

การพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการเกิดของเสีย ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

อรรธกร เก่งพล¹ และ ธิดารัตน์ สลักคำ^{2*}

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ของเสียในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Square Error: MSE) เพื่อคัดเลือกตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์หอนุกรมเวลาแบบคลาสสิก (Classical Time Series Analysis) วิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ (Box-Jenkins) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ทำการพยากรณ์ของเสียจากชิ้นส่วนที่ใช้ในการผลิต คือ มีเดีย โดยผู้วิจัยได้ศึกษาจากอาการเสีย 3 ลักษณะ คือ 1) การปนเปื้อน 2) รอยถูงมือ

3) รอยขีดข่วน จากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์พบว่า การวิเคราะห์หอนุกรมเวลาแบบวิธีกาสสิก มีความเหมาะสมสำหรับข้อมูลของภาวะที่มีสิ่งเจือปน และ รอยถูงมือ เนื่องจากมีค่า MSE เท่ากับ 9,917.97 และ 10,108.81 และ MAPE เท่ากับ 33.29 และ 37.63 ตามลำดับ มีค่าต่ำสุด และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ เหมาะกับรอยขีดข่วน เนื่องจากให้ค่า MAPE และ MSE ต่ำที่สุด เท่ากับ 6,429.99 และ 63.15

คำสำคัญ: การวิเคราะห์หอนุกรมเวลาแบบคลาสสิก ของเสีย วิธีการบ็อกซ์และเจนกินส์ การวิเคราะห์การถดถอย ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ค่าเฉลี่ย ความคลาดเคลื่อนกำลังสอง ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-9513-3881 อีเมล: thidarat.slk@hotmail.com



Development of Optimized Scrap Forecasting Model in Hard Disk Drive Industry

Athakorn Kengpol¹ and Thidarat Salakkam^{2*}

Abstract

The objective of this research is to determine the appropriate predictive models for predicting the defects in hard disk drive assembly by which Mean Absolute Percent Error (MAPE) and Mean Square Error (MSE) are compared to select the appropriate predictive models, and by which the Classical Time Series Analysis, Box-Jenkins, and Regression Analysis are adopted to predict the media defects generated from parts in the production process. The defects are identified in three aspects; including contamination, glove spots, and scratches. The

predictive methods show that the Classical Time Series Analysis is an ideal for contamination and glove spots (the minimum MSE = 9,917.97 and 10,108.81 respectively, and MAPE is 33.29 and 37.63 respectively), Whereas Box-Jenkins is appropriate to scratches (the minimum MAPE and MSE is 6,429.99 and 63.15 respectively).

Keywords: Classical Time Series Analysis, Box-Jenkins, Regression Analysis, Mean Absolute Percent Error, Mean Square Error, Scrap, Hard Disk Drive

¹ Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

² Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

* Corresponding Author, Tel 08-9513-3881, E-mail: thidarat.slk@hotmail.com

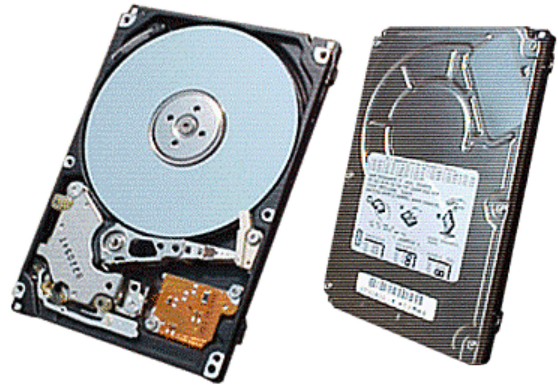
1. บทนำ

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และชิ้นส่วนในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมการผลิตที่ก่อให้เกิดกิจกรรมทางเศรษฐกิจต่อประเทศไทยอย่างมาก มีการลงทุนสูงและมีอัตราการเติบโตในอัตราที่สูง ในประเทศไทยเป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รายใหญ่ในโลก ซึ่งมียอดการส่งออกสูงสุดประมาณ 40-50% มูลค่าประมาณ 500,000 ล้านบาท [1] จากการศึกษาเบื้องต้น โรงงานกรณีศึกษาเป็นซึ่งเป็นโรงงานที่ดำเนินธุรกิจด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โดยผลิตภัณฑ์ของโรงงานคือฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังแสดงรูปที่ 1

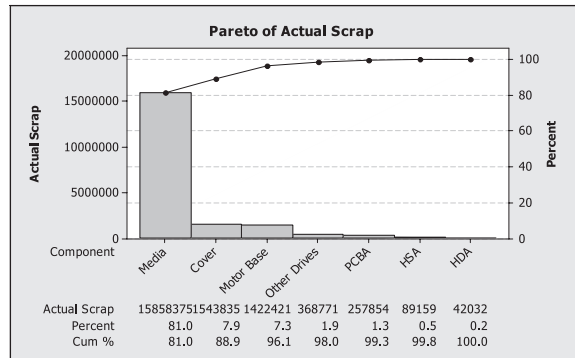
เนื่องจากปัญหาที่พบในบริษัทกรณีศึกษามีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน จำเป็นต้องมีการจัดเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมาก จากการศึกษาปัญหาโรงงานกรณีศึกษาพบว่าบริษัทกรณีศึกษามีกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Disk Enclosure) นั้นมีสภาพการทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละกระบวนการมีของเสียเกิดขึ้นจำนวนมากคิดเป็นมูลค่าโดยเฉลี่ย 95,660,388.38 ดอลลาร์ต่อปี

สำหรับการเกิดของเสียขึ้นในกระบวนการผลิตทางโรงงานขาดการวิเคราะห์แนวโน้มการเกิดของเสียเนื่องจากที่ผ่านมาข้อมูลของเสียของโรงงานกรณีศึกษามีความแปรปรวนมากและการพยากรณ์ไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน ส่งผลให้การวางแผนและการบริหารจัดการการผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ และทำให้ปัจจุบันยังมีปริมาณของเสียที่สูง กล่าวคือมีการจัดการแก้ไขปัญหาการเกิดของเสียอันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตไม่เพียงพอ จากการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในแต่ละปี และเมื่อนำข้อมูลที่ได้เหล่านี้ไปทำการสร้างแผนภูมิพารेटอเพื่อใช้พิจารณาถึงอันดับปัญหาของของเสีย สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 ดังนี้

จากแผนภูมิดังรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าแท่งกราฟของชิ้นส่วนประกอบในลำดับที่ 1 (Media) มีจำนวนของเสีย (ชิ้น) เกินกว่าครึ่งที่ทำให้เกิดของเสีย ผู้วิจัยจึงมี



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของกรณีศึกษา



รูปที่ 2 แผนภูมิพารेटอจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

แนวความคิดที่จะพยากรณ์ของเสียดังกล่าว เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกทำการศึกษามีเดีย (Media) ในการแก้ไขปัญหาการเกิดของเสียของกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จากการตรวจสอบข้อมูลลักษณะของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต พบสาเหตุสำคัญ 3 ลักษณะคือของเสียที่เกิดจากการปนเปื้อน (Contamination) ของเสียที่เกิดจากรอยถุงมือ (Glove Spots) และของเสียจากรอยขีดข่วน (Scratches) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาแนวโน้มการเกิดของเสียเพื่อนำไปหาแนวทางแก้ไขเพื่อช่วยในการวางแผนกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ในงานวิจัยเกี่ยวกับการพยากรณ์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีการเลือกใช้เทคนิค

การพยากรณ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งจากงานวิจัยที่ค้นคว้าพบว่ามีการนำเทคนิคการพยากรณ์อนุกรมเวลาคลาสสิก ซึ่งเป็นที่ยอมรับในวงการอุตสาหกรรมโดยวิเคราะห์อนุกรมเวลาออกเป็นส่วนประกอบ เทคนิคการพยากรณ์บ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins) ที่พัฒนาขึ้นสำหรับข้อมูลที่ไม่มีแนวโน้ม หรือฤดูกาลที่เด่นชัด และเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์ อาจจะมีผลกระทบต่อพยากรณ์ด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เทคนิคการพยากรณ์ทั้งสามวิธีที่กล่าวข้างต้น และเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมของแต่ละชุดข้อมูล เพื่อพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ของเสียในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ให้มีความถูกต้องมากขึ้น

สร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์ของเสียที่เกิดจากกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งจะศึกษาเฉพาะชิ้นส่วนมีเดีย มีปริมาณของเสียมากที่สุด และมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ของเสียที่เกิดจากกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาคลาสสิก (Classical Time Series) วิธีการพยากรณ์บ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 อนุกรมเวลาแบบคลาสสิก

เป็นการพยากรณ์ที่อยู่ภายใต้ข้อสมมุติฐานว่า รูปแบบของข้อมูลในอดีตยังคงเกิดขึ้นต่อไปในอนาคต หรืออาจกล่าวได้ว่าลักษณะของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของข้อมูลหรือตัวแปรที่เราสนใจศึกษา รูปแบบของข้อมูลอนุกรมเวลาประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 4 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยแนวโน้ม (T) อิทธิพลของฤดูกาล (S) อิทธิพลของวัฏจักร (C) และเหตุการณ์ที่ผิดปกติ (I) [2] กำหนดให้ Y_t แทนข้อมูลของอนุกรมเวลา ณ เวลา t ใดๆ แล้ว รูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลอนุกรมเวลาสามารถเขียนแทนด้วยสมการรูปแบบผลคูณ (Multiplicative Model) ดังนี้ [3]

$$Y_t = T_t * S_t * C_t * I_t \quad (1)$$

ข้อมูลอนุกรมเวลาอาจแทนด้วยสมการรูปแบบผลบวก (Adaptive Model) โดยเขียนแทนดังนี้

$$Y_t = T_t + S_t + C_t + I_t \quad (2)$$

โดยทั่วไปแล้วพบว่ารูปแบบผลคูณเป็นรูปแบบที่ได้รับความนิยมนำไปประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในการพยากรณ์เชิงธุรกิจ

2.2 บ็อกซ์-เจนกินส์

เทคนิคการพยากรณ์นี้เหมาะสำหรับการพยากรณ์ระยะสั้น ข้อมูลที่ไม่มีฤดูกาลต้องการข้อมูลอย่างน้อย 24 ชุดข้อมูล การพยากรณ์ด้วยวิธีการนี้ต้องเลือกตัวแบบที่เหมาะสมกับชุดข้อมูล โดยพิจารณาจากค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation Function: ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) ถ้าชุดข้อมูลมีเป็นคุณลักษณะคงที่ (Stationary) จะกำหนดตัวแบบในรูป ARMA (p,q) หากชุดข้อมูลมีลักษณะแนวโน้มหรือฤดูกาล แสดงว่าเป็นอนุกรมเวลาที่มีคุณสมบัติไม่เป็นสเตชันนารี ต้องทำให้ชุดข้อมูลดังกล่าวมีคุณสมบัติคงที่ทางสถิติ และกำหนดตัวแบบของข้อมูลให้อยู่ในรูป ARIMA (p,d,q) โดย d เป็นจำนวนครั้งที่หาผลต่างเพื่อให้อนุกรมเวลา มีคุณสมบัติสเตชันนารี สำหรับข้อมูลที่มีแนวโน้มต้องทำการหาผลต่าง (Differencing) จนกระทั่งข้อมูลเดิม มีคุณสมบัติเป็นสเตชันนารี สำหรับข้อมูลที่มีความผันแปรตามฤดูกาลต้องหาผลต่างฤดูกาล ถ้าข้อมูลเดิมเป็นข้อมูลรายไตรมาส $S = 4$ และข้อมูลรายเดือน $S = 12$ โดย S เป็นจำนวนฤดูกาลต่อปี ซึ่งใช้ค่าดังกล่าวในการปรับให้ชุดข้อมูลมีคุณสมบัติคงที่ทางสถิติ [4]

2.3 การวิเคราะห์การถดถอย

เทคนิคนี้เป็นการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ

สิ่งที่ต้องการพยากรณ์ ดังนั้นในตัวแบบการพยากรณ์ จะรวบรวมตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่ต้องการพยากรณ์ไว้ เพื่อใช้บ่งบอกว่าตัวแบบเหล่านั้นสามารถอธิบาย ค่าพยากรณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างไร ในที่นี้จะกล่าวถึงเทคนิค หลักการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย สำหรับใช้ใน งานวิจัย การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) เป็นเทคนิค การถดถอยเชิงเส้นเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรอิสระ (X) กับตัวแปรตาม (Y) เหมือนกับการวิเคราะห์แนวโน้มด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดของการวิเคราะห์อนุกรมเวลาเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงของ ตัวแปรตามที่ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระ เป็นตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ระยะกลาง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นตรง ได้ดังนี้ [5]

$$Y = a + bx \quad (3)$$

เมื่อ Y = ตัวแปรตาม

X = ตัวแปรอิสระ

a = ค่าคงที่ (Constant) เป็นค่าที่ตัดกันแกน Y

b = ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

2.4 การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์

การประเมินผลของวิธีการพยากรณ์ทำได้ด้วยการวัด ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ซึ่งวิธีที่ใช้ในการ วัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์นั้น จะเป็นการ เปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์ที่คำนวณได้กับข้อมูล จริงในช่วงเวลา (t) เดียวกัน ดังนั้นโดยทั่วไปจึงทำการวัด ความคลาดเคลื่อนโดยใช้วิธีการอย่างใดอย่างหนึ่ง ต่อไปนี้ [6]

การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี จะพิจารณา จากค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Square Error: MSE) ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) [7]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วราฤทธิ์ [8] ทำการศึกษาวิธีพยากรณ์ของโพลด์ วิธีการพยากรณ์ บ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีพยากรณ์รวมจาก ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) ที่ต่ำสุด โดยศึกษา กับข้อมูลราคาทองคำรูปพรรณรับซื้อรายวัน พบว่า การพยากรณ์ราคาทองคำรูปพรรณรับซื้อรายวัน โดยวิธี การพยากรณ์บ็อกซ์-เจนกินส์ มีประสิทธิภาพมากกว่า วิธีอื่น เนื่องจากให้ค่า MAPE ต่ำที่สุด สรุปได้ว่าตัวแบบ พยากรณ์ที่เหมาะสมคือ ARIMA (0, 2, 1) ซึ่งมีสมการ พยากรณ์คือ $\hat{Y}_t - Y_{t-2} = \varepsilon_t - 0.999\varepsilon_{t-1}$

ยุพธนา [9] เสนอการเปรียบเทียบการพยากรณ์ ระหว่างวิธีคลาสสิกและวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ โดยใช้ ข้อมูลสถิติการผลิตแบตเตอรี่ใน 3 กลุ่มผลิตภัณฑ์รวมระยะ เวลา 72 เดือน จากการวิเคราะห์พบว่าพยากรณ์ข้อมูล อนุกรมเวลาโดยวิธีคลาสสิกมีความเหมาะสมกับข้อมูล ชุดดังกล่าวเนื่องจากให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ น้อยกว่า ได้สมการพยากรณ์คือ $\hat{Y} = \hat{T} \times \hat{S}$

ภัทรศยาและอรรรถ [10] ทำการศึกษาและหารูปแบบ ของการพยากรณ์มูลค่าต้นทุนของเสียในกระบวนการ ประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ปัจจุบันการพยากรณ์มี ความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ประมาณร้อยละ 30 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพื่อ คัดเลือกตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับต้นทุนของเสียมาใช้ ในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์มูลค่าต้นทุนของ เสียของผลิตภัณฑ์ A, B และ C พบว่าแบบจำลองโครงข่าย ประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำกว่ามากที่สุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) เหลือเพียงร้อยละ 11.88, 11.33 และ 11.24 สำหรับผลิตภัณฑ์ A, B และ C ตามลำดับ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยได้ทำการวิเคราะห์การพยากรณ์อนุกรม

เวลา ของเสียของชิ้นส่วนมีเดีย โดยใช้ข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2552-2554 รวมเป็นเวลา 36 เดือน ได้แบ่งขั้นตอน และวิธีการ ดังนี้

3.1 วิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบคลาสสิก

ตัวแบบพยากรณ์แบบคลาสสิกจะมีปัจจัยสำคัญ คือ แนวโน้ม ฤดูกาล วัฏจักร และความมรบกวนสุ่ม เพราะฉะนั้น ต้องทำการทดสอบ ปัจจัยทั้งสี่ ดังนี้ กำหนดสมมติฐานหลักและรอง

H_0 : อนุกรมเวลาไม่มีแนวโน้ม

H_1 : อนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มขึ้นหรือลง

3.1.1 ทดสอบแนวโน้มแบบไม่อิงพารามิเตอร์

ได้แก่การทดสอบแบบวิ่ง แบบจุดกลับ แบบเครื่องหมาย ของแดเนียลและของเคนดอลล์ โดยคำนวณตัวทดสอบทางสถิติของแต่ละวิธี เพื่อดูว่าอยู่ในบริเวณวิกฤติหรือไม่

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบแนวโน้มไม่อิงพารามิเตอร์

การปนเปื้อน	ตัวทดสอบสถิติ	ช่วงวิกฤติ
วิ่ง จุดกลับ เครื่องหมาย แดเนียล เคนดอลล์		$R \geq 26$ และ $R \leq 12$ $ Z \geq 1.96$ $ Z \geq 1.96$ $ Z \geq 1.96$ $ Z \geq 1.96$
รอยงูมมือ วิ่ง จุดกลับ เครื่องหมาย แดเนียล เคนดอลล์	ตัวทดสอบสถิติ	ช่วงวิกฤติ $R \geq 26$ และ $R \leq 12$ $ Z \geq 1.96$ $ Z \geq 1.96$ $ Z \geq 1.96$ $ Z \geq 1.96$
รอยขีดข่วน วิ่ง จุดกลับ เครื่องหมาย แดเนียล เคนดอลล์	ตัวทดสอบสถิติ	ช่วงวิกฤติ $R \geq 26$ และ $R \leq 12$ $ Z \geq 1.96$ $ Z \geq 1.96$ $ Z \geq 1.96$ $ Z \geq 1.96$

จากตารางที่ 1 การทดสอบแบบวิ่งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีค่าวิกฤติเท่ากับ $R \geq 26$ และ $R \leq 12$ ถ้า R

ตกในบริเวณค่าวิกฤติแสดงว่าปฏิเสธ H_0 อนุกรมเวลา มีแนวโน้ม และสำหรับการทดสอบแบบจุดกลับ แบบเครื่องหมาย ของแดเนียลและของเคนดอลล์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีค่าวิกฤติเท่ากับ 1.96 ถ้าค่าตัวทดสอบสถิติมากกว่าค่าวิกฤติ หมายความว่า ปฏิเสธ H_0 อนุกรมเวลา มีแนวโน้ม

3.1.2 ทดสอบแนวโน้มแบบอิงพารามิเตอร์

ประกอบด้วยวิธีการทดสอบของ Von Neumann [6] การคำนวณค่าตัวทดสอบ M ดังสมการ

$$M = \frac{\sum_{t=2}^n (Y_t - Y_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (4)$$

และวิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอโต [6] พิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอโต (r_k) เพื่อหาค่า Q_m ดังสมการ

$$Q_m = n \sum_{k=1}^m r_k^2 \quad (5)$$

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแนวโน้มอิงพารามิเตอร์

ของเสีย	Von Neumann	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอโต
การปนเปื้อน	$M = 1.354$	$Q_9 = 7.287$
รอยงูมมือ	$M = 0.418$	$Q_3 = 13.68$
รอยขีดข่วน	$M = 0.788$	$Q_9 = 2.96$

จากตารางที่ 2 วิธี Von Neumann ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10 มีช่วงวิกฤติคือ $M < M_{0.05, 36} = 1.466$ หรือ $M > M_{0.95, 36} = 2.534$ ถ้าพบว่าค่าตัวทดสอบสถิติ M ตกในบริเวณวิกฤติ จะปฏิเสธ H_0 แสดงว่ามีแนวโน้ม ผลการทดสอบทั้งสาม พบว่าค่า M ตกในอยู่ในบริเวณวิกฤติ ดังนั้น จึงปฏิเสธ H_0 แสดงว่าอนุกรมเวลา มีแนวโน้ม

วิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอโตที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีช่วงวิกฤติเป็น $Q \geq \lambda_{0.05, 9}^2 = 16.92$ ถ้าตัวสถิติ Q ตกในบริเวณวิกฤติ แสดงว่าปฏิเสธ H_0 แสดงว่าไม่มี

แนวโน้มนั้น การทดสอบทั้งสามพบว่าค่า Q น้อยกว่า 16.92 ดังนั้น จึงยอมรับ H_0 แสดงว่าอนุกรมเวลาไม่มีแนวโน้มนั้น

3.1.3 ทดสอบฤดูกาลแบบไม่อิงพารามิเตอร์

การทดสอบ Kruskal และ Wallis คำนวณตัวสถิติ H ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ มีช่วงวิกฤติ $CR: H \geq \chi_{0.05, L-1}^2$

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \left(\sum_{i=1}^L \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(n+1) \quad (6)$$

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบ Kruskal และ Wallis

ของเสีย	ผลทดสอบ Kruskal และ Wallis
การปนเปื้อน	$H = 15.26$
รอยถูงมือ	$H = 13.48$
รอยขีดข่วน	$H = 12.77$

จากตารางที่ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีช่วงวิกฤติ $H \geq \chi_{0.05, 12-1}^2 = 19.68$ ค่าทางสถิติไม่ตกในบริเวณวิกฤติ แสดงว่ายอมรับ H_0 สรุปว่าอนุกรมเวลาไม่มีอิทธิพลฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง

3.1.4 ทดสอบฤดูกาลแบบอิงพารามิเตอร์

จะกล่าวถึงเฉพาะการทดสอบ $H_0: \rho_L = 0$ จึงพิจารณาความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าสังเกตในอนุกรมเวลาที่อยู่ห่างกัน L ช่วงเวลา เมื่อ L เป็นจำนวนฤดูกาลต่อปี ใช้ตัวทดสอบ r_4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบฤดูกาลอิงพารามิเตอร์

ของเสีย	ผลการวิเคราะห์
การปนเปื้อน	$r_4 = -0.89$
รอยถูงมือ	$r_4 = 0.246$
รอยขีดข่วน	$r_4 = -0.05$

จากตารางที่ 4 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีช่วงวิกฤติเป็น $CR: r_4 \geq 0.274$ ถ้าค่าทางสถิติไม่ตกในบริเวณวิกฤติ แสดงว่าจะยอมรับ H_0 สรุปว่าอนุกรมเวลาไม่มีการเคลื่อนไหวเนื่องจากฤดูกาล

3.2 วิเคราะห์บ็อกซ์-เจนกินส์

วิธีการของบ็อกซ์-เจนกินส์ มีขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบข้อมูล เพื่อพิจารณาว่าอนุกรมเวลาอยู่ภายใต้ภาวะคงที่หรือไม่ โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลา หรือพิจารณาจากกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (PACF) ของอนุกรมเวลา $\{Y_t\}$

2. การกำหนดตัวแบบ เป็นการหาตัวแบบอนุกรมเวลาที่คิดว่าเหมาะสมกับอนุกรมเวลา โดยพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF

3. ประมาณค่าของพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

4. ตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบอนุกรมเวลา $\{Y_t\}$ ที่ศึกษาในครั้งนี้เป็นตัวแบบ ARIMA (p, q) มีตัวแบบคือ

$$Y_t = \delta + \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} \quad (7)$$

โดยที่

$$\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$$

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$$

δ คือค่าคงที่

B คือตัวดำเนินการถอยหลังเวลานั้นคือ $B^m Y_t = Y_{t-m}$

T คือจำนวนครั้งของการทำผลต่างเพื่อให้อนุกรมเวลา $\{Y_t\}$ เป็นอนุกรมเวลาอยู่ในสภาวะคงที่

P คืออันดับของตัวแบบการถอยถอย

Q คืออันดับตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

ε_t คือความคาดเคลื่อนสุ่มที่มีการแจกแจงปกติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนคงที่ เท่ากับ σ_c^2

3.3 วิเคราะห์การถดถอย

ในการวิเคราะห์การถดถอยมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดตัวแปรต้น คือเวลา (เดือน) กำหนดให้เป็น

X และตัวแปรตาม คือจำนวนของเสีย (ชิ้น) กำหนดให้เป็น Y จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์

2. ประมาณค่าของสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสถิติ
3. กำหนดรูปแบบพยากรณ์

ในการคำนวณหาสมการถดถอย โดยงานวิจัยนี้จะเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab ในการคำนวณหาสมการถดถอยและการวิเคราะห์ผลนำค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสถิติ

ตารางที่ 5 ค่าประมาณของสัมประสิทธิ์การถดถอย

ค่าสถิติ	สัมประสิทธิ์การถดถอย	SE	T	P-value
การปนเปื้อน	-318.8	968.2	-1.08	0.291
รอยถุงมือ	2753.10	377.4	7.29	0
รอยขีดข่วน	968.2	240.2	4.03	0.001

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย และค่าสถิติอื่นของการปนเปื้อน รอยถุงมือ และรอยขีดข่วน พิจารณาจากการทดสอบค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) พบว่าค่า P ในตาราง ANOVA มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05 ดังนั้นสรุปว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามจากนั้นนำค่าดังกล่าวไปเขียนในรูปแบบสมการพยากรณ์ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ 4.3 ผลวิเคราะห์การถดถอย

3.4 เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์

เมื่อได้ตัวแบบพยากรณ์จากสามวิธีแล้ว จากนั้นจะทำการหาค่าความถูกต้องของการพยากรณ์เปรียบเทียบหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด โดยวัดค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ โดยพิจารณาจากค่าที่ต่ำสุดซึ่งให้ความแม่นยำในการพยากรณ์สูงที่สุด

4. ผลการวิจัย

จากขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัยที่ได้กล่าวไว้ แสดงรายละเอียด ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบคลาสสิก

จากการทดสอบแนวโน้มและฤดูกาลด้วยวิธีทดสอบแบบไม่อิงพารามิเตอร์และอิงพารามิเตอร์ ในข้อ 3.1.1 ถึง 3.1.4 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลจากการทดสอบแนวโน้มและความมีอิทธิพลฤดูกาล

ของเสีย	ผลการวิเคราะห์
การปนเปื้อน	มีแนวโน้มและไม่มีฤดูกาล
รอยถุงมือ	มีแนวโน้มและไม่มีฤดูกาล
รอยขีดข่วน	ไม่มีแนวโน้มและไม่มีฤดูกาล

จากตารางที่ 6 พบว่าผลการวิเคราะห์สรุปว่ามีแนวโน้มแต่ไม่มีฤดูกาล ดังนั้นจึงกำหนดให้ดัชนีฤดูกาลเท่ากับ 100 จากนั้นนำค่าแนวโน้มและค่าดัชนีฤดูกาลที่ได้ไปคำนวณหาความรบกวนสุ่มและวัฏจักร สำหรับการปนเปื้อน และ รอยถุงมือ พบว่าความรบกวนสุ่มมีค่าเข้าใกล้ 1 ดังนั้นจึงไม่มีผลต่อการวิเคราะห์อนุกรมเวลา สำหรับรอยขีดข่วน ส่วนประกอบทั้ง 4 ส่วน แนวโน้ม (T) ปัจจัยฤดูกาล (S) วัฏจักร (C) และค่าของความรบกวนสุ่ม (I) ต่างไม่มีผลต่อการวิเคราะห์อนุกรมเวลา การพยากรณ์อนุกรมเวลาของรอยขีดข่วน สมการพยากรณ์ ดังนี้

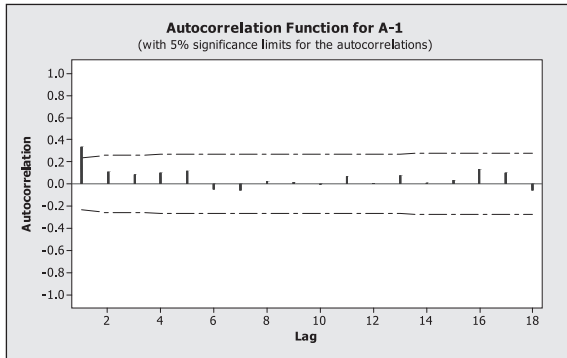
$$\text{การปนเปื้อน} \quad \hat{Y} = \hat{T} \times \hat{C} \quad (8)$$

$$\text{รอยถุงมือ} \quad \hat{Y} = \hat{T} \times \hat{C} \quad (9)$$

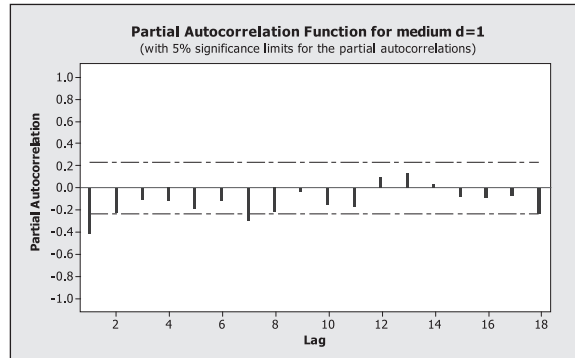
$$\text{รอยขีดข่วน} \quad \hat{Y} = Y_t \quad (10)$$

4.2 ผลการวิเคราะห์บ็อกซ์-เจนกินส์

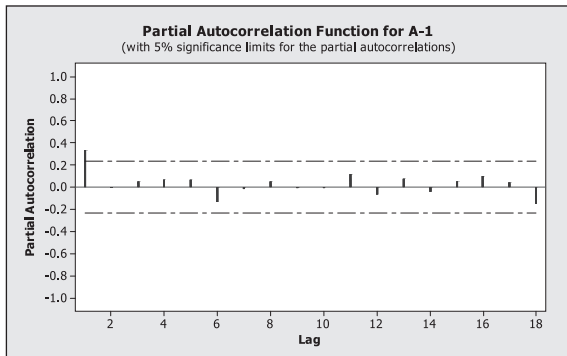
1. ตรวจสอบข้อมูลโดยพิจารณาภาพที่แสดงดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ซึ่งแสดงค่า ACF และ PACF ของการปนเปื้อน พบว่าอนุกรมเวลามีคุณสมบัติคงที่ เนื่องจากการลดลงของ ACF เข้าใกล้ศูนย์อย่างรวดเร็ว รวมถึงรูปที่ 5 ถึง 8 แสดงให้เห็นความเป็นเสถียรของ รอยถุงมือ และรอยขีดข่วน



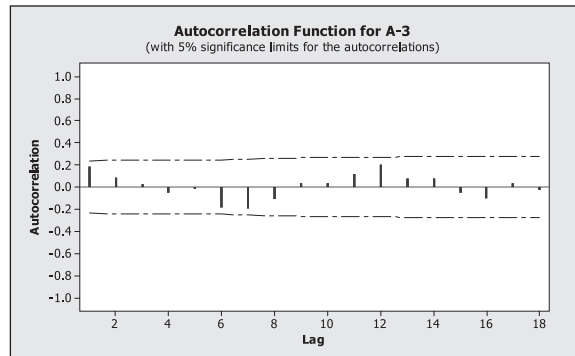
รูปที่ 3 ค่า ACF สำหรับการปนเปื้อน



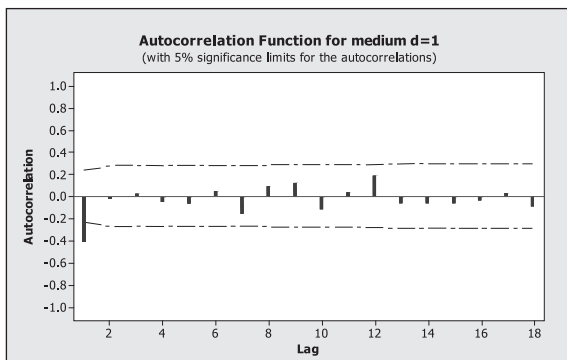
รูปที่ 6 ค่า PACF สำหรับรอยถูงมือ



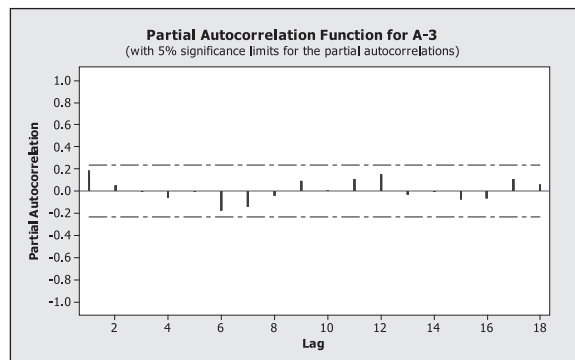
รูปที่ 4 ค่า PACF สำหรับการปนเปื้อน



รูปที่ 7 ค่า ACF สำหรับรอยขีดข่วน



รูปที่ 5 ค่า ACF สำหรับรอยถูงมือ



รูปที่ 8 ค่า PACF สำหรับรอยขีดข่วน

A-3 โดยพิจารณาภาพที่แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งแสดงค่า ACF และรูปที่ 8 แสดงค่า PACF ของข้อมูลพบว่า การลดลงของ ACF ใกล้กับศูนย์ ซึ่งแสดงว่าอนุกรมเวลา ที่พิจารณามีคุณสมบัติคงที่

2. การกำหนดตัวแบบ

การปนเปื้อน คือ ARMA (1, 1)

รอยถูงมือ คือ ARMA (1, 1)

รอยขีดข่วน คือ ARMA (1, 1)

3. การประมาณค่าพารามิเตอร์จากตัวแบบที่เหมาะสม
ตัวแบบพยากรณ์การปนเปื้อน

$$Y_t = 25423.6 + 0.19Y_{t-1} + \varepsilon_t - 0.19\varepsilon_{t-1} \quad (11)$$

ตัวแบบพยากรณ์ รอยถูงมือ

$$Y_t = 10818.79 + 0.43Y_{t-1} + \varepsilon_t - 0.43\varepsilon_{t-1} \quad (12)$$

ตัวแบบพยากรณ์ รอยขีดข่วน

$$Y_t = 27132.8 + 0.14Y_{t-1} + \varepsilon_t - 0.14\varepsilon_{t-1} \quad (13)$$

4. การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ
พิจารณาจาก Box-Ling Chi –squares (Q) ค่า p -value
มากกว่า 0.05

$$A-1 \quad Q = 9.83 \quad \text{และ} \quad p\text{-value} = 0.988$$

$$A-2 \quad Q = 26 \quad \text{และ} \quad p\text{-value} = 0.206$$

$$A-3 \quad Q = 9.83 \quad \text{และ} \quad p\text{-value} = 0.988$$

เนื่องจากค่า Q ทั้งสามมีค่ามากกว่า p -value แสดงว่า
ตัวแบบมีความเหมาะสม

4.3 ผลการวิเคราะห์การถดถอย

ในการคำนวณหาสมการถดถอย โดยงานวิจัยนี้
จะเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ในการคำนวณหาสมการ
ถดถอยและการวิเคราะห์ผลนาค่าประมาณสัมประสิทธิ์
การถดถอยและค่าสถิติที่ได้จากตารางที่ 5 มาเขียน
ในรูปแบบสมการพยากรณ์ ดังนี้

$$\text{การปนเปื้อน} \quad Y = 42920 - 319x \quad (14)$$

$$\text{รอยถูงมือ} \quad Y = 601 + 2753x \quad (15)$$

$$\text{รอยขีดข่วน} \quad Y = 10307 + 968x \quad (16)$$

4.4 เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์

เปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ วิธีการพยากรณ์
อนุกรมเวลาแบบคลาสสิก วิธีการของบอกรี-เจนกินส์
และวิธีการวิเคราะห์การถดถอยให้ค่า MSE และ MAPE
แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าความถูกต้องของการพยากรณ์

การปนเปื้อน		
เทคนิคพยากรณ์	MSE	MAPE
วิธีอนุกรมเวลาคลาสสิก	9,917.97	33.29%
วิธีบอกรี-เจนกินส์	44,575,214.17	67.74%
วิธีการวิเคราะห์การถดถอย	17,041.58	123.44%
รอยถูงมือ		
เทคนิคพยากรณ์	MSE	MAPE
วิธีอนุกรมเวลาคลาสสิก	10,108.81	37.63%
วิธีบอกรี-เจนกินส์	63,862,277.67	82.06%
วิธีการวิเคราะห์การถดถอย	38,727.5	264.11%
รอยขีดข่วน		
เทคนิคพยากรณ์	MSE	MAPE
วิธีอนุกรมเวลาคลาสสิก	109,958,127.39	99.99%
วิธีบอกรี-เจนกินส์	6,429.99	63.15%
วิธีการวิเคราะห์การถดถอย	17,834	186.20%

จากตารางที่ 8 เมื่อเรียงลำดับวิธีการที่เหมาะสมกับ
ลักษณะข้อมูลของเสียของกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์
ไดรฟ์ จากวิธีการที่เหมาะสมมากไปน้อยคือ วิธีอนุกรม
เวลาคลาสสิก เหมาะสมกับข้อมูลของการปนเปื้อนและ
รอยถูงมือ วิธีการของบอกรี-เจนกินส์ เหมาะสมกับข้อมูล
ของรอยขีดข่วน ตามลำดับ

5. สรุป

ในการพยากรณ์ของเสียในกระบวนการประกอบ
ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ มีลักษณะข้อมูลอนุกรมเป็นเวลารายเดือน
โดยเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ 3 วิธี คือวิธีการวิเคราะห์

อนุกรมเวลาแบบคลาสสิก วิธีการของบอกซ์-เจนกินส์ และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) พบว่าวิธีการของอนุกรมเวลาแบบคลาสสิก เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปนเปื้อนและรอยถูงมือ เนื่องจากว่าลักษณะของข้อมูลเป็นอนุกรมเวลามีแนวโน้มและไม่มีฤดูกาล วิธีการของบอกซ์-เจนกินส์ เหมาะสำหรับข้อมูลที่ไม่เป็นรูปแบบที่ชัดเจนของรอยขีดข่วน และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย ไม่มีความเหมาะสมกับข้อมูลทั้งสามเนื่องจากไม่ได้อยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์ และค่า MSE และ MAPE ที่ไม่เหมาะสม

จากการพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการผลิตกำหนดค่าขีดข่วยปริมาณของเสียจากระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลผลิตตรงตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต นำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการกำหนดกลยุทธ์การลดของเสียจากระบวนการผลิตของฝ่ายผลิตและการตรวจสอบมาตรฐานในการทำงานของฝ่ายควบคุมคุณภาพ โดยกำหนดมาตรการการตรวจสอบความสะอาดของอุปกรณ์ในการผลิตเพื่อลดโอกาสในการเกิดการปนเปื้อน การตรวจสอบคุณภาพของถูงมือก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียที่เกิดจากรอยถูงมือ และการปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อป้องกันของเสียที่เกิดจากรอยขีดข่วนได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจาก “ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น” รหัสโครงการ CPN-HR 02-02-52 M

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ministry of Industry. (2012). *Thailand Remains World-Class Production Base for Hard Drives*. [Online]. Available: http://www.boi.go.th/tir/issue/201202_22_2/42.htm
- [2] M. Manmin, *Time series and forecasting*, Bangkok: Prakaipreuk Printing Press, 2006 (in Thai).
- [3] V. Lorichachoonkul and J. Jitthavech, *Forecasting Techniques*, Bangkok: National Institute of Development Administration, 1996 (in Thai).
- [4] G.E.P. Box and G. M. Jenkins, *Time series analysis: Forecasting and control*, New Jersey: Prentice-Hall, 1994.
- [5] B. Abraham and J. Ledolter, *Statistical Methods for Forecasting*, New York: John Wiley & Sons, 1983.
- [6] T. Taesombat, *Quantitative Forecasting*, Bangkok: Kasetsart University, 2006 (in Thai).
- [7] N. Swanson and T. Zeng, “Choosing among competing econometric forecasts: Regression based forecast combination using model selection,” *Journal of Forecasting*, vol. 20, No. 6, pp. 425-440, Sept. 2001.
- [8] W. Panichkitkosolkul, “A comparison on estimation of parameters in time series model,” Graduate School, Chulalongkorn University, 2002 (in Thai).
- [9] Y. Surin, “Application forecasting technic for production planning case study : Siam GS Battery Co.,Ltd,” Graduate College, King Mongkut’s University of Technology North Bangkok, 2008 (in Thai).
- [10] P. Tantiwattanukul and A. Kengpol, “Scrap Cost Forecasting in Hard Disk Drive Industry,” *Journal of KMUTNB*, vol. 23, no. 1, pp. 148-156, 2013 (in Thai).