34	61.54	86.54
26	73.62	40.05	63.46	86.54
27	73.75	38.87	63.46	86.54
28	73.81	38.68	63.46	86.54

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 2 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้งของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน	ความแปรปรวนของระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
29	74.17	38.87	63.46	88.46
30	74.31	37.44	63.46	86.54
31	74.44	38.17	63.46	86.54
32	74.66	37.71	63.46	88.46
33	74.78	37.05	63.46	88.46
34	74.94	37.80	63.46	88.46
35	75.15	36.36	65.38	88.46
36	75.37	36.81	65.38	88.46
37	75.51	36.57	65.38	88.46
38	75.60	35.69	65.38	88.46
39	75.65	35.22	65.38	88.46
40	75.90	34.86	65.38	88.46

รูปภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง (ตัวแบบที่ 2)



พิจารณาตัวแบบที่ 2 จากรูปภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าน้อยกว่า 80 ทุกค่า  $k \leq 40$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[65.38, 88.46]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 75.90

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มน้อยกว่า 85% แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง ซึ่งไม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

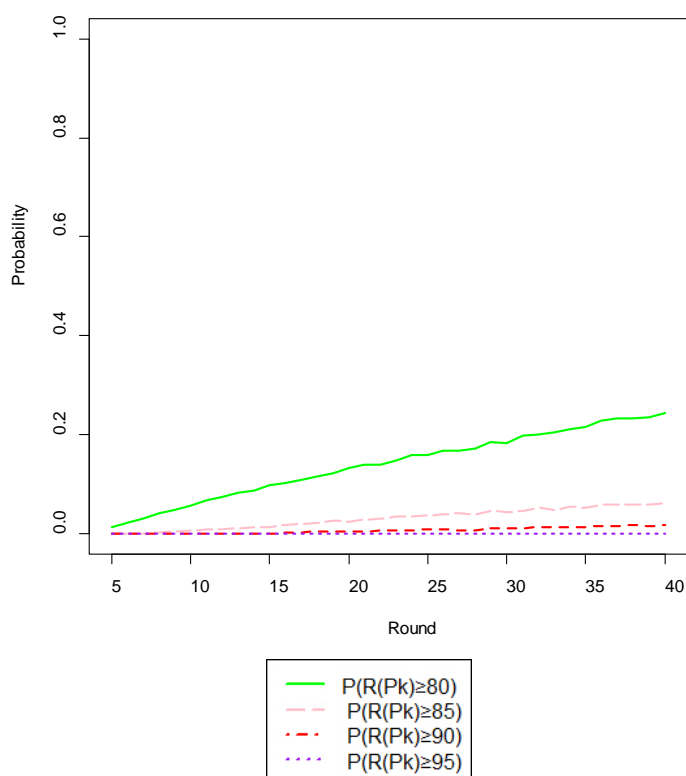
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปรอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 2 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
5	0.01	0.00	0.00	0.00
6	0.02	0.00	0.00	0.00
7	0.03	0.00	0.00	0.00
8	0.04	0.00	0.00	0.00
9	0.05	0.00	0.00	0.00
10	0.06	0.01	0.00	0.00
11	0.07	0.01	0.00	0.00
12	0.07	0.01	0.00	0.00
13	0.08	0.01	0.00	0.00
14	0.09	0.01	0.00	0.00
15	0.10	0.01	0.00	0.00
16	0.10	0.02	0.00	0.00
17	0.11	0.02	0.00	0.00
18	0.12	0.02	0.00	0.00
19	0.12	0.03	0.00	0.00
20	0.13	0.03	0.01	0.00
21	0.14	0.03	0.01	0.00
22	0.14	0.03	0.01	0.00
23	0.15	0.03	0.01	0.00
24	0.16	0.03	0.01	0.00
25	0.16	0.04	0.01	0.00
26	0.17	0.04	0.01	0.00
27	0.17	0.04	0.01	0.00
28	0.17	0.04	0.01	0.00
29	0.19	0.05	0.01	0.00
30	0.18	0.04	0.01	0.00
31	0.20	0.05	0.01	0.00

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความชุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 2 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
32	0.20	0.05	0.01	0.00
33	0.20	0.05	0.01	0.00
34	0.21	0.06	0.01	0.00
35	0.22	0.05	0.01	0.00
36	0.23	0.06	0.02	0.00
37	0.23	0.06	0.02	0.00
38	0.23	0.06	0.02	0.00
39	0.24	0.06	0.02	0.00
40	0.24	0.06	0.02	0.00

รูปภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 2 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 2 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง พบว่า ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k \geq 5$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 85 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 9$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 9$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 90 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 19$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 19$  เป็นต้นไป และค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 95 มีค่าเท่ากับ 0 แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง

4.1.3 ตัวแบบที่ 3 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก  
 ผู้วิจัยจำลองตัวแบบที่ 3 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.3 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 3 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

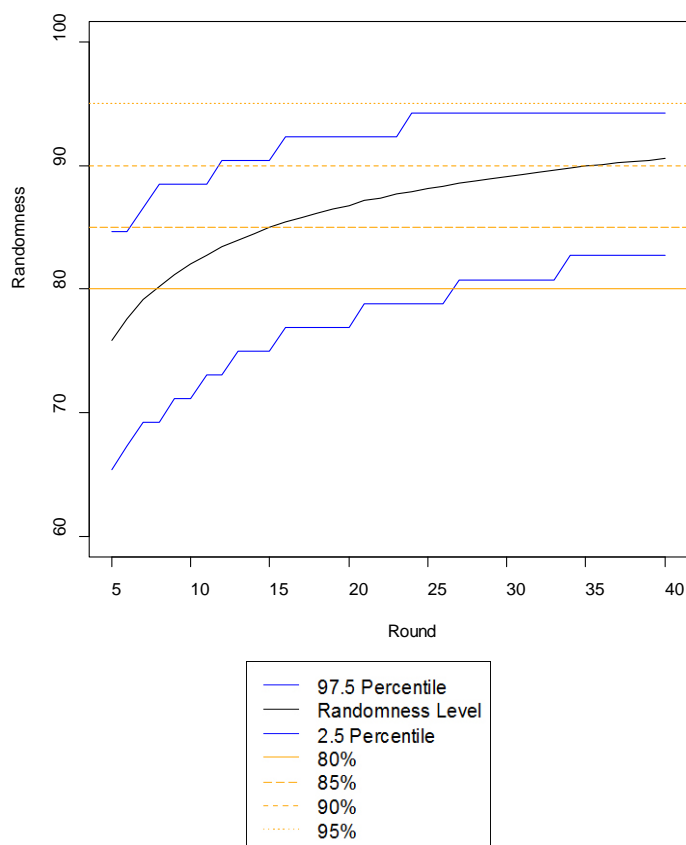
จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของ ระดับความสับสน	ความแปรปรวนของ ระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
5	75.88	25.96	65.38	84.62
6	77.61	23.59	67.31	84.62
7	79.15	22.32	69.23	86.54
8	80.21	21.69	69.23	88.46
9	81.18	20.78	71.15	88.46
10	82.03	20.24	71.15	88.46
11	82.76	19.75	73.08	88.46
12	83.40	19.54	73.08	90.38
13	83.94	18.56	75.00	90.38
14	84.43	18.29	75.00	90.38
15	84.98	18.12	75.00	90.38
16	85.45	17.10	76.92	92.31
17	85.79	16.91	76.92	92.31
18	86.10	16.53	76.92	92.31
19	86.49	16.25	76.92	92.31
20	86.78	15.78	76.92	92.31
21	87.13	15.44	78.85	92.31
22	87.33	15.61	78.85	92.31
23	87.66	14.82	78.85	92.31
24	87.87	14.90	78.85	94.23
25	88.12	14.34	78.85	94.23
26	88.30	14.39	78.85	94.23
27	88.58	14.13	80.77	94.23
28	88.72	13.89	80.77	94.23



ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 3 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้งของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน	ความแปรปรวนของระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
29	88.87	14.12	80.77	94.23
30	89.09	13.55	80.77	94.23
31	89.28	13.09	80.77	94.23
32	89.42	13.37	80.77	94.23
33	89.63	12.88	80.77	94.23
34	89.79	12.49	82.69	94.23
35	89.92	12.57	82.69	94.23
36	90.00	12.49	82.69	94.23
37	90.17	12.38	82.69	94.23
38	90.34	11.88	82.69	94.23
39	90.38	12.03	82.69	94.23
40	90.53	11.56	82.69	94.23

รูปภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก(ตัวแบบที่ 3)



พิจารณาตัวแบบที่ 3 จากรูปภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 80 เมื่อ  $k = 8$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[69.23, 88.46]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 80.21 และพบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 85 เมื่อ  $k = 16$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[76.92, 92.31]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 85.45 และพบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 90 เมื่อ  $k = 36$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[82.69, 94.23]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 90 และพบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าน้อยกว่า 95 ทุกค่า  $k \leq 40$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[82.69, 94.23]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 90.53

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 3 มีจำนวนครั้งของการสับไฟที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความชุ่มไม่น้อยกว่า 80 คือ 8 ครั้ง และทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความชุ่มไม่น้อยกว่า 85 คือ 16 ครั้ง และทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความชุ่มไม่น้อยกว่า 90 คือ 36 ครั้ง ซึ่ง 80%, 85% และ 90% คือระดับความชุ่มที่ยอมรับได้ และพบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความชุ่มน้อยกว่า 95 แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง

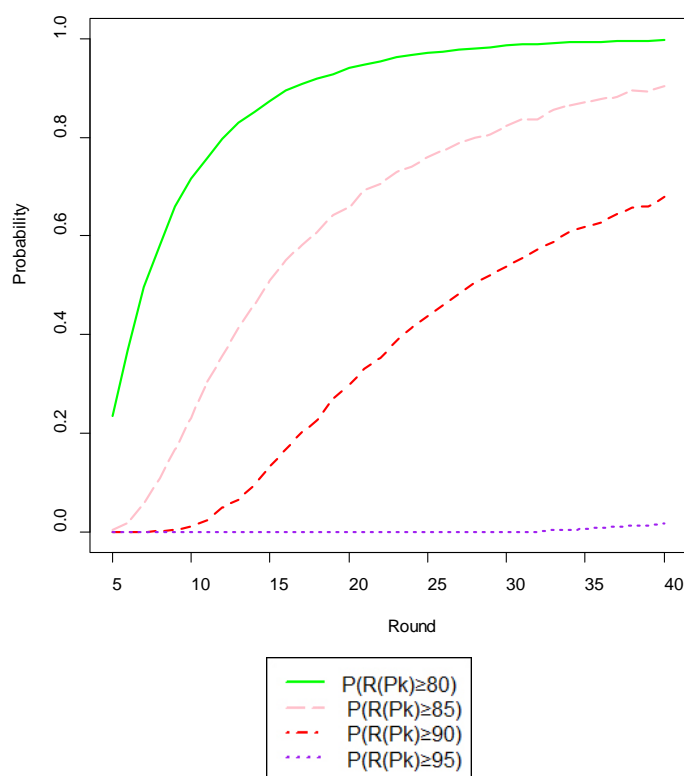
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความชุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 3 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
5	0.24	0.00	0.00	0.00
6	0.37	0.02	0.00	0.00
7	0.50	0.06	0.00	0.00
8	0.58	0.11	0.00	0.00
9	0.66	0.17	0.01	0.00
10	0.72	0.23	0.01	0.00
11	0.76	0.31	0.02	0.00
12	0.80	0.36	0.05	0.00
13	0.83	0.41	0.06	0.00
14	0.85	0.46	0.10	0.00
15	0.87	0.51	0.13	0.00
16	0.89	0.55	0.17	0.00
17	0.91	0.58	0.20	0.00
18	0.92	0.61	0.23	0.00
19	0.93	0.64	0.27	0.00
20	0.94	0.66	0.30	0.00
21	0.95	0.69	0.33	0.00
22	0.95	0.71	0.35	0.00
23	0.96	0.73	0.39	0.00
24	0.97	0.74	0.41	0.00
25	0.97	0.76	0.44	0.00

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความชุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 3 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
26	0.97	0.77	0.46	0.00
27	0.98	0.79	0.48	0.00
28	0.98	0.80	0.51	0.00
29	0.98	0.81	0.52	0.00
30	0.99	0.82	0.54	0.00
31	0.99	0.84	0.56	0.00
32	0.99	0.84	0.57	0.00
33	0.99	0.86	0.59	0.00
34	0.99	0.87	0.61	0.00
35	0.99	0.87	0.62	0.01
36	0.99	0.88	0.63	0.01
37	0.99	0.88	0.64	0.01
38	1.00	0.89	0.66	0.01
39	1.00	0.89	0.66	0.01
40	1.00	0.90	0.68	0.02

รูปภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 3 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 3 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง พบว่า ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k \geq 5$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 85 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 5$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 5$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 90 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 8$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 8$  เป็นต้นไป และค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 95 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 34$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 34$  เป็นต้นไป

4.1.4 ตัวแบบที่ 4 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย  
ผู้วิจัยจำลองตัวแบบที่ 4 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.4 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7

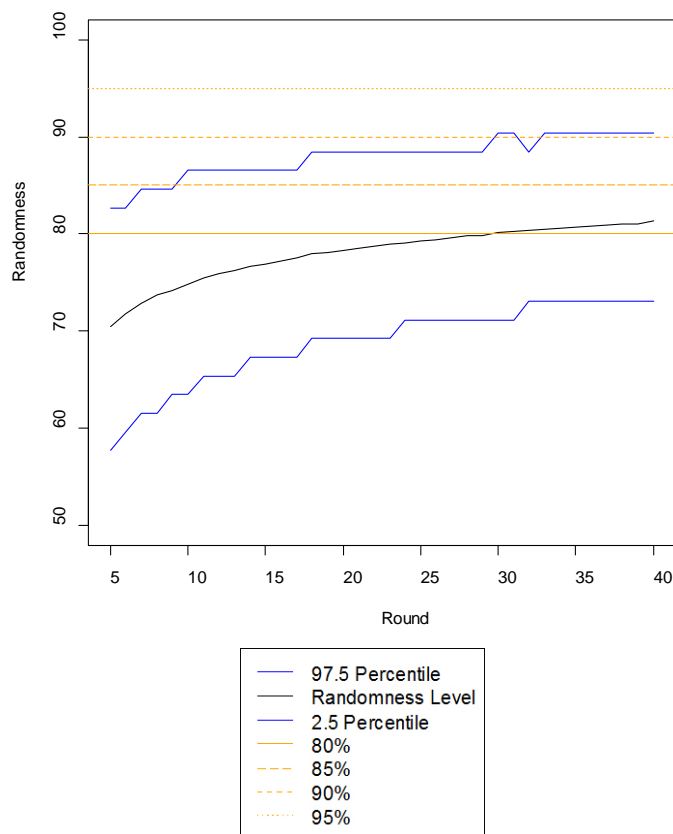
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน,  
2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 4 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของ ระดับความสับสน	ความแปรปรวนของ ระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
5	70.51	39.13	57.69	82.69
6	71.81	37.29	59.62	82.69
7	72.82	35.55	61.54	84.62
8	73.69	35.56	61.54	84.62
9	74.17	32.85	63.46	84.62
10	74.85	32.18	63.46	86.54
11	75.48	31.22	65.38	86.54
12	75.97	29.91	65.38	86.54
13	76.20	28.58	65.38	86.54
14	76.71	28.29	67.31	86.54
15	76.94	27.39	67.31	86.54
16	77.20	27.44	67.31	86.54
17	77.55	26.50	67.31	86.59
18	77.94	26.03	69.23	88.46
19	78.11	25.12	69.23	88.46
20	78.29	25.13	69.23	88.46
21	78.56	25.06	69.23	88.46
22	78.70	24.26	69.23	88.46
23	78.96	23.65	69.23	88.46
24	79.09	23.22	71.15	88.46
25	79.24	22.71	71.15	88.46
26	79.39	22.33	71.15	88.46
27	79.64	22.52	71.15	88.46
28	79.80	22.30	71.15	88.46

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 4 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้งของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน	ความแปรปรวนของระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
29	79.88	21.15	71.15	88.46
30	80.12	21.77	71.15	90.38
31	80.28	21.32	71.15	90.38
32	80.39	20.52	73.08	88.46
33	80.45	20.86	73.08	90.38
34	80.64	21.00	73.08	90.38
35	80.68	20.44	73.08	90.38
36	80.81	20.15	73.08	90.38
37	80.91	20.37	73.08	90.38
38	81.01	19.99	73.08	90.38
39	81.07	19.53	73.08	90.38
40	81.33	19.75	73.08	90.38

รูปภาพที่ 4.7 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย(ตัวแบบที่ 4)



พิจารณาตัวแบบที่ 4 จากรูปภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 80 เมื่อ  $k = 30$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[71.15, 90.38]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 80.12 และพบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าน้อยกว่า 85 ทุกค่า  $k \leq 40$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[73.08, 90.38]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 81.33

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 4 มีจำนวนครั้งของการสับไฟที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มไม่น้อยกว่า 80 คือ 30 ครั้ง ซึ่ง 80% คือระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ และพบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มน้อยกว่า 85% แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง



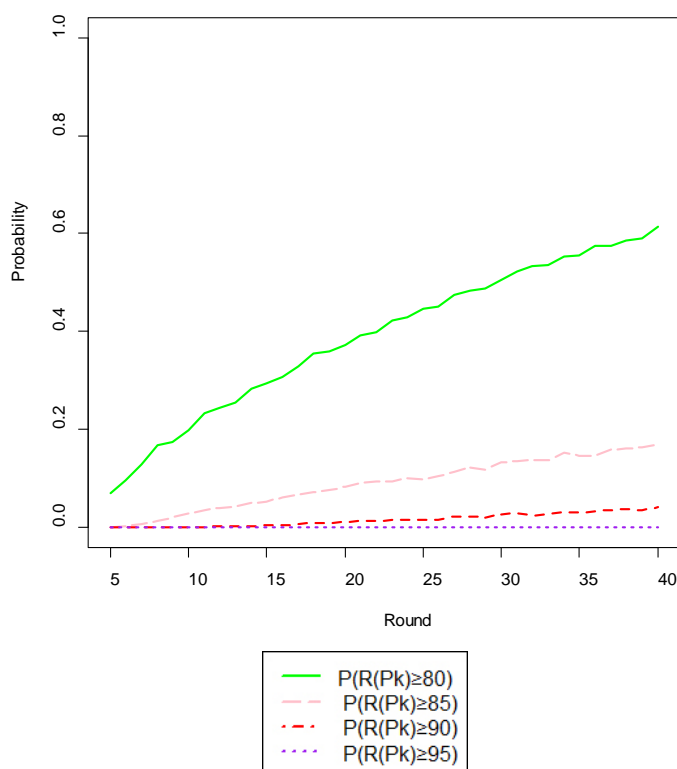
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความชุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 4 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
5	0.07	0.00	0.00	0.00
6	0.10	0.00	0.00	0.00
7	0.13	0.01	0.00	0.00
8	0.17	0.01	0.00	0.00
9	0.18	0.02	0.00	0.00
10	0.20	0.03	0.00	0.00
11	0.23	0.04	0.00	0.00
12	0.25	0.04	0.00	0.00
13	0.25	0.04	0.00	0.00
14	0.28	0.05	0.00	0.00
15	0.29	0.05	0.00	0.00
16	0.31	0.06	0.01	0.00
17	0.33	0.07	0.01	0.00
18	0.35	0.07	0.01	0.00
19	0.36	0.08	0.01	0.00
20	0.37	0.08	0.01	0.00
21	0.39	0.09	0.01	0.00
22	0.40	0.09	0.01	0.00
23	0.42	0.10	0.02	0.00
24	0.43	0.10	0.02	0.00
25	0.45	0.10	0.02	0.00
26	0.45	0.11	0.02	0.00
27	0.47	0.11	0.02	0.00
28	0.48	0.12	0.02	0.00
29	0.49	0.12	0.02	0.00
30	0.50	0.13	0.03	0.00
31	0.52	0.14	0.03	0.00

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความชุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 4 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
32	0.53	0.14	0.02	0.00
33	0.54	0.14	0.03	0.00
34	0.55	0.15	0.03	0.00
35	0.56	0.15	0.03	0.00
36	0.58	0.15	0.03	0.00
37	0.58	0.16	0.04	0.00
38	0.59	0.16	0.04	0.00
39	0.59	0.16	0.04	0.00
40	0.61	0.17	0.04	0.00

รูปภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 4 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 4 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง พบว่าค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k \geq 5$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 85 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 6$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 6$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 90 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 15$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 15$  เป็นต้นไป และค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 95 มีค่าเท่ากับ 0 แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง

4.1.5 ตัวแบบที่ 5 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง  
ผู้วิจัยจำลองตัวแบบที่ 5 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.5 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9

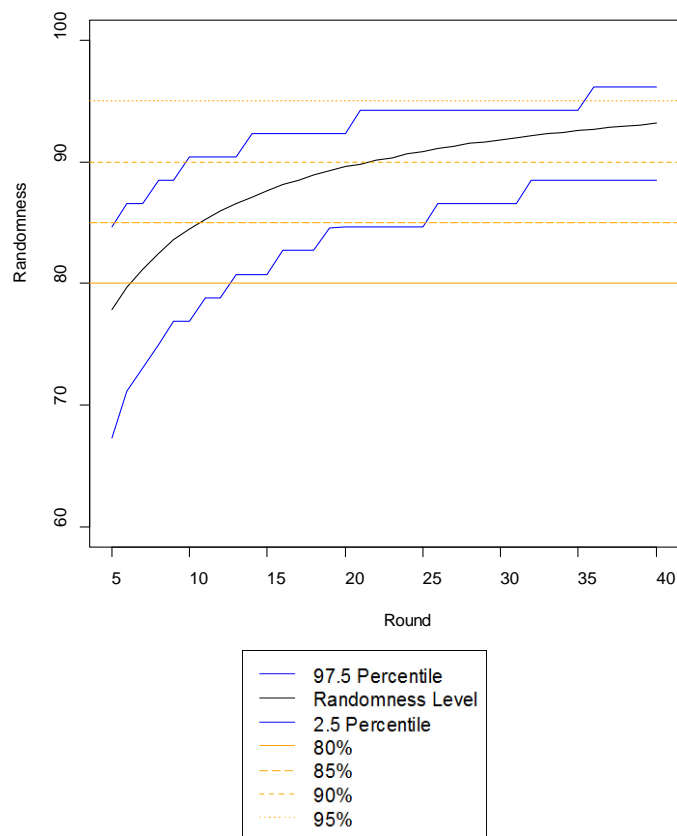
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน,  
2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 5 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของ ระดับความสับสน	ความแปรปรวนของ ระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
5	77.84	19.63	67.31	84.62
6	79.69	16.72	71.15	86.54
7	81.13	14.61	73.08	86.54
8	82.47	12.71	75.00	88.46
9	83.57	11.47	76.92	88.46
10	84.44	10.51	76.92	90.38
11	85.23	9.59	78.85	90.38
12	85.92	8.84	78.85	90.38
13	86.57	8.44	80.77	90.38
14	87.12	7.81	80.77	92.31
15	87.63	7.49	80.77	92.31
16	88.09	6.98	82.69	92.31
17	88.45	6.66	82.69	92.31
18	88.89	6.11	82.69	92.31
19	89.25	5.92	84.57	92.31
20	89.58	5.67	84.62	92.31
21	89.82	5.67	84.62	94.23
22	90.16	5.29	84.62	94.23
23	90.34	5.23	84.62	94.23
24	90.62	4.81	84.62	94.23
25	90.84	4.79	84.62	94.23
26	91.10	4.60	86.54	94.23
27	91.29	4.29	86.54	94.23
28	91.48	4.29	86.54	94.23

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 5 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้งของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน	ความแปรปรวนของระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
29	91.62	4.13	86.54	94.23
30	91.81	4.09	86.54	94.23
31	91.95	4.06	86.54	94.23
32	92.17	3.72	88.46	94.23
33	92.30	3.64	88.46	94.23
34	92.41	3.61	88.46	94.23
35	92.59	3.43	88.46	94.23
36	92.67	3.51	88.46	96.15
37	92.81	3.31	88.46	96.15
38	92.95	3.06	88.46	96.15
39	93.01	3.16	88.46	96.15
40	93.15	3.09	88.46	96.15

รูปภาพที่ 4.9 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง(ตัวแบบที่ 5)



พิจารณาตัวแบบที่ 5 จากรูปภาพที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 80 เมื่อ  $k = 7$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[73.08, 86.54]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 81.13 และพบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 85 เมื่อ  $k = 11$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[78.85, 90.38]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 85.23 และพบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 90 เมื่อ  $k = 22$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[84.62, 94.23]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 90.16 และพบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าน้อยกว่า 95 ทุกค่า  $k \leq 40$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[88.46, 96.15]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 93.15

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 5 มีจำนวนครั้งของการสับไฟที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มไม่น้อยกว่า 80 คือ 7 ครั้ง และทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มไม่น้อยกว่า 85 คือ 11 ครั้ง และทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มไม่น้อยกว่า 90 คือ 22 ครั้ง ซึ่ง 80%, 85% และ 90% คือระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ และพบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มน้อยกว่า 95% แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 5 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

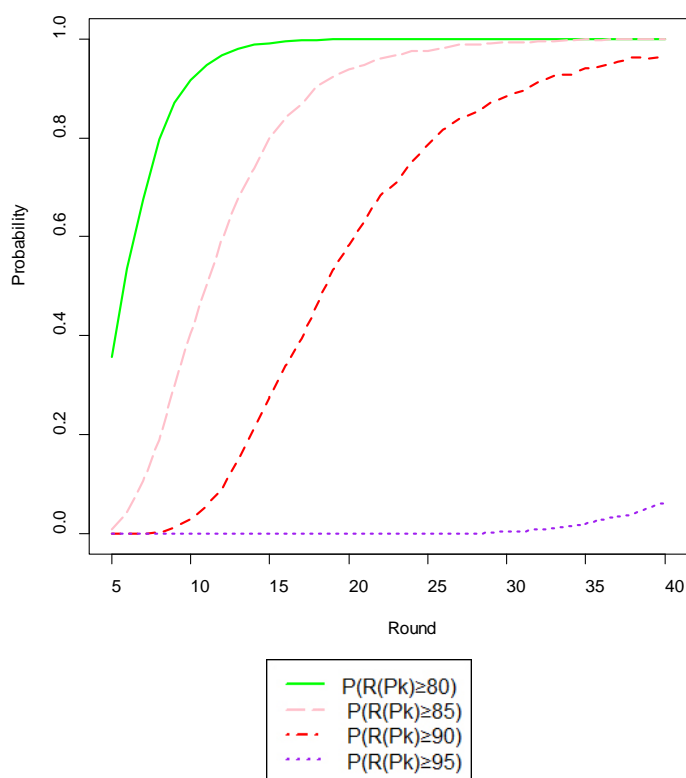
จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
5	0.36	0.01	0.00	0.00
6	0.54	0.04	0.00	0.00
7	0.67	0.11	0.00	0.00
8	0.80	0.19	0.00	0.00
9	0.87	0.30	0.01	0.00
10	0.92	0.40	0.03	0.00
11	0.95	0.50	0.06	0.00
12	0.97	0.59	0.09	0.00
13	0.98	0.68	0.15	0.00
14	0.99	0.74	0.21	0.00
15	0.99	0.80	0.27	0.00
16	0.99	0.84	0.34	0.00
17	1.00	0.87	0.39	0.00
18	1.00	0.90	0.46	0.00
19	1.00	0.92	0.53	0.00
20	1.00	0.94	0.58	0.00
21	1.00	0.95	0.63	0.00
22	1.00	0.96	0.68	0.00
23	1.00	0.97	0.71	0.00
24	1.00	0.97	0.75	0.00
25	1.00	0.97	0.79	0.00

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความชุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 5 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
26	1.00	0.98	0.82	0.00
27	1.00	0.99	0.84	0.00
28	1.00	0.99	0.85	0.00
29	1.00	0.99	0.87	0.00
30	1.00	0.99	0.88	0.00
31	1.00	0.99	0.89	0.00
32	1.00	1.00	0.91	0.01
33	1.00	1.00	0.92	0.01
34	1.00	1.00	0.93	0.02
35	1.00	1.00	0.94	0.02
36	1.00	1.00	0.94	0.03
37	1.00	1.00	0.95	0.04
38	1.00	1.00	0.96	0.04
39	1.00	1.00	0.96	0.05
40	1.00	1.00	0.96	0.06



รูปภาพที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 5 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 5 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง พบว่าค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80 และ 85 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k \geq 5$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 90 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 8$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 8$  เป็นต้นไป และค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 95 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 31$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 31$  เป็นต้นไป

4.1.6 ตัวแบบที่ 6 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก  
 ผู้วิจัยจำลองตัวแบบที่ 6 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.6 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.11

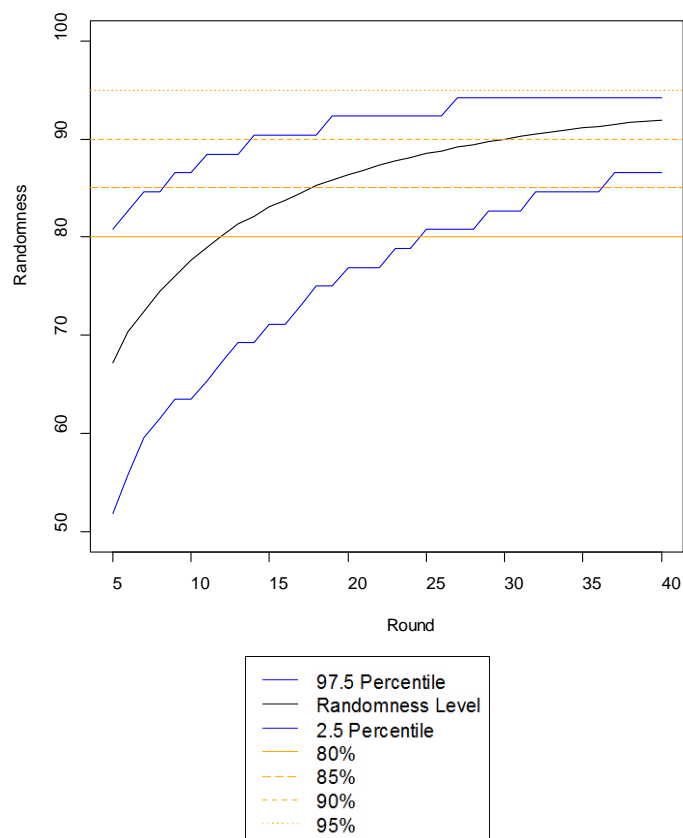
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 6 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของ ระดับความสับสน	ความแปรปรวนของ ระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
5	67.24	70.74	51.92	80.77
6	70.33	50.13	55.77	82.69
7	72.44	49.38	59.62	84.62
8	74.55	43.00	61.54	84.62
9	75.99	41.00	63.46	86.54
10	77.68	38.24	63.46	86.54
11	78.93	35.33	65.38	88.46
12	80.14	32.64	67.31	88.46
13	81.33	29.44	69.23	88.46
14	82.16	27.67	69.23	90.38
15	83.07	25.06	71.15	90.38
16	83.74	23.69	71.15	90.38
17	84.47	21.70	73.08	90.38
18	85.22	19.46	75.00	90.38
19	85.77	18.09	75.00	92.31
20	86.31	16.75	76.92	92.31
21	86.82	15.29	76.92	92.31
22	87.30	14.28	76.92	92.31
23	87.76	13.04	78.85	92.31
24	88.08	12.18	78.85	92.31
25	88.51	11.33	80.77	92.31
26	88.77	11.13	80.77	92.31
27	89.16	10.00	80.77	94.23
28	89.45	9.53	80.77	94.23

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 6 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้งของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน	ความแปรปรวนของระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
29	89.69	9.00	82.69	94.23
30	89.91	8.49	82.69	94.23
31	90.24	7.57	82.69	94.23
32	90.51	7.26	84.62	94.23
33	90.70	6.86	84.62	94.23
34	90.92	6.46	84.62	94.23
35	91.11	6.44	84.62	94.23
36	91.30	5.95	84.62	94.23
37	91.50	5.43	86.54	94.23
38	91.65	5.30	86.54	94.23
39	91.82	5.18	86.54	94.23
40	91.95	4.89	86.54	94.23

รูปภาพที่ 4.11 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก(ตัวแบบที่ 6)



พิจารณาตัวแบบที่ 6 จากรูปภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 80 เมื่อ  $k = 12$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[67.31, 88.46]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 80.14 และพบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 85 เมื่อ  $k = 18$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[75.00, 90.38]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 85.22 และพบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 90 เมื่อ  $k = 31$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[82.69, 94.23]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 90.24 และพบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าน้อยกว่า 95 ทุกค่า  $k \leq 40$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[86.54, 94.23]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 91.95

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 6 มีจำนวนครั้งของการสับไฟที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความชุ่มไม่น้อยกว่า 80 คือ 12 ครั้ง และทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความชุ่มไม่น้อยกว่า 85% คือ 18 ครั้งและทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความชุ่มไม่น้อยกว่า 90% คือ 31 ครั้ง ซึ่ง 80%, 85% และ 90% คือระดับความชุ่มที่ยอมรับได้ และพบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความชุ่มน้อยกว่า 95 แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง

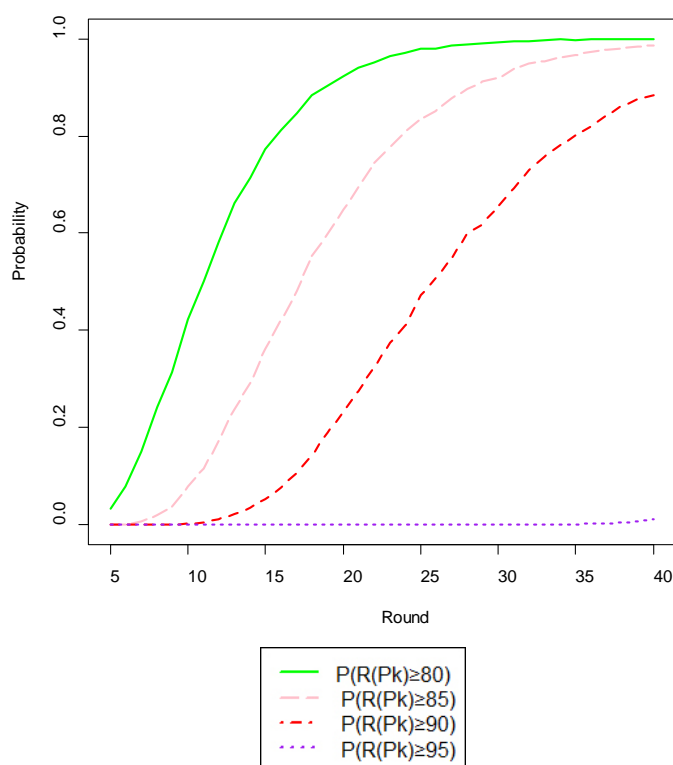
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความชุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 6 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
5	0.03	0.00	0.00	0.00
6	0.08	0.00	0.00	0.00
7	0.15	0.01	0.00	0.00
8	0.24	0.02	0.00	0.00
9	0.31	0.04	0.00	0.00
10	0.42	0.08	0.00	0.00
11	0.50	0.12	0.00	0.00
12	0.58	0.17	0.01	0.00
13	0.66	0.24	0.02	0.00
14	0.72	0.29	0.04	0.00
15	0.77	0.36	0.05	0.00
16	0.81	0.42	0.08	0.00
17	0.85	0.48	0.11	0.00
18	0.88	0.55	0.14	0.00
19	0.90	0.60	0.19	0.00
20	0.92	0.65	0.23	0.00
21	0.94	0.70	0.27	0.00
22	0.95	0.74	0.32	0.00
23	0.96	0.78	0.38	0.00
24	0.97	0.81	0.41	0.00
25	0.98	0.84	0.47	0.00

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความชุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 6 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
26	0.98	0.85	0.51	0.00
27	0.99	0.88	0.55	0.00
28	0.99	0.90	0.60	0.00
29	0.99	0.91	0.62	0.00
30	0.99	0.92	0.65	0.00
31	1.00	0.94	0.69	0.00
32	1.00	0.95	0.73	0.00
33	1.00	0.95	0.76	0.00
34	1.00	0.96	0.78	0.00
35	1.00	0.97	0.80	0.00
36	1.00	0.97	0.82	0.00
37	1.00	0.98	0.84	0.00
38	1.00	0.98	0.86	0.00
39	1.00	0.98	0.87	0.01
40	1.00	0.99	0.88	0.01

รูปภาพที่ 4.12 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 6 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.12 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 6 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง พบว่าค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k \geq 5$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 85 เท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 6$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 6$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 90 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 11$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 11$  เป็นต้นไป และค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 95 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 38$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 38$  เป็นต้นไป

4.1.7 ตัวแบบที่ 7 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย  
 ผู้วิจัยจำลองตัวแบบที่ 7 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.7 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 7 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

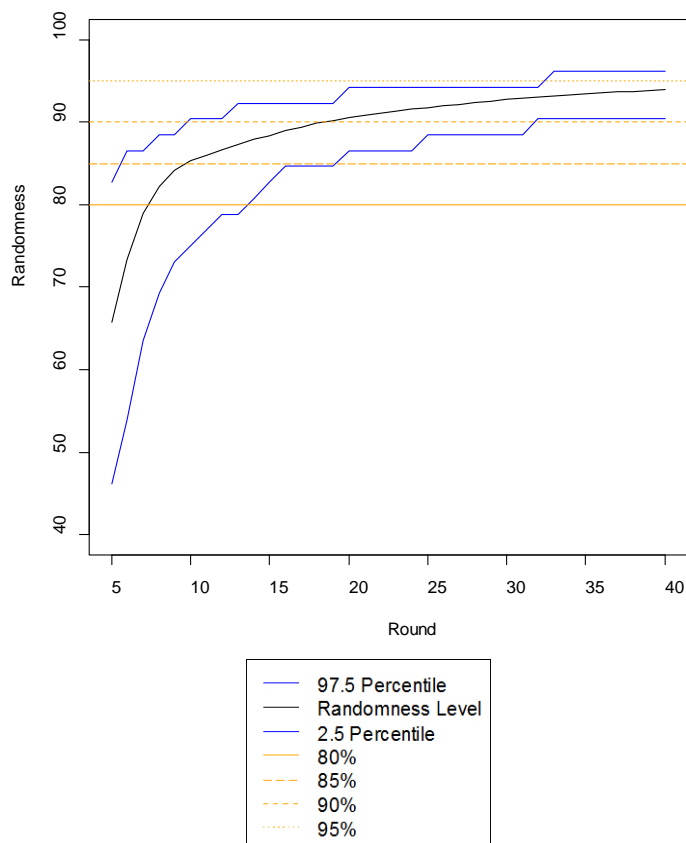
จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของ ระดับความสับสน	ความแปรปรวนของ ระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
5	65.80	95.55	46.15	82.69
6	73.36	73.42	53.85	86.54
7	78.97	45.56	63.46	86.54
8	82.18	26.46	69.23	88.46
9	84.18	16.04	73.08	88.46
10	85.28	12.58	75.00	90.38
11	86.01	10.72	76.92	90.38
12	86.62	10.34	78.85	90.38
13	87.24	8.75	78.85	92.31
14	87.88	7.86	80.77	92.31
15	88.36	7.24	82.69	92.31
16	88.94	6.03	84.62	92.31
17	89.41	5.36	84.62	92.31
18	89.83	4.88	84.62	92.31
19	90.17	4.54	84.62	92.31
20	90.49	4.15	86.54	94.23
21	90.78	4.04	86.54	94.23
22	91.06	3.89	86.54	94.23
23	91.29	3.72	86.54	94.23
24	91.53	3.52	86.54	94.23
25	91.76	3.35	88.46	94.23
26	92.00	3.08	88.46	94.23
27	92.16	3.11	88.46	94.23
28	92.39	2.84	88.46	94.23



ตารางที่ 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 7 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้งของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน	ความแปรปรวนของระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
29	92.54	2.72	88.46	94.23
30	92.73	2.62	88.46	94.23
31	92.86	2.57	88.46	94.23
32	92.98	2.39	90.38	94.23
33	93.14	2.24	90.38	96.15
34	93.25	2.29	90.38	96.15
35	93.39	2.07	90.38	96.15
36	93.51	2.02	90.38	96.15
37	93.64	1.97	90.38	96.15
38	93.74	1.91	90.38	96.15
39	93.83	1.95	90.38	96.15
40	93.93	1.85	90.38	96.15

รูปภาพที่ 4.13 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย(ตัวแบบที่ 7)



พิจารณาตัวแบบที่ 7 จากรูปภาพที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 80 เมื่อ  $k=8$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[69.23, 88.46]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 82.18 และพบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 85 เมื่อ  $k=10$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[75.00, 90.38]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 85.28 และพบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 90 เมื่อ  $k=19$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[84.62, 92.31]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 90.17 และพบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าน้อยกว่า 95 ทุกค่า  $k \leq 40$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[90.38, 96.15]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 93.93

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 7 มีจำนวนครั้งของการสับไฟที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มไม่น้อยกว่า 80 คือ 8 ครั้ง และทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มไม่น้อยกว่า 85 คือ 10 ครั้ง และทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มไม่น้อยกว่า 90 คือ 19 ครั้ง ซึ่ง 80% ,85% และ 90% คือระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ และพบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มไม่น้อยกว่า 95 แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง

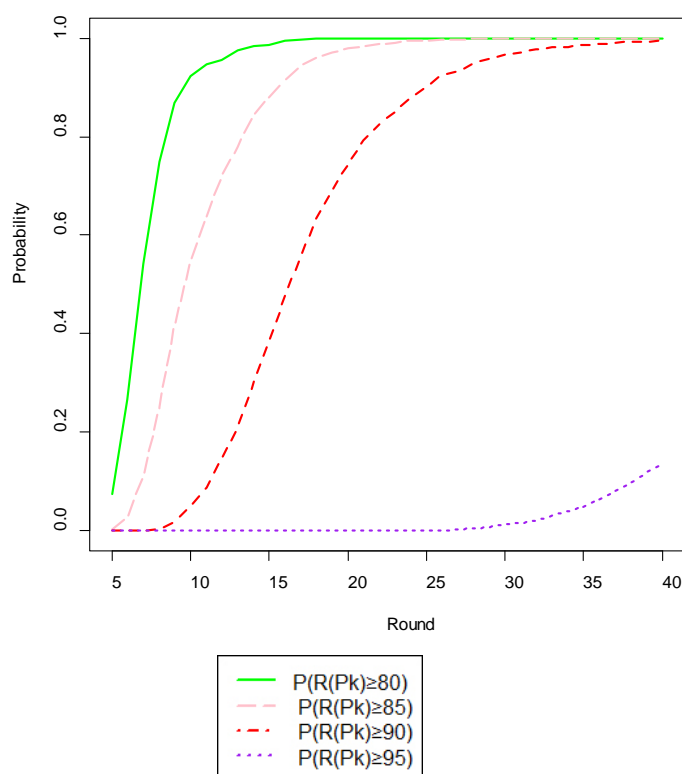
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 7 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
5	0.07	0.00	0.00	0.00
6	0.27	0.03	0.00	0.00
7	0.54	0.11	0.00	0.00
8	0.75	0.25	0.00	0.00
9	0.87	0.42	0.02	0.00
10	0.92	0.54	0.05	0.00
11	0.95	0.64	0.09	0.00
12	0.96	0.72	0.15	0.00
13	0.97	0.78	0.21	0.00
14	0.98	0.84	0.30	0.00
15	0.99	0.88	0.38	0.00
16	0.99	0.92	0.48	0.00
17	1.00	0.95	0.56	0.00
18	1.00	0.96	0.63	0.00
19	1.00	0.97	0.69	0.00
20	1.00	0.98	0.75	0.00
21	1.00	0.98	0.79	0.00
22	1.00	0.99	0.82	0.00
23	1.00	0.99	0.85	0.00
24	1.00	0.99	0.88	0.00
25	1.00	0.99	0.90	0.00

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความชุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 7 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
26	1.00	1.00	0.92	0.00
27	1.00	1.00	0.93	0.00
28	1.00	1.00	0.95	0.00
29	1.00	1.00	0.96	0.01
30	1.00	1.00	0.97	0.01
31	1.00	1.00	0.97	0.02
32	1.00	1.00	0.98	0.02
33	1.00	1.00	0.98	0.03
34	1.00	1.00	0.98	0.04
35	1.00	1.00	0.99	0.05
36	1.00	1.00	0.99	0.06
37	1.00	1.00	0.99	0.08
38	1.00	1.00	0.99	0.10
39	1.00	1.00	0.99	0.12
40	1.00	1.00	1.00	0.13

รูปภาพที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 7 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 7 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง พบว่าค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k \geq 5$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 85 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 5$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 5$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 90 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 8$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 8$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 95 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 28$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 28$  เป็นต้นไป

4.1.8 ตัวแบบที่ 8 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง  
ผู้วิจัยจำลองตัวแบบที่ 8 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.8 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.15

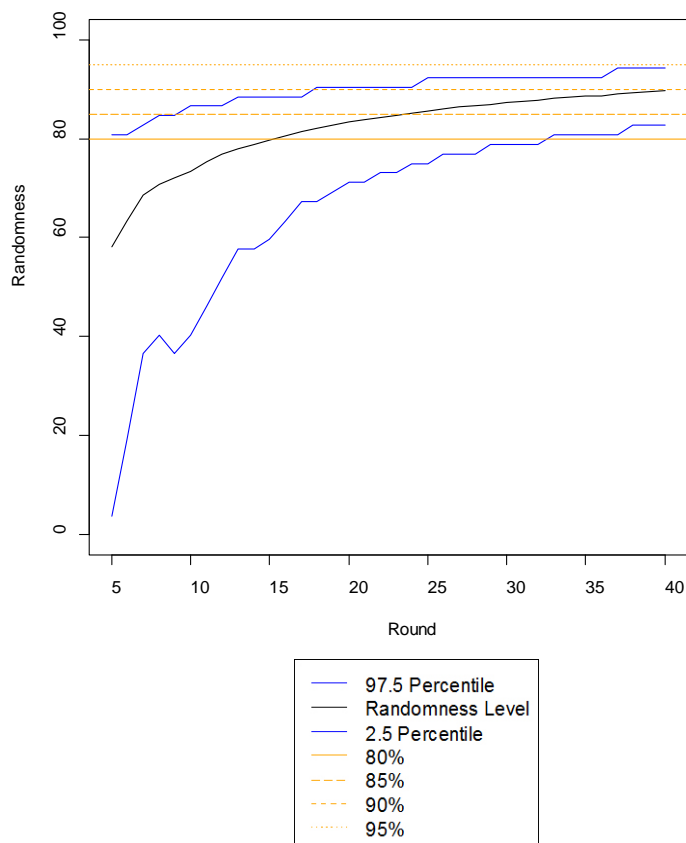
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสั่น, ความแปรปรวนของระดับความสั่น,  
2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 8 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของ ระดับความสั่น	ความแปรปรวนของ ระดับความสั่น	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
5	58.06	421.01	3.85	80.77
6	63.28	279.53	19.23	80.77
7	68.50	151.66	36.54	82.69
8	70.78	134.77	40.38	84.62
9	71.99	146.53	36.54	84.62
10	73.39	132.01	40.38	86.54
11	75.22	100.35	46.15	86.54
12	76.82	75.26	51.92	86.54
13	78.03	62.32	57.69	88.46
14	78.73	62.00	57.69	88.46
15	79.79	53.10	59.62	88.46
16	80.66	45.48	63.46	88.46
17	81.49	37.52	67.31	88.46
18	82.09	33.28	67.31	90.38
19	82.64	30.70	69.23	90.38
20	83.35	27.67	71.15	90.38
21	83.84	25.91	71.15	90.38
22	84.28	23.06	73.08	90.38
23	84.71	21.67	73.08	90.38
24	85.21	19.50	75.00	90.38
25	85.63	17.76	75.00	92.31
26	85.92	18.00	76.92	92.31
27	86.33	16.29	76.92	92.31
28	86.68	16.06	76.92	92.31

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 8 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้งของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน	ความแปรปรวนของระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
29	86.95	14.94	78.85	92.31
30	87.31	13.49	78.85	92.31
31	87.57	13.33	78.85	92.31
32	87.80	12.68	78.85	92.31
33	88.10	11.20	80.77	92.31
34	88.27	11.42	80.77	92.31
35	88.57	10.56	80.77	92.31
36	88.70	10.87	80.77	92.31
37	88.99	9.81	80.77	94.23
38	89.21	9.60	82.69	94.23
39	89.39	9.16	82.69	94.23
40	89.63	8.56	82.69	94.23

รูปภาพที่ 4.15 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง(ตัวแบบที่ 8)



พิจารณาตัวแบบที่ 8 จากรูปภาพที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 80 เมื่อ  $k = 16$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[63.46, 88.46]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 80.66 และพบว่า ค่า  $k$  ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าไม่น้อยกว่า 85 เมื่อ  $k = 24$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[75.00, 90.38]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 85.21 และพบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าน้อยกว่า 90 ทุกค่า  $k \leq 40$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[82.69, 94.23]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 89.63

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 8 มีจำนวนครั้งของการสับไฟที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มไม่น้อยกว่า 80 คือ 16 ครั้ง และทำให้ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มไม่น้อยกว่า 85 คือ



24 ครั้ง ซึ่ง 80% และ 85% คือระดับความสุ่มที่ยอมรับได้ และพบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มน้อยกว่า 90% แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง

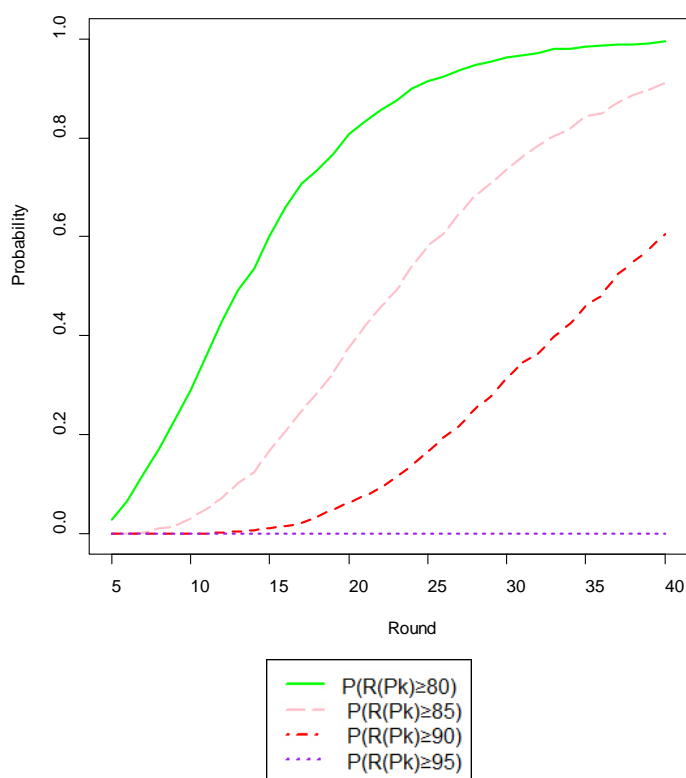
ตารางที่ 4.16 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 8 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
5	0.03	0.00	0.00	0.00
6	0.07	0.00	0.00	0.00
7	0.12	0.00	0.00	0.00
8	0.17	0.01	0.00	0.00
9	0.23	0.01	0.00	0.00
10	0.29	0.03	0.00	0.00
11	0.36	0.05	0.00	0.00
12	0.43	0.07	0.00	0.00
13	0.49	0.10	0.00	0.00
14	0.54	0.13	0.01	0.00
15	0.60	0.17	0.01	0.00
16	0.66	0.21	0.02	0.00
17	0.71	0.25	0.02	0.00
18	0.73	0.28	0.04	0.00
19	0.77	0.32	0.05	0.00
20	0.81	0.38	0.06	0.00
21	0.83	0.42	0.08	0.00
22	0.86	0.46	0.09	0.00
23	0.87	0.49	0.12	0.00
24	0.90	0.54	0.14	0.00
25	0.91	0.58	0.16	0.00
26	0.92	0.61	0.19	0.00
27	0.94	0.65	0.22	0.00
28	0.95	0.68	0.25	0.00

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความชุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 8 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
29	0.95	0.71	0.28	0.00
30	0.96	0.74	0.31	0.00
31	0.97	0.76	0.35	0.00
32	0.97	0.78	0.36	0.00
33	0.98	0.80	0.40	0.00
34	0.98	0.82	0.43	0.00
35	0.98	0.84	0.46	0.00
36	0.99	0.85	0.48	0.00
37	0.99	0.87	0.53	0.00
38	0.99	0.89	0.55	0.00
39	0.99	0.90	0.58	0.00
40	0.99	0.91	0.61	0.00

รูปภาพที่ 4.16 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 8 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.16 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 8 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง พบว่าค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k \geq 5$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 85 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 7$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 7$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 90 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 13$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 13$  เป็นต้นไป และค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสุ่มที่ไม่น้อยกว่า 95 มีค่าเท่ากับ 0 แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง

4.1.9 ตัวแบบที่ 9 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก  
 ผู้วิจัยจำลองตัวแบบที่ 9 ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2.6.9 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.17

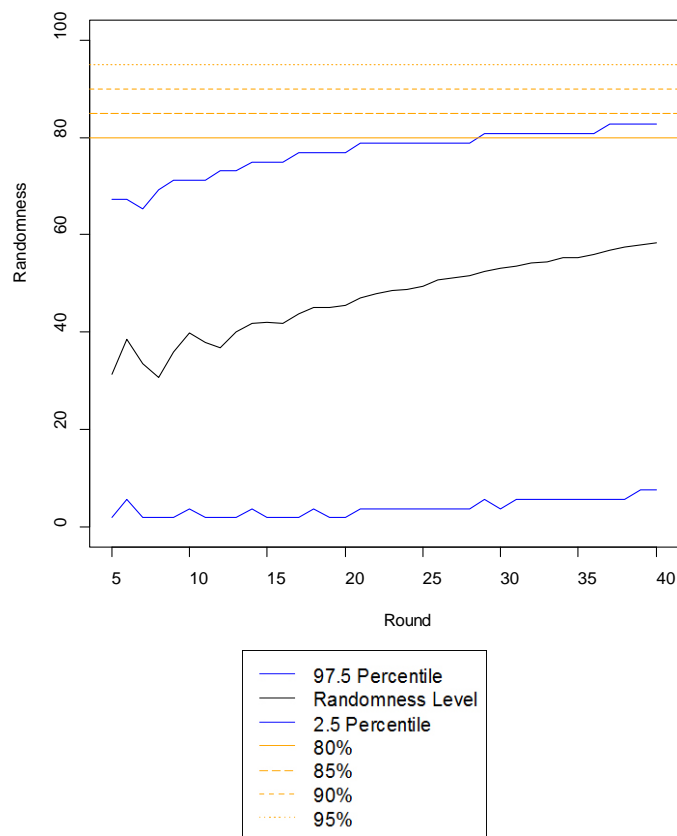
ตารางที่ 4.17 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสั่น, ความแปรปรวนของระดับความสั่น,  
 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 9 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของ ระดับความสั่น	ความแปรปรวนของ ระดับความสั่น	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
5	31.44	346.61	1.92	67.31
6	38.50	249.64	5.77	67.31
7	33.57	362.07	1.92	65.38
8	30.80	454.68	1.92	69.23
9	35.84	419.51	1.92	71.15
10	39.87	349.21	3.85	71.15
11	38.01	413.27	1.92	71.15
12	36.84	477.90	1.92	73.08
13	40.07	443.34	1.92	73.08
14	41.89	410.74	3.85	75.00
15	42.04	441.65	1.92	75.00
16	41.86	471.92	1.92	75.00
17	43.71	463.60	1.92	76.92
18	45.09	429.74	3.85	76.92
19	45.11	444.81	1.92	76.92
20	45.59	461.18	1.92	76.92
21	46.98	456.19	3.85	78.85
22	47.98	440.44	3.85	78.85
23	48.65	430.23	3.85	78.85
24	48.83	446.34	3.85	78.85
25	49.33	436.48	3.85	78.85
26	50.84	419.99	3.85	78.85
27	51.08	422.11	3.85	78.85
28	51.51	423.47	3.85	78.85

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน, ความแปรปรวนของระดับความสับสน, 2.5<sup>th</sup> Percentile, 97.5<sup>th</sup> Percentile ของตัวแบบที่ 9 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้งของการสับไฟ	ค่าเฉลี่ยของระดับความสับสน	ความแปรปรวนของระดับความสับสน	2.5 <sup>th</sup> Percentile	97.5 <sup>th</sup> Percentile
29	52.57	408.50	5.77	80.77
30	53.10	408.09	3.85	80.77
31	53.62	402.61	5.77	80.77
32	54.12	402.69	5.77	80.77
33	54.46	389.63	5.77	80.77
34	55.34	392.14	5.77	80.77
35	55.34	400.18	5.77	80.77
36	56.00	385.50	5.77	80.77
37	56.83	374.55	5.77	82.69
38	57.50	361.92	5.77	82.69
39	57.90	356.73	7.69	82.69
40	58.37	350.40	7.69	82.69

รูปภาพที่ 4.17 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มของพฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟ ส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก (ตัวแบบที่ 9)



พิจารณาตัวแบบที่ 9 จากรูปภาพที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มกับจำนวนครั้งของการสับไฟ พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าน้อยกว่า 80 ทุกค่า  $k \leq 40$  โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% คือ  $[7.69, 82.69]$  และค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มมีค่าเท่ากับ 58.38

สรุปได้ว่า ตัวแบบที่ 9 มีค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่มน้อยกว่า 80 แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง ซึ่งไม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความชุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 9 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

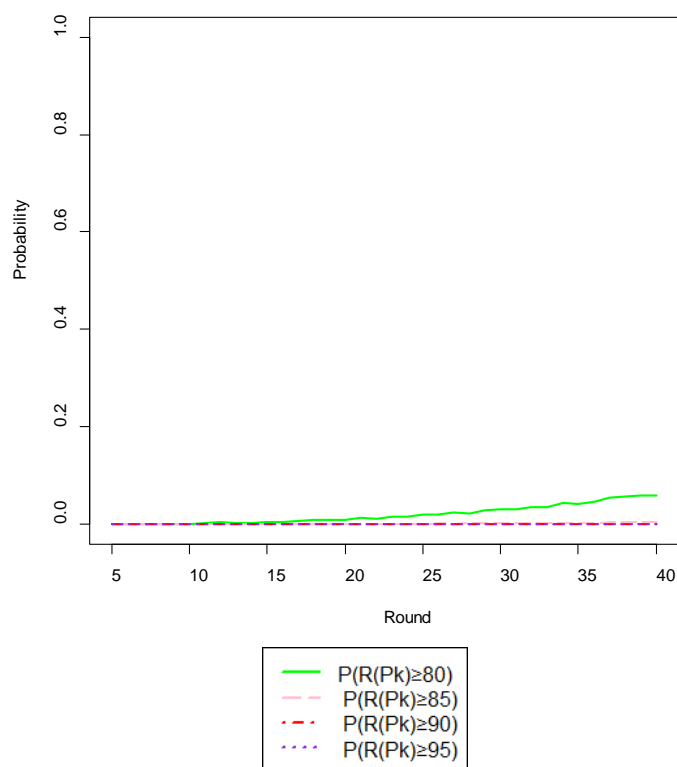
จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.01	0.00	0.00	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.01	0.00	0.00	0.00
18	0.01	0.00	0.00	0.00
19	0.01	0.00	0.00	0.00
20	0.01	0.00	0.00	0.00
21	0.01	0.00	0.00	0.00
22	0.01	0.00	0.00	0.00
23	0.02	0.00	0.00	0.00
24	0.02	0.00	0.00	0.00
25	0.02	0.00	0.00	0.00
26	0.02	0.00	0.00	0.00
27	0.02	0.00	0.00	0.00
28	0.02	0.00	0.00	0.00
29	0.03	0.00	0.00	0.00
30	0.03	0.00	0.00	0.00
31	0.03	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความชุ่มที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 9 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง(ต่อ)

จำนวนครั้ง ของการสับไฟ	$P(R(P_k) \geq 80)$	$P(R(P_k) \geq 85)$	$P(R(P_k) \geq 90)$	$P(R(P_k) \geq 95)$
32	0.03	0.00	0.00	0.00
33	0.03	0.00	0.00	0.00
34	0.04	0.00	0.00	0.00
35	0.04	0.00	0.00	0.00
36	0.05	0.00	0.00	0.00
37	0.05	0.00	0.00	0.00
38	0.06	0.00	0.00	0.00
39	0.06	0.01	0.00	0.00
40	0.06	0.01	0.00	0.00



รูปภาพที่ 4.18 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปรอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 9 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง



จากรูปภาพที่ 4.18 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80, 85, 90 และ 95 เปรอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ของตัวแบบที่ 9 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก เมื่อทำการสับไฟทั้งหมด  $k$  ครั้ง พบว่าค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 80 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 14$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 14$  เป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 85 มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ  $k \leq 38$  จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ  $k > 38$  เป็นต้นไป ส่วนค่าความน่าจะเป็นสะสมของค่าระดับความสับสนที่ไม่น้อยกว่า 90 และ 95 เปรอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เท่ากับ 0 แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง

## 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความถี่กับความหนาของการสับไฟ

ผู้วิจัยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับความถี่กับความหนาของการสับไฟดังนี้

4.2.1 ตัวแบบที่ 1 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ผลการคำนวณค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 1 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 แสดงค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 1 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง	ระดับความถี่	$\% \Delta_k$
5	46.59	หาค่าไม่ได้
6	47.86	2.73
7	49.01	2.41
8	49.80	1.59
9	50.67	1.76
10	51.29	1.22
11	51.91	1.20
12	52.60	1.33
13	52.82	0.43
14	53.48	1.24
15	53.70	0.42
16	54.18	0.90
17	54.49	0.57
18	54.80	0.57
19	55.16	0.65
20	55.48	0.58
21	55.71	0.41
22	55.97	0.47

จำนวนครั้ง	ระดับความถี่	$\% \Delta_k$
23	56.29	0.56
24	56.55	0.47
25	56.72	0.30
26	56.99	0.48
27	57.17	0.31
28	57.28	0.20
29	57.60	0.54
30	57.72	0.22
31	57.93	0.36
32	58.14	0.37
33	58.20	0.09
34	58.43	0.40
35	58.52	0.16
36	58.61	0.14
37	58.91	0.52
38	58.85	-0.09
39	59.09	0.39
40	59.18	0.16

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่ม  $E[\% \Delta] = 0.69$  และค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่ม  $Var[\% \Delta] = 0.41$

#### 4.2.2 ตัวแบบที่ 2 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

ผลการคำนวณค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 2 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 แสดงค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 2 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง	ระดับความสุ่ม	$\% \Delta_k$
5	62.95	หาค่าไม่ได้
6	64.32	2.17
7	65.40	1.68
8	66.41	1.55
9	67.18	1.15
10	67.75	0.86
11	68.41	0.98
12	68.96	0.79
13	69.54	0.84
14	70.04	0.71
15	70.29	0.36
16	70.70	0.58
17	71.04	0.49
18	71.57	0.73
19	71.75	0.26
20	71.98	0.32
21	72.46	0.67
22	72.49	0.04

จำนวนครั้ง	ระดับความสุ่ม	$\% \Delta_k$
23	72.90	0.57
24	73.19	0.40
25	73.29	0.14
26	73.62	0.45
27	73.75	0.19
28	73.81	0.08
29	74.17	0.48
30	74.31	0.18
31	74.44	0.18
32	74.66	0.30
33	74.78	0.17
34	74.94	0.20
35	75.15	0.28
36	75.37	0.30
37	75.51	0.18
38	75.60	0.12
39	75.65	0.07
40	75.90	0.34

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่ม  $E[\% \Delta] = 0.54$  และค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่ม  $Var[\% \Delta] = 0.24$

#### 4.2.3 ตัวแบบที่ 3 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

ผลการคำนวณค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 3 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 3 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง	ระดับความสุม	$\% \Delta_k$
5	75.88	หาค่าไม่ได้
6	77.61	2.28
7	79.15	1.98
8	80.21	1.34
9	81.18	1.21
10	82.03	1.05
11	82.76	0.89
12	83.40	0.77
13	83.94	0.64
14	84.43	0.59
15	84.98	0.65
16	85.45	0.55
17	85.79	0.40
18	86.10	0.36
19	86.49	0.46
20	86.78	0.33
21	87.13	0.40
22	87.33	0.23

จำนวนครั้ง	ระดับความสุม	$\% \Delta_k$
23	87.66	0.38
24	87.87	0.24
25	88.12	0.29
26	88.30	0.20
27	88.58	0.31
28	88.72	0.17
29	88.87	0.17
30	89.09	0.25
31	89.28	0.21
32	89.42	0.16
33	89.63	0.23
34	89.79	0.18
35	89.92	0.14
36	90.00	0.10
37	90.17	0.19
38	90.34	0.18
39	90.38	0.04
40	90.53	0.17

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุม  $E[\% \Delta] = 0.51$  และค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุม  $Var[\% \Delta] = 0.27$

4.2.4 ตัวแบบที่ 4 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ผลการคำนวณค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 4 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 แสดงค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 4 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง	ระดับความสุ่ม	$\% \Delta_k$
5	70.51	หาค่าไม่ได้
6	71.81	1.85
7	72.82	1.40
8	73.69	1.19
9	74.17	0.66
10	74.85	0.92
11	75.48	0.84
12	75.97	0.64
13	76.20	0.30
14	76.71	0.67
15	76.94	0.30
16	77.20	0.33
17	77.55	0.45
18	77.94	0.51
19	78.11	0.22
20	78.29	0.22
21	78.56	0.34
22	78.70	0.18

จำนวนครั้ง	ระดับความสุ่ม	$\% \Delta_k$
23	78.96	0.33
24	79.09	0.18
25	79.24	0.18
26	79.39	0.19
27	79.64	0.32
28	79.80	0.20
29	79.88	0.11
30	80.12	0.30
31	80.28	0.20
32	80.39	0.13
33	80.45	0.07
34	80.64	0.24
35	80.68	0.05
36	80.81	0.16
37	80.91	0.12
38	81.01	0.12
39	81.07	0.08
40	81.33	0.32

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่ม  $E[\% \Delta] = 0.41$  และค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่ม  $Var[\% \Delta] = 0.16$

4.2.5 ตัวแบบที่ 5 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง ผลการคำนวณค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 5 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 แสดงค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 5 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง	ระดับความสุ่ม	$\% \Delta_k$
5	77.84	หาค่าไม่ได้
6	79.69	2.37
7	81.13	1.82
8	82.47	1.65
9	83.57	1.34
10	84.44	1.03
11	85.23	0.94
12	85.92	0.81
13	86.57	0.77
14	87.12	0.64
15	87.63	0.58
16	88.09	0.52
17	88.45	0.41
18	88.89	0.50
19	89.25	0.41
20	89.58	0.36
21	89.82	0.28
22	90.16	0.37

จำนวนครั้ง	ระดับความสุ่ม	$\% \Delta_k$
23	90.34	0.21
24	90.62	0.31
25	90.84	0.25
26	91.10	0.29
27	91.29	0.21
28	91.48	0.21
29	91.62	0.15
30	91.81	0.21
31	91.95	0.15
32	92.17	0.24
33	92.30	0.14
34	92.41	0.12
35	92.59	0.19
36	92.67	0.09
37	92.81	0.15
38	92.95	0.15
39	93.01	0.07
40	93.15	0.15

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่ม  $E[\% \Delta] = 0.52$  และค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุ่ม  $Var[\% \Delta] = 0.29$

4.2.6 ตัวแบบที่ 6 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

ผลการคำนวณค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 6 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 แสดงค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 6 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง	ระดับความสุม	$\% \Delta_k$
5	67.24	หาค่าไม่ได้
6	70.33	4.60
7	72.44	3.01
8	74.55	2.91
9	75.99	1.93
10	77.68	2.23
11	78.93	1.60
12	80.14	1.54
13	81.33	1.48
14	82.16	1.02
15	83.07	1.11
16	83.74	0.81
17	84.47	0.87
18	85.22	0.89
19	85.77	0.65
20	86.31	0.62
21	86.82	0.59
22	87.30	0.55

จำนวนครั้ง	ระดับความสุม	$\% \Delta_k$
23	87.76	0.53
24	88.08	0.36
25	88.51	0.50
26	88.77	0.29
27	89.16	0.43
28	89.45	0.32
29	89.69	0.27
30	89.91	0.25
31	90.24	0.36
32	90.51	0.30
33	90.70	0.21
34	90.92	0.24
35	91.11	0.21
36	91.30	0.20
37	91.50	0.22
38	91.65	0.17
39	91.82	0.19
40	91.95	0.14

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุม  $E[\% \Delta] = 0.9$  และค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุม  $Var[\% \Delta] = 0.99$

4.2.7 ตัวแบบที่ 7 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ผลการคำนวณค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 7 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 แสดงค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 7 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง	ระดับความสุม	$\% \Delta_k$
5	65.80	หาค่าไม่ได้
6	73.36	11.49
7	78.97	7.65
8	82.18	4.07
9	84.18	2.43
10	85.28	1.31
11	86.01	0.86
12	86.62	0.71
13	87.24	0.72
14	87.88	0.74
15	88.36	0.55
16	88.94	0.65
17	89.41	0.53
18	89.83	0.47
19	90.17	0.37
20	90.49	0.36
21	90.78	0.32
22	91.06	0.30

จำนวนครั้ง	ระดับความสุม	$\% \Delta_k$
23	91.29	0.25
24	91.53	0.27
25	91.76	0.25
26	92.00	0.26
27	92.16	0.18
28	92.39	0.25
29	92.54	0.17
30	92.73	0.20
31	92.86	0.14
32	92.98	0.13
33	93.14	0.17
34	93.25	0.11
35	93.39	0.15
36	93.51	0.13
37	93.64	0.13
38	93.74	0.11
39	93.83	0.09
40	93.93	0.11

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุม  $E[\% \Delta] = 1.05$  และค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุม  $Var[\% \Delta] = 5.32$



4.2.8 ตัวแบบที่ 8 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

ผลการคำนวณค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 8 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 แสดงค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 8 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง	ระดับความสุม	$\% \Delta_k$
5	58.06	หาค่าไม่ได้
6	63.28	8.99
7	68.50	8.25
8	70.78	3.33
9	71.99	1.71
10	73.39	1.94
11	75.22	2.50
12	76.82	2.13
13	78.03	1.57
14	78.73	0.90
15	79.79	1.34
16	80.66	1.09
17	81.49	1.04
18	82.09	0.74
19	82.64	0.66
20	83.35	0.86
21	83.84	0.58
22	84.28	0.53

จำนวนครั้ง	ระดับความสุม	$\% \Delta_k$
23	84.71	0.51
24	85.21	0.60
25	85.63	0.49
26	85.92	0.34
27	86.33	0.47
28	86.68	0.41
29	86.95	0.31
30	87.31	0.42
31	87.57	0.29
32	87.80	0.26
33	88.10	0.35
34	88.27	0.19
35	88.57	0.33
36	88.70	0.15
37	88.99	0.33
38	89.21	0.25
39	89.39	0.20
40	89.63	0.26

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุม  $E[\% \Delta] = 1.27$  และค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุม  $Var[\% \Delta] = 3.92$

4.2.9 ตัวแบบที่ 9 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

ผลการคำนวณค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 9 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 แสดงค่า  $\% \Delta_5, \% \Delta_6, \dots, \% \Delta_{40}$ ,  $E[\% \Delta]$  และ  $Var[\% \Delta]$  ของตัวแบบที่ 9 เมื่อทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

จำนวนครั้ง	ระดับความสุม	$\% \Delta_k$
5	31.44	หาค่าไม่ได้
6	38.50	22.45
7	33.57	-12.80
8	30.80	-8.25
9	35.84	16.35
10	39.87	11.25
11	38.01	-4.66
12	36.84	-3.07
13	40.07	8.76
14	41.89	4.53
15	42.04	0.37
16	41.86	-0.44
17	43.71	4.41
18	45.09	3.18
19	45.11	0.03
20	45.59	1.08
21	46.98	3.04
22	47.98	2.13

จำนวนครั้ง	ระดับความสุม	$\% \Delta_k$
23	48.65	1.40
24	48.83	0.37
25	49.33	1.04
26	50.84	3.05
27	51.08	0.48
28	51.51	0.84
29	52.57	2.05
30	53.10	1.00
31	53.62	0.99
32	54.12	0.92
33	54.46	0.64
34	55.34	1.62
35	55.34	-0.01
36	56.00	1.21
37	56.83	1.47
38	57.50	1.18
39	57.90	0.70
40	58.37	0.81

โดยที่ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุม  $E[\% \Delta] = 1.95$  และค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับความสุม  $Var[\% \Delta] = 35.29$

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เนื้อหาในบทนี้ ผู้วิจัยได้สรุปผลการทดลองทั้งหมด พร้อมวิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลอง โดยมีหลักเกณฑ์ในการอภิปรายดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการทดลองโดยใช้เกณฑ์จำนวนครั้งน้อยที่สุดที่ทำให้ไฟมีระดับความชุ่มที่ยอมรับได้ 80%, 85%, 90% และ 95% ตามลำดับ

สามารถแบ่งกลุ่มตัวแบบที่ทำการศึกษากเป็น 3 กลุ่มดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 พฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบน ประกอบด้วย

ตัวแบบที่1 พฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ตัวแบบที่2 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

ตัวแบบที่3 พฤติกรรมผู้สับไฟที่เลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

กลุ่มที่ 2 พฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลาง ประกอบด้วย

ตัวแบบที่4 พฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ตัวแบบที่5 พฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

ตัวแบบที่6 พฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

กลุ่มที่ 3 พฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่าง ประกอบด้วย

ตัวแบบที่7 พฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย

ตัวแบบที่8 พฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง

ตัวแบบที่9 พฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนของระดับความถี่ของไฟ และจำนวนครั้งที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าระดับความถี่ของไฟอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ 80 เปอร์เซนต์ ของตัวแบบที่ 1-9

ตัวแบบ	จำนวนครั้งของการสับไฟ	ระดับความถี่	ความแปรปรวนของระดับความถี่	$2.5^{\text{th}} \text{ Percentile} \leq R(P_k) \leq 97.5^{\text{th}} \text{ Percentile}$
1	มากกว่า 40	59.18	37.54	$48.08 \leq R(P_{40}) \leq 73.08$
2	มากกว่า 40	75.90	34.86	$65.38 \leq R(P_{40}) \leq 88.46$
3	8	80.21	21.69	$69.23 \leq R(P_8) \leq 88.46$
4	30	80.12	21.77	$71.15 \leq R(P_{30}) \leq 90.38$
5	7	81.13	14.61	$73.08 \leq R(P_7) \leq 86.54$
6	12	80.14	32.64	$67.31 \leq R(P_{12}) \leq 88.46$
7	8	82.18	26.46	$69.23 \leq R(P_8) \leq 88.46$
8	16	80.66	45.48	$63.46 \leq R(P_{16}) \leq 88.46$
9	มากกว่า 40	58.37	350.40	$7.69 \leq R(P_{40}) \leq 82.69$

จากตารางที่ 5.1 สรุปได้ว่าสำหรับเกณฑ์ระดับความถี่ที่ยอมรับได้ 80% นั้น ตัวแบบที่ 5 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลางเป็นตัวแบบที่ดีที่สุดและมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดและทำให้ไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 7 ครั้ง รองลงมาคือตัวแบบที่ 3 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมากและตัวแบบที่ 7 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อยมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดและทำให้ไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 8 ครั้ง ตัวแบบที่ 6 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมากมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดและทำให้ไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 12 ครั้ง ตัวแบบที่ 8 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลางมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดและทำให้ไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 16 ครั้ง สุดท้ายคือตัวแบบที่ 4 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อยมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดและทำให้ไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 30 ครั้ง สำหรับ ตัวแบบที่ 1, 2 และ 9 นั้นเป็นตัวแบบที่ไม่ดีเนื่องจากไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความถี่ที่ยอมรับได้ 80% แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนของระดับความถี่ของไฟ และจำนวนครั้งที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าระดับความถี่ของไฟอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ 85 เปอร์เซ็นต์ ของตัวแบบที่ 1-9

ตัวแบบ	จำนวนครั้งของการดับไฟ	ระดับความถี่	ความแปรปรวนของระดับความถี่	$2.5^{\text{th}}$ Percentile $\leq R(P_k) \leq 97.5^{\text{th}}$ Percentile
1	มากกว่า 40	59.18	37.54	$48.08 \leq R(P_{40}) \leq 73.08$
2	มากกว่า 40	75.90	34.86	$65.38 \leq R(P_{40}) \leq 88.46$
3	16	85.45	17.10	$76.92 \leq R(P_{16}) \leq 92.31$
4	มากกว่า 40	81.33	19.75	$73.08 \leq R(P_{40}) \leq 90.38$
5	11	85.23	9.59	$78.85 \leq R(P_{11}) \leq 90.38$
6	18	85.22	19.46	$75 \leq R(P_{18}) \leq 90.38$
7	10	85.28	12.58	$75 \leq R(P_{10}) \leq 90.38$
8	24	85.21	19.50	$75 \leq R(P_{24}) \leq 90.38$
9	มากกว่า 40	58.37	350.40	$7.69 \leq R(P_{40}) \leq 82.69$

จากตารางที่ 5.2 สรุปได้ว่าสำหรับเกณฑ์ระดับความถี่ที่ยอมรับได้ 85% นั้น ตัวแบบที่ 7 ผู้ดับไฟเลือกการดับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการดับไฟแบบน้อยเป็นตัวอย่างที่ดีที่สุดและมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดและทำให้ไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 10 ครั้ง รองลงมาคือตัวแบบที่ 5 ผู้ดับไฟเลือกการดับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการดับไฟแบบกลางมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดและทำให้ไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 11 ครั้ง ตัวแบบที่ 3 ผู้ดับไฟเลือกการดับไฟส่วนบนและมีความหนาของการดับไฟแบบมากมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดและทำให้ไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 16 ครั้ง ตัวแบบที่ 6 ผู้ดับไฟเลือกการดับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการดับไฟแบบมากมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดและทำให้ไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 18 ครั้ง สุดท้ายคือตัวแบบที่ 8 ผู้ดับไฟเลือกการดับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการดับไฟแบบกลางมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดและทำให้ไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 24 ครั้ง สำหรับตัวแบบที่ 1, 2, 4 และ 9 นั้นเป็นตัวแบบที่ไม่ดี เนื่องจากไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความถี่ที่ยอมรับได้ 85% แม้ว่าจะทำการดับไฟถึง 40 ครั้ง

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนของระดับความถี่ของไฟ และจำนวนครั้งที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าระดับความถี่ของไฟอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ 90 เปอร์เซนต์ ของตัวแบบที่ 1-9

ตัวแบบ	จำนวนครั้งของการสับไฟ	ระดับความถี่	ความแปรปรวนของระดับความถี่	$2.5^{\text{th}} \text{ Percentile} \leq R(P_k) \leq 97.5^{\text{th}} \text{ Percentile}$
1	มากกว่า 40	59.18	37.54	$48.08 \leq R(P_{40}) \leq 73.08$
2	มากกว่า 40	75.90	34.86	$65.38 \leq R(P_{40}) \leq 88.46$
3	36	90.00	12.49	$82.69 \leq R(P_{36}) \leq 94.23$
4	มากกว่า 40	81.33	19.75	$73.08 \leq R(P_{40}) \leq 90.38$
5	22	90.16	5.29	$84.62 \leq R(P_{22}) \leq 94.23$
6	31	90.24	7.57	$82.69 \leq R(P_{31}) \leq 94.23$
7	19	90.17	4.54	$84.62 \leq R(P_{19}) \leq 92.31$
8	มากกว่า 40	89.63	8.56	$82.69 \leq R(P_{40}) \leq 94.23$
9	มากกว่า 40	58.37	350.40	$7.69 \leq R(P_{40}) \leq 82.69$

จากตารางที่ 5.3 สรุปได้ว่าสำหรับเกณฑ์ระดับความถี่ที่ยอมรับได้ 90% นั้น ตัวแบบที่ 7 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อยเป็นตัวอย่างที่ดีที่สุดและมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดและทำให้ไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 19 ครั้ง รองลงมาคือตัวแบบที่ 5 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลางมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดและทำให้ไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 22 ครั้ง ตัวแบบที่ 6 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมากมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดและทำให้ไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 31 ครั้ง สุดท้ายคือตัวแบบที่ 3 ผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมากมีจำนวนครั้งที่น้อยที่สุดและทำให้ไฟอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 36 ครั้ง สำหรับตัวแบบที่ 1, 2, 4, 8 และ 9 นั้นเป็นตัวแบบที่ไม่ดี เนื่องจากไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความถี่ที่ยอมรับได้ 90% แม้ว่าจะทำการสับไฟถึง 40 ครั้ง

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนของระดับความสูงของไฟ และจำนวนครั้งที่น้อยที่สุด ที่ทำให้ค่าระดับความสูงของไฟอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ 95 เปอร์เซนต์ ของตัวแบบที่ 1-9

ตัวแบบ	จำนวนครั้งของการดับไฟ	ระดับความสูง	ความแปรปรวนของระดับความสูง	$2.5^{\text{th}} \text{ Percentile} \leq R(P_k) \leq 97.5^{\text{th}} \text{ Percentile}$
1	มากกว่า 40	59.18	37.54	$48.08 \leq R(P_{40}) \leq 73.08$
2	มากกว่า 40	75.90	34.86	$65.38 \leq R(P_{40}) \leq 88.46$
3	มากกว่า 40	90.53	11.56	$82.69 \leq R(P_{40}) \leq 94.23$
4	มากกว่า 40	81.33	19.75	$73.08 \leq R(P_{40}) \leq 90.38$
5	มากกว่า 40	93.15	3.09	$88.46 \leq R(P_{40}) \leq 96.15$
6	มากกว่า 40	91.95	4.89	$86.54 \leq R(P_{40}) \leq 94.23$
7	มากกว่า 40	93.93	1.85	$90.38 \leq R(P_{40}) \leq 96.15$
8	มากกว่า 40	89.63	8.56	$82.69 \leq R(P_{40}) \leq 94.23$
9	มากกว่า 40	58.37	350.40	$7.69 \leq R(P_{40}) \leq 82.69$

จากตารางที่ 5.4 สรุปได้ว่าสำหรับเกณฑ์ระดับความสูงที่ยอมรับได้ 95% นั้น ตัวแบบทั้ง 9 ตัวแบบเป็นตัวแบบที่ไม่ดี เนื่องจากไม่อยู่ในเกณฑ์ระดับความสูงที่ยอมรับได้ 95% แม้ว่าจะทำการดับไฟถึง 40 ครั้ง

## 5.2 สรุปผลการทดลองโดยใช้เกณฑ์เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงของไฟ

จากผลการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงของไฟ ในการดับครั้งที่  $k$  ทั้งหมด 9 ตัวแบบ สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงของไฟกับความหนาของการดับไฟดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความถี่ของไฟในการดับไฟครั้งที่  $k$  โดยแบ่งกลุ่มที่ทำการศึกษาคือออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

ตัวแบบจำลองดับไฟ		กลุ่ม	$E[\% \Delta_k]$	$Var[\% \Delta_k]$
ตำแหน่ง	ความหนา			
บน	น้อย	1	0.69	0.41
	กลาง		0.54	0.24
	มาก		0.51	0.27
กลาง	น้อย	2	0.41	0.16
	กลาง		0.52	0.29
	มาก		0.90	0.99
ล่าง	น้อย	3	1.05	5.32
	กลาง		1.27	3.92
	มาก		1.95	35.29

จากตารางที่ 5.5 สามารถสรุปได้ว่า

กลุ่มที่ 1 พฤติกรรมผู้ดับไฟเลือกการดับไฟส่วนบน ประกอบด้วยตัวแบบที่ 1-3 พบว่า

- ตัวแบบที่ 1 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความถี่ของไฟในการดับไฟมีค่าสูงเป็นอันดับที่ 1 ในกลุ่มที่ 1

- ตัวแบบที่ 2 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความถี่ของไฟในการดับไฟมีค่าสูงเป็นอันดับที่ 2 ในกลุ่มที่ 1

- ตัวแบบที่ 3 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความถี่ของไฟในการดับไฟมีค่าสูงเป็นอันดับที่ 3 ในกลุ่มที่ 1

กลุ่มที่ 2 พฤติกรรมผู้ดับไฟเลือกการดับไฟส่วนกลาง ประกอบด้วยตัวแบบที่ 4-6 พบว่า

- ตัวแบบที่ 4 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความถี่ของไฟในการดับไฟมีค่าสูงเป็นอันดับที่ 3 ในกลุ่มที่ 2

- ตัวแบบที่ 5 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความถี่ของไฟในการดับไฟมีค่าสูงเป็นอันดับที่ 2 ในกลุ่มที่ 2

- ตัวแบบที่ 6 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความถี่ของไฟในการดับไฟมีค่าสูงเป็นอันดับที่ 1 ในกลุ่มที่ 2



กลุ่มที่ 3 พฤติกรรมผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่าง ประกอบด้วยตัวแบบที่ 7-9 พบว่า

- ตัวแบบที่ 7 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสับสนของไฟในการสับไฟมีค่าสูงเป็นอันดับที่ 3 ในกลุ่มที่ 3
- ตัวแบบที่ 8 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสับสนของไฟในการสับไฟมีค่าสูงเป็นอันดับที่ 2 ในกลุ่มที่ 3
- ตัวแบบที่ 9 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสับสนของไฟในการสับไฟมีค่าสูงเป็นอันดับที่ 1 ในกลุ่มที่ 3

จากการสังเกตค่า  $E[\% \Delta_k]$  ของกลุ่มที่ 1 พบว่า ค่าของ  $E[\% \Delta_k]$  ที่มากเป็นอันดับ 1 ได้แก่ ตัวแบบที่ 1 ซึ่งค่า  $E[\% \Delta_k]$  มีความสัมพันธ์กับการเลือกความหนาของการสับไฟ นั่นคือ ถ้าพฤติกรรมของผู้สับไฟเลือกความหนาของการสับไฟแบบนี้ จะทำให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสับสนของไฟมีค่าสูงที่สุด และถ้าพฤติกรรมของผู้สับไฟเลือกความหนาของการสับไฟแบบนี้ จะทำให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสับสนของไฟมีค่าต่ำที่สุด

และการสังเกตค่า  $E[\% \Delta_k]$  ของกลุ่มที่ 2 และ 3 พบว่า ค่าของ  $E[\% \Delta_k]$  ที่มากเป็นอันดับ 1 ในแต่ละกลุ่ม ได้แก่ ตัวแบบที่ 6, 9 ตามลำดับ ซึ่ง ค่า  $E[\% \Delta_k]$  ของกลุ่มที่ 2 และ 3 มีความสัมพันธ์กับการเลือกความหนาของการสับไฟ ในแบบตรงข้ามกับกลุ่มที่ 1 กล่าวคือ ถ้าพฤติกรรมของผู้สับไฟเลือกความหนาของการสับไฟแบบนี้ จะทำให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสับสนของไฟมีค่าต่ำที่สุด และถ้าพฤติกรรมของผู้สับไฟเลือกความหนาของการสับไฟแบบนี้ จะทำให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสับสนของไฟมีค่าสูงที่สุด

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย ขอแบ่งข้อเสนอแนะเป็น 2 ด้านดังนี้

#### 5.3.1 ด้านการนำไปใช้ประโยชน์

การที่ผู้วิจัยได้สร้างเกณฑ์ของระดับความสับสนที่ยอมรับได้ เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้ เนื่องจากอุปกรณ์ไฟสามารถใช้งานได้หลายมาตรฐาน หลายรูปแบบ ในแต่ละรูปแบบก็มีความเหมาะสมที่จะใช้เกณฑ์ต่างกัน กล่าวคือ เกณฑ์ระดับความสับสนของไฟที่ยอมรับได้ 80-85 เปอร์เซ็นต์ มีความเหมาะสมสำหรับงานในลักษณะใช้ไฟจำนวนน้อยใน 1 รอบการใช้งาน และ

เกณฑ์ระดับความสับสนของไพ่ที่ยอมรับได้ 85-90 เปอร์เซนต์ มีความเหมาะสมสำหรับงานในลักษณะใช้ไพ่จำนวนมากหรือทั้งหมดสำหรับไพ่ใน 1 รอบการใช้งาน

จากข้อกำหนดของงานวิจัยนี้ สำหรับไพ่เริ่มต้นก่อนทำการสับไพ่นั้นจะมีการเรียงกันของลำดับอย่างสมบูรณ์ตั้งแต่ Ace, 2, 3,...,King และมีระดับความสับสนเท่ากับ 0 แต่ในทางปฏิบัติสำหรับไพ่เริ่มต้นก่อนทำการสับไพ่นั้นอาจไม่มีการเรียงกันของลำดับดังข้อกำหนด ดังนั้นจำนวนครั้งของการสับไพ่เพื่อให้ลำดับของไพ่มีความเป็นสับสนอาจน้อยกว่าผลสรุปของงานวิจัยนี้ก็เป็นที่รวมทั้งอาจมีตัวแบบที่ผ่านเกณฑ์ระดับความสับสนที่ยอมรับได้ 95 เปอร์เซนต์ ด้วยการสับไพ่ตั้งแต่ 5-40 ครั้ง เนื่องจากจำนวนครั้งของการสับไพ่เพื่อให้ลำดับของไพ่มีความเป็นสับสนขึ้นอยู่กับระดับความสับสนเริ่มต้น

### 5.3.2 ด้านการศึกษาวิจัย

#### (1) ข้อเสนอแนะรูปแบบการสับไพ่

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ศึกษารูปแบบการสับไพ่ด้วยวิธี The Stripping หรือ Overhand shuffle เท่านั้น เนื่องจากสามารถทำได้ง่ายที่สุดและไม่ต้องอาศัยทักษะมาก จึงมีความน่าสนใจว่า หากเปลี่ยนแปลงรูปแบบการสับไพ่ด้วยวิธีอื่นๆ ผลสรุปควรเป็นเช่นไร

#### (2) ข้อเสนอแนะรูปแบบการแจกแจงของการสับไพ่

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ศึกษารูปแบบการสับไพ่โดยกำหนดรูปแบบการแจกแจงตำแหน่งที่ทำการสับไพ่เป็นแบบการแจกแจงเบตา และการแจกแจงความหนาของการสับไพ่เป็นแบบการแจกแจงยูนิฟอร์มไม่ต่อเนื่องเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่น่าศึกษาต่อไปคือ หากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการแจกแจงของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่และความหนาของการสับไพ่เป็นรูปแบบอื่นๆ ผลสรุปควรจะเป็นเช่นไร

#### (3) ข้อเสนอแนะในการประมาณค่า $\alpha, \beta$ ของผู้เล่น

จากข้อกำหนดเบื้องต้นสำหรับตัวแบบพบว่า รูปแบบของตำแหน่งที่ทำการสับไพ่โดยผู้เล่นมีการแจกแจงแบบ  $Beta(\alpha, \beta)$  จึงจะทำการหาขนาดตัวอย่างเพื่อใช้ในการประมาณค่า  $\alpha, \beta$  ของผู้เล่น

จำนวนขนาดตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 กรณีดังต่อไปนี้ (ธนากร อนันต์สิทธิพันธ์ 2545)

- กรณีที่ 1 ทราบความแปรปรวนของประชากร (กำหนดให้  $\sigma^2 = 0.01$ ) ขนาดตัวอย่างควรมีจำนวนตั้งแต่ 11 ขึ้นไป

- กรณีที่ 2 ไม่ทราบความแปรปรวนของประชากร ขนาดตัวอย่างควรมีจำนวนตั้งแต่ 33 ขึ้นไป

กำหนดให้  $E(X)$  แทนค่าเฉลี่ยของตำแหน่งที่ทำการสับไฟโดยผู้เล่น ทำการแปลงค่าให้อยู่ในช่วง (0,1)

$Var(X)$  แทนความแปรปรวนของตำแหน่งที่ทำการสับไฟโดยผู้เล่น

จากข้อกำหนดข้างต้น ได้ระบบสมการ 2 ตัวแปร คือ

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad \text{_____} (5.1)$$

$$Var(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2} \quad \text{_____} (5.2)$$

จาก (5.1) จะได้ว่า

$$\alpha + \beta = \frac{\alpha}{E(X)}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{E(X)} - \alpha \quad \text{_____} (5.3)$$

นำ (5.3) แทนค่าลงในสมการที่ (5.2)

$$Var(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta + 1)(\alpha + \beta)^2}$$

$$Var(X) = \frac{\alpha \left( \frac{\alpha}{E(X)} - \alpha \right)}{\left( \frac{\alpha}{E(X)} + 1 \right) \left( \frac{\alpha}{E(X)} \right)^2}$$

$$Var(X) = \frac{\alpha^2 \left( \frac{1}{E(X)} - 1 \right)}{\frac{\alpha^2}{[E(X)]^2} \left( \frac{\alpha}{E(X)} + 1 \right)}$$

$$Var(X) = \frac{[E(X)]^2 \left( \frac{1 - E(X)}{E(X)} \right)}{\frac{\alpha + E(X)}{E(X)}}$$

$$\text{Var}(X) = \frac{[E(X)]^2 [1 - E(X)]}{\alpha + E(X)}$$

$$\alpha \text{Var}(X) + E(X) \text{Var}(X) = [E(X)]^2 - [E(X)]^3$$

$$\alpha = \frac{-E(X) [\text{Var}(X) + [E(X)]^2 - E(X)]}{\text{Var}(X)} \quad (5.4)$$

นำ (5.4) แทนค่าลงในสมการที่ (5.3)

$$\beta = \frac{-E(X) [\text{Var}(X) + [E(X)]^2 - E(X)]}{\text{Var}(X) E(X)} - \frac{-E(X) [\text{Var}(X) + [E(X)]^2 - E(X)]}{\text{Var}(X)}$$

$$\beta = \frac{[E(X) - 1] [\text{Var}(X) + [E(X)]^2 - E(X)]}{\text{Var}(X)}$$

ดังนั้นผลเฉลยของระบบสมการคือ

$$\alpha = \frac{-E(X) [\text{Var}(X) + [E(X)]^2 - E(X)]}{\text{Var}(X)} \quad \text{เมื่อ } \alpha > 0$$

$$\beta = \frac{[E(X) - 1] [\text{Var}(X) + [E(X)]^2 - E(X)]}{\text{Var}(X)} \quad \text{เมื่อ } \beta > 0$$

และค่าประมาณของ  $\alpha, \beta$  กำหนดได้จากสูตร

$$\hat{\alpha} = \frac{-\bar{x} [S^2 + (\bar{x})^2 - \bar{x}]}{S^2}$$

$$\hat{\beta} = \frac{(\bar{x} - 1) [S^2 + (\bar{x})^2 - \bar{x}]}{S^2}$$

โดยที่  $\bar{x}$  แทน ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง และ  $S^2$  แทน ความแปรปรวนของตัวอย่าง ตามลำดับ

## รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัลยา วานิชย์บัญชา, หลักสถิติ, พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ทวีศักดิ์ จันทรมณี. ตัวแบบจำลองการสับไพ่โดยการแจกแจงแบบเบตา.วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต, ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,  
2555.

ธนากร อนันต์สิทธิ์นนท์. ขนาดตัวอย่างสำหรับการประมาณค่าแบบช่วงโดยใช้ตัวสถิติ Z  
และตัวสถิติ T.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถิติ  
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ธีระพร วีระถาวร, ความน่าจะเป็นกับการประยุกต์, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิค,  
2537.

ภาษาอังกฤษ

Brad Mann, How many times should you shuffle a deck of cards?. Department of  
Mathematic. Harvard University, 1998

Harris, C., Peter, The mathematics of Card Shuffling. Senior thesis, Middlebury College,  
1992.

ภาคผนวก

การวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรม R เวอร์ชัน 2.15.0 ในการจำลองข้อมูลและการคำนวณค่าต่างๆ

โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสูงกับจำนวนครั้งที่สับไฟในตัวแบบที่ 1 (ตัวแบบผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบนี้) โดยมีจำนวนครั้งที่ทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

```
Total<-c()
```

```
TotalZ<-c()
```

```
TotalMeanRandom<-c()
```

```
TotalVarRandom<-c()
```

```
TotalQRandom025<-c()
```

```
TotalQRandom975<-c()
```

```
TotalCDF80<-c()
```

```
TotalCDF85<-c()
```

```
TotalCDF90<-c()
```

```
TotalCDF95<-c()
```

```
for(z in 5:40){
```

```
Maxj<-c()
```

```
Maxorder<-c()
```

```
Random<-c()
```

```
for(i in 1:10000){
```

```
p<-c(1:52)
```

```
for(j in 1:z){
```

```
maxorder0<-0
```

```
Count<-0
```

```
ChkF<-0
```

```
r<-ceiling((rbeta(1,4.4375,13.3125))*52)
```

```
t<-ceiling(runif(1,1,8))
if(r+t<52){
q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
for(k in 1:51){
ROC<-k
if(diff[ROC]==1){
if(ChkF==0){
Count<-Count+2
ChkF<-1
}
else
{
Count<-Count+1
}
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
}
else
{
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
```



```
}  
Count<-0  
ChkF<-0  
}  
}  
}  
else  
{  
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])  
p<-q  
x1<-p[1:51]  
x2<-p[2:52]  
diff<-abs(x2-x1)  
for(k in 1:51){  
ROC<-k  
if(diff[ROC]==1){  
if(ChkF==0){  
Count<-Count+2  
ChkF<-1  
}  
}  
else  
{  
Count<-Count+1  
}  
}  
if(maxorder0<Count){  
maxorder0<-Count
```

```

}
}
else
{
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
}
}
Maxj<-c(Maxj,j)
Maxorder<-c(Maxorder,maxorder0)
Random<-c(Random,(1-(maxorder0/52))*100)
}
TotalZ<-c(TotalZ,z)
TotalMeanRandom<-c(TotalMeanRandom,mean(Random))
TotalVarRandom<-c(TotalVarRandom,var(Random))
TotalQRandom025<-c(TotalQRandom025,quantile(Random,.025))
TotalQRandom975<-c(TotalQRandom975,quantile(Random,.975))
TotalCDF80<-c(TotalCDF80,mean(Random>=80))
TotalCDF85<-c(TotalCDF85,mean(Random>=85))
TotalCDF90<-c(TotalCDF90,mean(Random>=90))
TotalCDF95<-c(TotalCDF95,mean(Random>=95))

```

```
}
```

```
Total<-
```

```
cbind(TotalZ,TotalMeanRandom,TotalVarRandom,TotalQRandom025,TotalQRandom975  
,TotalCDF80,TotalCDF85,TotalCDF90,TotalCDF95)
```

โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสูงกับจำนวนครั้งที่สับไฟในตัวแบบที่ 2 (ตัวแบบผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง) โดยมีจำนวนครั้งที่ทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

```
Total<-c()
```

```
TotalZ<-c()
```

```
TotalMeanRandom<-c()
```

```
TotalVarRandom<-c()
```

```
TotalQRandom025<-c()
```

```
TotalQRandom975<-c()
```

```
TotalCDF80<-c()
```

```
TotalCDF85<-c()
```

```
TotalCDF90<-c()
```

```
TotalCDF95<-c()
```

```
for(z in 5:40){
```

```
Maxj<-c()
```

```
Maxorder<-c()
```

```
Random<-c()
```

```
for(i in 1:10000){
```

```
p<-c(1:52)
```

```
for(j in 1:z){
```

```
maxorder0<-0
```

```
Count<-0
```

```
ChkF<-0
```

```
r<-ceiling((rbeta(1,4.4375,13.3125))*52)
```

```
t<-ceiling(runif(1,9,17))
```

```
if(r+t<52){  
q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])  
p<-q  
x1<-p[1:51]  
x2<-p[2:52]  
diff<-abs(x2-x1)  
for(k in 1:51){  
ROC<-k  
if(diff[ROC]==1){  
if(ChkF==0){  
Count<-Count+2  
ChkF<-1  
}  
else  
{  
Count<-Count+1  
}  
if(maxorder0<Count){  
maxorder0<-Count  
}  
}  
else  
{  
if(maxorder0<Count){  
maxorder0<-Count  
}  
}
```

```
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
for(k in 1:51){
ROC<-k
if(diff[ROC]==1){
if(ChkF==0){
Count<-Count+2
ChkF<-1
}
else
{
Count<-Count+1
}
}
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
}
```

```

}
else
{
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
}
}
Maxj<-c(Maxj,j)
Maxorder<-c(Maxorder,maxorder0)
Random<-c(Random,(1-(maxorder0/52))*100)
}
TotalZ<-c(TotalZ,z)
TotalMeanRandom<-c(TotalMeanRandom,mean(Random))
TotalVarRandom<-c(TotalVarRandom,var(Random))
TotalQRandom025<-c(TotalQRandom025,quantile(Random,.025))
TotalQRandom975<-c(TotalQRandom975,quantile(Random,.975))
TotalCDF80<-c(TotalCDF80,mean(Random>=80))
TotalCDF85<-c(TotalCDF85,mean(Random>=85))
TotalCDF90<-c(TotalCDF90,mean(Random>=90))
TotalCDF95<-c(TotalCDF95,mean(Random>=95))
}

```

```
Total<-  
cbind(TotalZ,TotalMeanRandom,TotalVarRandom,TotalQRandom025,TotalQRandom975  
,TotalCDF80,TotalCDF85,TotalCDF90,TotalCDF95)
```



โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสูงกับจำนวนครั้งที่สับไฟในตัวแบบที่ 3 (ตัวแบบผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนบนและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก) โดยมีจำนวนครั้งที่ทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

```
Total<-c()
```

```
TotalZ<-c()
```

```
TotalMeanRandom<-c()
```

```
TotalVarRandom<-c()
```

```
TotalQRandom025<-c()
```

```
TotalQRandom975<-c()
```

```
TotalCDF80<-c()
```

```
TotalCDF85<-c()
```

```
TotalCDF90<-c()
```

```
TotalCDF95<-c()
```

```
for(z in 5:40){
```

```
Maxj<-c()
```

```
Maxorder<-c()
```

```
Random<-c()
```

```
for(i in 1:10000){
```

```
p<-c(1:52)
```

```
for(j in 1:z){
```

```
maxorder0<-0
```

```
Count<-0
```

```
ChkF<-0
```

```
r<-ceiling((rbeta(1,4.4375,13.3125))*52)
```

```
t<-ceiling(runif(1,18,26))
```

```
if(r+t<52){  
  q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])  
  p<-q  
  x1<-p[1:51]  
  x2<-p[2:52]  
  diff<-abs(x2-x1)  
  for(k in 1:51){  
    ROC<-k  
    if(diff[ROC]==1){  
      if(ChkF==0){  
        Count<-Count+2  
        ChkF<-1  
      }  
      else  
      {  
        Count<-Count+1  
      }  
      if(maxorder0<Count){  
        maxorder0<-Count  
      }  
    }  
  }  
  else  
  {  
    if(maxorder0<Count){  
      maxorder0<-Count  
    }  
  }  
}
```

```
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
for(k in 1:51){
ROC<-k
if(diff[ROC]==1){
if(ChkF==0){
Count<-Count+2
ChkF<-1
}
else
{
Count<-Count+1
}
}
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
}
```

```

}
else
{
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
}
}
Maxj<-c(Maxj,j)
Maxorder<-c(Maxorder,maxorder0)
Random<-c(Random,(1-(maxorder0/52))*100)
}
TotalZ<-c(TotalZ,z)
TotalMeanRandom<-c(TotalMeanRandom,mean(Random))
TotalVarRandom<-c(TotalVarRandom,var(Random))
TotalQRandom025<-c(TotalQRandom025,quantile(Random,.025))
TotalQRandom975<-c(TotalQRandom975,quantile(Random,.975))
TotalCDF80<-c(TotalCDF80,mean(Random>=80))
TotalCDF85<-c(TotalCDF85,mean(Random>=85))
TotalCDF90<-c(TotalCDF90,mean(Random>=90))
TotalCDF95<-c(TotalCDF95,mean(Random>=95))
}

```

```
Total<-  
cbind(TotalZ,TotalMeanRandom,TotalVarRandom,TotalQRandom025,TotalQRandom975  
,TotalCDF80,TotalCDF85,TotalCDF90,TotalCDF95)
```

โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสูงกับจำนวนครั้งที่สับไฟในตัวแบบที่ 4 (ตัวแบบผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย) โดยมีจำนวนครั้งที่ทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

```
Total<-c()
```

```
TotalZ<-c()
```

```
TotalMeanRandom<-c()
```

```
TotalVarRandom<-c()
```

```
TotalQRandom025<-c()
```

```
TotalQRandom975<-c()
```

```
TotalCDF80<-c()
```

```
TotalCDF85<-c()
```

```
TotalCDF90<-c()
```

```
TotalCDF95<-c()
```

```
for(z in 5:40){
```

```
Maxj<-c()
```

```
Maxorder<-c()
```

```
Random<-c()
```

```
for(i in 1:10000){
```

```
p<-c(1:52)
```

```
for(j in 1:z){
```

```
maxorder0<-0
```

```
Count<-0
```

```
ChkF<-0
```

```
r<-ceiling((rbeta(1,12,12))*52)
```

```
t<-ceiling(runif(1,1,8))
```

```
if(r+t<52){  
  q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])  
  p<-q  
  x1<-p[1:51]  
  x2<-p[2:52]  
  diff<-abs(x2-x1)  
  for(k in 1:51){  
    ROC<-k  
    if(diff[ROC]==1){  
      if(ChkF==0){  
        Count<-Count+2  
        ChkF<-1  
      }  
      else  
      {  
        Count<-Count+1  
      }  
      if(maxorder0<Count){  
        maxorder0<-Count  
      }  
    }  
  }  
  else  
  {  
    if(maxorder0<Count){  
      maxorder0<-Count  
    }  
  }  
}
```

```
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
for(k in 1:51){
ROC<-k
if(diff[ROC]==1){
if(ChkF==0){
Count<-Count+2
ChkF<-1
}
else
{
Count<-Count+1
}
}
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
}
```



```

}
else
{
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
}
}
Maxj<-c(Maxj,j)
Maxorder<-c(Maxorder,maxorder0)
Random<-c(Random,(1-(maxorder0/52))*100)
}
TotalZ<-c(TotalZ,z)
TotalMeanRandom<-c(TotalMeanRandom,mean(Random))
TotalVarRandom<-c(TotalVarRandom,var(Random))
TotalQRandom025<-c(TotalQRandom025,quantile(Random,.025))
TotalQRandom975<-c(TotalQRandom975,quantile(Random,.975))
TotalCDF80<-c(TotalCDF80,mean(Random>=80))
TotalCDF85<-c(TotalCDF85,mean(Random>=85))
TotalCDF90<-c(TotalCDF90,mean(Random>=90))
TotalCDF95<-c(TotalCDF95,mean(Random>=95))
}

```

```
Total<-  
cbind(TotalZ,TotalMeanRandom,TotalVarRandom,TotalQRandom025,TotalQRandom975  
,TotalCDF80,TotalCDF85,TotalCDF90,TotalCDF95)
```

โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความถี่กับจำนวนครั้งที่สับไฟในตัวแบบที่ 5 (ตัวแบบผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง) โดยมีจำนวนครั้งที่ทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

```
Total<-c()
```

```
TotalZ<-c()
```

```
TotalMeanRandom<-c()
```

```
TotalVarRandom<-c()
```

```
TotalQRandom025<-c()
```

```
TotalQRandom975<-c()
```

```
TotalCDF80<-c()
```

```
TotalCDF85<-c()
```

```
TotalCDF90<-c()
```

```
TotalCDF95<-c()
```

```
for(z in 5:40){
```

```
Maxj<-c()
```

```
Maxorder<-c()
```

```
Random<-c()
```

```
for(i in 1:10000){
```

```
p<-c(1:52)
```

```
for(j in 1:z){
```

```
maxorder0<-0
```

```
Count<-0
```

```
ChkF<-0
```

```
r<-ceiling((rbeta(1,12,12))*52)
```

```
t<-ceiling(runif(1,9,17))
```

```
if(r+t<52){  
  q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])  
  p<-q  
  x1<-p[1:51]  
  x2<-p[2:52]  
  diff<-abs(x2-x1)  
  for(k in 1:51){  
    ROC<-k  
    if(diff[ROC]==1){  
      if(ChkF==0){  
        Count<-Count+2  
        ChkF<-1  
      }  
      else  
      {  
        Count<-Count+1  
      }  
      if(maxorder0<Count){  
        maxorder0<-Count  
      }  
    }  
  }  
  else  
  {  
    if(maxorder0<Count){  
      maxorder0<-Count  
    }  
  }  
}
```

```
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
for(k in 1:51){
ROC<-k
if(diff[ROC]==1){
if(ChkF==0){
Count<-Count+2
ChkF<-1
}
else
{
Count<-Count+1
}
}
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
}
```

```

}
else
{
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
}
}
Maxj<-c(Maxj,j)
Maxorder<-c(Maxorder,maxorder0)
Random<-c(Random,(1-(maxorder0/52))*100)
}
TotalZ<-c(TotalZ,z)
TotalMeanRandom<-c(TotalMeanRandom,mean(Random))
TotalVarRandom<-c(TotalVarRandom,var(Random))
TotalQRandom025<-c(TotalQRandom025,quantile(Random,.025))
TotalQRandom975<-c(TotalQRandom975,quantile(Random,.975))
TotalCDF80<-c(TotalCDF80,mean(Random>=80))
TotalCDF85<-c(TotalCDF85,mean(Random>=85))
TotalCDF90<-c(TotalCDF90,mean(Random>=90))
TotalCDF95<-c(TotalCDF95,mean(Random>=95))
}

```

```
Total<-  
cbind(TotalZ,TotalMeanRandom,TotalVarRandom,TotalQRandom025,TotalQRandom975  
,TotalCDF80,TotalCDF85,TotalCDF90,TotalCDF95)
```

โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสูงกับจำนวนครั้งที่สับไฟในตัวแบบที่ 6 (ตัวแบบผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนกลางและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก) โดยมีจำนวนครั้งที่ทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

```
Total<-c()
TotalZ<-c()
TotalMeanRandom<-c()
TotalVarRandom<-c()
TotalQRandom025<-c()
TotalQRandom975<-c()
TotalCDF80<-c()
TotalCDF85<-c()
TotalCDF90<-c()
TotalCDF95<-c()
for(z in 5:40){
Maxj<-c()
Maxorder<-c()
Random<-c()
for(i in 1:10000){
p<-c(1:52)
for(j in 1:z){
maxorder0<-0
Count<-0
ChkF<-0
r<-ceiling((rbeta(1,12,12))*52)
t<-ceiling(runif(1,18,26))
```



```
if(r+t<52){  
  q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])  
  p<-q  
  x1<-p[1:51]  
  x2<-p[2:52]  
  diff<-abs(x2-x1)  
  for(k in 1:51){  
    ROC<-k  
    if(diff[ROC]==1){  
      if(ChkF==0){  
        Count<-Count+2  
        ChkF<-1  
      }  
      else  
      {  
        Count<-Count+1  
      }  
      if(maxorder0<Count){  
        maxorder0<-Count  
      }  
    }  
  }  
  else  
  {  
    if(maxorder0<Count){  
      maxorder0<-Count  
    }  
  }  
}
```

```
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
for(k in 1:51){
ROC<-k
if(diff[ROC]==1){
if(ChkF==0){
Count<-Count+2
ChkF<-1
}
else
{
Count<-Count+1
}
}
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
}
```

```

}
else
{
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
}
}
Maxj<-c(Maxj,j)
Maxorder<-c(Maxorder,maxorder0)
Random<-c(Random,(1-(maxorder0/52))*100)
}
TotalZ<-c(TotalZ,z)
TotalMeanRandom<-c(TotalMeanRandom,mean(Random))
TotalVarRandom<-c(TotalVarRandom,var(Random))
TotalQRandom025<-c(TotalQRandom025,quantile(Random,.025))
TotalQRandom975<-c(TotalQRandom975,quantile(Random,.975))
TotalCDF80<-c(TotalCDF80,mean(Random>=80))
TotalCDF85<-c(TotalCDF85,mean(Random>=85))
TotalCDF90<-c(TotalCDF90,mean(Random>=90))
TotalCDF95<-c(TotalCDF95,mean(Random>=95))
}

```

```
Total<-  
cbind(TotalZ,TotalMeanRandom,TotalVarRandom,TotalQRandom025,TotalQRandom975  
,TotalCDF80,TotalCDF85,TotalCDF90,TotalCDF95)
```

โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสูงกับจำนวนครั้งที่สับไฟในตัวแบบที่ 7 (ตัวแบบผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบน้อย) โดยมีจำนวนครั้งที่ทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

```
Total<-c()
```

```
TotalZ<-c()
```

```
TotalMeanRandom<-c()
```

```
TotalVarRandom<-c()
```

```
TotalQRandom025<-c()
```

```
TotalQRandom975<-c()
```

```
TotalCDF80<-c()
```

```
TotalCDF85<-c()
```

```
TotalCDF90<-c()
```

```
TotalCDF95<-c()
```

```
for(z in 5:40){
```

```
Maxj<-c()
```

```
Maxorder<-c()
```

```
Random<-c()
```

```
for(i in 1:10000){
```

```
p<-c(1:52)
```

```
for(j in 1:z){
```

```
maxorder0<-0
```

```
Count<-0
```

```
ChkF<-0
```

```
r<-ceiling((rbeta(1,13.3125,4.4375))*52)
```

```
t<-ceiling(runif(1,1,8))
```

```
if(r+t<52){  
  q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])  
  p<-q  
  x1<-p[1:51]  
  x2<-p[2:52]  
  diff<-abs(x2-x1)  
  for(k in 1:51){  
    ROC<-k  
    if(diff[ROC]==1){  
      if(ChkF==0){  
        Count<-Count+2  
        ChkF<-1  
      }  
      else  
      {  
        Count<-Count+1  
      }  
      if(maxorder0<Count){  
        maxorder0<-Count  
      }  
    }  
  }  
  else  
  {  
    if(maxorder0<Count){  
      maxorder0<-Count  
    }  
  }  
}
```

```
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
for(k in 1:51){
ROC<-k
if(diff[ROC]==1){
if(ChkF==0){
Count<-Count+2
ChkF<-1
}
else
{
Count<-Count+1
}
}
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
}
```

```

}
else
{
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
}
}
Maxj<-c(Maxj,j)
Maxorder<-c(Maxorder,maxorder0)
Random<-c(Random,(1-(maxorder0/52))*100)
}
TotalZ<-c(TotalZ,z)
TotalMeanRandom<-c(TotalMeanRandom,mean(Random))
TotalVarRandom<-c(TotalVarRandom,var(Random))
TotalQRandom025<-c(TotalQRandom025,quantile(Random,.025))
TotalQRandom975<-c(TotalQRandom975,quantile(Random,.975))
TotalCDF80<-c(TotalCDF80,mean(Random>=80))
TotalCDF85<-c(TotalCDF85,mean(Random>=85))
TotalCDF90<-c(TotalCDF90,mean(Random>=90))
TotalCDF95<-c(TotalCDF95,mean(Random>=95))
}

```



```
Total<-  
cbind(TotalZ,TotalMeanRandom,TotalVarRandom,TotalQRandom025,TotalQRandom975  
,TotalCDF80,TotalCDF85,TotalCDF90,TotalCDF95)
```

โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสับสนกับจำนวนครั้งที่สับไฟในตัวแบบที่ 8 (ตัวแบบผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบกลาง) โดยมีจำนวนครั้งที่ทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

```
Total<-c()
```

```
TotalZ<-c()
```

```
TotalMeanRandom<-c()
```

```
TotalVarRandom<-c()
```

```
TotalQRandom025<-c()
```

```
TotalQRandom975<-c()
```

```
TotalCDF80<-c()
```

```
TotalCDF85<-c()
```

```
TotalCDF90<-c()
```

```
TotalCDF95<-c()
```

```
for(z in 5:40){
```

```
Maxj<-c()
```

```
Maxorder<-c()
```

```
Random<-c()
```

```
for(i in 1:10000){
```

```
p<-c(1:52)
```

```
for(j in 1:z){
```

```
maxorder0<-0
```

```
Count<-0
```

```
ChkF<-0
```

```
r<-ceiling((rbeta(1,13.3125,4.4375))*52)
```

```
t<-ceiling(runif(1,9,17))
```

```
if(r+t<52){  
  q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])  
  p<-q  
  x1<-p[1:51]  
  x2<-p[2:52]  
  diff<-abs(x2-x1)  
  for(k in 1:51){  
    ROC<-k  
    if(diff[ROC]==1){  
      if(ChkF==0){  
        Count<-Count+2  
        ChkF<-1  
      }  
      else  
      {  
        Count<-Count+1  
      }  
      if(maxorder0<Count){  
        maxorder0<-Count  
      }  
    }  
  }  
  else  
  {  
    if(maxorder0<Count){  
      maxorder0<-Count  
    }  
  }  
}
```

```
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
for(k in 1:51){
ROC<-k
if(diff[ROC]==1){
if(ChkF==0){
Count<-Count+2
ChkF<-1
}
else
{
Count<-Count+1
}
}
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
}
```

```

}
else
{
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
}
}
Maxj<-c(Maxj,j)
Maxorder<-c(Maxorder,maxorder0)
Random<-c(Random,(1-(maxorder0/52))*100)
}
TotalZ<-c(TotalZ,z)
TotalMeanRandom<-c(TotalMeanRandom,mean(Random))
TotalVarRandom<-c(TotalVarRandom,var(Random))
TotalQRandom025<-c(TotalQRandom025,quantile(Random,.025))
TotalQRandom975<-c(TotalQRandom975,quantile(Random,.975))
TotalCDF80<-c(TotalCDF80,mean(Random>=80))
TotalCDF85<-c(TotalCDF85,mean(Random>=85))
TotalCDF90<-c(TotalCDF90,mean(Random>=90))
TotalCDF95<-c(TotalCDF95,mean(Random>=95))
}

```

```
Total<-  
cbind(TotalZ,TotalMeanRandom,TotalVarRandom,TotalQRandom025,TotalQRandom975  
,TotalCDF80,TotalCDF85,TotalCDF90,TotalCDF95)
```

โปรแกรมการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าระดับความสูงกับจำนวนครั้งที่สับไฟในตัวแบบที่ 9 (ตัวแบบผู้สับไฟเลือกการสับไฟส่วนล่างและมีความหนาของการสับไฟแบบมาก) โดยมีจำนวนครั้งที่ทำการสับไฟตั้งแต่ 5-40 ครั้ง

```
Total<-c()
```

```
TotalZ<-c()
```

```
TotalMeanRandom<-c()
```

```
TotalVarRandom<-c()
```

```
TotalQRandom025<-c()
```

```
TotalQRandom975<-c()
```

```
TotalCDF80<-c()
```

```
TotalCDF85<-c()
```

```
TotalCDF90<-c()
```

```
TotalCDF95<-c()
```

```
for(z in 5:40){
```

```
Maxj<-c()
```

```
Maxorder<-c()
```

```
Random<-c()
```

```
for(i in 1:10000){
```

```
p<-c(1:52)
```

```
for(j in 1:z){
```

```
maxorder0<-0
```

```
Count<-0
```

```
ChkF<-0
```

```
r<-ceiling((rbeta(1,13.3125,4.4375))*52)
```

```
t<-ceiling(runif(1,18,26))
```

```
if(r+t<52){  
q<-c(p[(r):(r+t-1)],p[1:(r-1)],p[(r+t):52])  
p<-q  
x1<-p[1:51]  
x2<-p[2:52]  
diff<-abs(x2-x1)  
for(k in 1:51){  
ROC<-k  
if(diff[ROC]==1){  
if(ChkF==0){  
Count<-Count+2  
ChkF<-1  
}  
else  
{  
Count<-Count+1  
}  
if(maxorder0<Count){  
maxorder0<-Count  
}  
}  
else  
{  
if(maxorder0<Count){  
maxorder0<-Count  
}  
}
```



```
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
else
{
q<-c(p[(r):(52)],p[1:(r-1)])
p<-q
x1<-p[1:51]
x2<-p[2:52]
diff<-abs(x2-x1)
for(k in 1:51){
ROC<-k
if(diff[ROC]==1){
if(ChkF==0){
Count<-Count+2
ChkF<-1
}
else
{
Count<-Count+1
}
}
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
}
```

```

}
else
{
if(maxorder0<Count){
maxorder0<-Count
}
Count<-0
ChkF<-0
}
}
}
}
}
Maxj<-c(Maxj,j)
Maxorder<-c(Maxorder,maxorder0)
Random<-c(Random,(1-(maxorder0/52))*100)
}
TotalZ<-c(TotalZ,z)
TotalMeanRandom<-c(TotalMeanRandom,mean(Random))
TotalVarRandom<-c(TotalVarRandom,var(Random))
TotalQRandom025<-c(TotalQRandom025,quantile(Random,.025))
TotalQRandom975<-c(TotalQRandom975,quantile(Random,.975))
TotalCDF80<-c(TotalCDF80,mean(Random>=80))
TotalCDF85<-c(TotalCDF85,mean(Random>=85))
TotalCDF90<-c(TotalCDF90,mean(Random>=90))
TotalCDF95<-c(TotalCDF95,mean(Random>=95))
}

```

```
Total<-  
cbind(TotalZ,TotalMeanRandom,TotalVarRandom,TotalQRandom025,TotalQRandom975  
,TotalCDF80,TotalCDF85,TotalCDF90,TotalCDF95)
```

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภานุพงศ์ ภู่อระกุล เกิดวันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ.2526 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาสถิติประยุกต์ ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถิติศาสตรมหาบัณฑิต (สถ.ม.) สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์ และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553