



การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA  
สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบเบ้ขวา



โดย  
นางสาวอรณิชา ชุมภูวกร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถิติประยุกต์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาสถิติ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ  
DMEWMA สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบเบ้ขวา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสถิติประยุกต์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต  
ภาควิชาสถิติ  
มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ปีการศึกษา 2565  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

A COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF THE HEWMA EEWMA TEWMA AND  
DMEWMA CONTROL CHARTS FOR THE RIGHT SKEW DISTRIBUTIONS



By  
MISS Oranit CHUMPUWORN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Science (APPLIED STATISTICS)

Department of STATISTICS

Silpakorn University

Academic Year 2022

Copyright of Silpakorn University



61304203 : สถิติประยุกต์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังไฮบริด (HEWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังขยาย (EEWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังสามชั้น (TEWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังปรับปรุงสองชั้น (DMEWMA) ค่าความยาวรันเฉลี่ย

นางสาว อรณิชา ชุมภูวรา: การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบเบ้ขวา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ดร. ปิยพล ไพจิตร

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของพารามิเตอร์ เมื่อกระบวนการผลิตมีการแจกแจงแกมมา และการแจกแจงล็อกนอร์มัล ได้แก่แผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA ดำเนินการโดยการจำลองข้อมูลด้วยวิธีมอนติคาร์ลที่ทำซ้ำ 10,000 รอบ กำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา และการแจกแจงล็อกนอร์มัล เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมโดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามสถานการณ์ที่กำหนด  $G(1,1)$ ,  $G(4,1)$ ,  $G(2,2)$ ,  $G(1,2)$  และ  $\ln(1,1)$ ,  $\ln(4,1)$ ,  $\ln(2,2)$ ,  $\ln(1,2)$  และกำหนดค่าพารามิเตอร์ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบตัวแรกเท่ากับ 0.25, 0.5 ตัวที่สองเท่ากับ 0.2, 0.07 สำหรับแผนภูมิควบคุม EEWMA ค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบตัวแรกเท่ากับ 0.1, 0.3 ตัวที่สองเท่ากับ 0.11, 0.31 สำหรับแผนภูมิควบคุม HEWMA ค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบเท่ากับ 0.05, 0.1 สำหรับแผนภูมิควบคุม TEWMA และค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบเท่ากับ 0.05, 0.75 สำหรับแผนภูมิควบคุม DMEWMA และขนาดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการเท่ากับ 0.01 ถึง 2 โดยเกณฑ์ที่ใช้วัดประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม จะพิจารณาจากค่าความยาวรันเฉลี่ยซึ่งแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจะให้ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมมีค่าน้อยที่สุด ภายใต้สถานการณ์ที่กำหนดข้างต้นในทุกสถานการณ์ พบว่าแผนภูมิควบคุม TEWMA และแผนภูมิควบคุม DMEWMA มีประแนวโน้มมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม HEWMA และ EEWMA แต่บางสถานการณ์เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการมีค่ามากขึ้นอยู่ในช่วง 1 ถึง 2 แผนภูมิควบคุม HEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่า

61304203 : Major (APPLIED STATISTICS)

Keyword : HEWMA control chart, EEWMA control chart, TEWMA control chart, DMEWMA control chart, Average run length

MISS Oranit CHUMPUWORN : A comparison of the efficiency of the HEWMA EEWMA TEWMA and DMEWMA control charts for the right skew distributions Thesis advisor : Dr. Piyaphon Paichit

The purpose of this research is to compare the efficiency detection of process parameter shift for gamma distribution and log-normal distribution Control Chart, HEWMA EEWMA TEWMA and DMEWMA. The process of this research is imitated by using Monte Carlo Simulation Technique for 10,000 iterations. The data is defined by gamma distribution with scale and location parameter those are  $G(1,1)$ ,  $G(4,1)$ ,  $G(2,2)$ ,  $G(1,2)$  and defined by log-normal distribution with scale and location parameter those are  $\ln(1,1)$ ,  $\ln(4,1)$ ,  $\ln(2,2)$ ,  $\ln(1,2)$ . The first smoothing parameter are 0.25,0.5 and second are 0.2,0.07 for EEWMA control chart, The first smoothing parameter are 0.1,0.3 and second 0.11,0.31 for HEWMA control chart, Smoothing parameter are 0.05,0.1 for TEWMA control chart, Smoothing parameter are 0.05,0.75 for DMEWMA control chart, and process shift sizes are 0.01 - 2 respectively. The criterion is considered by out-of-control process (Average Run Length: ARL) which is the most efficiency control chart will show the least average run length for out-of control process. The situations given above in all situations. It was found that TEWMA control charts and DMEWMA control charts tended to be more effective in detecting small changes parameters shift in process than HEWMA and EEWMA control charts. The larger the parameters shift in the range 1 to 2, the HEWMA control chart is more effective at detecting changes.

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงเบ้ขวา เพื่อการสำเร็จการศึกษาของ นักศึกษาระดับปริญญาโท สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจาก ได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก ดร.ปิยพล ไพบูลิตร์ อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.กมลชนก พานิชการ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.ยุพาภรณ์ อารีพงษ์ ผู้ทรงคุณวุฒิสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิด ข้อเสนอแนะ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ สุดทำยนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจศึกษาต่อไป

นางสาว อรณิชา ชุมภูว



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.4 เกณฑ์การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 แผนภูมิควบคุม (Control Chart).....	6
2.2 ค่าความยาวรันเฉลี่ย (Average Run Length: ARL).....	10
2.3 การแจกแจง (Distribution).....	11
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	16
3.1 วิธีการวิจัย.....	16
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	22
การประยุกต์กับข้อมูลจริง.....	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	41



5.1 สรุปลวิจัย .....	41
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	42
รายการอ้างอิง .....	43
ประวัติผู้เขียน .....	45



## สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 4.1 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา $G(1,1)$ ภายใต้ $ARL_0 = 370$ .....	25
ตาราง 4.2 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา $G(4,1)$ ภายใต้ $ARL_0 = 370$ 26	26
ตาราง 4.3 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา $G(2,2)$ ภายใต้ $ARL_0 = 370$ 27	27
ตาราง 4.4 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา $G(1,2)$ ภายใต้ $ARL_0 = 370$ 28	28
ตาราง 4.5 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจง $\ln(1,1)$ ภายใต้ $ARL_0 = 370$ .....	33
ตาราง 4.6 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจง $\ln(4,1)$ ภายใต้ $ARL_0 = 370$ .....	34
ตาราง 4.7 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจง $\ln(2,2)$ ภายใต้ $ARL_0 = 370$ .....	35
ตาราง 4.8 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจง $\ln(1,2)$ ภายใต้ $ARL_0 = 370$ .....	36
ตาราง 4.9 ข้อมูลจริงและค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม TEWMA DHWMA และ DMEWMA .....	39

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	19
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการหาค่า $ARL_0$ ของทุกแผนภูมิควบคุม .....	20
ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการหาค่า $ARL_0$ ของทุกแผนภูมิควบคุม .....	21
ภาพที่ 4.1 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา $G(1,1)$ .....	29
ภาพที่ 4.2 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา $G(4,1)$ .....	29
ภาพที่ 4.3 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา $G(2,2)$ .....	30
ภาพที่ 4.4 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา $G(1,2)$ .....	30
ภาพที่ 4.5 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจง $\ln(1,1)$ .....	37
ภาพที่ 4.6 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจง $\ln(4,1)$ .....	37
ภาพที่ 4.7 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจง $\ln(2,2)$ .....	38
ภาพที่ 4.8 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจง $\ln(1,2)$ .....	38

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในธุรกิจอุตสาหกรรม การควบคุมคุณภาพมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตเป็นอย่างมาก เพราะมีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้าของผู้บริโภค ดังนั้นผู้ผลิตจึงต้องควบคุมคุณภาพของสินค้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ในความเป็นจริงกระบวนการผลิตมักมีความผันแปรที่อาจเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา เช่น ความผันแปรที่เกิดจากมนุษย์ เครื่องจักร สิ่งแวดล้อม และวัตถุดิบ หากความผันแปรเหล่านี้เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เมื่อถูกส่งไปยังผู้บริโภคจะสร้างความเสียหายแก่ผู้ผลิตได้ จึงมีการนำเครื่องมือควบคุมคุณภาพในเชิงสถิติ (SPC) มาเป็นตัวช่วยสำหรับเก็บข้อมูลและแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตมี 7 ชนิด ได้แก่ ใบตรวจสอบ กราฟ ฮิสโตแกรม แผนภูมิพาเรโต แผนภาพก้างปลา แผนภาพการกระจาย และแผนภูมิควบคุม โดยแผนภูมิควบคุมเป็นแผนภูมิที่สามารถจับความผิดปกติได้ทันทีหากเกิดความผิดปกติในกระบวนการผลิตที่ติดตามอย่างต่อเนื่อง ทำให้ค้นหาสาเหตุของความเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้น (ทง ประสานพานิช, 2555)

แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือ แผนภูมิที่ใช้เพื่อตรวจสอบค่าของตัวแปรที่ต้องการควบคุมคุณภาพว่าเกิดความแปรผันเกินจากขอบเขตที่กำหนดไว้หรือไม่ ซึ่งหากพบว่าเกินจากขอบเขตที่กำหนดไว้ ผู้วิเคราะห์จะต้องหาสาเหตุของความแปรผันและดำเนินการแก้ไขก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้นกับผลิตภัณฑ์ Douglas C.M., (2005) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลัง (Exponentially Weighted Moving Average control chart: EWMA) ที่ใช้สำหรับตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตได้ดีเมื่อกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็ก ( $\delta \leq 1.5$ ) โดยการนำข้อมูลทั้งหมดมาพิจารณาร่วมกันและให้น้ำหนักแก่ข้อมูล ซึ่งจะลดลงไปเรื่อยๆ กล่าวคือ จะให้น้ำหนักกับค่าสังเกตปัจจุบันมากกว่าน้ำหนักที่ให้กับค่าสังเกตในอดีต James M. Lucas และ Michael S. Saccucci (1990) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุม EWMA กับแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (Cumulative Sum control chart: CUSUM) ผลการศึกษาพบว่าแผนภูมิควบคุม EWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม CUSUM เมื่อกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็ก โดยทั่วไปงานวิจัยส่วนใหญ่ใช้แผนภูมิควบคุม ตรวจจับความผิดปกติของกระบวนการผลิต ภายใต้อุปกรณ์ที่มีการแจกแจงแบบปกติ ในความเป็นจริงข้อมูลที่สนใจอาจไม่ได้มีการแจกแจงปกติเสมอไป แต่มีการแจก

แจกแจงแบบเบ้ (Montgomery, 2013) เช่น กระบวนการทางเคมี กระบวนการสีหรือของเครื่องมือตัด กระบวนการเซมิคอนดักเตอร์ และการวัดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (nature Derya and Canan, 2012) ซึ่งถ้าข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลาการรอคอยหรือการใช้งาน ข้อมูลอาจมีการแจกแจงแกมมา (Gamma distribution) ในด้านทางการแพทย์เกี่ยวกับระยะเวลาในการแพร่กระจายของเชื้อโรคในผู้ป่วย งานด้านบริหารธุรกิจและเศรษฐศาสตร์ ระยะเวลาของการจ้างงาน ข้อมูลอาจมีการแจกแจงลอจโนร์มอล (Log normal distribution) Shamma and Shammaz (1992) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังสองชั้น (Double Exponentially Weighted Moving Average control chart: DEWMA) ซึ่งพัฒนามาจากแผนภูมิควบคุม EWMA พบว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA ต่อมา พิริยะและคณะ (2560) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการสำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติของแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม DEWMA ผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม DEWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีที่สุดในทุกสถานการณ์ Haq (2013) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังไฮบริด (Hybrid Exponentially Weighted Moving Average control chart: HEWMA) ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการสำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ โดยแผนภูมินี้พัฒนามาจากการถ่วงน้ำหนักของค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม EWMA ซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภูมิควบคุม HEWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม CUSUM แผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุมแบบผสมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังและผลรวมสะสม (Mixed Exponentially Weighted Moving Average-Cumulative Sum control chart: Mixed EWMA CUSUM) ภายใต้การแจกแจงแบบปกติ ต่อมา Haq (2017) ได้แก้ไขความแปรปรวนของแผนภูมิควบคุม HEWMA ให้ถูกต้องจากเดิมที่เคยนำเสนอในปี ค.ศ. 2013 ทำให้ได้ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมินี้ใหม่ Muhammad Naveed และคณะ (2018) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังขยาย (Extended Exponentially Weighted Moving Average control chart: EEWMA) แผนภูมินี้จะให้น้ำหนักเชิงบวกกับค่าสังเกตปัจจุบันและให้น้ำหนักเชิงลบกับค่าสังเกตในอดีต ทำให้ความแปรปรวนของตัวสถิติลดลงส่งผลให้แผนภูมิควบคุม EEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของกระบวนการผลิต ได้ดียิ่งขึ้นอีกทั้งยังได้นำแผนภูมิควบคุมนี้ไปเปรียบเทียบกับแผนภูมิควบคุม EWMA และ Shewhart เมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงปกติโดยพิจารณาจากค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (out-of-control Average Run Length:  $ARL_1$ ) พบว่า แผนภูมิควบคุม EEWMA มีประสิทธิภาพตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตได้ดีกว่า

แผนภูมิควบคุม EWMA และ Shewhart และ Alevizakos et al. (2020) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสามชั้น (Triple Exponentially Weighted Moving Average control chart : TEWMA) ซึ่งแผนภูมิควบคุมนี้มีการเพิ่มสถิติ EWMA 2 ตัว ลงในโครงสร้างของแผนภูมิควบคุม EWMA ทำให้แผนภูมิควบคุมนี้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กถึงปานกลางได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม DEWMA Alevizakos et al. (2020) ได้นำแผนภูมิควบคุมนี้ไปเปรียบเทียบกับแผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม DEWMA และแผนภูมิควบคุม EWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ ลาดปลาซ และแกมมาโดยพิจารณาจากค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม พบว่าแผนภูมิควบคุม TEWMA ให้ประสิทธิภาพดีกว่า แผนภูมิควบคุม EWMA และ DEWMA แต่ให้ประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม GWMA เล็กน้อยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุม GWMA ต่อมา Alevizakos et al. (2021) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุม Double -Modified EWMA (DMEWMA) โดยแผนภูมินี้ได้นำแนวคิดของการปรับให้เรียบมาใช้กับแผนภูมิควบคุม Modified EWMA ทำให้แผนภูมิควบคุมที่ได้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กได้ดีกว่าเดิม อีกทั้งยังได้นำแผนภูมิควบคุมนี้ไปเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพกับแผนภูมิควบคุม Modified EWMA เมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ โดยพิจารณาจากค่า  $ARL_1$  พบว่า แผนภูมิควบคุม DMEWMA ที่กำหนดค่า  $k$  กรณี  $k = -\frac{\lambda}{2}$  และ  $k = -\frac{\lambda}{4}$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของพารามิเตอร์ได้ดี

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นพบว่าแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของพารามิเตอร์ได้ดี ใกล้เคียงกัน ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA สำหรับตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของพารามิเตอร์ ภายใต้กระบวนการผลิตที่มีการแจกแจงแบบเบ้ขวา คือการแจกแจงแกมมา และการแจกแจงลิอองนอร์มัล โดยพิจารณาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจากค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (out-of-control Average Run Length:  $ARL_1$ ) ภายใต้กระบวนการอยู่ในการควบคุม (in-control Average Run Length:  $ARL_0$ ) เท่ากับ 370

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA สำหรับตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของพารามิเตอร์ เมื่อกระบวนการผลิตที่มีการแจกแจงแกมมา และการแจกแจงลิอองนอร์มัล



### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้สนใจ แผนภูมิควบคุมทางเดียว

1. แผนภูมิควบคุมที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้แก่

1.1 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังไฮบริด (Hybrid Exponentially Weighted Moving Average control chart: HEWMA) โดยมีพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ คือ  $\lambda_{1H}, \lambda_{2H}$

1.2 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังขยาย (Extended Exponentially Weighted Moving Average control chart: EEWMA) โดยมีพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ คือ  $\lambda_{1E}, \lambda_{2E}$

1.3 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังสามชั้น (Triple Exponentially Weighted Moving Average control chart: TEWMA) โดยมีพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ คือ  $\lambda_T$

1.4 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังปรับปรุงสองชั้น (Double-modified Exponentially Weighted Moving Average control chart: DMEWMA) โดยมีพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ คือ  $\lambda_D$

2. กำหนดค่าความยาวรันเฉลี่ยของทุกแผนภูมิเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม  $ARL_0 = 370$

3. ทำการศึกษาข้อมูลที่มีการแจกแจงแกมมา และการแจกแจงล็อกนอร์มัล เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมโดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามสถานการณ์ที่กำหนด  $G(1,1), G(4,1), G(2,2), G(1,2)$  และ  $\ln(1,1), \ln(4,1), \ln(2,2), \ln(1,2)$

4. กำหนดรอบการทำซ้ำ (M) ในแต่ละรอบ M เป็น 10,000

5. กำหนดขนาดการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์บ่งรูปร่างสำหรับการแจกแจงแกมมา  $\alpha_1 = \alpha_0 + \delta$

โดยที่  $\alpha_0$  คือ ค่าพารามิเตอร์บ่งรูปร่าง เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

$\alpha_1$  คือ ค่าพารามิเตอร์บ่งรูปร่าง เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง

6. กำหนดขนาดการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์บ่งตำแหน่งสำหรับการแจกแจงล็อกนอร์มัล  $\mu_1 = \mu_0 + \delta$

โดยที่  $\mu_0$  คือ ค่าพารามิเตอร์บ่งตำแหน่งเมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

$\mu_1$  คือ ค่าพารามิเตอร์บ่งตำแหน่ง เมื่อกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง

#### 1.4 เกณฑ์การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ภายใต้  $ARL_0 = 370$  โดยใช้เกณฑ์พิจารณาจากค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม ( $ARL_1$ ) ถ้าแผนภูมิควบคุมใดให้ค่า  $ARL_1$  ต่ำที่สุดแผนภูมิควบคุมนั้นจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัย

1. ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA สำหรับตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของพารามิเตอร์ เมื่อกระบวนการผลิตมีการแจกแจงแกมมา และการแจกแจงล็อกนอร์มัล ที่มีพารามิเตอร์ตามสถานการณ์ที่ผู้วิจัยกำหนด

2. ใช้เป็นแนวทางในการเลือกแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต ภายใต้กระบวนการผลิตที่ข้อมูลที่มีการแจกแจงแกมมา และการแจกแจงล็อกนอร์มัล ได้





## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 แผนภูมิควบคุม คือแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังไฮบริด (HEWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังขยาย (EEWMA) แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังสามชั้น (TEWMA) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังปรับปรุงสองชั้น (DMEWMA) สำหรับตรวจจัดการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็ของพารามิเตอร์ เมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงมา และการแจกแจงลอการิธึม ซึ่งผู้วิจัยจะใช้เกณฑ์ที่วัดประสิทธิภาพของการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมครั้งนี้คือค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่นอกการควบคุม ( $ARL_1$ ) ซึ่งถ้าแผนภูมิควบคุมใดที่มีประสิทธิภาพสูง จะให้ค่า  $ARL_1$  น้อยกว่าแผนภูมิควบคุมอื่น นั่นคือเป็นแผนภูมิที่สามารถตรวจจัดการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็ของพารามิเตอร์ ได้ดีที่สุด โดยการวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรม R ในการจำลองข้อมูลทั้งหมดโดยจำลองด้วยวิธีมอนติคาร์โล ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

#### 2.1 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

2.1.1 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังไฮบริด (Hybrid Exponentially Weighted Moving Average control chart: HEWMA )

Haq (2013) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุม HEWMA โดยพัฒนามาจากการถ่วงน้ำหนักของค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม EWMA ซ้ำ 2 ครั้ง และในปี ค.ศ. 2017 Haq ได้แก้ไขความแปรปรวนของแผนภูมิควบคุม HEWMA ให้ถูกต้องจากเดิมทำให้ได้ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิใหม่ โดยสถิติของแผนภูมิ HEWMA คือ

$$HE_i = \lambda_{2H} E_i + (1 - \lambda_{2H}) HE_{i-1} \quad ; i = 1, 2, \dots \quad (2.1)$$

$$E_i = \lambda_{1H} X_i + (1 - \lambda_{1H}) E_{i-1} \quad ; i = 1, 2, \dots$$

โดยที่  $E_i$  คือ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลัง ณ เวลา  $i$ ;  $i = 1, 2, \dots$

$X_i$  คือ ค่าสังเกตของกระบวนการ ณ เวลา  $i$ ;  $i = 1, 2, \dots$

$\lambda_{1H}$  คือ ค่าพารามิเตอร์ปรับเรียงตัวแรกสำหรับคำนวณสถิติของแผนภูมิควบคุม HEWMA

$\lambda_{2H}$  คือ ค่าพารามิเตอร์ปรับเรียงตัวที่สองสำหรับคำนวณสถิติของแผนภูมิควบคุม

HEWMA เมื่อ  $0 < \lambda_{1H}, \lambda_{2H} \leq 1$  โดยที่  $\lambda_{1H} \neq \lambda_{2H}$

โดยกำหนดให้ค่าเริ่มต้น  $HE_0 = E_0 = \mu_0$  และความแปรปรวนของ  $HE_i$  คำนวณได้ดังนี้

$$Var(HE_i) = \left( \frac{\lambda_{1H}\lambda_{2H}}{\lambda_{1H} - \lambda_{2H}} \right)^2 \left[ \frac{(1-\lambda_{2H})^2(1-(1-\lambda_{2H})^{2i})}{1-(1-\lambda_{2H})^2} - \frac{2(1-\lambda_{1H})(1-\lambda_{2H})(1-(1-\lambda_{1H})^i)(1-\lambda_{2H})^i}{1-(1-\lambda_{1H})(1-\lambda_{2H})} + \frac{(1-\lambda_{1H})^2(1-(1-\lambda_{1H})^{2i})}{1-(1-\lambda_{2H})^2} \right] (\sigma^2)$$

ดังนั้นขีดจำกัดควบคุมบน ( $UCL$ ) และล่าง ( $LCL$ ) ของแผนภูมิควบคุม HEWMA คือ

$$\text{ขีดจำกัดควบคุมบนและล่าง} \quad UCL / LCL = \mu_0 \pm L_1 \sqrt{Var(HE_i)} \quad (2.2)$$

$$\text{เส้นกลาง} \quad CL = \theta_0$$

โดยที่  $\mu_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

$\sigma$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ

$L_1$  คือ ความกว้างของขีดจำกัดควบคุมที่สอดคล้องกับ  $ARL_0 = 370$

2.1.2 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังขยาย (Extended Exponentially Weighted Moving Average control chart: EEWMA)

Muhammad Naveed และคณะ (2018) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังขยาย แผนภูมิควบคุมนี้จะให้น้ำหนักเชิงบวกกับค่าสังเกตปัจจุบันและให้น้ำหนักเชิงลบกับค่าสังเกตในอดีต การให้น้ำหนักแบบนี้จะทำให้ความแปรปรวนของตัวสถิติลดลง ส่งผลให้แผนภูมิควบคุมมีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดียิ่งขึ้นโดยสถิติของแผนภูมิ EEWMA คือ

$$Z_i = \lambda_{1E} X_i - \lambda_{2E} X_{i-1} + (1 - \lambda_{1E} + \lambda_{2E}) Z_{i-1} \quad i = 1, 2, \dots \quad (2.3)$$

โดยที่  $Z_i$  คือ ตัวสถิติ EEWMA ณ เวลา  $i$ ;  $i = 1, 2, \dots$

$\lambda_{1E}$  คือ ค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบตัวแรกสำหรับคำนวณสถิติของแผนภูมิควบคุม EEWMA

$\lambda_{2E}$  คือ ค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบตัวที่สองสำหรับคำนวณสถิติของแผนภูมิควบคุม EEWMA

$X_i$  คือ ค่าสังเกตของกระบวนการ ณ เวลา  $i$ ;  $i = 1, 2, \dots$

เมื่อ  $0 < \lambda_{1E} \leq 1$  และ  $0 \leq \lambda_{2E} < \lambda_{1E}$

และความแปรปรวน คำนวณได้ดังนี้

$$Var(z_i) = \sigma^2 \left[ (\lambda_{1E}^2 + \lambda_{2E}^2) \left\{ \frac{1-a^{2i}}{2(\lambda_{1E} - \lambda_{2E}) - (\lambda_{1E} - \lambda_{2E})^2} \right\} - 2a\lambda_{1E}\lambda_{2E} \left\{ \frac{1-a^{2i-2}}{2(\lambda_{1E} - \lambda_{2E}) - (\lambda_{1E} - \lambda_{2E})^2} \right\} \right]$$

โดยที่  $a = (1 - \lambda_{1E} + \lambda_{2E})$

ดังนั้นขีดจำกัดควบคุมบน ( $UCL$ ) และล่าง ( $LCL$ ) ของแผนภูมิควบคุม EEWMA คือ

$$\begin{aligned} \text{ขีดจำกัดควบคุมบนและล่าง} \quad UCL / LCL &= \mu_0 \pm L_2 \sqrt{\text{Var}(Z_i)} \\ \text{เส้นกลาง} \quad CL &= \theta_0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

โดยที่  $\mu_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ  
 $\sigma$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ  
 $L_2$  คือ ความกว้างของขีดจำกัดควบคุมที่สอดคล้องกับ  $ARL_0 = 370$

2.1.3 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสามชั้น (Triple Exponentially Weighted Moving Average control chart: TEWMA)

Alevizakos et al. (2020) นำเสนอแผนภูมิควบคุม TEWMA มีการเพิ่มสถิติ EWMA 2 ตัว ลงในโครงสร้างของแผนภูมิควบคุม EWMA ทำให้แผนภูมิควบคุมนี้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กถึงปานกลางได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA โดยสถิติของแผนภูมิควบคุม TEWMA คือ

$$\begin{aligned} Y_i &= \lambda_T X_i + (1 - \lambda_T) Y_{i-1} & i = 1, 2, \dots \\ Z_i &= \lambda_T Y_i + (1 - \lambda_T) Z_{i-1} & i = 1, 2, \dots \\ W_i &= \lambda_T Z_i + (1 - \lambda_T) W_{i-1} & i = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (2.5)$$

โดยที่  $W_i$  คือ ตัวสถิติ TEWMA ลำดับที่  $i$  ณ เวลา  $i$   
 $X_i$  คือ ค่าสังเกตของกระบวนการ ณ เวลา  $i$   
 $\lambda_T$  คือ ค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบ ( $0 < \lambda_T < 1$ )  
 $Y_i$  และ  $Z_i$  คือ ตัวสถิติ EWMA ลำดับที่ 1 และ 2 ณ เวลา  $i$  ตามลำดับ

กำหนดตัวสถิติเริ่มต้น  $Y_0 = Z_0 = W_0 = \mu_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ  
 เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของ  $W_i$  คือ  $E(W_i) = \mu_0$

$$\text{และ } \text{Var}(W_i) = \left[ \frac{6(1 - \lambda_T)^6 \lambda_T}{(2 - \lambda_T)^5} + \frac{12(1 - \lambda_T)^4 \lambda_T^2}{(2 - \lambda_T)^4} + \frac{7(1 - \lambda_T)^2 \lambda_T^3}{(2 - \lambda_T)^3} + \frac{\lambda_T^4}{(2 - \lambda_T)^2} \right] \sigma^2$$

ดังนั้นขีดจำกัดควบคุมบน ( $UCL$ ) และล่าง ( $LCL$ ) ของแผนภูมิควบคุม TEWMA คือ

$$\begin{aligned} \text{ขีดจำกัดควบคุมบนและล่าง} \quad UCL / LCL &= \mu_0 \pm L_3 \sqrt{\text{Var}(W_i)} \\ \text{เส้นกลาง (Central line: CL)} \quad CL &= \mu_0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

โดยที่  $\mu_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ  
 $\sigma$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ  
 $L_3$  คือ ความกว้างของขีดจำกัดควบคุมที่สอดคล้องกับ  $ARL_0 = 370$

2.1.4 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังปรับปรุงสองชั้น (Double-modified Exponentially Weighted Moving Average control chart: DMEWMA)

Alevizakos et al. (2021) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุม Double-Modified EWMA โดยแผนภูมินี้ได้นำแนวคิดของการปรับให้เรียบมาใช้กับแผนภูมิควบคุม Modified EWMA ทำให้แผนภูมิควบคุมที่ได้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กได้ดีกว่าเดิมและเมื่อกำหนด  $k = -\frac{\lambda}{2}$  และ  $k = -\frac{\lambda}{4}$  ทำให้แผนภูมิควบคุมมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยสถิติของแผนภูมิ DMEWMA คือ

$$M_i = \lambda_D X_i + (1 - \lambda_D) M_{i-1} + k(X_i - X_{i-1}) \quad (2.7)$$

$$DM_i = \lambda_D X_i + (1 - \lambda_D) DM_{i-1} + k(M_i - M_{i-1})$$

งานวิจัยนี้กำหนดค่า  $k$  เป็น 2 กรณี คือ  $k = -\frac{\lambda_D}{2}$  เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ DMEWMA และ

$k = -\frac{\lambda_D}{4}$  เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ DMEWMA2

โดยที่  $X_i$  คือ ค่าสังเกตของกระบวนการ ณ เวลา  $i$

$DM_i$  คือ ตัวสถิติ DMEWMA ณ เวลา  $i$

$\lambda_D$  คือ ค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบ ( $0 < \lambda_D < 1$ )

$k$  คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับ  $\lambda_D$

ตัวสถิติเริ่มต้น  $X_0 = M_0 = DM_0 = \mu_0 =$  ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของ  $DM_i$  คือ

$E(DM_i) = \mu_0$  และความแปรปรวน  $DM_i$  คือ

$$\text{Var}(DM_i) = \left[ (k + \lambda_D)^4 + 4\lambda_D^2 (k + \lambda_D)^2 (k + \lambda_D - 1)^2 + \frac{4\lambda_D^2 (k + \lambda_D - 1)^2 (k + \lambda_D)^2 (1 - \lambda_D)^2}{1 - \theta} - \frac{4\lambda_D^3 (k + \lambda_D - 1)^3 (k + \lambda_D) (1 - \lambda_D)}{(1 - \theta)^2} + \lambda_D^4 (k + \lambda_D - 1)^4 \frac{1 + \theta}{(1 - \theta)^3} \right]; \theta = (1 - \lambda_D)^2$$

ดังนั้นขีดจำกัดควบคุมบน ( $UCL$ ) และล่าง ( $LCL$ ) ของแผนภูมิควบคุม DMEWMA คือ

$$\text{ขีดจำกัดควบคุมบนและล่าง} \quad UCL / LCL = \mu_0 \pm L_4 \sqrt{\text{Var}(DM_i)} \quad (2.8)$$

เส้นกลาง (Central line: CL)  $CL = \mu_0$

โดยที่  $\mu_0$  คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ

$\sigma$  คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ

$L_4$  คือ ความกว้างของขีดจำกัดควบคุมที่สอดคล้องกับ  $ARL_0 = 370$

## 2.2 ค่าความยาวรันเฉลี่ย (Average Run Length: $ARL$ )

ค่าความยาวรันเฉลี่ย (Average Run Length:  $ARL$ ) คือ จำนวนตัวอย่างเฉลี่ยที่ตกอยู่ในขีดจำกัดควบคุมก่อนที่กระบวนการส่งสัญญาณออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรกโดยค่า  $ARL$  แบ่งออกเป็น 2 สถานะคือ

2.2.1 เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม (in-control process) ค่าความยาวรันเฉลี่ยเขียนสัญลักษณ์ แทนด้วย

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha}$$

เมื่อ  $\alpha$  คือ ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 1 หมายถึงค่าความน่าจะเป็นที่พบว่ากระบวนการออกนอกขีดจำกัดควบคุม เมื่อกระบวนการไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง  $ARL_0$  ควรมีค่าสูงๆ และที่นิยมใช้ค่า  $ARL_0$  มีค่าเท่ากับ 370 เพราะคำนวณมาจากขีดจำกัดควบคุม  $3\sigma$  หากสมมติว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ เมื่อเปิดตารางปกติมาตรฐานจะได้ความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0027 นั่นคือแผนภูมิควบคุมจะส่งสัญญาณหรือการเตือนที่ผิดพลาดออกนอกขีดจำกัดควบคุมจะเกิดขึ้น 27 จุด ใน 10,000 จุด เมื่อนำความน่าจะเป็นที่ได้มาหาจำนวนตัวอย่างเฉลี่ยที่แผนภูมิควบคุมจะส่งสัญญาณแจ้งเตือนที่ผิดพลาดจะได้เท่ากับ  $ARL_0 = \frac{1}{0.0027} = 370.370$  นั่นคือ เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม แผนภูมิควบคุมจะส่งสัญญาณแจ้งเตือนที่ผิดพลาด เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยทุกๆ 370 ตัวอย่าง

2.2.2 เมื่อกระบวนการผลิตอยู่นอกการควบคุม (out-of-control process) ค่าความยาวรันเฉลี่ยเขียนสัญลักษณ์ แทนด้วย  $ARL_1$

$$ARL_1 = \frac{1}{1 - \beta}$$

เมื่อ  $\beta$  คือ ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 2 หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นที่พบว่ากระบวนการออกนอกขีดจำกัดควบคุม เมื่อกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลง ค่า  $ARL_1$  ควรจะมีค่าต่ำ ๆ หรือกล่าวได้ว่าเมื่อกระบวนการอยู่นอกการควบคุม แผนภูมิควบคุมส่งสัญญาณแจ้งเตือนบ่อยมากขึ้น

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการจำลองมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) ในการคำนวณค่า  $ARL$  เป็นวิธีการศึกษาทดลองโดยทำการทดลองซ้ำ ๆ หลายครั้ง ซึ่งสามารถคำนวณค่า  $ARL$  ได้ดังนี้

$$ARL = \frac{\sum_{i=1}^M RL_i}{M}$$

โดยที่  $M$  คือ จำนวนรอบ

$RL_t$  คือ ค่าความยาวรัน เป็นจำนวนหน่วยตัวอย่างที่ถูกตรวจสอบจนกระทั่งพบว่ากระบวนการออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรก ในการจำลองข้อมูลครั้งที่  $t$

## 2.3 การแจกแจง (Distribution)

### 2.3.1 การแจกแจงแบบแกมมา (Gamma distribution)

พิจารณาการแจกแจงแบบปัวซองโดยที่  $\lambda$  แทนค่าเฉลี่ยของการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ และการแจกแจงแบบเลขชี้กำลังจะสนใจระยะเวลารอคอยจนกระทั่งเกิดเหตุการณ์ที่สนใจเป็นครั้งแรกโดยมี  $\beta$  แทนระยะเวลาเฉลี่ยในการรอคอย ส่วนการแจกแจงแบบแกมมาจะกำหนดให้ตัวแปรสุ่มแทนช่วงเวลารอคอยจนกระทั่งเกิดเหตุการณ์ที่สนใจครบ  $\alpha$  ครั้ง

กำหนดให้  $X$  เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องที่มีการแจกแจงแบบแกมมา โดยมี  $\alpha$  และ  $\beta$  เป็นพารามิเตอร์รูปร่าง (Shape) และพารามิเตอร์บ่งขนาด (Scale) ตามลำดับ สามารถเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $X \sim G(\alpha, \beta)$  โดยที่  $\alpha, \beta > 0$  ซึ่ง  $f(x)$  เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็น ของ  $X$  ดังนี้

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} & ; x > 0 \\ 0 & ; x \text{ Otherwise} \end{cases}$$

ค่าเฉลี่ยของ  $X$  ที่มีการแจกแจงแบบแกมมา คือ  $E(x) = \alpha\beta$

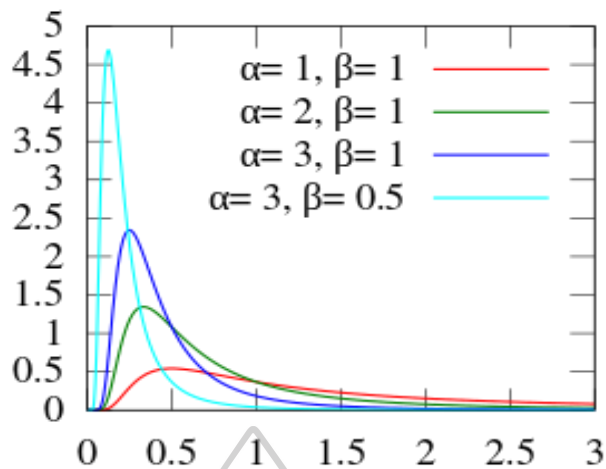
ค่าความแปรปรวนของ  $X$  ที่มีการแจกแจงแบบแกมมา คือ  $V(x) = \alpha\beta^2$

สำหรับค่าของ  $\Gamma(\alpha)$  คือฟังก์ชันแกมมา (Gamma Function) โดย

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx; \alpha > 0 \text{ โดยทั่วไปแล้ว } \Gamma(\alpha) = (\alpha-1)\Gamma(\alpha-1) \text{ ถ้า } \alpha \text{ เป็นจำนวนเต็ม}$$

บวกจะได้ว่า  $\Gamma(\alpha) = (\alpha-1)!$  และถ้า  $\alpha = \frac{1}{2}$  แล้ว  $\Gamma(\frac{1}{2}) = \sqrt{\pi}$





กราฟแสดงฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงแกมมา  
หมายเหตุ จาก. [https://hmong.in.th/wiki/Inverse-gamma\\_distribution](https://hmong.in.th/wiki/Inverse-gamma_distribution)

### 2.3.2 การแจกแจงลอแกออร์มัล (Log-normal Distribution)

การแจกแจงลอแกออร์มัล (Log-normal Distribution) เป็นการแจกแจงหนึ่งทีประชาชนไม่ได้  
เกิดขึ้นภายใต้การแจกแจงปกติและเป็นการแจกแจงที่นำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆในปัจจุบัน  
อย่างกว้างขวาง

การแจกแจงลอแกออร์มัลเรียกอีกชื่อว่า การแจกแจงแอนตี้ลอแกออร์มัล เนื่องจาก  $x$  เป็น  
ฟังก์ชันแอนตี้ลอการิทึมของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปกติ ซึ่งเขียนแทนด้วย  $(\mu, \sigma^2)$   
ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงลอแกออร์มัล มีรูปแบบดังนี้

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(\ln(x) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]; x > 0, \sigma > 0, -\infty < \mu < \infty$$

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมของการแจกแจงลอแกออร์มัล มีรูปแบบดังนี้

$$F(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left[\frac{\ln(x) - \mu}{\sqrt{2\sigma^2}}\right]$$

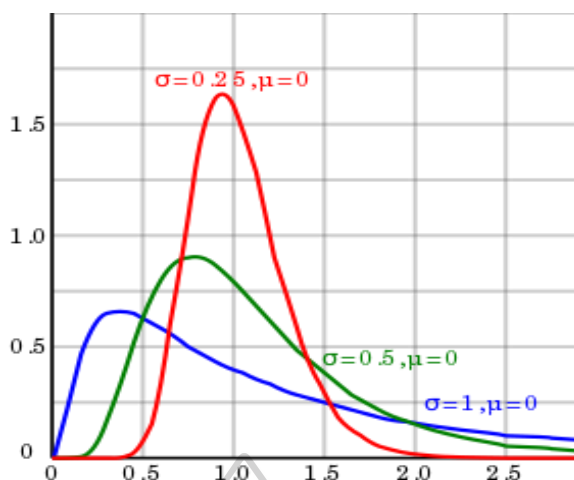
โดยที่  $\sigma$  แทนพารามิเตอร์บ่งขนาด เป็นพารามิเตอร์กำหนดรูปลักษณะของการแจกแจง

$\mu$  แทนพารามิเตอร์บ่งตำแหน่ง เป็นพารามิเตอร์กำหนดการกระจายของการแจกแจง

ค่าเฉลี่ยของ  $X$  การแจกแจงลอแกออร์มัล  $E(x) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$

ค่าความแปรปรวนของ  $X$  การแจกแจงลอแกออร์มัล  $V(x) = (e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2}$

กราฟการแจกแจงลอแกออร์มัลที่มีพารามิเตอร์ต่างกัน ดังภาพ



กราฟแสดงฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงลอการิทึม  
หมายเหตุ จาก. [https://hmong.in.th/wiki/Log-normal\\_distribution](https://hmong.in.th/wiki/Log-normal_distribution)

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Haq (2013) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังไฮบริด (Hybrid Exponentially Weighted Moving Average Control Chart: HEWMA) ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการสำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปรกติ โดยแผนภูมินี้พัฒนามาจากการถ่วงน้ำหนักของค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม EWMA ซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของกระบวนการผลิต โดยพิจารณาจากค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม ( $ARL_1$ ) ซึ่งพบว่าแผนภูมิควบคุม HEWMA มีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA แผนภูมิควบคุม CUSUM และแผนภูมิควบคุมแบบผสมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังและผลรวมสะสม (Mixed Exponentially Weighted Moving Average-Cumulative Sum Control Chart: Mixed EWMA CUSUM) ภายใต้การแจกแจงแบบปรกติ Haq (2017) ได้แก้ไขความแปรปรวนของแผนภูมิควบคุม HEWMA ให้ถูกต้องจากเดิมที่เคยนำเสนอในปี ค.ศ. 2013 ทำให้ได้ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิใหม่

Muhammad Naveed และคณะ (2018) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังขยาย (Extended Exponentially Weighted Moving Average control chart: EEWMA) ซึ่งแผนภูมินี้จะให้น้ำหนักเชิงบวกกับค่าสังเกตปัจจุบันและให้น้ำหนักเชิงลบกับค่าสังเกตในอดีต ทำให้ความแปรปรวนของตัวสถิติลดลงส่งผลให้แผนภูมิควบคุม EEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของกระบวนการผลิต ได้ดียิ่งขึ้นอีกทั้งยังได้นำแผนภูมิควบคุมนี้ไปเปรียบเทียบกับแผนภูมิควบคุม EWMA และ Shewhart เมื่อกำหนดให้ข้อมูลมี



การแจกแจงปรกติ โดยพิจารณาจากค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม ( $ARL_1$ ) พบว่า แผนภูมิควบคุม EEWMA มีประสิทธิภาพตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA และ Shewhart

Alevizakos et al. (2020) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสามชั้น (Triple Exponentially Weighted Moving Average : TEWMA) ซึ่งแผนภูมิควบคุมนี้มีการเพิ่มสถิติ EWMA 2 ตัว ลงในโครงสร้างของแผนภูมิควบคุม EWMA ทำให้แผนภูมิควบคุมนี้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กถึงปานกลางได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA และแผนภูมิควบคุม DEWMA Alevizakos et al. (2020) ได้นำแผนภูมิควบคุมนี้ไปเปรียบเทียบกับแผนภูมิควบคุม GWMA แผนภูมิควบคุม DEWMA และแผนภูมิควบคุม EWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติ ที่ ลากลากซ์ และแกมมาโดยพิจารณาจากค่า  $ARL_1$  พบว่าแผนภูมิควบคุม TEWMA ให้ประสิทธิภาพดีกว่า แผนภูมิควบคุม EWMA และ DEWMA แต่ให้ประสิทธิภาพดีกว่าแผนภูมิควบคุม GWMA เล็กน้อยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุม GWMA

Alevizakos et al. (2021) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุม Double -Modified EWMA (DMEWMA) โดยแผนภูมินี้ได้นำแนวคิดของการปรับให้เรียบมาใช้กับแผนภูมิควบคุม Modified EWMA ทำให้แผนภูมิควบคุมที่ได้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กได้ดีกว่าเดิม อีกทั้งยังได้นำแผนภูมิควบคุมนี้ไปเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพกับแผนภูมิควบคุม Modified EWMA เมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงปรกติ โดยพิจารณาจากค่า  $ARL_1$  พบว่า แผนภูมิควบคุม DMEWMA ที่กำหนดค่า  $k$  กรณี  $k = -\frac{\lambda}{2}$  และ  $k = -\frac{\lambda}{4}$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของพารามิเตอร์ได้

วรพล สมานันตกุล (2552) ศึกษาและนำวิธีสมการเชิงปริพันธ์มาใช้ประมาณค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ในขีดจำกัดการควบคุมและออกนอกขีดจำกัดควบคุมมาใช้แทนวิธีมอนติคาร์โล อีกทั้งยังทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมกับแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบล็อกนอมัล โดยพิจารณาจากค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกขีดจำกัดควบคุมที่ได้จากวิธีสมการปริพันธ์พบว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังให้ประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อขนาดของการเปลี่ยนแปลงมีขนาดเล็ก

นันทวัน ล้ออร่าม (2560) ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบทั่วไป-ทูกี้ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิที่นำเสนอกับแผนภูมิควบคุมทูกี้ และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง-ทูกี้ เมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจง

แบบปรกติ การแจกแจงแบบลาปลาซ การแจกแจงแบบลึอกนอร์มัล การแจกแจงแบบแกมมาและ การแจกแจงแบบเลขชี้กำลังโดยใช้เกณฑ์ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกขีดจำกัดการควบคุม ผลการวิจัยพบว่า กรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงสมมาตร แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบทั่วไป-ทูกี มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุด กรณีการแจกแจงแบบลึอกนอร์มัลและการแจกแจงแบบแกมมา แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบทั่วไป-ทูกีสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กถึงปานกลางได้ดีที่สุด และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง-ทูกี สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุดเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วิธีการวิจัย

ผู้วิจัยทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสำหรับตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ ของข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา และการแจกแจงลิกนอร์มัล ระหว่างแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และแผนภูมิควบคุม DMEWMA ซึ่งผู้วิจัยจะใช้เกณฑ์วัดประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 แผนภูมิควบคุม จากค่าความยาวรันเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) เมื่อกระบวนการอยู่นอกการควบคุม (out-of-control process :  $ARL_1$ ) ซึ่งถ้าแผนภูมิควบคุมใดที่ให้ค่า  $ARL_1$  ต่ำสุดจะเป็นแผนภูมิที่ประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ ได้ดีที่สุด เมื่อกำหนด  $ARL_0$  มีค่าเท่ากับ 370 โดยการวิจัยครั้งนี้จำลองข้อมูลด้วยวิธีมอนติคาร์โล ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. กำหนดค่าพารามิเตอร์ปรับให้เรียบของแผนภูมิควบคุมทั้ง 4 ชนิด
  - 1.1 ค่าพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ  $\lambda_{1E} = 0.25, 0.5$  และ  $\lambda_{2E} = 0.2, 0.07$  สำหรับแผนภูมิควบคุม EEWMA
  - 1.2 ค่าพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ  $\lambda_{1H} = 0.1, 0.3$  และ  $\lambda_{2H} = 0.11, 0.31$  สำหรับแผนภูมิควบคุม HEWMA
  - 1.3 ค่าพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ  $\lambda_T = 0.05, 0.1$  สำหรับแผนภูมิควบคุม TEWMA
  - 1.4 ค่าพารามิเตอร์ปรับให้เรียบ  $\lambda_D = 0.05, 0.75$  สำหรับแผนภูมิควบคุม DMEWMA
2. จำลองข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ
  - 2.1 ในกรณีที่  $(x)$  เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมสร้างข้อมูล  $x$  ให้มีการแจกแจงแกมมา  $G(\alpha_0 = 1, \beta_0 = 1), G(\alpha_0 = 4, \beta_0 = 1), G(\alpha_0 = 2, \beta_0 = 2), G(\alpha_0 = 1, \beta_0 = 2)$  และลิกนอร์มอล  $\ln(\mu_0 = 1, \sigma_0 = 1), \ln(\mu_0 = 4, \sigma_0 = 1), \ln(\mu_0 = 2, \sigma_0 = 2), \ln(\mu_0 = 1, \sigma_0 = 2)$  ขนาดตัวอย่าง  $n = 1,000$  จำนวนรอบการทำซ้ำ  $M = 10,000$  ภายใต้  $ARL_0$  มีค่าเท่ากับ 370
  - 2.2 ในกรณีที่  $(x)$  เมื่อกระบวนการอยู่นอกการควบคุมสร้างข้อมูล  $x$  ให้มีการแจกแจงแกมมา และลิกนอร์มัล เมื่อกำหนดขนาดการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ  $\alpha_1 = \alpha_0 + \delta, \mu_1 = \mu_0 + \delta$  เมื่อ  $\delta$  เท่ากับ 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 1.5 และ 2

3. นำข้อมูลที่ได้จากการจำลองในข้อ 2 มาคำนวณค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA ดังนี้

3.1 คำนวณค่าสถิติ  $Z_i$  ของแผนภูมิควบคุม EEWMA โดยใช้ค่า  $\lambda_{1E}$  และ  $\lambda_{2E}$  ที่กำหนดในข้อ 1.1

3.2 คำนวณค่าสถิติ  $HE_i$  และ  $E_i$  ของแผนภูมิควบคุม HEWMA โดยใช้ค่า  $\lambda_{1H}$  และ  $\lambda_{2H}$  ที่กำหนดไว้ในข้อ 1.2

3.3 คำนวณค่าสถิติ  $W_i$  ของแผนภูมิควบคุม TEWMA โดยใช้ค่า  $\lambda_T$  ตามที่กำหนดไว้ในข้อ 1.3

3.4 คำนวณค่าสถิติ  $DM_i$  ของแผนภูมิควบคุม DMEWMA โดยใช้ค่า  $\lambda_D$  ตามที่กำหนดไว้ในข้อ 1.4

4. คำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม EEWMA HEWMA TEWMA และ DMEWMA ดังนี้

4.1 คำนวณขีดจำกัดควบคุมบนของแผนภูมิควบคุม EEWMA คือ  $UCL$  และให้  $LCL=0$

4.2 คำนวณขีดจำกัดควบคุมบนของแผนภูมิควบคุม HEWMA คือ  $UCL$  และให้  $LCL=0$

4.3 คำนวณขีดจำกัดควบคุมบนของแผนภูมิควบคุม TEWMA คือ  $UCL$  และให้  $LCL=0$

4.4 คำนวณขีดจำกัดควบคุมบนของแผนภูมิควบคุม DMEWMA คือ  $UCL$  และให้  $LCL=0$

5. นำค่าสถิติที่คำนวณได้ของทั้ง 4 แผนภูมิในข้อ 3 มาเปรียบเทียบกับขีดจำกัดควบคุมของแต่ละแผนภูมิที่ได้ในข้อ 4 เพื่อหาจำนวนหน่วยตัวอย่างที่อยู่ภายใต้การควบคุมจนกระทั่งพบว่าการะบวนการออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรกซึ่งเรียกว่า ค่าความยาวรัน ( $RL_t$ )

6. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 5 จนครบ 10,000 ครั้ง ค่าในแต่ละสถานการณ์ คือ  $RL_1, RL_2, \dots, RL_{10,000}$

7. คำนวณค่า  $ARL$  แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

7.1 กรณีที่กระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม (in-control process)

7.1.1 นำค่า  $RL_t$  ที่ได้จากข้อที่ 6 มาหาค่า  $ARL_0$  ดังนี้

$$ARL_0 = \frac{\sum_{t=1}^M RL_t}{10,000}$$

โดยที่  $RL_t$  คือ ค่าความยาวรันเป็นจำนวนหน่วยตัวอย่างที่อยู่ภายใต้การควบคุมจนกระทั่งพบว่าการะบวนการออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรกในการจำลองข้อมูลครั้งที่  $t$  ;

$t = 1, 2, \dots, 10,000$  หากได้ค่า  $ARL_0$  มีค่าเท่ากับ 370 จะทำการเก็บค่า  $L$  และคำนวณค่า  $UCL$  มาใช้ในการหาค่า  $ARL_1$

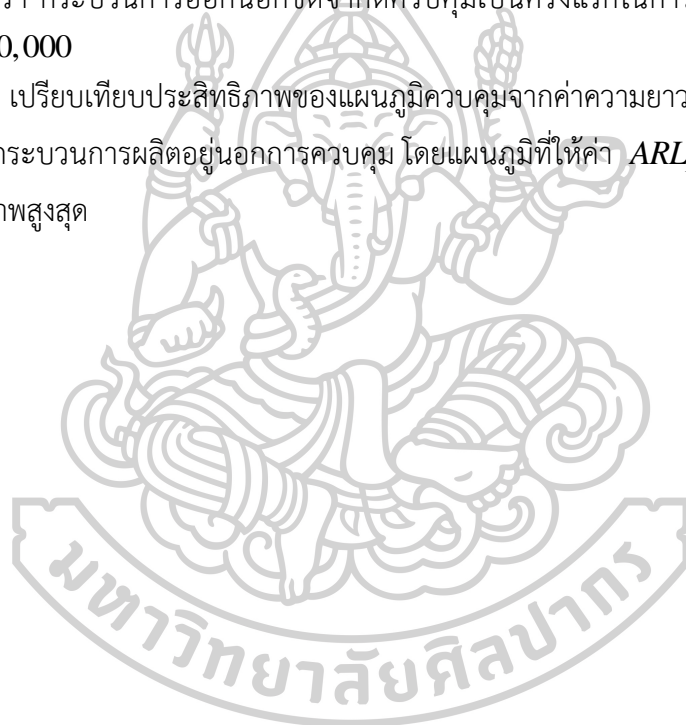
7.2 กรณีที่กระบวนการผลิตอยู่นอกการควบคุม (out-control process)

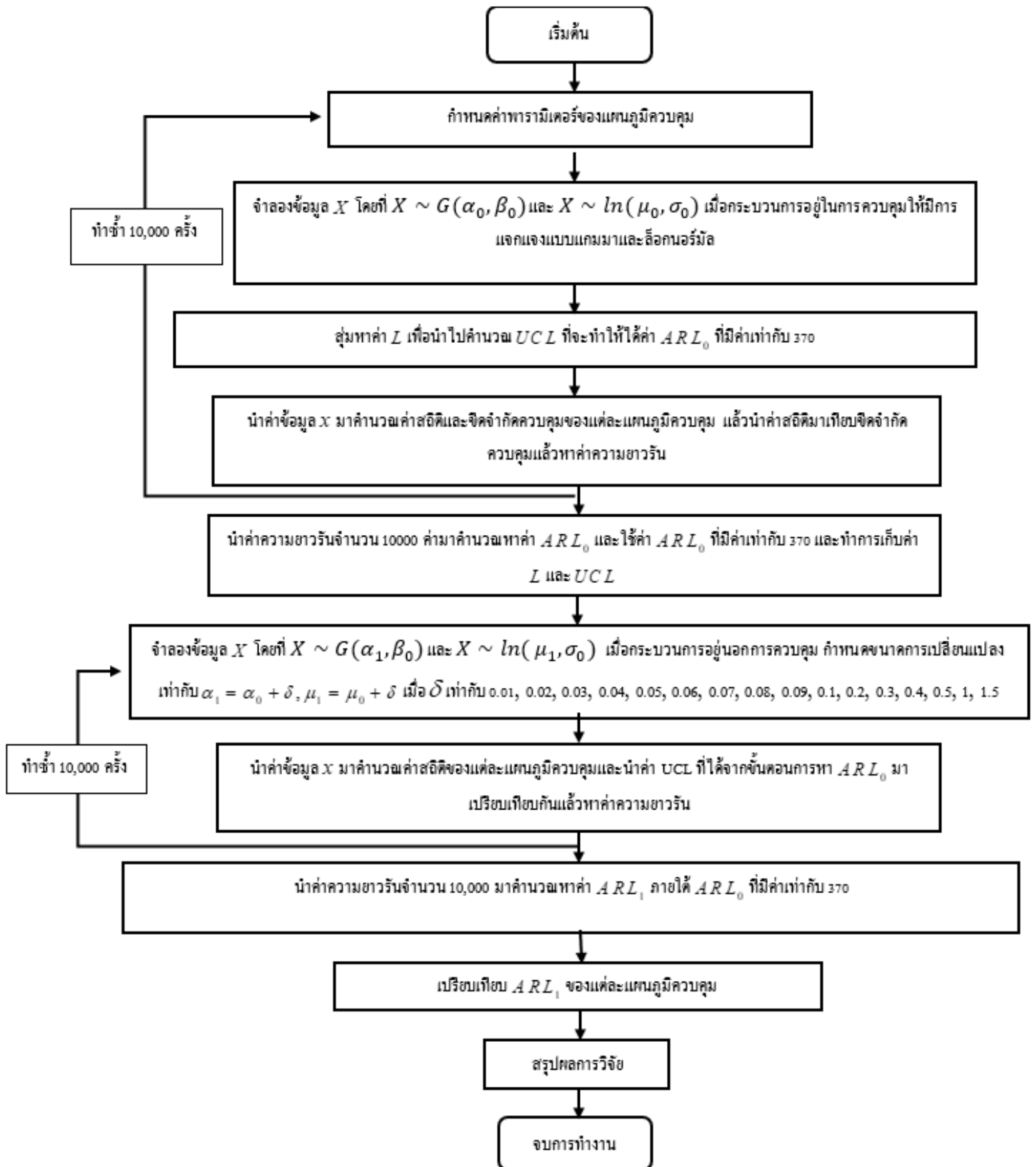
7.2.1 นำค่า  $RL_t$  ที่ได้จากข้อที่ 6 มาหาค่า  $ARL_1$  (โดยข้อ 5 จะนำค่าสถิติที่ได้มาเปรียบเทียบกับ  $UCL$  ที่ได้จาก  $ARL_0$  มีค่า เท่ากับ 370)

$$ARL_1 = \frac{\sum_{t=1}^M RL_t}{10,000}$$

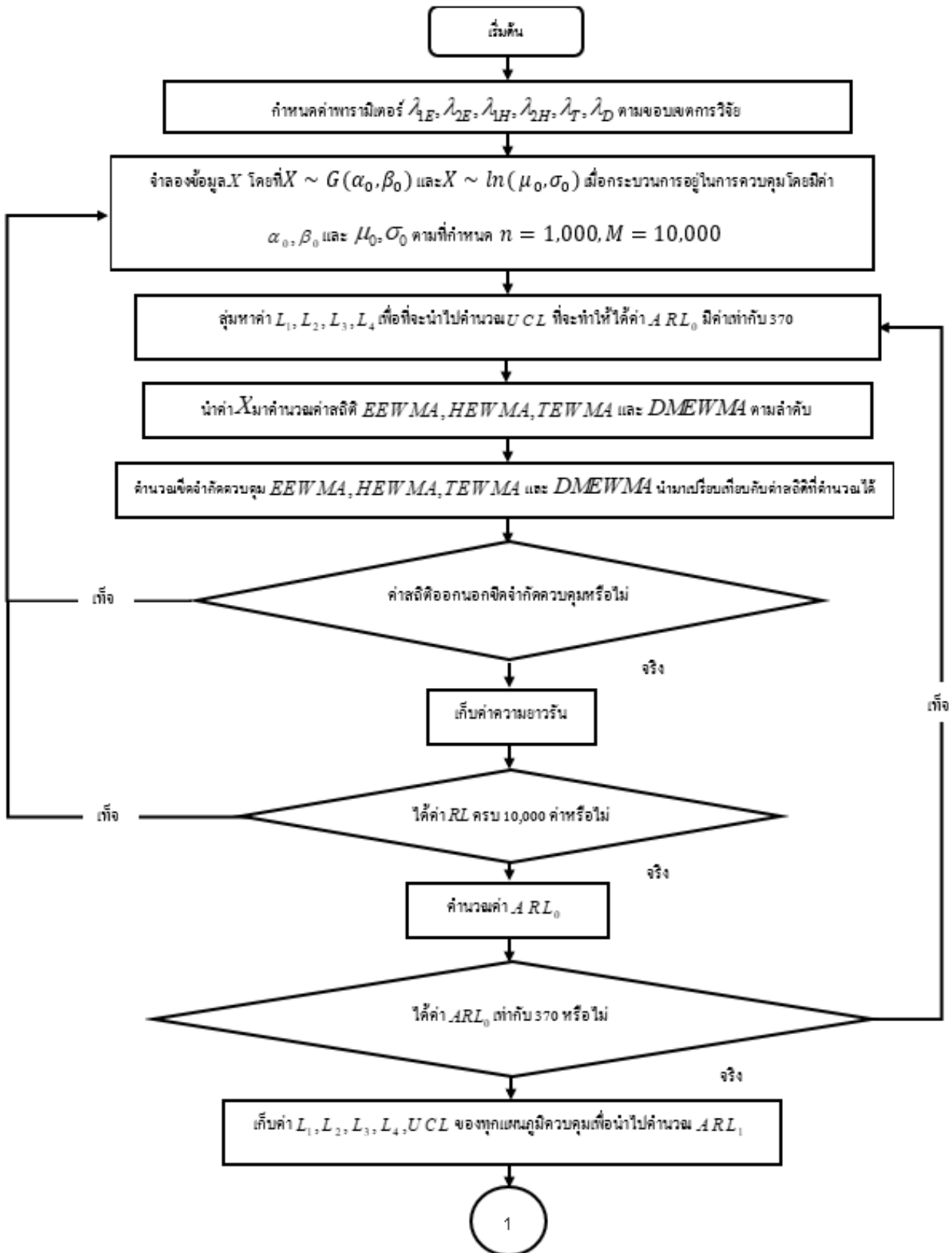
โดยที่  $RL_t$  คือ ค่าความยาวรันเป็นจำนวนหน่วยตัวอย่างที่อยู่ภายใต้การควบคุมจนกระทั่งพบว่า กระบวนการออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรกในการจำลองข้อมูลครั้งที่  $t$  ;  $t = 1, 2, \dots, 10,000$

8. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจากค่าความยาวรันเฉลี่ยที่หามาได้ในข้อ 7.2 กรณีเมื่อกระบวนการผลิตอยู่นอกการควบคุม โดยแผนภูมิที่ให้ค่า  $ARL_1$  ต่ำที่สุดจะเป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

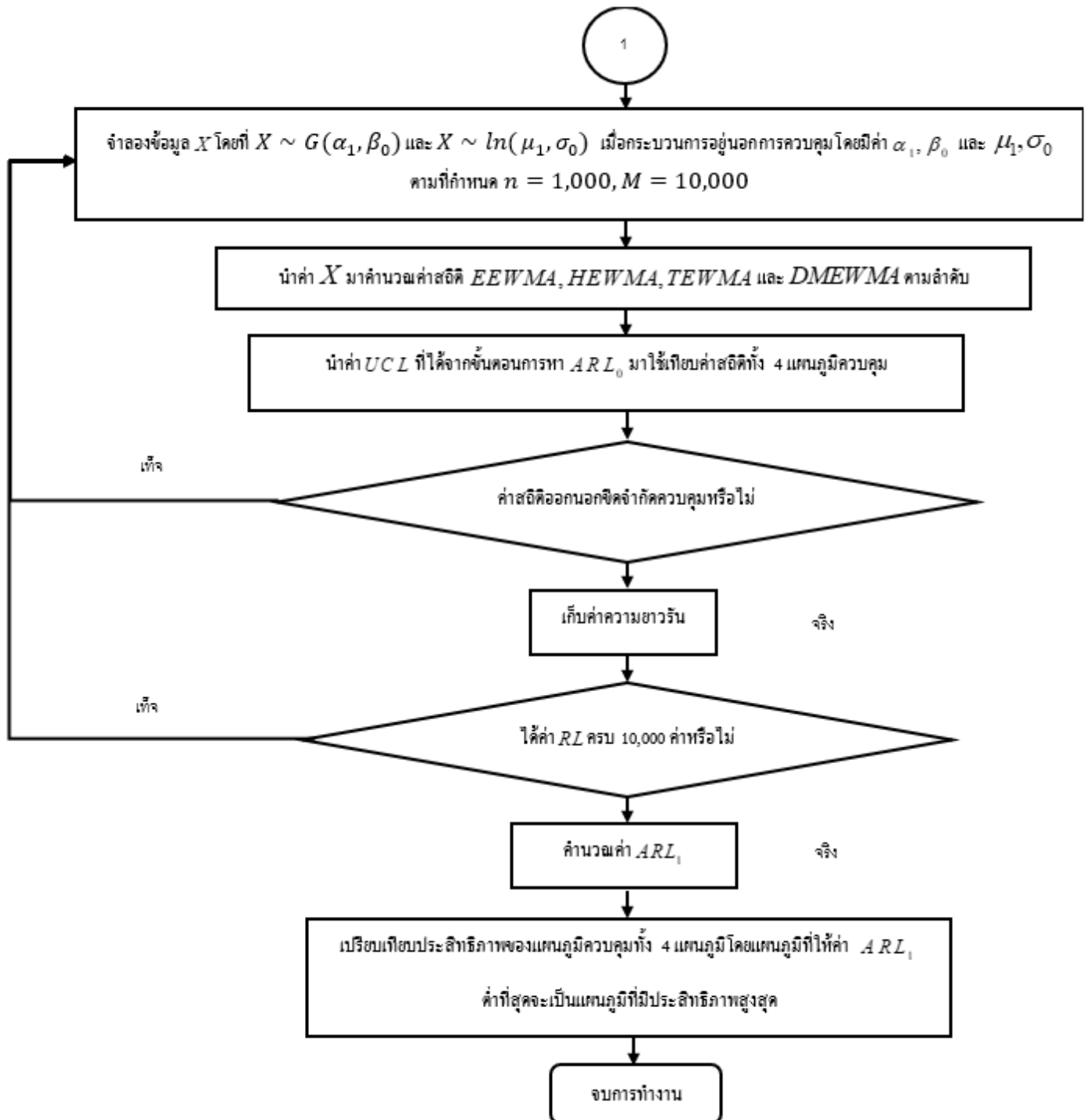




ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการหาค่า  $ARL_0$  ของทุกแผนภูมิควบคุม



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการหาค่า  $ARL_0$  ของทุกแผนภูมิควบคุม



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยเรื่อง “การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแบบเบ้ขวา” มีวัตถุประสงค์เพื่อ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA สำหรับตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ ของกระบวนการผลิตที่มีการแจกแจงแกมมา และการแจกแจงลิอองนอร์มัล

ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มาจากการจำลองข้อมูลที่มีการแจกแจงแกมมา และข้อมูลที่มีการแจกแจงลิอองนอร์มัล ด้วยวิธีมอนติคาร์โล โดยใช้โปรแกรม R

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล เกณฑ์ที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุมนี้ จะพิจารณาจากค่าความยาวรันเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) เมื่อกระบวนการอยู่นอกการควบคุม (out-of-control process :  $ARL_1$ ) ซึ่งแผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากจะให้ค่า  $ARL_1$  น้อยกว่าแผนภูมิควบคุมอื่นๆ นั่นคือเป็นแผนภูมิที่มีประสิทธิภาพสำหรับตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตภายใต้ข้อมูลที่มีการแจกแจงตามสถานการณ์ที่กำหนดได้ดีที่สุด ซึ่งผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

1. แผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA ภายใต้สถานการณ์ข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบแกมมา  $G(1,1)$

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 กรณี  $\delta = 0.01-0.03$  แผนภูมิควบคุม TEWMA ที่  $\lambda_T = 0.1, 0.05, 0.1$  ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta = 0.04-0.06$  แผนภูมิควบคุม TEWMA ที่  $\lambda_T = 0.05$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta = 0.07$  แผนภูมิควบคุม DMEWMA ที่  $\lambda_D = 0.05$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta = 0.08-0.1$  แผนภูมิควบคุม TEWMA ที่  $\lambda_T = 0.05$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta = 0.2-0.5$  แผนภูมิควบคุม DMEWMA ที่  $\lambda_D = 0.05$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta = 1, 1.5$  แผนภูมิควบคุม HEWMA ที่  $\lambda_{H1} = 0.3, \lambda_{H2} = 0.31$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด และกรณี  $\delta = 2$  แผนภูมิ



4. แผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA ภายใต้สถานการณ์ข้อมูล มีการแจกแจงแบบแกมมา  $G(1,2)$

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 กรณี  $\delta = 0.01-0.2$  แผนภูมิควบคุม DMEWMA2 ที่  $\lambda_D = 0.05$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta = 0.3-0.5$  แผนภูมิควบคุม TEWMA ที่  $\lambda_T = 0.1$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta = 1$  แผนภูมิควบคุม HEWMA ที่  $\lambda_H = 0.3$ ,  $\lambda_{2H} = 0.11$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta = 1.5$  แผนภูมิควบคุม HEWMA ที่  $\lambda_H = 0.3$ ,  $\lambda_{2H} = 0.31$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta = 2$  แผนภูมิควบคุม DMEWMA1 ที่  $\lambda_D = 0.75$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด



ตาราง 4.1 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา  $G(1,1)$  ภายใต้อัตรา  $ARL_0 = 370$

G (1,1)	HEWMA				EEWMA				TEWMA		DMEWMA			
	$\lambda_{1H}=0.1$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{1H}=0.3$	$\lambda_{1E}=0.25$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{1E}=0.5$	$\lambda_{1T}=0.05$	$\lambda_{1T}=0.1$	$\lambda_{D}=0.05$	$\lambda_{D}=0.75$	$\lambda_{D}=0.05$	$\lambda_{D}=0.75$
$\delta$	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{2E}=0.07$			$k = -\frac{\lambda}{2}$	$k = -\frac{\lambda}{2}$	$k = -\frac{\lambda}{4}$	$k = -\frac{\lambda}{4}$
	L=4.1	L=8.5	L=2.9	L=4.76	L=2.21	L=12.67	L=7.91	L=19.76	L=1.37	L=1.99	L=1.71	L=4.415	L=1.67	L=3.97
0.01	363.2	369.0	363.8	368.3	368.1	366.0	366.4	365.3	359.5	348.9	356.8	368.5	359.4	364
0.02	348.7	364.5	351.2	360.6	364.3	361.9	364.6	360.0	332.9	337.1	349	362.7	339	362
0.03	334.9	362.1	348.3	352.7	353.9	352.2	354.9	356.4	329.1	321.3	330.8	355.5	338	352.4
0.04	327.3	352.4	326.3	344.7	352.3	348.3	351.2	339.8	299.7	307.9	306.6	352.7	320.9	351.2
0.05	316.7	350.6	314.2	338.5	347.5	345.3	346.4	337.8	283.7	289.1	292.5	344.7	304.7	347.2
0.06	310.2	349.5	312.0	336.2	341.3	336.9	343.1	331.4	282.1	277.6	279.3	342.0	295.3	346.1
0.07	300.2	333.2	303.5	326.0	338.5	332.1	338.5	325.8	257.5	261.9	253.9	341.7	291.1	341.5
0.08	281	328.1	290.3	314.1	336.4	318.8	331.0	323.0	234.5	252.6	252.9	334.8	278.6	340.1
0.09	267.4	326.7	278.0	309.0	329.6	303.5	330.0	322.0	233.9	233.4	225.7	323.6	265.9	334.9
0.1	264.2	314.1	264.1	307.2	322.1	293.8	328.1	319.0	220.2	203.0	223.2	320.3	263	328.6
0.2	169.6	258.1	151.6	223.7	290.1	250.7	275.1	274.2	135.6	122.9	122.5	252.2	161	279.9
0.3	107.6	193.8	98.4	171.6	222.1	184.5	242.3	214.8	105.2	77.2	91.6	207.1	122.3	240
0.4	77.2	130.3	68.9	113.3	193.7	136.6	205.0	194.9	88.5	62.1	70.8	162.8	99.1	210
0.5	59.4	107.3	51.6	82.4	163.2	92.4	150.5	146.7	79.8	51.3	62.1	122.6	83.4	165.9
1	26.5	29.9	24.4	23.7	88.5	30.1	54.3	49.4	58.2	32.4	40.7	34.2	55.7	57
1.5	18.3	15.4	16.2	12.6	56.6	16.3	26.8	21.5	49.3	26.7	33.3	14.8	44.8	24.2
2	13.6	10.7	12.4	8.7	37.6	10.9	15.3	12.2	43.7	23.4	28.5	8.4	38.8	14.2

ตาราง 4.2 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อการควบคุมของการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา

G(4,1) ภายใต้อาร์แอล<sub>0</sub> = 370

G (4,1)	HEWMA				EEWMA				TEWMA			DMEWMA			
	$\lambda_{1H}=0.1$		$\lambda_{2H}=0.31$		$\lambda_{1E}=0.25$		$\lambda_{2E}=0.07$		$\lambda_{1E}=0.5$		$\lambda_{T}=0.05$	$\lambda_{T}=0.1$	$\lambda_{D}=0.05$	$\lambda_{D}=0.75$	$\lambda_{D}=0.75$
	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{2E}=0.07$			$k = -\frac{\lambda}{2}$	$k = -\frac{\lambda}{2}$	$k = -\frac{\lambda}{4}$
$\delta$	L=3.57	L=6.8	L=2.6	L=3.91	L=2.05	L=10.92	L=6.54	L=16.2	L=1.254	L=1.95	L=1.63	L=3.65	L=1.6	L=3.7	
0.01	367.4	367.3	368.5	365.5	368.7	368.2	369.1	368.1	364.7	364.0	357.92	368.454	358.768	368.858	
0.02	366.9	366.5	363.5	364.4	365.2	365.6	368.4	365.9	361.9	357.1	355.314	362.056	350.15	366.866	
0.03	356.9	357.9	361.9	360.9	362.6	364.8	364.5	364.9	348.0	341.1	346.652	360.15	338.998	362.8	
0.04	352.4	351.2	355.1	354.4	361.4	360.3	363.2	362.3	334.9	337.8	337.398	351.346	331.632	351.614	
0.05	346.2	348.3	354.6	348.3	357.1	358.7	362.7	361.2	313.3	336.2	332.064	352.56	327.284	350.948	
0.06	345.2	347.4	351.4	343.2	354.9	349.6	361.2	360.9	311.8	331.4	328.764	349.24	325.966	349.948	
0.07	345.1	341.2	343.2	341.2	351.6	343.3	360.6	359.6	310.4	328.0	314.772	347.238	313.682	349.328	
0.08	329.6	335.7	340.6	337.3	349.3	341.5	353.4	358.7	307.6	314.8	308.586	346.52	299.64	347.654	
0.09	328.9	334.9	327.9	335.8	347.5	332.6	352.8	354.7	296.3	303.6	301.292	337.678	298.734	341.424	
0.1	311.1	331.2	318.1	321.0	336.8	327.1	345.0	352.6	285.6	289.4	288.096	319.912	276.046	337.088	
0.2	269.4	296.1	256.5	292.2	319.3	311.9	337.6	322.6	215.1	228.7	220.062	310.076	211.436	318.22	
0.3	197.7	261.9	201.0	248.5	310.6	265.3	304.5	296.7	168.1	172.9	169.23	278.372	162.792	292.43	
0.4	149.3	222.7	146.7	201.5	291.6	231.9	279.8	275.4	143.4	127.3	132.528	248.324	140.39	274.556	
0.5	124.5	184.0	113.7	168.4	277.4	196.5	251.9	253.4	128.4	106.8	112.804	209.498	114.052	223.75	
1	58.2	71.8	54.1	58.2	186.3	85.3	144.9	133.9	93.9	55.4	73.504	94.762	73.304	104.11	
1.5	40.1	36.0	36.7	32.3	121.3	42.9	74.5	64.9	80.4	44.2	59.496	43.066	59.282	49.118	
2	22.3	13.4	20.1	11.4	94.6	27.6	45.9	35.1	72.2	38.7	52.432	24.13	51.486	26.108	

ตาราง 4.3 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อเกิดการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา

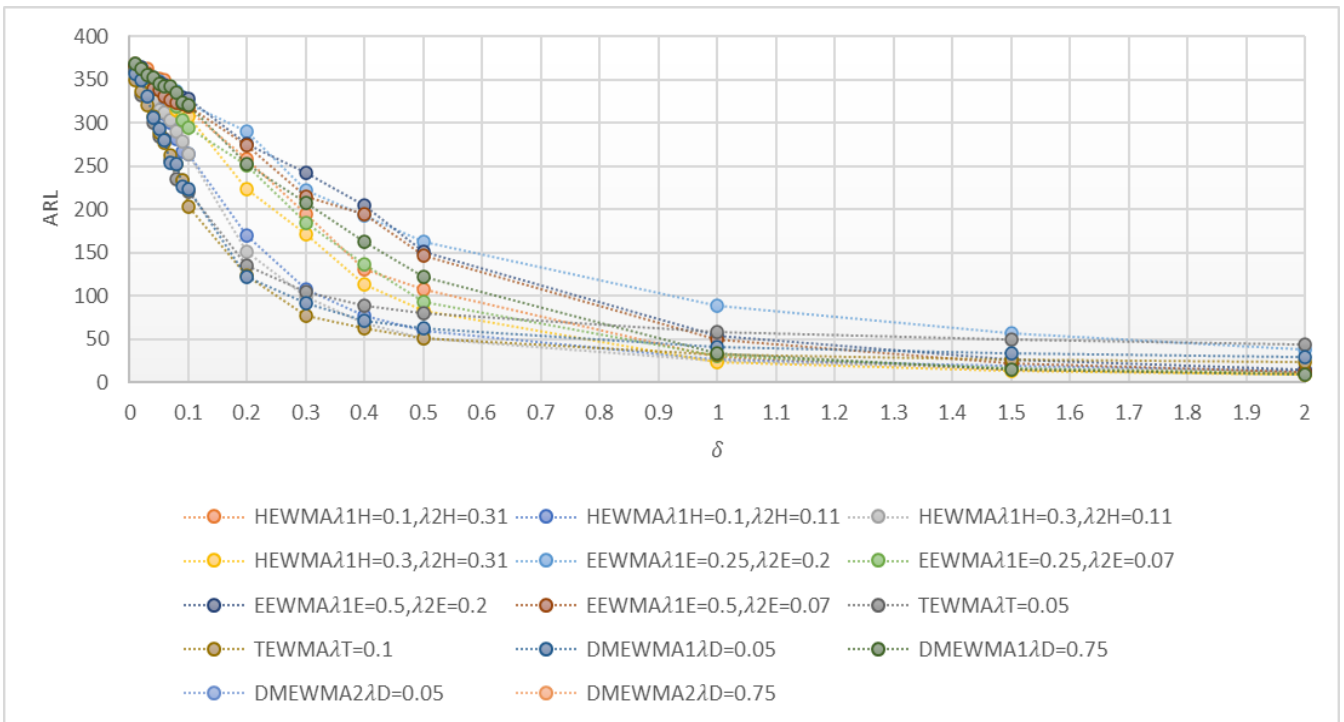
G(2,2) ภายใต้อาร์แอล<sub>0</sub> = 370

G (2,2)	HEWMA				EEWMA				TEWMA			DMEWMA			
	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{1E}=0.25$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{1E}=0.5$	$\lambda_T=0.05$	$\lambda_T=0.1$	$\lambda_D=0.05$	$\lambda_D=0.75$	$\lambda_D=0.05$	$\lambda_D=0.75$	
$\delta$	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{1E}=0.25$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{1E}=0.5$	$\lambda_T=0.05$	$\lambda_T=0.1$	$\lambda_D=0.05$	$\lambda_D=0.75$	$\lambda_D=0.05$	$\lambda_D=0.75$	
	L= 3.79	L= 7.5	L= 2.69	L= 4.3	L= 2.13	L= 11.58	L= 6.99	L= 17.6	L= 1.3	L= 1.97	L= 7.9	L= 5.35	L= 1.67	L= 3.97	
0.01	364.9	368.7	365.8	368.9	368.2	367.1	367.1	363.7	355.7	365.4	353.682	360.22	359.422	364.088	
0.02	362.0	363.7	361.5	363.3	365.8	362.1	357.3	361.6	339.0	361.6	334.12	349.186	339.096	362.038	
0.03	345.6	355.9	360.7	357.1	363.8	359.9	354.3	352.9	330.2	329.3	327.34	347.672	338.038	352.49	
0.04	344.0	351.6	342.4	352.8	361.9	354.3	351.6	349.8	315.3	327.7	319.574	346.67	320.928	351.25	
0.05	342.5	343.1	341.3	350.0	357.1	346.8	349.0	347.2	306.8	316.9	309.214	335.63	304.77	347.296	
0.06	321.5	339.1	329.0	344.9	360.6	340.5	343.1	346.3	292.8	307.4	303.426	328.966	295.34	346.136	
0.07	316.9	336.3	309.0	342.1	354.8	327.9	342.1	343.7	280.8	303.3	289.36	327.922	291.136	341.504	
0.08	314.5	333.2	302.6	340.4	353.2	324.2	341.1	341.0	276.9	276.7	277.478	326.066	278.664	340.162	
0.09	303.7	323.5	301.1	333.2	348.0	315.3	333.4	340.8	262.3	270.7	272.494	321.754	265.928	334.988	
0.1	293.6	319.2	290.6	328.3	337.0	314.5	332.3	332.6	254.0	264.7	256.842	319.174	263.002	328.686	
0.2	208.9	288.7	204.0	265.7	311.7	250.8	289.8	299.5	175.4	179.1	168.622	275.588	161.064	279.972	
0.3	155.0	231.5	143.0	224.7	278.1	219.0	258.2	268.1	136.1	120.6	125.464	240.55	122.346	240.026	
0.4	105.3	182.0	100.0	155.2	246.8	181.1	237.9	239.7	114.0	90.1	99.916	195.916	99.124	210.088	
0.5	82.6	144.1	77.4	126.8	232.8	142.4	190.2	205.6	101.7	70.8	84.686	145.492	83.4	165.902	
1	40.3	44.7	35.0	39.4	131.7	51.4	84.0	85.5	74.6	41.7	55.46	59.886	55.788	57	
1.5	27.0	23.4	23.5	19.1	82.2	28.2	45.2	36.5	63.7	34.5	45.054	24.802	44.86	24.208	
2	20.7	15.3	18.6	12.2	60.8	16.8	25.2	19.0	56.4	30.3	38.744	13.508	38.826	14.296	

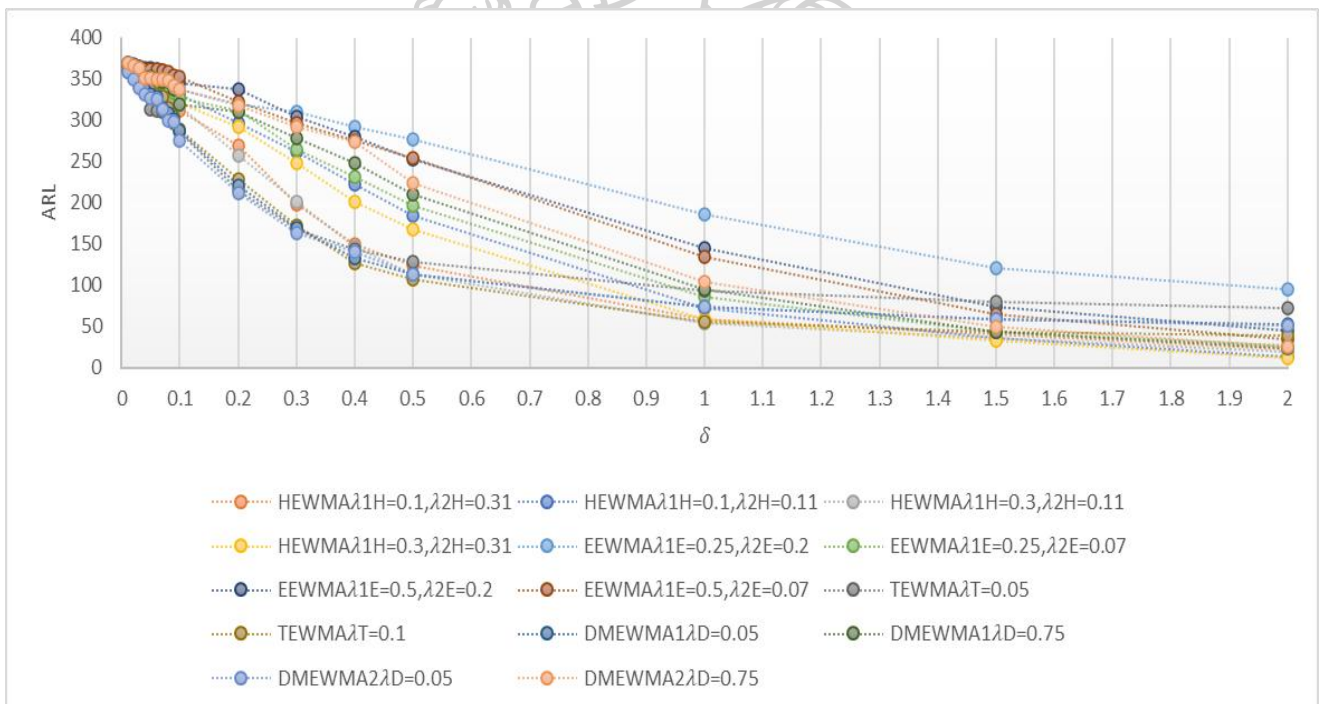


ตาราง 4.4 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อการควบคุมของการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา G(1,2) ภายใต้อาร์แอล<sub>0</sub> = 370

G (1,2)	HEWMA				EEWMA				TEWMA			DMEWMA				
	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{1E}=0.25$	$\lambda_{1E}=0.5$	$\lambda_{1E}=0.05$	$\lambda_{1E}=0.1$	$\lambda_{1D}=0.05$	$\lambda_{1D}=0.75$	$\lambda_{1D}=0.05$	$\lambda_{1D}=0.75$
$\delta$	L=4.12	L=8.5	L=2.88	L=4.77	L=2.22	L=12.7	L=7.94	L=19.7			L=1.39	L=1.99	L=1.7	L=4.4	L=1.65	L=4.41
0.01	362.434	368.058	361.108	368.948	364.1	368.7	367.3	368.1	357.7	350.0	364.938	368.398	364.938	368.398	345.202	365.428
0.02	358.676	362.866	348.888	358.408	357.0	365.3	363.1	364.1	347.1	339.8	343.6	365.558	343.6	365.558	331.39	353.022
0.03	343.644	360.946	343.852	354.552	347.3	354.7	361.0	358.4	332.3	325.1	326.398	348.236	326.398	348.236	312.142	352.89
0.04	332.076	358.718	332.256	352.092	345.8	347.0	360.0	350.1	302.8	302.8	303.066	346.858	303.066	346.858	288.086	351.298
0.05	322.18	350.274	316.212	342.51	344.6	342.2	346.8	347.4	292.5	290.5	284.524	338.39	284.524	338.39	275.614	350.072
0.06	316.482	348.756	304.472	330.988	343.0	333.5	345.8	341.0	277.0	269.7	271.65	337.338	271.65	337.338	252.236	344.14
0.07	308.622	340.998	280.428	329.334	339.2	330.3	345.0	338.4	260.9	256.8	250.61	332.798	250.61	332.798	238.018	328.166
0.08	280.008	334.138	279.666	326.49	331.2	329.1	341.1	327.3	238.9	244.9	242.362	325.088	242.362	325.088	231.44	327.458
0.09	279.55	328.86	276.328	314.024	327.9	321.0	333.8	323.4	231.4	236.3	219.986	313.542	219.986	313.542	214.432	324.99
0.1	272.21	326.506	259.212	310.358	319.1	313.7	327.7	316.0	226.0	204.3	204.9	304.832	204.9	304.832	202.642	319.218
0.2	169.956	263.358	150.196	249.316	278.1	235.4	298.5	279.9	136.4	123.6	123.362	256.292	123.362	256.292	122.598	258.742
0.3	106.696	199.596	99.798	168	243.7	190.0	247.8	231.3	102.9	78.3	89.984	209.512	89.984	209.512	85.002	211.792
0.4	75.524	148.684	70.084	110.396	201.5	137.6	190.8	186.2	89.8	60.1	72.736	151.738	72.736	151.738	71.922	153.4
0.5	57.71	97.97	52.966	85.418	176.5	97.0	170.4	139.8	79.8	49.6	61.814	121.38	61.814	121.38	61.45	116.97
1	26.878	30.954	23.602	23.638	87.5	33.0	55.3	49.9	58.4	33.0	41.188	34.532	41.188	34.532	40.622	32.656
1.5	17.748	15.344	16.07	12.958	56.4	16.7	26.8	21.5	49.4	26.6	33.294	14.692	33.294	14.692	32.49	15.476
2	13.852	10.712	12.176	8.802	40.0	11.2	16.0	11.2	43.6	23.4	28.522	8.694	28.522	8.694	28.132	8.812

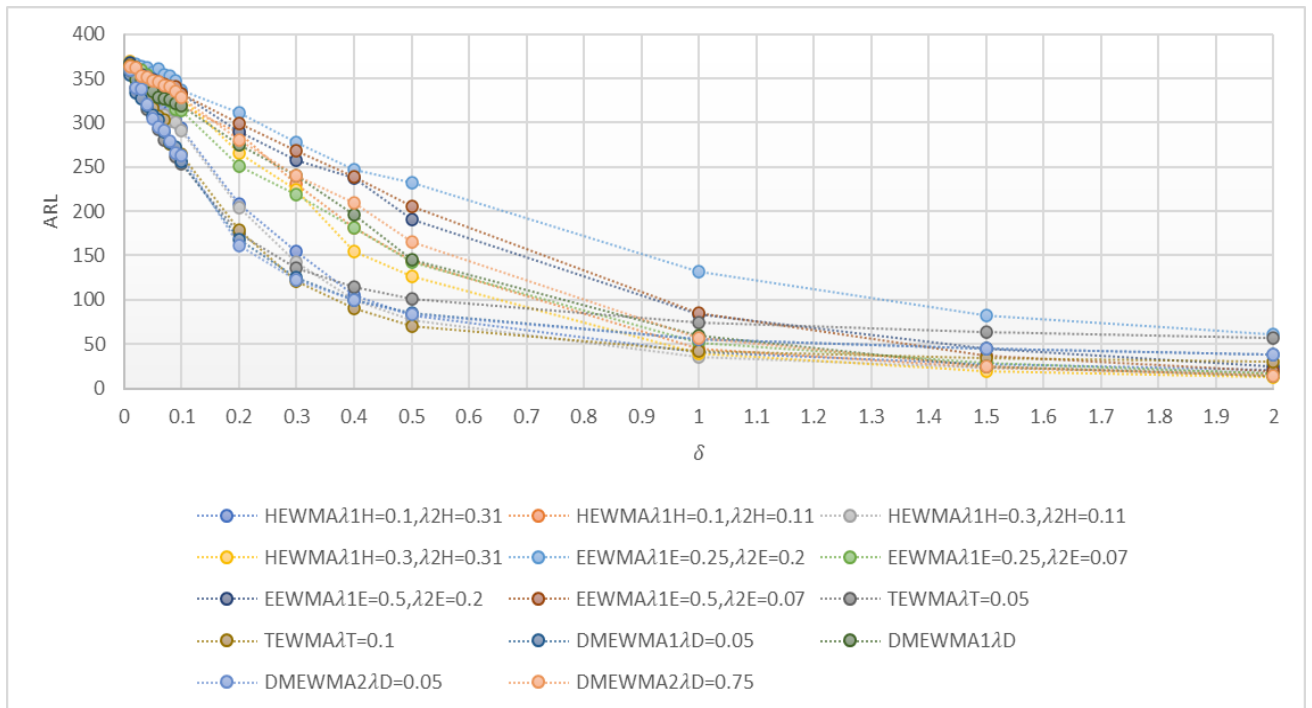


ภาพที่ 4.1 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา  $G(1,1)$

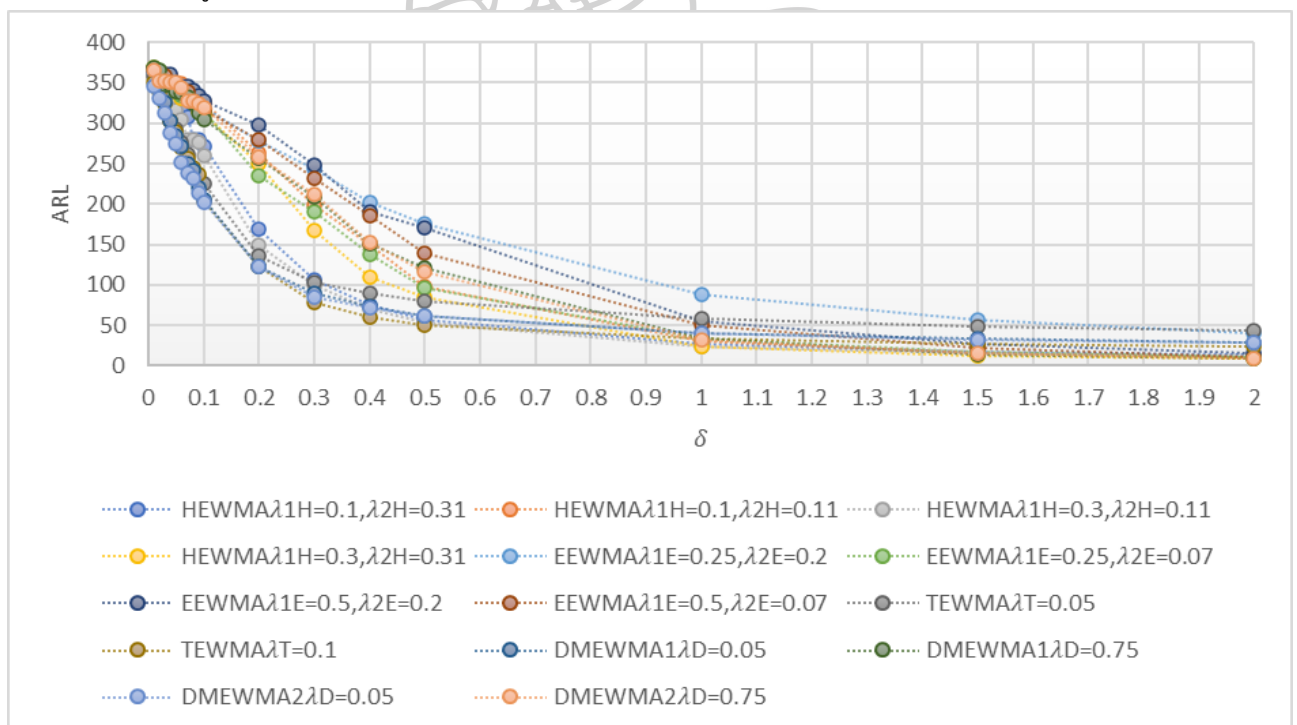


ภาพที่ 4.2 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา  $G(4,1)$





ภาพที่ 4.3 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา  $G(2,2)$



ภาพที่ 4.4 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา  $G(1,2)$



จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.7 กรณี  $\delta=0.01-0.02$  แผนภูมิควบคุม DMEWMA1 ที่  $\lambda_D=0.75$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta=0.03$  แผนภูมิควบคุม DMEWMA2 ที่  $\lambda_D=0.05$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta=0.04-0.1$  แผนภูมิควบคุม DMEWMA1 ที่  $\lambda_D=0.05$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta=0.2$  แผนภูมิควบคุม DMEWMA1 ที่  $\lambda_D=0.05$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta=0.3-0.4$  แผนภูมิควบคุม TEWMA ที่  $\lambda_T=0.05$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta=0.5-1.5$  แผนภูมิควบคุม HEWMA ที่  $\lambda_{1H}=0.1$ ,  $\lambda_{2H}=0.31$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta=2$  แผนภูมิควบคุม HEWMA ที่  $\lambda_{1H}=0.3$ ,  $\lambda_{2H}=0.11$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด

8. แผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA ภายใต้สถานการณ์ข้อมูลมีการแจกแจงแบบ  $\ln(1,2)$

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.8 กรณี  $\delta=0.01-0.1$  แผนภูมิควบคุม HEWMA ที่  $\lambda_{1H}=0.1$ ,  $\lambda_{2H}=0.11$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta=0.2$  แผนภูมิควบคุม DMEWMA2 ที่  $\lambda_D=0.05$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta=0.3-0.5$  แผนภูมิควบคุม TEWMA ที่  $\lambda_T=0.05$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด กรณี  $\delta=1-2$  แผนภูมิควบคุม DMEWMA1 ที่  $\lambda_D=0.05$  มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตได้ดีที่สุด

ตาราง 4.5 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจง  $\ln(1,1)$

ภายใต้  $ARL_0 = 370$

$\ln(1,1)$	HEWMA				EEWMA				TEWMA			DMEWMA			
	$\lambda_{1H}=0.1$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{1H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{1E}=0.25$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{1E}=0.5$	$\lambda_T=0.05$	$\lambda_T=0.1$	$\lambda_D=0.05$	$\lambda_D=0.75$	$\lambda_D=0.05$	$\lambda_D=0.75$	$\lambda_D=0.75$
$\delta$	$\lambda_{2H}=0.11$ L=5.419	$\lambda_{2H}=0.31$ L=12.01	L=3.697	L=6.55	$\lambda_{2E}=0.2$ L=2.502	L=16.8	L=11	L=29.2	L=1.35	L=2.17	L=1.73	L=6.21	L=1.741	L=6.151	$k = -\frac{\lambda}{4}$
0.01	369.282	367.852	369.028	360.526	361.268	366.244	358.886	365.891	349.026	362.026	358.126	367.474	360.152	369.528	
0.02	368.004	355.608	367.866	355.176	360.93	363.999	355.54	364.774	346.26	352.52	354.354	365.13	341.168	356.202	
0.03	361.306	348.558	352.898	340.778	356.64	360.03	343.363	353.206	333.252	331.402	332.634	350.508	326.002	355.282	
0.04	356.516	345.602	347.646	334.886	352.224	353.402	339.538	349.462	315.322	327.602	324.11	349.086	319.308	355.672	
0.05	353.706	338.496	346.982	324.396	338.06	347.706	338.814	347.629	289.858	314.672	309.306	346.018	306.962	349.956	
0.06	344.532	337.964	341.602	321.766	333.228	345.649	336.184	345.968	278.496	305.72	293.016	341.906	297.456	348.448	
0.07	328.676	331.244	319.466	316.826	330.644	342.199	333.718	330.763	275.226	300.08	283.188	340.902	287.496	346.84	
0.08	321.9	330.162	314.962	315.852	329.988	331.033	327.809	332.529	266.162	298.288	260.354	339.242	277.702	341.71	
0.09	319.406	326.108	297.696	310.764	318.266	315.234	324.232	325.462	256.748	275.76	258.854	337.164	264.372	327.432	
0.1	318.426	325.974	291.022	305.808	308.822	314.752	323.57	324.63	244.48	256.506	246.766	315.478	247.644	319.636	
0.2	229.532	255.092	215.976	250.426	264.95	262.626	273.707	280.34	148.552	156.77	147.916	289.078	146.892	279.226	
0.3	159.108	219.002	142.828	195.066	222.466	199.652	222.277	228.927	108.62	98.896	100.988	212.106	99.93	221.188	
0.4	112.938	172.832	87.56	140.318	175.13	154.295	174.061	180.078	88.606	70.068	74.448	161.126	75.038	175.99	
0.5	80.244	112.672	64.626	99.928	136.612	110.84	136.74	141.372	76.156	55.106	61.206	123.594	58.554	120.852	
1	23.798	27.544	21.176	22.916	54.964	26.946	36.483	35.9	48.464	27.9	33.516	29.166	33.094	30.37	
1.5	12.11	11.452	10.562	9.09	30.42	10.836	13.953	12.779	35.716	19.954	22.71	10.604	22.64	10.386	
2	7.216	5.914	6.63	4.998	18.11	6.082	7.298	5.366	27.76	15.248	16.808	5.458	16.77	5.11	





ตาราง 4.7 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจง  $\ln(2,2)$

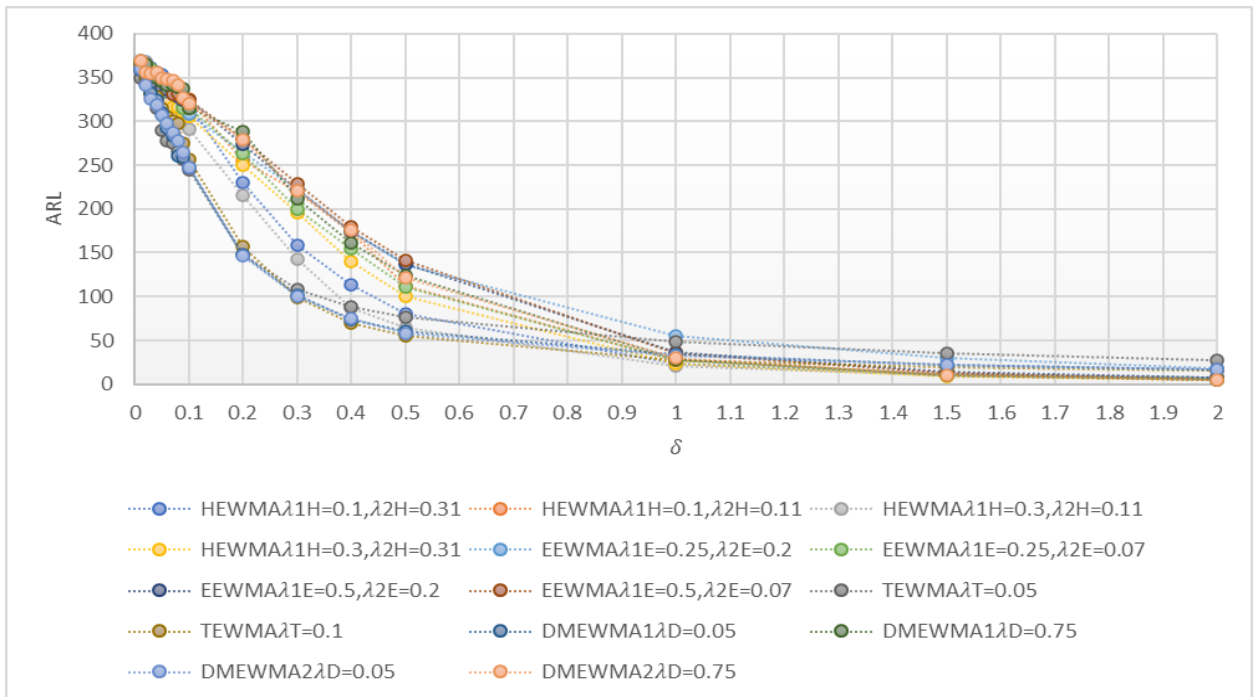
ภายใต้  $ARL_0 = 370$

$\ln(2,2)$	HEWMA				EEWMA				TEWMA			DMEWMA			
	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{2E}=0.5$	$\lambda_T=0.05$	$\lambda_T=0.1$	$\lambda_D=0.05$	$\lambda_D=0.75$	$\lambda_D=0.05$	$\lambda_D=0.75$
$\delta$	$L=39.75$	$L=87.05$	$L=26.1$	$L=47.59$	$L=15.6$	$L=120.05$	$L=76.4$	$L=202.15$	$L=13.56$	$L=16.81$	$L=14.45$	$L=42.6$	$L=42.6$	$L=14.45$	$L=42.6$
0.01	369.894	369.29	369.994	369.56	369.404	369.68	367.24	368.73	369.452	368.97	366.794	365.976	367.334	367.334	369.14
0.02	365.486	367.388	367.714	366.292	366.62	366.486	366.59	365.67	366.826	367.576	362.752	362.37	364.072	364.072	366.87
0.03	364.69	365.162	362.83	364.566	364.998	365.688	365.414	364.95	361.09	366.294	360.656	359.374	357.928	357.928	365.996
0.04	362.204	362.99	359.8	362.67	363.698	365.74	364.936	363.302	356.684	364.316	349.736	352.402	354.62	354.62	363.84
0.05	360.918	361.148	351.528	363.538	362.094	363.594	363.88	360.076	355.73	361.62	343.228	344.62	353.148	353.148	361.278
0.06	353.088	359.446	350.636	359.352	356.938	364.774	360.492	359.882	354.872	360.736	341.716	342.222	350.994	350.994	356.654
0.07	352.75	353.568	346.674	358.138	355.85	361.544	356.844	354.676	352.972	359.808	338.292	339.612	344.722	344.722	352.202
0.08	351.978	351.7	342.504	355.008	355.242	359	351.978	353.62	343.534	357.9	330.032	335.048	342.348	342.348	349.122
0.09	348.888	349.57	333.624	351.542	354.586	358.746	350.264	351.786	340.64	353.99	328.842	330.986	338.886	338.886	345.058
0.1	345.932	344.05	326.068	348.64	350.896	357.466	342.488	349.368	330.562	340.76	327.878	328.014	331.094	331.094	344.804
0.2	333.144	309.896	315.602	335.464	324.75	331.33	325.31	321.876	307.252	321.356	303.868	318.904	286.076	286.076	341.216
0.3	310.52	298.49	308.352	301.134	309.556	311.866	306.438	309.208	260.556	299.966	268.474	309.336	273.418	273.418	320.166
0.4	288.95	251.838	254.154	278.102	291.706	293.22	269.714	291.312	217.782	246.464	220.77	290.292	231.586	231.586	280.338
0.5	252.606	160.588	237.364	257.062	280.102	278.836	260.202	256.144	189.252	220.554	180.79	271.964	190.698	190.698	262.332
1	130.454	81.034	123.154	142.398	174.5	157.548	151.266	152.786	83.896	101.306	82.608	157.788	78.608	78.608	147.644
1.5	67.75	40.294	57.898	67.934	104.188	74.612	79.37	82.298	52.624	46.724	40.974	75.89	40.634	40.634	79.426
2	33.292	30.25	28.694	37.576	66.998	43.716	46.42	40.568	38.22	28.284	28.474	41.068	27.976	27.976	40.176

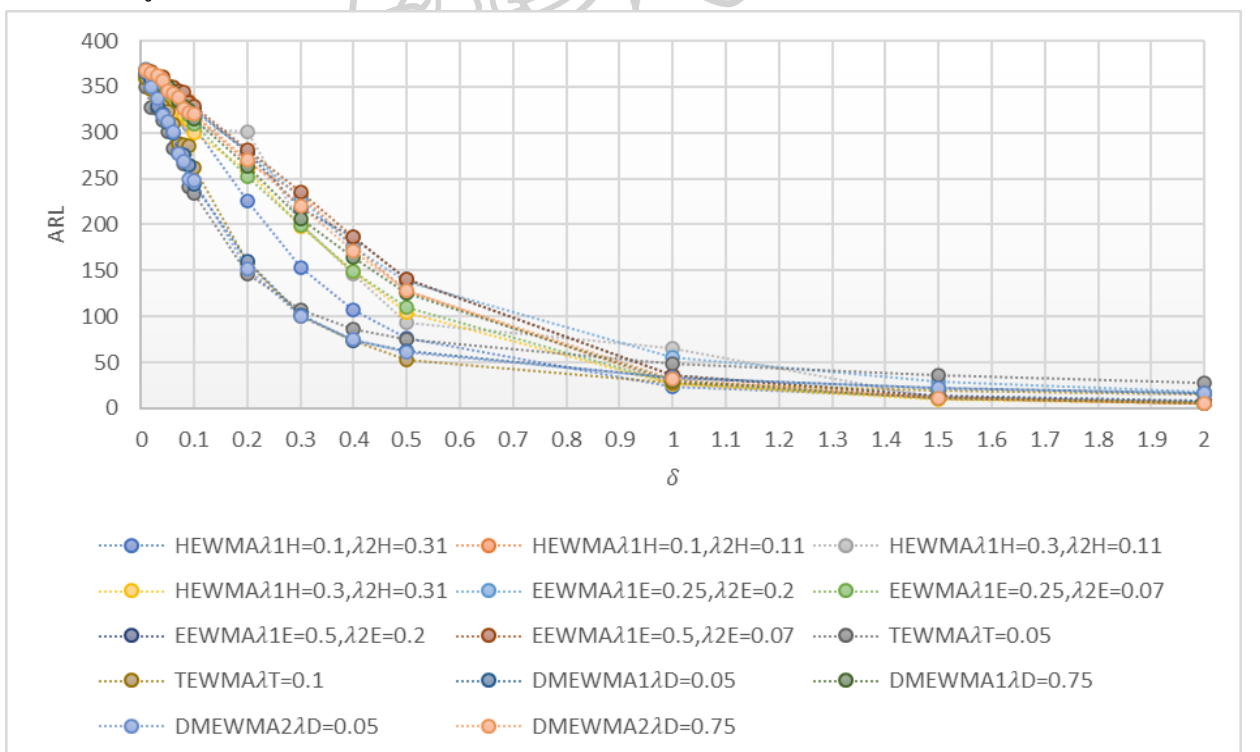
ตาราง 4.8 ค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อการควบคุมของการควบคุมของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA กรณีข้อมูลมีการแจกแจง  $\ln(1,2)$  ภายใต้  $ARL_0 = 370$

$\ln(1,2)$	HEWMA				EEWMA				TEWMA			DMEWMA				
	$\lambda_{1H}=0.1$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{1H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{1E}=0.25$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{1E}=0.2$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{1E}=0.5$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_T=0.05$	$\lambda_T=0.1$	$\lambda_D=0.05$	$\lambda_D=0.75$	$\lambda_D=0.05$	$\lambda_D=0.75$
$\delta$	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{2H}=0.11$	$\lambda_{2H}=0.31$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{2E}=0.2$	$\lambda_{2E}=0.07$	$\lambda_{2E}=0.5$	$\lambda_{2E}=0.07$			$k = -\frac{\lambda}{2}$	$k = -\frac{\lambda}{2}$	$k = -\frac{\lambda}{4}$	$k = -\frac{\lambda}{4}$
	L=35.9	L=83.93	L=27.01	L=48.45	L=15.2	L=115.56	L=76.95	L=200.89	L=200.89	L=13.15	L=16.75	L=14.821	L=42.355	L=14.81	L=42.36	L=42.36
0.01	365.986	369.212	369.112	369.17	369.634	369.192	369.412	368.258	368.258	369.35	368.08	369.39	368.36	369.562	368.06	368.06
0.02	356.96	365.044	366.732	368.314	366.974	365.288	367.788	366.264	366.264	363.1	366.846	368.196	367.414	363.824	365.882	365.882
0.03	352.952	363.83	364.416	363.822	365.044	363.998	366.178	361.588	361.588	350.35	364.872	366.128	364.722	361.778	360.19	360.19
0.04	340.012	361.178	363.368	361.648	364.266	361.028	360.312	358.018	358.018	350.85	363.132	358.4	362.886	357.668	359.182	359.182
0.05	336.358	353.58	359.558	359.792	363.47	359.148	358.94	351.34	351.34	347.734	361.92	356.15	361.012	355.084	354.74	354.74
0.06	335.58	349.458	357.106	358.06	358.928	356.69	355.45	349.856	349.856	346.352	360.956	350.012	360.632	349.366	352.19	352.19
0.07	334.226	344.642	355.754	355.148	356.696	354.134	352.472	348.704	348.704	339.916	358.252	348.876	359.118	348.21	350.6	350.6
0.08	333.846	341.188	351.286	354.194	354.358	354.046	349.676	345.284	345.284	337.346	355.694	344.282	358.308	347.542	348.458	348.458
0.09	331.704	339.038	353.882	352.868	353.744	352.24	348.584	344.574	344.574	329.768	352.648	343.276	357.706	342.324	345.892	345.892
0.1	330.442	334.132	340.04	351.526	351.078	339.788	347.358	340.346	340.346	328.952	351.598	342.154	356.884	339.178	344.772	344.772
0.2	308.974	331.336	323.222	336.738	328.422	337.558	341.356	318.248	318.248	290.22	321.884	303.762	342.036	285.796	320.734	320.734
0.3	278.782	294.8	303.12	295.69	313.848	316.616	319.922	310.684	310.684	256.778	283.544	260.496	314.834	265.088	296.548	296.548
0.4	256.208	289.6	294.872	273.708	285.684	277.098	292.566	276.692	276.692	203.784	252.984	246.266	294.692	230.744	289.978	289.978
0.5	223.754	261.29	245.732	254.182	265.32	265.344	264.952	262.166	262.166	179.332	222.51	190.51	263.064	191.692	265.6	265.6
1	115.266	159.164	130.012	159.434	162.21	155.864	160.342	148.308	148.308	79.392	92.246	78.71	152.936	85.668	153.65	153.65
1.5	55.35	70.568	56.166	76.582	101.076	75.746	83.23	77.23	77.23	51.938	45.844	42.418	80.47	42.78	74.484	74.484
2	32.476	40.49	30.166	39.776	62.898	40.924	46.234	42.926	42.926	37.896	28.106	27.34	40.598	28.606	41.542	41.542

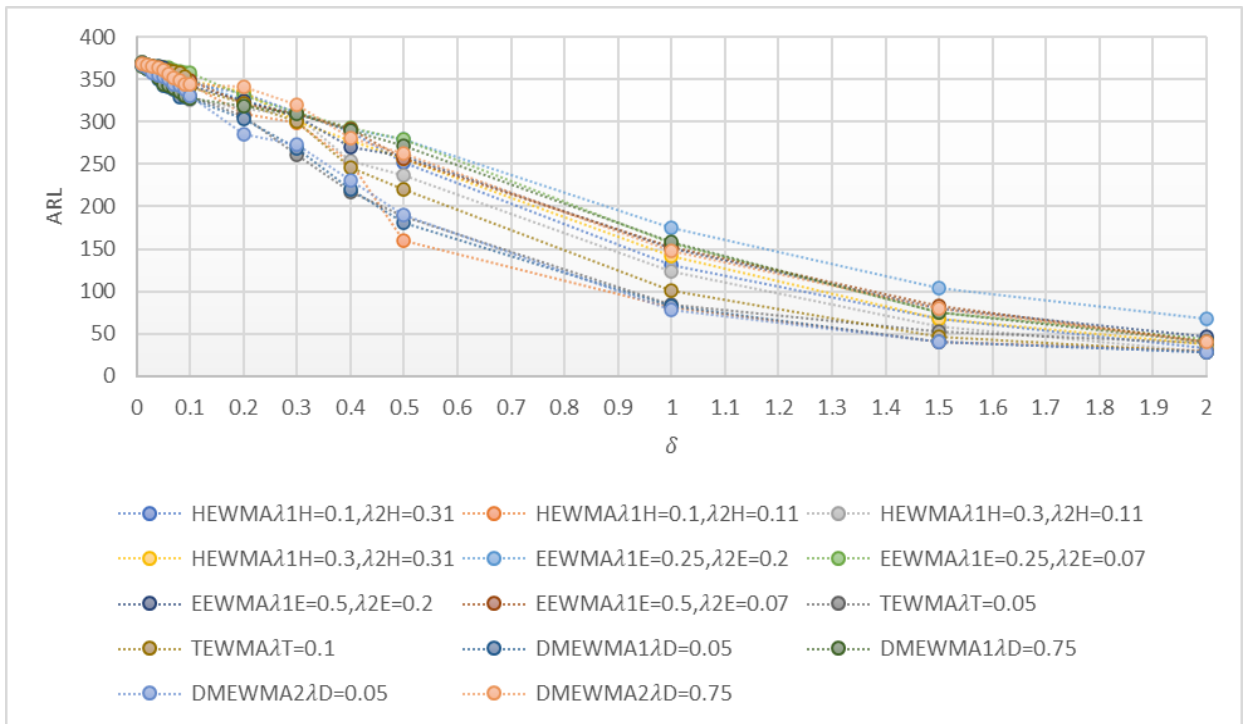




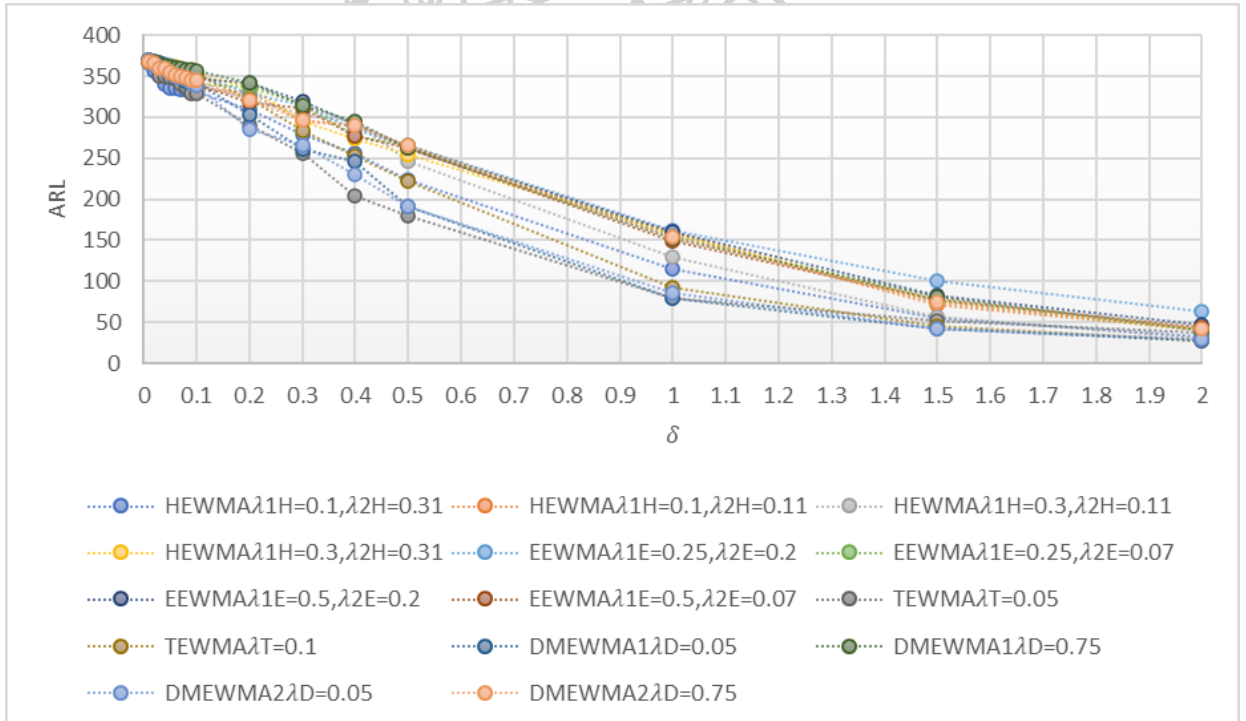
ภาพที่ 4.5 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจง  $\ln(1,1)$



ภาพที่ 4.6 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจง  $\ln(4,1)$



ภาพที่ 4.7 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจง  $\ln(2,2)$



ภาพที่ 4.8 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม HEWMA EEWMA TEWMA และ DMEWMA เมื่อข้อมูลมีการแจกแจง  $\ln(1,2)$

### การประยุกต์กับข้อมูลจริง

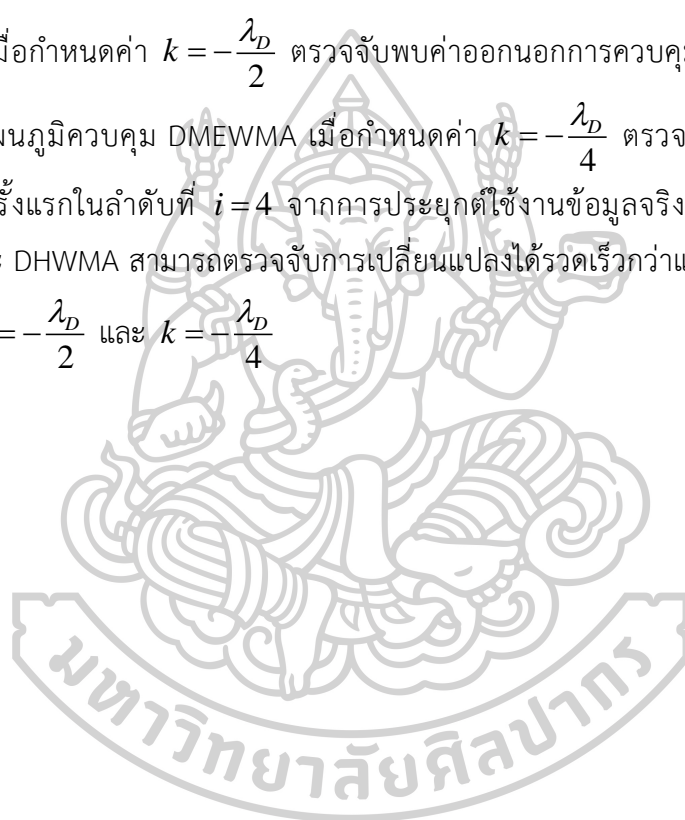
ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นข้อมูลอายุการใช้งานของตลับลูกปืน 23 ชิ้นและมีการแจกแจงแบบแกมมาโดยมีพารามิเตอร์รูปร่างและพารามิเตอร์บ่งขนาดเป็น 5.16 และ 0.81 ตามลำดับ (Shanker et.al, 2016) เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมกำหนดให้พารามิเตอร์รูปร่างและพารามิเตอร์บ่งขนาดเป็น 5 และ 0.81

ตาราง 4.9 ข้อมูลจริงและค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม TEWMA DHWMA และ DMEWMA

ลำดับที่	อายุการใช้งาน	ค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม				
		$L = 0.12,$ $UCL = 4.08$	$L = 0.73$	$L = 0.72,$ $UCL = 4.2646$	$L = 0.72,$ $UCL = 4.2646$	
$i$	$X_i$	$W_i$	$DH_i$	$UCL$	$DM_i$	$DM_i$
1	7.100	4.182*	4.209*	4.063	4.187	4.181
2	9.633	4.193	7.125	5.378	4.231	4.204
3	7.100	4.211	8.353	4.989	4.306*	4.264
4	5.880	4.237	7.923	4.817	4.389	4.344*
5	5.840	4.268	7.412	4.714	4.471	4.428
6	5.700	4.305	6.667	4.644	4.551	4.5098
7	5.480	4.345	6.861	4.592	4.626	4.587
8	5.173	4.388	6.661	4.552	4.693	4.658
9	4.673	4.431	6.006	4.519	4.750	4.721
10	3.826	4.474	6.262	4.493	4.791	4.771
11	3.813	4.513	6.018	4.470	4.815	4.803
12	3.802	4.549	5.354	4.450	4.825	4.820
13	3.766	4.581	5.649	4.433	4.822	4.823
14	3.086	4.606	5.497	4.4187	4.805	4.813
15	3.006	4.625	5.324	4.405	4.774	4.790
16	2.886	4.637	5.169	4.393	4.731	4.753
17	2.880	4.642	4.605	4.382	4.678	4.704
18	2.711	4.640	4.898	4.372	4.616	4.647
19	2.533	4.630	4.775	4.363	4.545	4.580
20	2.340	4.613	4.655	4.355	4.467	4.506
21	2.306	4.589	4.539	4.347	4.383	4.425

ลำดับที่	อายุการใช้งาน	ค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม				
		$L = 0.12,$ $UCL = 4.08$	$L = 0.73$	$L = 0.72,$ $UCL = 4.2646$	$L = 0.72,$ $UCL = 4.2646$	
22	1.833	4.557	4.047	4.340	4.291	4.337
23	1.800	4.518	4.309	4.333	4.192	4.241

จากตาราง 4.9 เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมกำหนดให้พารามิเตอร์รูปร่างและพารามิเตอร์บ่งขนาดเป็น 5 และ 0.81 จากตารางพบว่าแผนภูมิควบคุม TEWMA และ DHWMA สามารถตรวจจับพบค่าออกนอกการควบคุม ได้ครั้งแรกในลำดับที่  $i=1$  ส่วนแผนภูมิควบคุม DMEWMA เมื่อกำหนดค่า  $k = -\frac{\lambda_D}{2}$  ตรวจจับพบค่าออกนอกการควบคุม ได้ครั้งแรกในลำดับที่  $i=3$  และแผนภูมิควบคุม DMEWMA เมื่อกำหนดค่า  $k = -\frac{\lambda_D}{4}$  ตรวจจับพบค่าออกนอกการควบคุม ได้ครั้งแรกในลำดับที่  $i=4$  จากการประยุกต์ใช้งานข้อมูลจริง พบว่าแผนภูมิควบคุม TEWMA และ DHWMA สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วกว่าแผนภูมิ DMEWMA เมื่อกำหนดค่า  $k = -\frac{\lambda_D}{2}$  และ  $k = -\frac{\lambda_D}{4}$



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลวิจัย

พบว่าในกรณีข้อมูลมีการแจกแจง  $G(1,1)$  เมื่อ  $\delta$  มีขนาดเล็ก = 0.01 ถึง 0.1 แผนภูมิควบคุม TEWMA มีแนวโน้มมีประสิทธิภาพดีที่สุด (ยกเว้นที่  $\delta = 0.07$  แผนภูมิควบคุม DMEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดีกว่า) เมื่อ  $\delta$  มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.2 ถึง 2 แผนภูมิควบคุม DMEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดีที่สุด (ยกเว้นที่  $\delta = 1, 1.5$  แผนภูมิควบคุม HEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดีกว่า)

กรณีข้อมูลมีการแจกแจง  $G(4,1)$  เมื่อ  $\delta$  มีขนาดเล็ก = 0.01 ถึง 0.08 แผนภูมิควบคุม DMEWMA มีแนวโน้มมีประสิทธิภาพดีที่สุด (ยกเว้นที่  $\delta = 0.05$  ถึง 0.07 แผนภูมิควบคุม TEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดีกว่า) เมื่อ  $\delta$  มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.09 ถึง 1 แผนภูมิควบคุม TEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดีที่สุด (ยกเว้นที่  $\delta = 0.1$  ถึง 0.3 แผนภูมิควบคุม DMEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดีกว่า) แต่เมื่อ  $\delta$  มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 1.5 และ 2 แผนภูมิควบคุม HEWMA มีประสิทธิภาพดีที่สุด

กรณีข้อมูลมีการแจกแจง  $G(2,2)$  เมื่อ  $\delta$  มีขนาดเล็ก = 0.01 ถึง 0.2 แผนภูมิควบคุม DMEWMA มีแนวโน้มมีประสิทธิภาพดีที่สุด (ยกเว้นที่  $\delta = 0.04$  ถึง 0.1 แผนภูมิควบคุม TEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดีกว่า) เมื่อ  $\delta$  มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.3 ถึง 0.5 แผนภูมิควบคุม TEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดีที่สุด แต่เมื่อ  $\delta$  มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 1, 1.5 และ 2 แผนภูมิควบคุม HEWMA มีประสิทธิภาพดีที่สุด

กรณีข้อมูลมีการแจกแจง  $G(1,2)$  เมื่อ  $\delta$  มีขนาดเล็ก = 0.01 ถึง 0.2 แผนภูมิควบคุม DMEWMA มีแนวโน้มมีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อ  $\delta$  มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.3 ถึง 0.5 แผนภูมิควบคุม TEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดีที่สุด แต่เมื่อ  $\delta$  มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 1 ถึง 2 แผนภูมิควบคุม HEWMA มีแนวโน้มประสิทธิภาพดีที่สุด (ยกเว้นที่  $\delta = 2$  แผนภูมิควบคุม DMEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดีกว่า)

กรณีข้อมูลมีการแจกแจง  $\ln(1,1)$  เมื่อ  $\delta$  มีขนาดเล็ก = 0.01 ถึง 0.5 แผนภูมิควบคุม TEWMA มีแนวโน้มมีประสิทธิภาพดีที่สุด (ยกเว้นที่  $\delta = 0.02, 0.03, 0.08$  แผนภูมิควบคุม DMEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดีกว่า) แต่เมื่อ  $\delta$  มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 1, 1.5 และ 2 แผนภูมิควบคุม HEWMA มีประสิทธิภาพดีที่สุด

กรณีข้อมูลมีการแจกแจง  $\ln(4,1)$  เมื่อ  $\delta$  มีขนาดเล็ก = 0.01 ถึง 0.5 แผนภูมิควบคุม TEWMA มีแนวโน้มมีประสิทธิภาพดีที่สุด (ยกเว้นที่  $\delta=0.07$  แผนภูมิควบคุม DMEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดีกว่า) แต่เมื่อ  $\delta$  มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 1, 1.5 และ 2 แผนภูมิควบคุม HEWMA มีประสิทธิภาพดีที่สุด

กรณีข้อมูลมีการแจกแจง  $\ln(2,2)$  เมื่อ  $\delta$  มีขนาดเล็ก = 0.01 ถึง 0.2 แผนภูมิควบคุม DMEWMA มีแนวโน้มมีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อ  $\delta$  มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.3 ถึง 0.4 แผนภูมิควบคุม TEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดีที่สุด แต่เมื่อ  $\delta$  มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 0.5, 1, 1.5 และ 2 แผนภูมิควบคุม HEWMA มีประสิทธิภาพดีที่สุด

กรณีข้อมูลมีการแจกแจง  $\ln(1,2)$  เมื่อ  $\delta$  มีขนาดเล็ก = 0.01 ถึง 0.1 แผนภูมิควบคุม HEWMA มีแนวโน้มมีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อ  $\delta$  มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.3 ถึง 0.5 แผนภูมิควบคุม TEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับได้ดีที่สุด แต่เมื่อ  $\delta$  มีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 1, 1.5 และ 2 แผนภูมิควบคุม DMEWMA มีประสิทธิภาพดีที่สุด

ภายใต้สถานการณ์ที่กำหนดข้างต้นในทุกสถานการณ์ พบว่าแผนภูมิควบคุม TEWMA และแผนภูมิควบคุม DMEWMA มีแนวโน้มมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม HEWMA และ EEWMA แต่บางสถานการณ์เมื่อขนาดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการมีค่ามากขึ้นอยู่ในช่วง 1 ถึง 2 แผนภูมิควบคุม HEWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่า

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. สำหรับการศึกษาในงานวิจัยครั้งถัดไป อาจเน้นประยุกต์แผนภูมิควบคุมกับข้อมูลการแจกแจงอื่น

5.2.2. นำข้อมูลแบบเบ้ขวา ไปประยุกต์ใช้กับแผนภูมิควบคุมชนิดอื่น เช่น แผนภูมิควบคุม Nonparametric EWMA, Nonparametric DEWMA และ Nonparametric TEWMA เป็นต้น



## รายการอ้างอิง

- ทะนง ประสานพานิช. (2555). “แผนภูมิควบคุม (Control Chart) กับงานประจำ”, วารสารศูนย์การศึกษาแพทยศาสตร์คลินิก โรงพยาบาลพระปกเกล้า, ปีที่ 29, ฉบับที่ 3.
- นันทวัน ล้ออร่าม. (2560). แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบทั่วไป-ทูก็ เพื่อตรวจจัดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- พิริยะ ไหมสมบุญ, จณิสตา หงษ์คำเมือง และจุฑาภรณ์ สินสมบุรณ์ทอง. (2560) "การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของกระบวนการสำหรับการแจกแจงปรกติ", วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี , ปีที่ 25, ฉบับที่ 6, หน้า 907-917
- วรพล สมานันต์กุล. (2552). แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบซีกำลังสำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล เพื่อตรวจจัดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- Aksoy, H. (2000). "Use of gamma distribution in hydrological analysis." Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences **24**(6): 419-428.
- Alevizakos, V., et al. (2020). "The triple exponentially weighted moving average control chart." Quality Technology & Quantitative Management **18**(3): 326-354.
- Alevizakos, V., et al. (2021). " Modified EWMA and DEWMA control charts for process monitoring."
- Aslam, M., et al. (2015). "A new control chart for exponential distributed life using EWMA." Transactions of the Institute of Measurement and Control **37**(2): 205-210.
- Derya, K. & Canan, H. (2012). Control Charts for Skewed Distributions: Weibull, Gamma, and Lognormal. Advances in Methodology & Statistics/Metodoloski zvezki, **9**(2), 95-106.
- Douglas C.M. (2005). Introduction to Statistical Quality Control.5th ed. John Wiley & Sons.
- James M. Lucas & Michael S. Saccucci. (1990). “Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes : Properties and Enhancements.” Technometrics. **32** : 1-12.



- Haq, A. (2013). "A new hybrid exponentially weighted moving average control chart for monitoring process mean." Quality and Reliability Engineering International **29**(7): 1015-1025.
- Haq, A. (2017). "A new hybrid exponentially weighted moving average control chart for monitoring process mean: discussion." Quality and Reliability Engineering International **33**(7): 1629-1631.
- Karagöz, D. and C. Hamurkaroğlu (2012). "Control charts for skewed distributions: Weibull, gamma, and lognormal." Advances in Methodology and Statistics **9**(2): 95–106-195–106.
- Khan, N., et al. (2017). "A control chart for gamma distributed variables using repetitive sampling scheme." Pakistan Journal of Statistics and Operation Research: 47-61.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control*, 7th ed. New York: Wiley.
- Naveed, M., et al. (2018). "Design of a control chart using extended EWMA statistic." Technologies **6**(4): 108
- Roberts, S. (2000). "Control chart tests based on geometric moving averages." Technometrics **42**(1): 97-101.
- Shamma, S. E. and A. K. Shamma (1992). "Development and evaluation of control charts using double exponentially weighted moving averages." International Journal of Quality & Reliability Management.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

Oranit Chumpuworn

วัน เดือน ปี เกิด

10 August 1995

