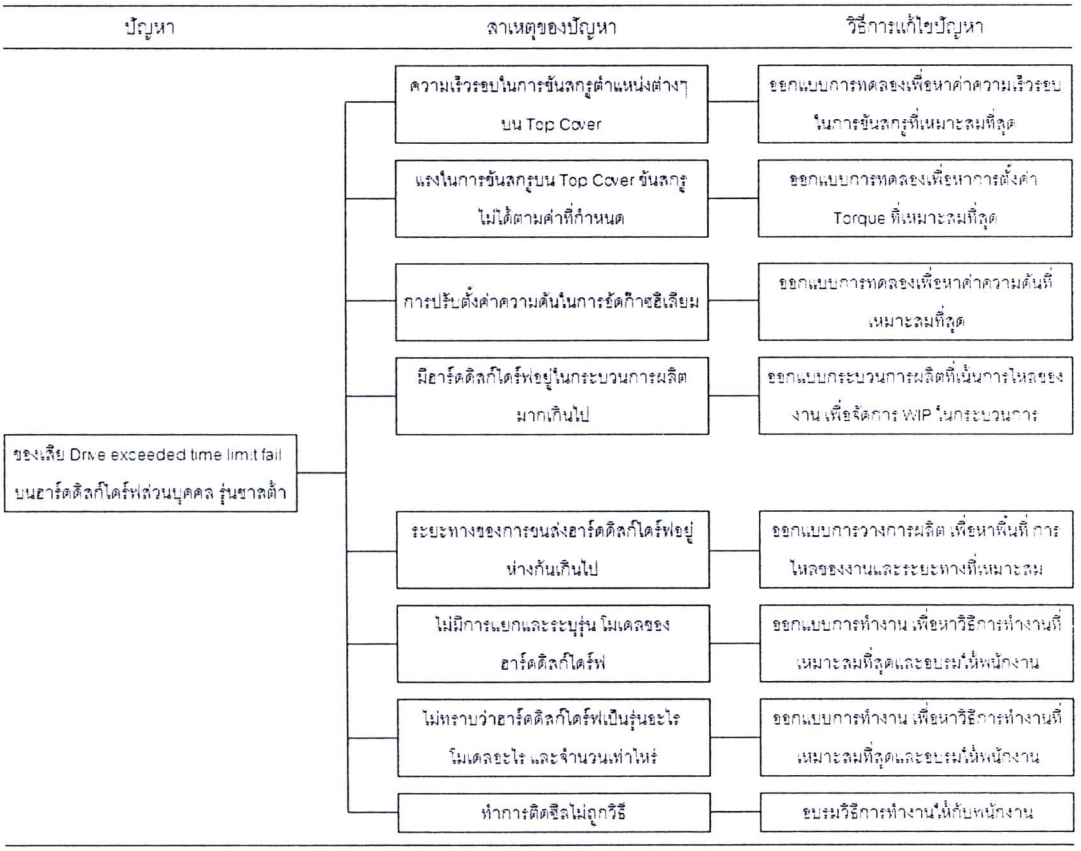
# บทที่ 6

# เฟส IV ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

หลังจากค้นพบสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาของเสีย Drive exceeded time limit fail บนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นซาสต้าแล้ว ในระยะนี้จะเป็นการระดมสมองจากทีมงานเพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาแต่ละสาเหตุ

## 6.1 วิธีการแก้ปัญหาแต่ละสาเหตุ

จากสาเหตุหลักของปัญหาที่สรุปได้จากระยะการหาสาเหตุหลักของปัญหานั้น ทีมงานได้ทำการระดมสมองถึงวิธีการแก้ปัญหา ซึ่งได้ผลสรุปออกมาดังรูปที่ 6.1




รูปที่ 6.1 แผนผังต้นไม้ในการแก้ปัญหาของเสีย Drive exceeded time limit fail บนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นซาสต้า

### 6.1.1 ค่าความเร็วรอบในการขันสกรูตำแหน่งต่าง ๆ บน Top cover

ค่าความเร็วรอบในการขันสกรูตำแหน่งต่างๆ บน Top cover รุ่นชาสต้า เป็นลำดับขั้นตอนที่เกิดขึ้นก่อนกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียม โดยค่าความเร็วรอบในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) จะถูกป้อนข้อมูลโปรแกรมอัตโนมัติไว้ในเครื่องขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Auto Top Cover Machine) หลังจากที่พนักงานวางฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและกดปุ่ม 'START' ให้เครื่องทำงาน เครื่องจะทำการขันสกรูอย่างอัตโนมัติตามค่าความเร็วรอบที่ได้ตั้งค่าไว้ แต่ถ้าค่าความเร็วรอบในการขันสกรูไม่เหมาะสมก็จะทำให้ฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) ขยับทั้งที่การขันสกรูยังไม่เสร็จเรียบร้อยครบทั้งหมด 8 ตำแหน่ง เมื่อขันสกรูครบทั้ง 8 ตำแหน่งก็จะส่งผลให้ฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟปิดได้ไม่สนิท ทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีรอยรั่ว ส่งผลให้ปริมาณก๊าซฮีเลียมรั่วออกมาได้เร็วกว่าอัตราปกติ สำหรับการแก้ปัญหานี้จะใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าความเร็วรอบในการขันสกรูตำแหน่งต่างๆ บนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) สำหรับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล รุ่นชาสต้า

### 6.1.2 เครื่องขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) ไม่ได้ตามค่าที่กำหนด

การขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) ส่วนบุคคล รุ่นชาสต้า นอกจากปัจจัยเรื่องลำดับขั้นตอนในการขันสกรูที่เหมาะสมแล้ว ยังมีแรงในการขันสกรู (ค่า Torque) อีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้การขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) แน่นสนิท ไม่มีรอยรั่วให้ก๊าซฮีเลียมรั่วไหลออกมาได้ สำหรับการแก้ปัญหานี้จะใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาแรงที่เหมาะสมในการขันสกรูสำหรับการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) ส่วนบุคคล รุ่นชาสต้า

### 6.1.3 การปรับตั้งค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม

เนื่องจากเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม (Helium charge) ที่ใช้ในการอัดก๊าซฮีเลียมเข้าสู่ภายในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นชาสต้า มี Spec. ในการปรับตั้งค่าความดันกว้างเกินไป ทันทีที่พนักงานเริ่มกดปุ่ม 'START' เพื่อเริ่มการทำงาน เครื่องจะมีขั้นตอนการทำงานโดยการเติมก๊าซฮีเลียมเข้าไปภายในตู้อัดฮีเลียมด้วยความดันประมาณ 1.0 ATM โดยก๊าซฮีเลียมเหล่านี้จะไหลมาตามท่อส่งก๊าซ หลังจากนั้นปริมาณก๊าซฮีเลียมที่ไหลเข้าสู่ภายในตู้จึงจะเริ่มไหลเข้าสู่ภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละตัวอาจมีปริมาณก๊าซฮีเลียมที่ไหลเข้าสู่ภายในด้วยปริมาณที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นในการปรับตั้งระดับค่าความดันที่เหมาะสมจะทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทุกตัวมีปริมาณก๊าซฮีเลียมภายในเท่ากันหมด และได้ตามค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

### 6.1.4 มีฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอยู่ในกระบวนการผลิตมากเกินไป

เนื่องจากภายในโรงงานกรณีศึกษายังไม่มีวิธีการควบคุมและจัดการ WIP ในกระบวนการผลิต ทำให้พนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่แต่ละสถานีงานไม่ทราบถึงวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง โดยพนักงานจะทำงานจากความเคยชิน หรือวิธีการที่เคยปฏิบัติกันมาก่อน ซึ่งอาจมีทั้งวิธีการที่เหมาะสมและไม่เหมาะสม ดังนั้นในการแก้ปัญหาเรื่องนี้จึงจำเป็นต้องออกแบบ สร้างระเบียบวิธีปฏิบัติงานที่ถูกต้องขึ้นมา และอบรมวิธีการทำงานให้กับพนักงาน เพื่อจัดการ WIP ในกระบวนการผลิต

### 6.1.5 ระยะทางของการขนส่งฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอยู่ห่างกันเกินไป

เนื่องจากภายในโรงงานกรณีศึกษาไม่มีการทบทวน และออกแบบพื้นที่การทำงานของแต่ละสถานีงานให้สอดคล้องกันทั้ง Flow การไหลของกระบวนการผลิต ทำให้โรงงานต้องเจอกับปัญหาของการขนส่ง (Transfer) ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน และใช้เวลามากในการขนส่งฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟระหว่างแต่ละสถานีงาน ดังนั้นในการแก้ปัญหาเรื่องนี้จึงจำเป็นต้องทบทวนเรื่องพื้นที่ Flow การไหลของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และระยะทางที่เหมาะสม เพื่อจัดการการขนส่ง (Transfer) ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในกระบวนการผลิต ซึ่งอาจต้องมีการเคลื่อนย้ายและจัดสถานีงานใหม่

### 6.1.6 ไม่มีการแยกและระบุรุ่น โมเดลของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

เนื่องจากภายในโรงงานกรณีศึกษายังไม่มีวิธีการแยก ระบุรุ่น และโมเดลของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ทำให้พนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่ไม่ทราบถึงวิธีการแยกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ถูกต้อง ไม่มีวิธีการระบุรุ่นและโมเดลที่ชัดเจนเพื่อให้พนักงานทำงานง่าย โดยพนักงานจะทำงานจากความเคยชินหรือวิธีการที่เคยปฏิบัติกันมาก่อน ซึ่งอาจมีทั้งวิธีการที่เหมาะสมและไม่เหมาะสม ดังนั้นในการแก้ปัญหาเรื่องนี้จึงต้องสร้างระเบียบวิธีปฏิบัติงานที่ถูกต้องขึ้นมา และอบรมวิธีการทำงาน โดยจะใช้วิธีการฝึกอบรมก่อนและขณะการปฏิบัติงาน

### 6.1.7 ไม่ทราบว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นรุ่นอะไร โมเดลอะไร และจำนวนเท่าไหร่

เนื่องจากภายในโรงงานกรณีศึกษายังไม่มีการสอนให้พนักงานทราบว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นรุ่นอะไร โมเดลอะไร และต้องควบคุมอย่างไรจึงจะทราบว่ามีจำนวนเท่าไหร่ ทำให้พนักงานที่ปฏิบัติงานอยู่ทำงานจากความเคยชิน หรือวิธีการที่เคยปฏิบัติกันมาก่อน ซึ่งอาจมีทั้งวิธีการที่เหมาะสม

และไม่เหมาะสม ดังนั้นในการแก้ปัญหาเรื่องนี้จึงต้องสร้างระเบียบวิธีปฏิบัติงานที่ถูกต้องขึ้นมา และอบรมวิธีการทำงานให้กับพนักงาน โดยจะใช้วิธีการฝึกอบรมก่อนและขณะการปฏิบัติงาน

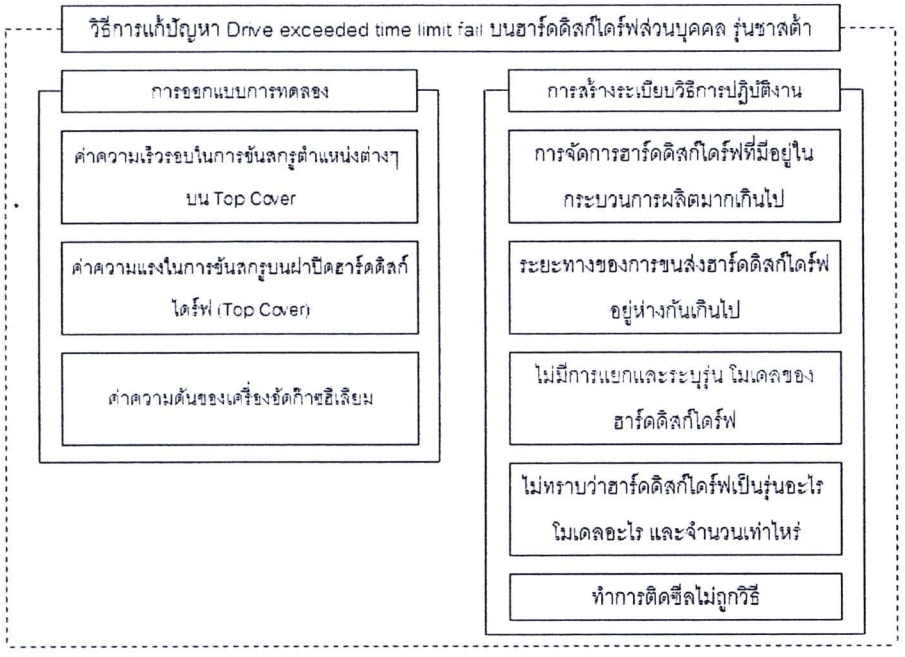
**6.1.8 ทำการติดซีลไม่ถูกวิธี**

เนื่องจากพนักงานที่ปฏิบัติงานประจำสถานีงานทำการติดซีล ไม่ทราบวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง โดยจะทำงานจากความเคยชิน หรือวิธีการที่เคยปฏิบัติกันมาก่อน ซึ่งอาจมีทั้งวิธีการที่เหมาะสมและไม่เหมาะสม ดังนั้นในการแก้ปัญหาเรื่องนี้จึงต้องสร้างระเบียบวิธีปฏิบัติงานที่ถูกต้องขึ้นมา และอบรมวิธีการทำงานให้กับพนักงาน โดยจะใช้วิธีการฝึกอบรมก่อนและขณะการปฏิบัติงาน

จากวิธีการแก้ปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถจัดกลุ่มโดยใช้แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity diagram) ออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังรูปที่ 6.2 คือ

1. การออกแบบการทดลอง เป็นวิธีการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ ซึ่งได้แก่ ค่าความเร็วรอบในการขันสกรูตำแหน่งต่างๆ บนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover), แรงในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) ไม่ได้ตามค่าที่กำหนด และค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม

2. การสร้างระเบียบวิธีปฏิบัติงานโดยใช้แนวคิดลีน สำหรับนำไปใช้ในการฝึกอบรมวิธีปฏิบัติงานที่ถูกต้องให้กับพนักงาน ประกอบด้วย การจัดการฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีอยู่ในกระบวนการผลิตมากเกินไป, ระยะทางของการขนส่งฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอยู่ห่างกันเกินไป, ไม่มีการแยกและระบุรุ่นโมเดลของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ, ไม่ทราบว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นรุ่นอะไร โมเดลอะไร และจำนวนเท่าไหร่ และทำการติดซีลไม่ถูกวิธี




รูปที่ 6.2 แผนผังกลุ่มเชื่อมโยงแสดงวิธีการแก้ปัญหา Drive exceeded time limit fail บนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นชาสต้า

โดยผู้วิจัยได้ใช้ทั้ง 2 แนวทางประกอบกันในการแก้ปัญหา ซึ่งในขั้นแรกจะดำเนินการโดยใช้การออกแบบการทดลองก่อน เพื่อหาค่าความเร็วรอบในการขันสกรูตำแหน่งต่างๆ บนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover), แรงที่เหมาะสมในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) และค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม จากนั้นจึงนำค่าต่างๆ ที่ได้มากำหนดเป็นส่วนหนึ่งในระเบียบวิธีปฏิบัติงานประกอบกับขั้นตอนต่างๆ ที่ได้จัดทำขึ้นตามรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไป

## 6.2 การออกแบบการทดลอง

รูปแบบการทดลองที่จะนำมาใช้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ คือ การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ $2^k$ ($2^k$ Factorial design) ที่มีปัจจัย 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ เนื่องจากการออกแบบการทดลองเช่นนี้ทำให้ใช้จำนวนครั้งของการทดลองน้อยที่สุดที่สามารถจะทำได้ภายในระยะเวลาที่จำกัด เพื่อศึกษาผลของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยได้อย่างสมบูรณ์

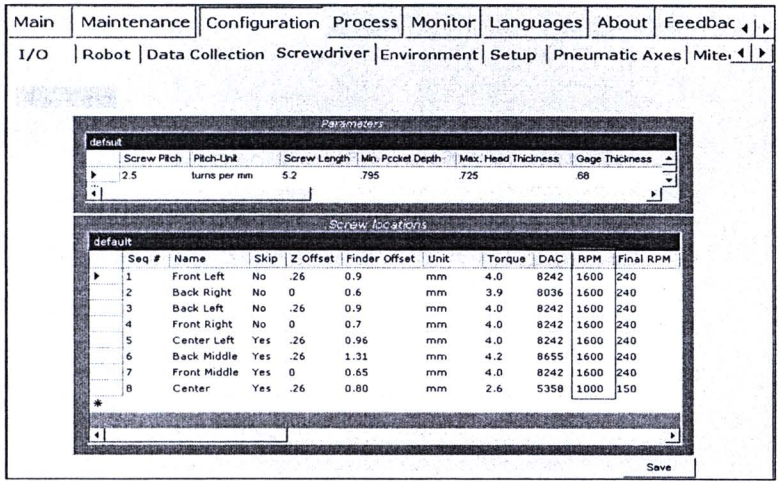
### 6.2.1 ปัจจัยที่ทำการศึกษา

ปัจจัยที่สนใจศึกษาในการทดลองมี 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่าความเร็วรอบในการขันสกรูตำแหน่งต่างๆ บนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) แรงที่เหมาะสมในการขันสกรูบนฝาปิด

ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) และค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม ซึ่งสามารถกำหนดระดับของปัจจัยทั้ง 3 ได้ดังนี้

1) ค่าความเร็วรอบในการขันสกรูตำแหน่งต่างๆ บนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover)

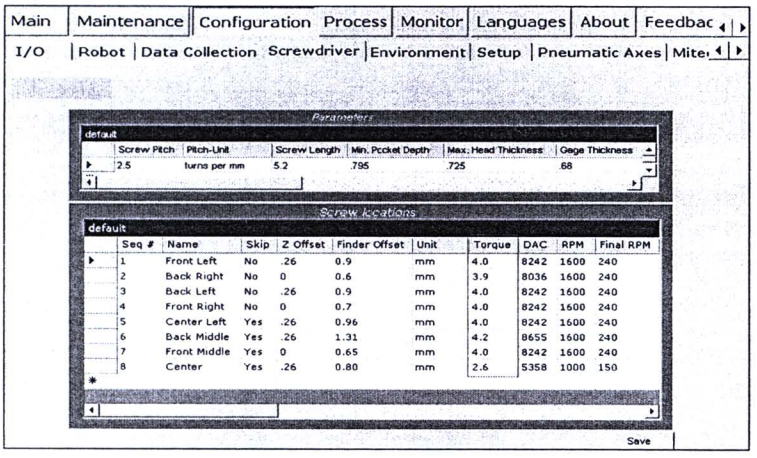
ค่าความเร็วรอบในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เนื่องจากถ้าค่าความเร็วรอบอยู่ในระดับที่เหมาะสมก็จะช่วยให้การประกอบฝาปิดกับตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีความแน่นสนิท ส่งผลให้ปริมาณก๊าซฮีเลียมที่อยู่ภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟไม่รั่วไหลออกมาเกินปริมาณที่กำหนด และอุปกรณ์ที่ใช้ในการขันสกรูซึ่งเรียกว่า EDR torque ก็จะมีอายุการใช้งานนานไม่แตกหักง่าย โดยค่าความเร็วรอบที่โรงงานกรณีศึกษาใช้มีหน่วยเป็น rpm. (round per minute) ระดับความเร็วรอบที่ใช้สำหรับการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นซาสต้า มีค่าอยู่สองระดับคือ 1,200 และ 1,600 rpm. โดยถ้าค่าความเร็วรอบน้อยกว่า 1,200 rpm. จะทำให้รอบเวลาของการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟสูง เนื่องจากการขันสกรูช้าลง ฝาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟปิดไม่แน่นสนิท ซึ่งทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ได้ไม่ตรงตามมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด และที่ระดับความเร็วรอบสูงกว่า 1,600 rpm. จะทำให้ EDR torque แตกหักง่าย เกลียวของรูเบสและสกรูเสียหาย จนทำให้สกรูไม่สามารถขันยึดฝาปิดกับตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้ การปรับค่าความเร็วรอบในการขันสกรูนี้ทำได้โดยการตั้งค่าผ่านทางโปรแกรมควบคุมที่อยู่หน้าเครื่องขันสกรู (Auto Top Cover Machine) ดังรูปที่ 6.3




รูปที่ 6.3 โปรแกรมเพื่อควบคุมค่าความเร็วรอบในการขันสกรู

2) แรงที่เหมาะสมในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover)

แรงในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่เหมาะสมจะช่วยให้การประกอบฝาปิดกับตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีความแน่นสนิท โดยแรงในการขันสกรูที่โรงงานกรณีศึกษาใช้สำหรับการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นซาสต้า มีค่าอยู่สองระดับคือ 2.0 และ 4.0 in.lb (inch-pound) โดยถ้าแรงที่ต่ำกว่า 2.0 in.lb จะทำให้เมื่อขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเสร็จแล้ว ฝาจะประกอบไม่แน่นสนิทสามารถขยับได้เมื่อใช้งานและเกิดแรงสั่นสะเทือน ทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ได้ไม่ตรงตามมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด และที่ระดับความเร็วรอบสูงกว่า 4.0 in.lb จะทำให้ EDR torque แตกหักง่าย เกลียวของสกรูและรูเบสเสียหาย จนทำให้สกรูไม่สามารถขันยึดฝาปิดกับตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้ การปรับแรงในการขันสกรูนี้ทำได้โดยการตั้งค่าผ่านทางโปรแกรมควบคุมที่อยู่หน้าเครื่องขันสกรู (Auto Top Cover Machine) ดังรูปที่ 6.4




รูปที่ 6.4 โปรแกรมเพื่อควบคุมค่าแรงในการขันสกรู

3) ค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม

ค่าความดันภายในเครื่องอัดก๊าซก๊าซฮีเลียม (Helium charge) จะถูกควบคุมจากการปรับตั้งค่าของฝ่ายดูแลและควบคุมเครื่องจักร ซึ่งค่าความดันที่ใช้ในการอัดก๊าซฮีเลียมเข้าภายในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นซาสต้า มีค่าอยู่สองระดับคือ 1.0 และ 1.2 atm (Atmosphere) โดยค่า 1.0 atm คือค่าความดันน้อยที่สุดที่เมื่ออัดก๊าซฮีเลียมเข้าสู่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแล้วไม่ทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเกิดอาการเสีย และค่า 1.2 atm คือค่าความดันสูงที่สุดที่จะสามารถดำเนินการอัดก๊าซฮีเลียมได้ โดยไม่ส่งผลเสียหายต่อการทำงานของหัวอ่านเขียน

ปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยที่ทำการศึกษา และระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองสรุปไว้ในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ $2^k$

| สัญลักษณ์ | ปัจจัย | ระดับของปัจจัย | | หน่วย |
|---|---|---|---|---|
| | | ต่ำ (-1) | สูง (+1) | |
| A | ค่าความเร็วรอบในการขันสกรู | 1,200 | 1,600 | rpm. |
| B | แรงที่เหมาะสมในการขันสกรู | 2.0 | 4.0 | in.lb |
| C | ค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม | 1.0 | 1.2 | atm. |

### 6.2.2 **ตัวแปรตอบสนอง** (Response variables)

ตัวแปรตอบสนอง คือ ผลลัพธ์ของการออกแบบการทดลอง ซึ่งวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาของเสีย โดยสนใจของเสียประเภท Drive exceeded time limit fail ที่เกิดบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นซาสต้า ดังนั้นตัวแปรตอบสนอง คือ ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฮีเลียมภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เนื่องจากถ้ามีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่า 77% ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะเกิดการเสียประเภท Drive exceeded time limit fail ซึ่งสามารถตรวจสอบโดยใช้เครื่องเขียนและทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์ ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้สำหรับเขียนสัญญาณ และหลังจากเขียนสัญญาณแล้วจะทำการตรวจสอบอาการเสียประเภทนี้ด้วย

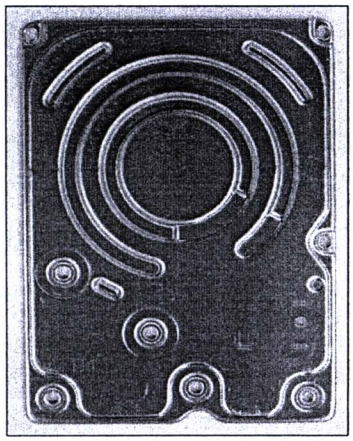
### 6.2.3 **เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง**

เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทำการทดลองในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย

1. HDA รุ่นซาสต้า ซึ่งประกอบชิ้นส่วนภายในมาครบทุกชิ้นส่วน แต่ยังไม่ได้ปิดฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover)

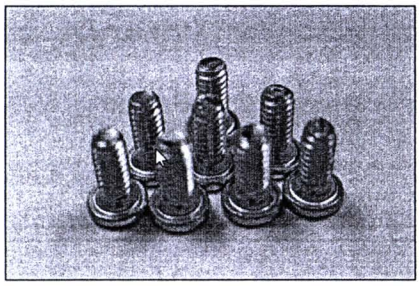
รูปที่ 6.5 HDA รุ่นซาสต้า ซึ่งประกอบชิ้นส่วนภายในมาครบทุกชิ้นส่วน

2. ฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) สำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นชาสต้า



รูปที่ 6.6 ฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) รุ่นชาสต้า

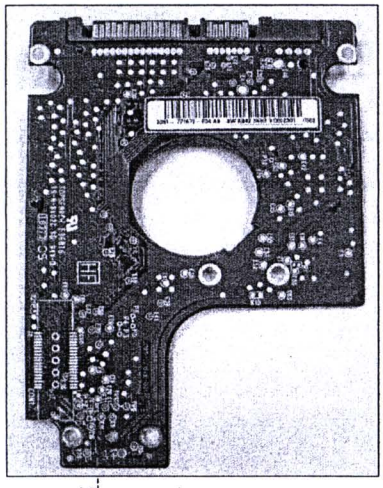
3. สกรูสำหรับขันบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ สำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นชาสต้า



รูปที่ 6.7 สกรูสำหรับขันบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover)

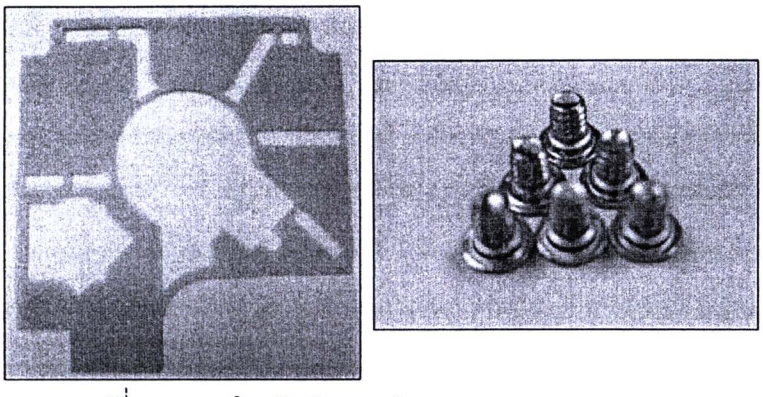
4. เครื่องขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Auto Top Cover Machine)

5. แผ่นวงจร PCBA สำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นชาสต้า



รูปที่ 6.8 แผ่นวงจร PCBA

6. สกรูสำหรับขันบนแผ่นวงจร PCBA และ Gasket สำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นซาสต้า

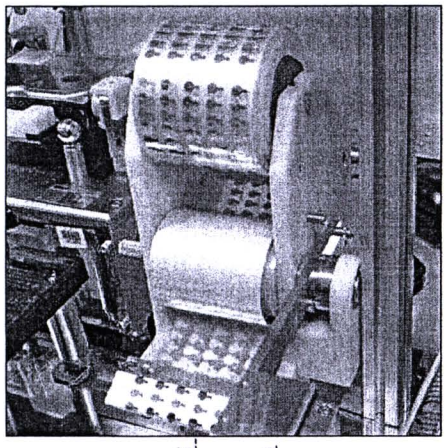


รูปที่ 6.9 สกรูสำหรับขันบนแผ่นวงจร PCBA และ Gasket

7. เครื่องขันสกรูบนแผ่นวงจร PCBA (Auto PCBA)

8. เครื่องอัดก๊าซฮีเลียม (Helium charge)

9. ซีล สำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นซาสต้า



รูปที่ 6.10 ซีล

10. เครื่องติดซีล (Seal install)

11. เครื่องเขียนสัญญาณและทดสอบ X-Caliber tester

12. เครื่องวัดค่า Variance ซึ่งใช้วัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฮีเลียมภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

### 6.2.4 ปัจจัยที่ควบคุม

การควบคุมปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ใช่ปัจจัยที่ทำการศึกษามีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งปัจจัยที่ทำการควบคุมในการออกแบบการทดลองนี้ ได้แก่

1. HDA รุ่นชาสต้า ซึ่งประกอบมาจากไลน์การผลิตเดียวกัน เครื่องจักรในการประกอบชิ้นส่วนเป็นเครื่องเดียวกัน กำหนดให้ใช้ไลน์ 6310A ในการทดลอง

2. ชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่ละชิ้นส่วน ต้องมาจาก Supplier เดียวกัน ล็อตเดียวกัน เพื่อควบคุมความผันแปรที่เกิดจากรุ่นของวัตถุดิบ

3. การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรในการทดลองแต่ละครั้ง จะต้องปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมือนกัน ซึ่งก่อนดำเนินการทดลองจะต้องทำการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรตาม spec. ที่ระบุไว้ในเอกสาร แต่ในระหว่างดำเนินการทดลองจะไม่มีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใหม่ แต่จะควบคุมค่าพารามิเตอร์ให้ได้เหมือนกันตลอดการทดลอง ยกเว้นค่าพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองที่กำลังศึกษา

4. พนักงานประจำเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ต้องเป็นพนักงานคนเดิมทุกครั้งที่ทำการทดลอง

5. ซีลที่ใช้ติดบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ต้องมาจาก Supplier เดียวกัน ล็อตเดียวกัน เพื่อควบคุมความผันแปรที่เกิดจากรุ่นของวัตถุดิบ

6. เครื่องเขียนสัญญาณและทดสอบ X-Caliber Tester ต้องเป็นเครื่องทดสอบเครื่องเดิมตลอดการทดลอง โดยกำหนดให้ใช้เครื่องทดสอบ 2012 ในการทำการทดลอง ก่อนเริ่มทำการทดลองจะต้องทำการตรวจสอบและปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้ตรงตาม spec. ที่ระบุไว้ในเอกสาร ในระหว่างดำเนินการทดลองจะไม่มีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใหม่ แต่จะควบคุมค่าพารามิเตอร์ให้ได้เหมือนกันตลอดการทดลอง

7. เครื่องวัดค่า Variance โดยต้องเป็นเครื่องทดสอบเครื่องเดิมตลอดการทดลองและควบคุม spec. ต่างๆ ของเครื่องให้ได้ค่าเท่ากันตลอดการทดลอง

### 6.2.5 แผนและลำดับการทดลอง

หลักการที่ใช้สำหรับการออกแบบการทดลอง ได้แก่

1. การสุ่ม (Randomization) หมายถึง การทดลองที่ลำดับของการเลือกปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ค่าต่างๆ และลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม ซึ่งทำให้ผลของการทดลองมีการกระจายแบบอิสระ และสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

2. การทำซ้ำ (Replication) เป็นการกำหนดจำนวนครั้งของการทดลอง ซึ่งจะใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการคำนวณ โดยข้อมูลที่ใช้ประกอบการคำนวณ ได้แก่

- จำนวนของปัจจัย (Number of factors) มีค่าเท่ากับ 3 ปัจจัย

- จำนวนของจุดที่อยู่ตรงมุม (Number of corner points) หมายถึง จำนวนข้อมูลใน 1 เรพลิเคตบริบูรณ์ มีค่าเท่ากับ 8

- ค่าความแตกต่างสูงสุด (Effects) ในการวิเคราะห์จำนวนการทดลองซ้ำของการทดลองนี้ ใช้ค่าความแตกต่างสูงสุด (Effects) เท่ากับ 1 หมายถึงปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซฮีเลียมสองกลุ่ม เป็น 0.58 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฮีเลียมภายในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลจำนวน 100 ข้อมูล มีค่าเท่ากับ 1.723

เมื่อใช้โปรแกรม MINITAB คำนวณหาอำนาจของการทดสอบ (Power of test) และขนาดตัวอย่าง (Sample size) โดยเลือกคำสั่ง Stat -> Power and Sample Size -> 2-Level Factorial Design ทำให้ได้ค่าอำนาจของการทดสอบและขนาดตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ค่าอำนาจของการทดสอบและขนาดตัวอย่างจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MINITAB

| Effect | Reps | Total Runs | Power |
|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 80 | 0.726027 |
| 1 | 15 | 120 | 0.883282 |
| 1 | 20 | 160 | 0.954238 |

จากตารางที่ 6.2 ประกอบกับข้อจำกัดของชิ้นส่วนประกอบซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบที่มีอยู่ และระยะเวลาในการทำการทดลอง ดังนั้นในการทดลองนี้จะทำการทดลองซ้ำ 15 ครั้ง ซึ่งมีค่าอำนาจของการทดสอบสูงถึง 0.883282 ถือว่าเพียงพอ ซึ่งต้องทำการทดลองทั้งหมดจำนวน 120 ครั้ง

- การบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ช่วยเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง ซึ่งผู้วิจัยไม่ได้นำมาใช้ เนื่องจากปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้นำมาวิเคราะห์จะควบคุมค่าไว้ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อปัจจัยควบคุม ซึ่งค่าเหล่านี้เป็นค่ากำหนดของการทำงานปกติ

แผนและลำดับการทดลองสร้างโดยอาศัยโปรแกรม MINITAB ซึ่งจะทำการสร้างเมตริกซ์สำหรับการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล โดยลำดับการทดลองได้จาก RunOrder ที่โปรแกรมสร้างขึ้นซึ่งมีทั้งหมด 120 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 แผนและลำดับการทดลองที่สร้างจากโปรแกรม MINITAB

| StdOrder | RunOrder | ความเร็วรอบ | แรง | ค่าความดัน |
|---|---|---|---|---|
| 70 | 1 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |
| 13 | 2 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 10 | 3 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 97 | 4 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |
| 46 | 5 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |
| 103 | 6 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |
| 11 | 7 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 87 | 8 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |
| 9 | 9 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |
| 59 | 10 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 86 | 11 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |
| 78 | 12 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |
| 114 | 13 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 116 | 14 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |
| 21 | 15 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 84 | 16 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |
| 80 | 17 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 35 | 18 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 65 | 19 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |
| 100 | 20 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |
| 3 | 21 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 113 | 22 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |
| 6 | 23 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |
| 111 | 24 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |
| 95 | 25 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |

ตารางที่ 6.3 แผนและลำดับการทดลองที่สร้างจากโปรแกรม MINITAB (ต่อ)

| StdOrder | RunOrder | ความเร็วรอบ | แรง | ค่าความดัน |
|---|---|---|---|---|
| 64 | 26 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 28 | 27 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |
| 15 | 28 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |
| 72 | 29 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 107 | 30 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 75 | 31 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 79 | 32 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |
| 22 | 33 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |
| 31 | 34 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |
| 48 | 35 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 104 | 36 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 4 | 37 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |
| 53 | 38 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 60 | 39 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |
| 20 | 40 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |
| 81 | 41 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |
| 51 | 42 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 67 | 43 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 17 | 44 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |
| 47 | 45 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |
| 117 | 46 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 73 | 47 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |
| 36 | 48 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |
| 82 | 49 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 41 | 50 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |

ตารางที่ 6.3 แผนและลำดับการทดลองที่สร้างจากโปรแกรม MINITAB (ต่อ)

| StdOrder | RunOrder | ความเร็วรอบ | แรง | ค่าความดัน |
|---|---|---|---|---|
| 54 | 51 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |
| 108 | 52 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |
| 94 | 53 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |
| 69 | 54 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 77 | 55 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 18 | 56 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 57 | 57 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |
| 5 | 58 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 33 | 59 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |
| 1 | 60 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |
| 66 | 61 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 42 | 62 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 90 | 63 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 14 | 64 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |
| 71 | 65 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |
| 98 | 66 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 52 | 67 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |
| 19 | 68 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 91 | 69 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 105 | 70 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |
| 106 | 71 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 26 | 72 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 56 | 73 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 34 | 74 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 62 | 75 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |

ตารางที่ 6.3 แผนและลำดับการทดลองที่สร้างจากโปรแกรม MINITAB (ต่อ)

| StdOrder | RunOrder | ความเร็วรอบ | แรง | ค่าความดัน |
|---|---|---|---|---|
| 118 | 76 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |
| 102 | 77 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |
| 58 | 78 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 119 | 79 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |
| 38 | 80 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |
| 83 | 81 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 50 | 82 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 88 | 83 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 16 | 84 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 85 | 85 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 99 | 86 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 8 | 87 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 68 | 88 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |
| 30 | 89 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |
| 27 | 90 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 24 | 91 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 61 | 92 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 96 | 93 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 120 | 94 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 40 | 95 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 12 | 96 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |
| 32 | 97 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 2 | 98 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 23 | 99 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |
| 92 | 100 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |

ตารางที่ 6.3 แผนและลำดับการทดลองที่สร้างจากโปรแกรม MINITAB (ต่อ)

| StdOrder | RunOrder | ความเร็วรอบ | แรง | ค่าความดัน |
|---|---|---|---|---|
| 25 | 101 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |
| 74 | 102 | 1,600 | 2.0 | 1.0 |
| 112 | 103 | 1,600 | 4.0 | 1.2 |
| 76 | 104 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |
| 89 | 105 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |
| 93 | 106 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 44 | 107 | 1,600 | 4.0 | 1.0 |
| 55 | 108 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |
| 43 | 109 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 115 | 110 | 1,200 | 4.0 | 1.0 |
| 7 | 111 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |
| 29 | 112 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 101 | 113 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 109 | 114 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 45 | 115 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 63 | 116 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |
| 37 | 117 | 1,200 | 2.0 | 1.2 |
| 110 | 118 | 1,600 | 2.0 | 1.2 |
| 49 | 119 | 1,200 | 2.0 | 1.0 |
| 39 | 120 | 1,200 | 4.0 | 1.2 |

### 6.2.6 ผลการทดลอง

หลังจากทำการทดลองตามแผนตารางที่ 6.3 จนครบได้ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ $2^3$ ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฮีเลียมภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ได้จากการทดลอง

| StdOrder | RunOrder | ความเร็วรอบ | แรง | ค่าความดัน | ความเข้มข้นของ HE (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 70 | 1 | 1600 | 2 | 1.2 | 82 |
| 13 | 2 | 1200 | 2 | 1.2 | 85 |
| 10 | 3 | 1600 | 2 | 1 | 76 |
| 97 | 4 | 1200 | 2 | 1 | 79 |
| 46 | 5 | 1600 | 2 | 1.2 | 83 |
| 103 | 6 | 1200 | 4 | 1.2 | 99 |
| 11 | 7 | 1200 | 4 | 1 | 81 |
| 87 | 8 | 1200 | 4 | 1.2 | 98 |
| 9 | 9 | 1200 | 2 | 1 | 80 |
| 59 | 10 | 1200 | 4 | 1 | 85 |
| 86 | 11 | 1600 | 2 | 1.2 | 85 |
| 78 | 12 | 1600 | 2 | 1.2 | 86 |
| 114 | 13 | 1600 | 2 | 1 | 77 |
| 116 | 14 | 1600 | 4 | 1 | 78 |
| 21 | 15 | 1200 | 2 | 1.2 | 87 |
| 84 | 16 | 1600 | 4 | 1 | 75 |
| 80 | 17 | 1600 | 4 | 1.2 | 94 |
| 35 | 18 | 1200 | 4 | 1 | 83 |
| 65 | 19 | 1200 | 2 | 1 | 77 |
| 100 | 20 | 1600 | 4 | 1 | 76 |
| 3 | 21 | 1200 | 4 | 1 | 80 |
| 113 | 22 | 1200 | 2 | 1 | 78 |
| 6 | 23 | 1600 | 2 | 1.2 | 84 |
| 111 | 24 | 1200 | 4 | 1.2 | 95 |
| 95 | 25 | 1200 | 4 | 1.2 | 96 |

ตารางที่ 6.4 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฮีเลียมภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ได้จากการทดลอง (ต่อ)

| StdOrder | RunOrder | ความเร็วรอบ | แรง | ค่าความดัน | ความเข้มข้นของ HE (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 64 | 26 | 1600 | 4 | 1.2 | 92 |
| 28 | 27 | 1600 | 4 | 1 | 75 |
| 15 | 28 | 1200 | 4 | 1.2 | 96 |
| 72 | 29 | 1600 | 4 | 1.2 | 93 |
| 107 | 30 | 1200 | 4 | 1 | 81 |
| 75 | 31 | 1200 | 4 | 1 | 84 |
| 79 | 32 | 1200 | 4 | 1.2 | 98 |
| 22 | 33 | 1600 | 2 | 1.2 | 85 |
| 31 | 34 | 1200 | 4 | 1.2 | 97 |
| 48 | 35 | 1600 | 4 | 1.2 | 96 |
| 104 | 36 | 1600 | 4 | 1.2 | 94 |
| 4 | 37 | 1600 | 4 | 1 | 78 |
| 53 | 38 | 1200 | 2 | 1.2 | 86 |
| 60 | 39 | 1600 | 4 | 1 | 78 |
| 20 | 40 | 1600 | 4 | 1 | 79 |
| 81 | 41 | 1200 | 2 | 1 | 77 |
| 51 | 42 | 1200 | 4 | 1 | 85 |
| 67 | 43 | 1200 | 4 | 1 | 80 |
| 17 | 44 | 1200 | 2 | 1 | 81 |
| 47 | 45 | 1200 | 4 | 1.2 | 94 |
| 117 | 46 | 1200 | 2 | 1.2 | 85 |
| 73 | 47 | 1200 | 2 | 1 | 80 |
| 36 | 48 | 1600 | 4 | 1 | 77 |
| 82 | 49 | 1600 | 2 | 1 | 75 |
| 41 | 50 | 1200 | 2 | 1 | 77 |

ตารางที่ 6.4 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฮีเลียมภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ได้จากการทดลอง (ต่อ)

| StdOrder | RunOrder | ความเร็วรอบ | แรง | ค่าความดัน | ความเข้มข้นของ HE (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 54 | 51 | 1600 | 2 | 1.2 | 82 |
| 108 | 52 | 1600 | 4 | 1 | 76 |
| 94 | 53 | 1600 | 2 | 1.2 | 81 |
| 69 | 54 | 1200 | 2 | 1.2 | 84 |
| 77 | 55 | 1200 | 2 | 1.2 | 82 |
| 18 | 56 | 1600 | 2 | 1 | 76 |
| 57 | 57 | 1200 | 2 | 1 | 79 |
| 5 | 58 | 1200 | 2 | 1.2 | 86 |
| 33 | 59 | 1200 | 2 | 1 | 78 |
| 1 | 60 | 1200 | 2 | 1 | 78 |
| 66 | 61 | 1600 | 2 | 1 | 74 |
| 42 | 62 | 1600 | 2 | 1 | 77 |
| 90 | 63 | 1600 | 2 | 1 | 74 |
| 14 | 64 | 1600 | 2 | 1.2 | 82 |
| 71 | 65 | 1200 | 4 | 1.2 | 97 |
| 98 | 66 | 1600 | 2 | 1 | 73 |
| 52 | 67 | 1600 | 4 | 1 | 74 |
| 19 | 68 | 1200 | 4 | 1 | 83 |
| 91 | 69 | 1200 | 4 | 1 | 86 |
| 105 | 70 | 1200 | 2 | 1 | 79 |
| 106 | 71 | 1600 | 2 | 1 | 75 |
| 26 | 72 | 1600 | 2 | 1 | 74 |
| 56 | 73 | 1600 | 4 | 1.2 | 95 |
| 34 | 74 | 1600 | 2 | 1 | 76 |
| 62 | 75 | 1600 | 2 | 1.2 | 83 |

ตารางที่ 6.4 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฮีเลียมภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ได้จากการทดลอง (ต่อ)

| StdOrder | RunOrder | ความเร็วรอบ | แรง | ค่าความดัน | ความเข้มข้นของ HE (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 118 | 76 | 1600 | 2 | 1.2 | 84 |
| 102 | 77 | 1600 | 2 | 1.2 | 84 |
| 58 | 78 | 1600 | 2 | 1 | 75 |
| 119 | 79 | 1200 | 4 | 1.2 | 98 |
| 38 | 80 | 1600 | 2 | 1.2 | 85 |
| 83 | 81 | 1200 | 4 | 1 | 84 |
| 50 | 82 | 1600 | 2 | 1 | 75 |
| 88 | 83 | 1600 | 4 | 1.2 | 93 |
| 16 | 84 | 1600 | 4 | 1.2 | 94 |
| 85 | 85 | 1200 | 2 | 1.2 | 85 |
| 99 | 86 | 1200 | 4 | 1 | 85 |
| 8 | 87 | 1600 | 4 | 1.2 | 93 |
| 68 | 88 | 1600 | 4 | 1 | 75 |
| 30 | 89 | 1600 | 2 | 1.2 | 83 |
| 27 | 90 | 1200 | 4 | 1 | 83 |
| 24 | 91 | 1600 | 4 | 1.2 | 94 |
| 61 | 92 | 1200 | 2 | 1.2 | 81 |
| 96 | 93 | 1600 | 4 | 1.2 | 90 |
| 120 | 94 | 1600 | 4 | 1.2 | 95 |
| 40 | 95 | 1600 | 4 | 1.2 | 92 |
| 12 | 96 | 1600 | 4 | 1 | 77 |
| 32 | 97 | 1600 | 4 | 1.2 | 94 |
| 2 | 98 | 1600 | 2 | 1 | 77 |
| 23 | 99 | 1200 | 4 | 1.2 | 98 |
| 92 | 100 | 1600 | 4 | 1 | 79 |

ตารางที่ 6.4 ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฮีเลียมภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ได้จากการทดลอง (ต่อ)

| StdOrder | RunOrder | ความเร็วรอบ | แรง | ค่าความดัน | ความเข้มข้นของ HE (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 25 | 101 | 1200 | 2 | 1 | 81 |
| 74 | 102 | 1600 | 2 | 1 | 74 |
| 112 | 103 | 1600 | 4 | 1.2 | 92 |
| 76 | 104 | 1600 | 4 | 1 | 77 |
| 89 | 105 | 1200 | 2 | 1 | 77 |
| 93 | 106 | 1200 | 2 | 1.2 | 87 |
| 44 | 107 | 1600 | 4 | 1 | 79 |
| 55 | 108 | 1200 | 4 | 1.2 | 97 |
| 43 | 109 | 1200 | 4 | 1 | 81 |
| 115 | 110 | 1200 | 4 | 1 | 82 |
| 7 | 111 | 1200 | 4 | 1.2 | 98 |
| 29 | 112 | 1200 | 2 | 1.2 | 87 |
| 101 | 113 | 1200 | 2 | 1.2 | 86 |
| 109 | 114 | 1200 | 2 | 1.2 | 85 |
| 45 | 115 | 1200 | 2 | 1.2 | 83 |
| 63 | 116 | 1200 | 4 | 1.2 | 98 |
| 37 | 117 | 1200 | 2 | 1.2 | 84 |
| 110 | 118 | 1600 | 2 | 1.2 | 81 |
| 49 | 119 | 1200 | 2 | 1 | 78 |
| 39 | 120 | 1200 | 4 | 1.2 | 96 |

### 6.2.7 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

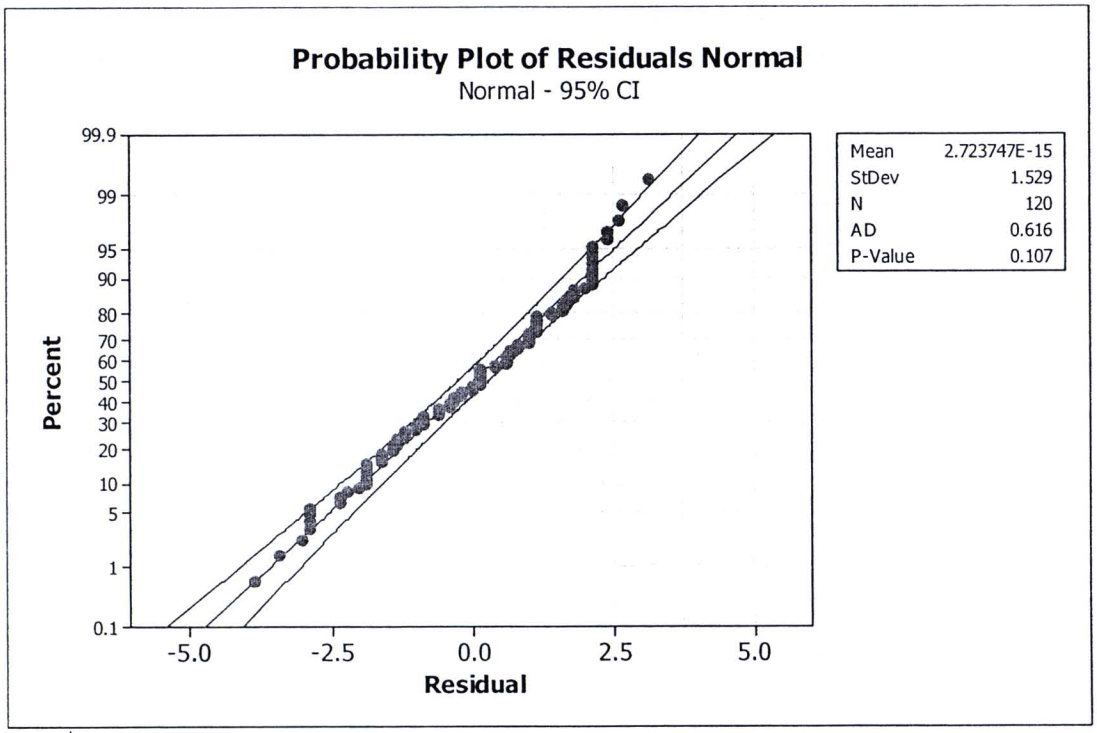
ในการออกแบบการทดลองนั้นจำเป็นต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID $(0,\sigma^2)$ ซึ่งหมายถึงเงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นแบบสุ่มและมีการกระจายแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง โดยการตรวจสอบเงื่อนไขทั้ง 3 ประการมีขั้นตอนดังนี้

1) การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$ : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

$H_1$ : ข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ

สามารถทดสอบได้โดยการพล็อตค่าส่วนตกค้างของตัวแปรตอบสนอง (ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซอีเลียมภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ) ที่เรียกว่า Normal probability plot ซึ่งเป็นการพล็อตค่าส่วนตกค้าง (Residual) ที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม $P_k$ = (k-1/2)/n โดย $P_k$ x 100 อยู่บนแกน y ส่วนแกน x จะเป็นค่าส่วนตกค้าง (ค่าของ $P_k$ x 100 และส่วนตกค้างแสดงอยู่ในตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก ข.) ดังแสดงในรูปที่ 6.11




รูปที่ 6.11 Normal probability plot ของส่วนตกค้างปริมาณความเข้มข้นของก๊าซอีเลียมภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

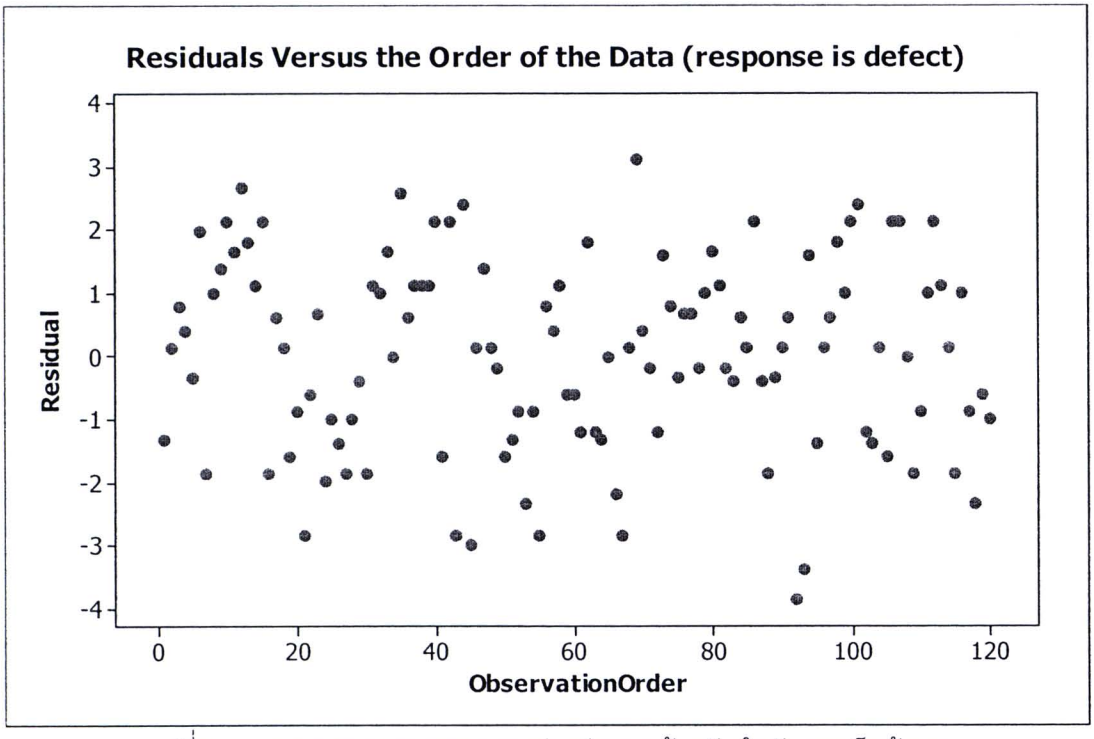
จากรูปที่ 6.11 แสดงให้เห็นว่ากราฟมีลักษณะเบี่ยงเบนออกไปจากเส้นตรงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และค่า P-Value = 0.107 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าสถิติทดสอบ Anderson-Darling (AD) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.616 ถือว่ามีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าวิกฤติ หมายความว่าจุดต่างๆ ที่แสดงถึงข้อมูลอยู่ห่างจากเส้นตรงที่แสดงความเป็นปกติน้อยด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธ สรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) การทดสอบสมมติฐานของการสุ่มของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$: ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

$H_1$: ลำดับของข้อมูลไม่ได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม

สามารถทดสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 6.12




รูปที่ 6.12 แผนภาพการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการเก็บข้อมูล

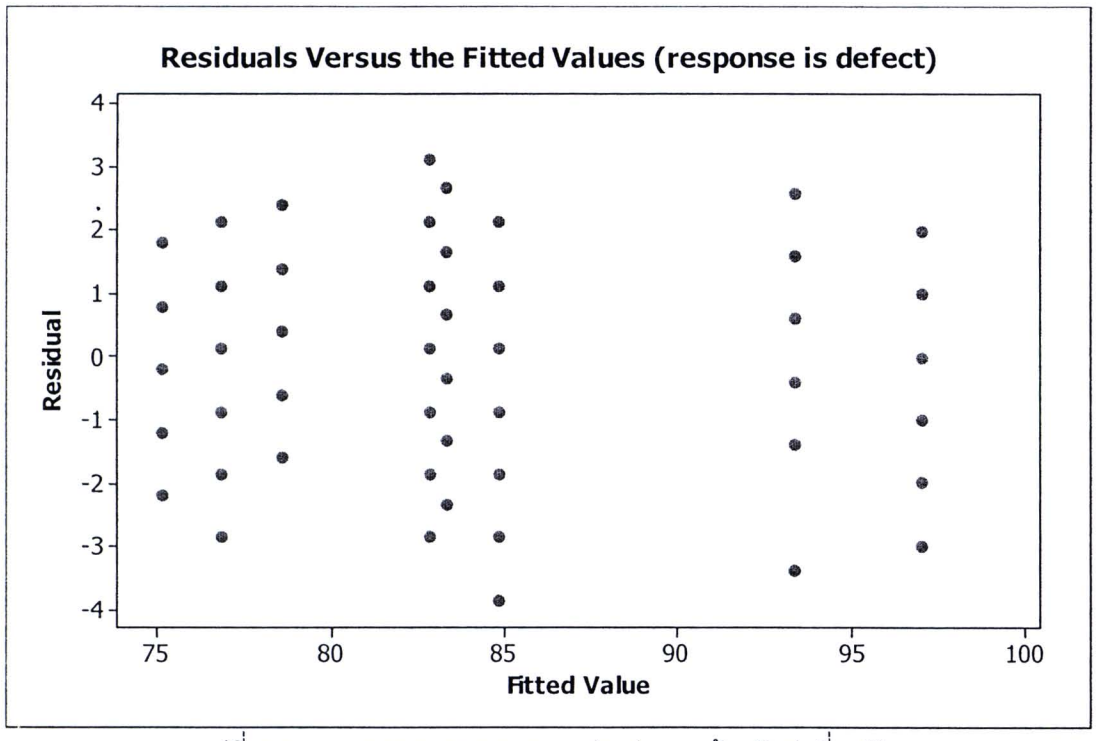
จากรูปที่ 6.12 จะเห็นว่าค่าของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามลำดับการเก็บข้อมูลที่ไม่เป็นรูปแบบใดๆ ดังนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธ สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองที่อยู่ภายใต้ความสุ่ม

3) การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$: ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

$H_1$: ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร

สามารถทดสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ของข้อมูลจำนวนข้อบกพร่อง ดังแสดงในรูปที่ 6.13




รูปที่ 6.13 แผนภาพการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต

จากรูปที่ 6.13 ส่วนตกค้างมีการกระจายตัวไม่เป็นรูปแบบใดๆ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

### 6.2.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองได้ดังแสดงในตารางที่ 6.4 และแสดงผลของปัจจัยและอันตรกิริยา (Interaction) ที่มีนัยสำคัญออกมาในรูปของกราฟ Normal probability plot และแผนภาพพาเรโต ได้ดังรูปที่ 6.14 และ 6.15 รวมถึงแสดงผลหลักของปัจจัยและอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง คือปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฮีเลียม ได้ดังรูปที่ 6.16 และ 6.17

ตารางที่ 6.5 การประมาณค่าผลกระทบและสัมประสิทธิ์ของการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

**Factorial Fit: HE Concentration (%) versus RPM, Torque, Pressure**

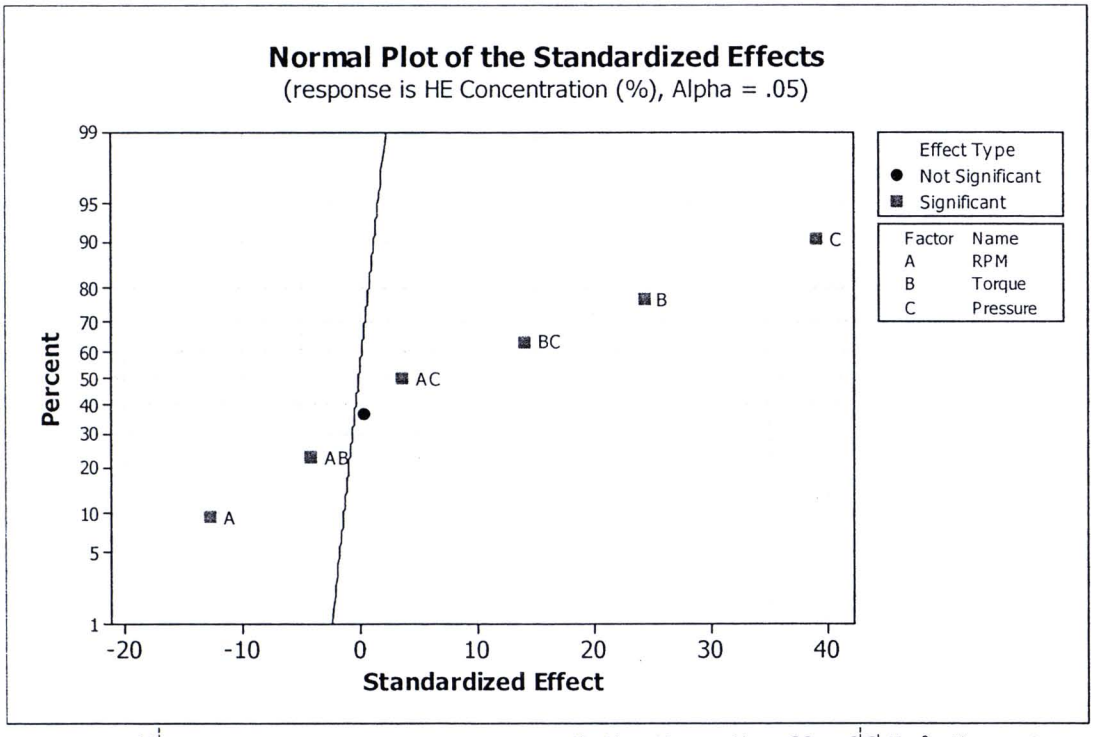
Estimated Effects and Coefficients for HE Concentration (%) (coded units)

| Term | Effect | Coef | SE Coef | T | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Constant | | 84.017 | 0.1439 | 584.03 | 0.000 |
| RPM | -3.633 | -1.817 | 0.1439 | -12.63 | 0.000 |
| Torque | 7.033 | 3.517 | 0.1439 | 24.45 | 0.000 |
| Pressure | 11.267 | 5.633 | 0.1439 | 39.16 | 0.000 |
| RPM*Torque | -1.167 | -0.583 | 0.1439 | -4.05 | 0.000 |
| RPM*Pressure | 1.067 | 0.533 | 0.1439 | 3.71 | 0.000 |
| Torque*Pressure | 4.067 | 2.033 | 0.1439 | 14.13 | 0.000 |
| RPM*Torque*Pressure | 0.133 | 0.067 | 0.1439 | 0.46 | 0.644 |

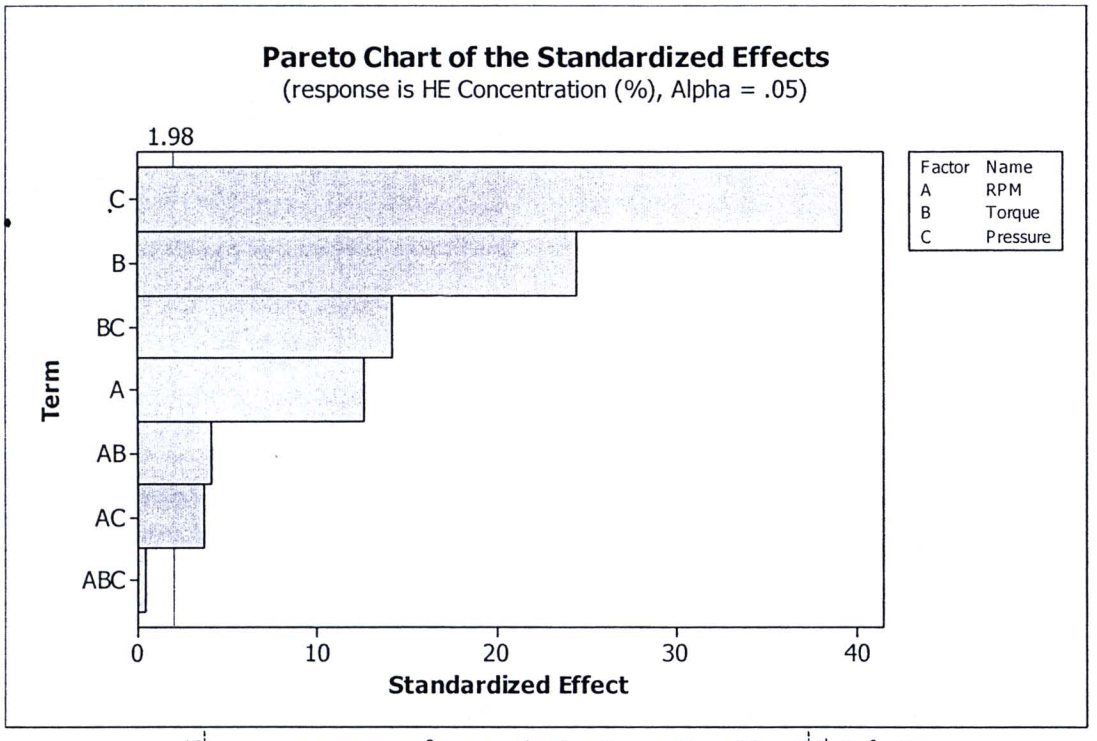
ตารางที่ 6.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

**Analysis of Variance for HE Concentration (%) (coded units)**

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Main Effects | 3 | 5688.20 | 5688.20 | 1896.07 | 763.52 | 0.000 |
| 2-Way Interactions | 3 | 571.10 | 571.10 | 190.37 | 76.66 | 0.000 |
| 3-Way Interactions | 1 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.21 | 0.644 |
| Residual Error | 112 | 278.13 | 278.13 | 2.48 | | |
| Pure Error | 112 | 278.13 | 278.13 | 2.48 | | |
| Total | 119 | 6537.97 | | | | |




รูปที่ 6.14 Normal probability plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ




รูปที่ 6.15 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ

จากผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองในตารางที่ 6.6 พิจารณาค่า P-Value ของผลหลักของปัจจัย (Main Effects) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ หมายความว่า ในการทดลองนี้มีผลหลักอย่างน้อยหนึ่งตัวที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเข้มข้นของ HE (%) ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นซาสต้า (รูปที่ 6.14) โดยเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 6.5 สามารถสรุปผลหลักของปัจจัยได้ดังนี้

1. ผลหลักของความเร็วรอบในการขันสกรูตำแหน่งต่างๆ บนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ความเร็วรอบในการขันสกรูมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณความเข้มข้นของ HE (%)

2. ผลหลักของแรงในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า แรงในการขันสกรูมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณความเข้มข้นของ HE (%)

3. ผลหลักของค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียมมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณความเข้มข้นของ HE (%)

พิจารณาค่า P-Value ของอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย (2-Way Interactions) ในตารางที่ 6.6 พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ หมายความว่า ในการทดลองนี้มีอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัยอย่างน้อย 1 คู่ ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณความเข้มข้นของ HE (%) ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นซาสต้า (รูปที่ 6.14) โดยเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 6.5 สามารถสรุปผลอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัยได้ดังนี้

1. อันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบและแรงในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า อันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบและแรงในการขันสกรูมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณความเข้มข้นของ HE (%) ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นซาสต้า

2. อันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) และค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า อันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบและค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียมมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณความเข้มข้นของ HE (%) ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นซาสต้า

3. อันตรกิริยาระหว่างแรงในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top cover) และค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า อันตรกิริยาระหว่างแรงในการขันสกรูและค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียมมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณความเข้มข้นของ HE (%) ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นซาสต้า

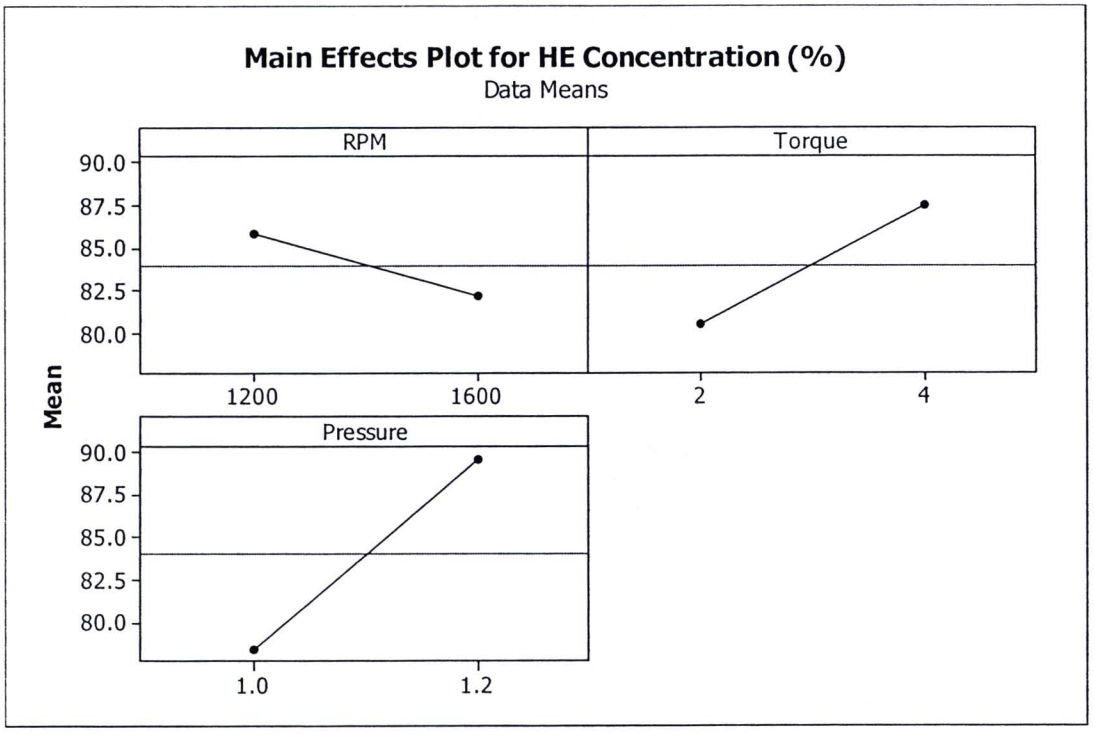
และพิจารณาค่า P-Value ของอันตรกิริยาระหว่าง 3 ปัจจัย (3-Way Interactions) ในตารางที่ 6.6 พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.644 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ หมายความว่า ในการทดลองนี้ไม่มีอันตรกิริยาระหว่าง 3 ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณความเข้มข้นของ HE (%) ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นซาสต้า

### 6.2.9 การจำลองการถดถอย

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ทำการศึกษา อาศัยแบบจำลองการถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear Regression) ช่วยในการหาค่าที่ถูกฟิต โดยใช้สัมประสิทธิ์ของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab มาแสดงในรูปของสมการและแทนค่าปัจจัยด้วยรหัส (Coded unit) โดย -1 หมายถึง การปรับค่าไปที่ระดับล่าง (Low level) และ +1 หมายถึงการปรับค่าไปที่

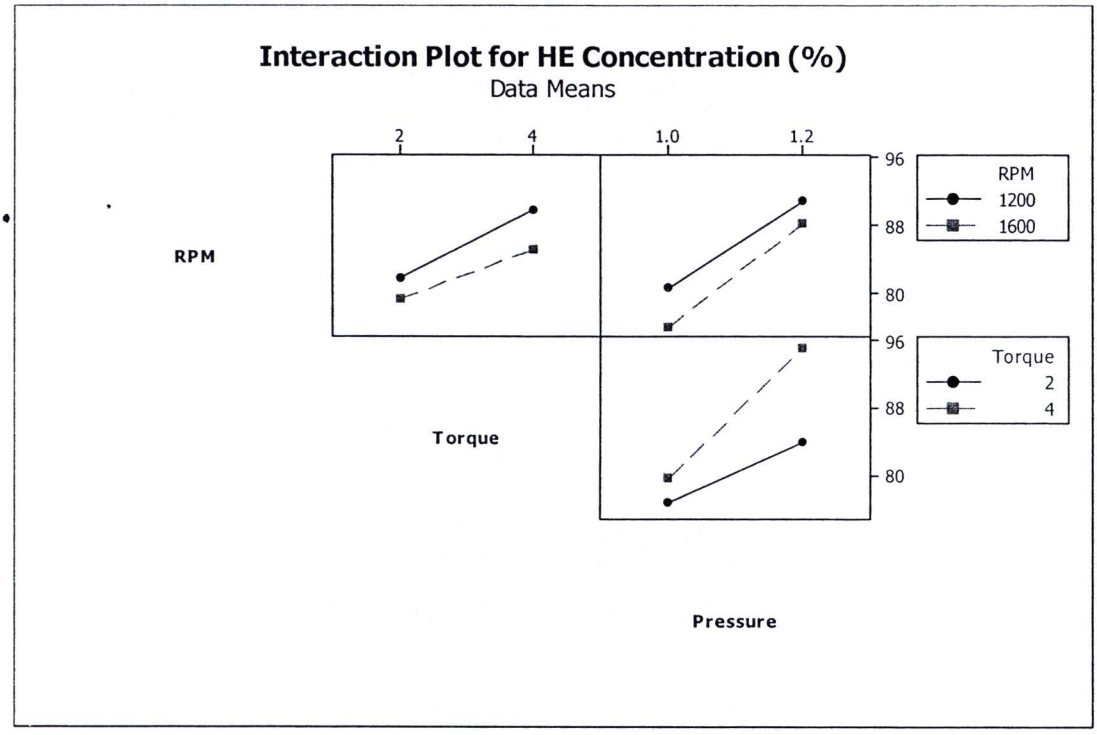
ระดับบน (High level) โดยในการทดลองที่ผ่านมาสามารถเขียนสมการแบบจำลองการถดถอย โดยใช้ข้อมูลสัมประสิทธิ์ของการทดลองจากตารางที่ 6.5 ได้ดังนี้

$$Y = 84.017 - 1.817(RPM) + 3.517(Torque) + 5.633(Pressure) - 0.583(RPM \times Torque) + 0.533(RPM \times Pressure) + 2.033(Torque \times Pressure)$$




รูปที่ 6.16 ผลหลักของปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง

เมื่อพิจารณาถึงผลหลักของปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง เนื่องจากปัจจัยทั้ง 3 มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จากรูปที่ 6.16 ทำให้สามารถหาค่าของปัจจัยที่ส่งผลให้ตัวแปรตอบสนอง คือ ปริมาณความเข้มข้นของ HE (%) บนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นซาสต้ามีค่ามากที่สุดได้ ดังนี้ ความเร็วรอบในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (RPM) = 1200 rpm. (-1), แรงในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Torque) = 4 in.lb (+1) และ ค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม (Pressure) = 1.2 atm. (+1)




รูปที่ 6.17 ผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง

เมื่อพิจารณาถึงผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง เนื่องจากอันตรกิริยาเกิดขึ้นระหว่างความเร็วรอบ (RPM) และแรงในการขันสกรู (Torque) บนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ความเร็วรอบในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (RPM) และค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม (Pressure) แรงในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Torque) และค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม (Pressure) จากรูปที่ 6.17 พบว่าที่

1. ความเร็วรอบในการขันสกรู (RPM) = 1200 rpm. (-1) แรงในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Torque) ควรจะมีค่าเท่ากับ 4 in.lb (+1) เพื่อทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่ามากที่สุด ซึ่งก็สอดคล้องกับค่าของผลหลักของปัจจัยที่กล่าวไปก่อนหน้านี้

2. ความเร็วรอบในการขันสกรู (RPM) = 1200 rpm. (-1) ค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม (Pressure) ควรจะมีค่าเท่ากับ 1.2 atm. (+1) เพื่อทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่ามากที่สุด ซึ่งก็สอดคล้องกับค่าของผลหลักของปัจจัยที่กล่าวไปก่อนหน้านี้

3. แรงในการขันสกรูบนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Torque) = 4 in.lb (+1) ค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม (Pressure) ควรจะมีค่าเท่ากับ 1.2 atm. (+1) เพื่อทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่ามากที่สุด ซึ่งก็สอดคล้องกับค่าของผลหลักของปัจจัยที่กล่าวไปก่อนหน้านี้

ดังนั้นจึงได้ค่าปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 ระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อให้มีค่าปริมาณความเข้มข้นของ HE (%) บนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นชาสต้ามากที่สุด

| ปัจจัย | ค่า | รหัส |
|---|---|---|
| RPM | 1200 rpm. | -1 |
| Torque | 4 in.lb | +1 |
| Pressure | 1.2 atm. | +1 |

เมื่อนำรหัสของแต่ละปัจจัยจากตารางที่ 6.7 ไปแทนในแบบจำลองการถดถอย ทำให้ได้ค่าประมาณการของปริมาณความเข้มข้นของ HE (%) บนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นชาสต้าในช่วงการทำงานปกติมีค่าดังนี้

$$Y = 84.017 - 1.817(-1) + 3.517(1) + 5.633(1) - 0.583(-1)(1) + 0.533(-1)(1) + 2.033(1)(1)$$

$$= 97.067$$

กล่าวคือ หากในกระบวนการผลิตจริงมีการปรับตั้งค่าของปัจจัยทั้งสามตัวตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 6.7 และควบคุมปัจจัยอื่นๆ ให้เป็นไปตามที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ จะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของ HE (%) บนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นชาสต้า เพิ่มขึ้นเป็น 97% เมื่อเทียบกับปริมาตรภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

### 6.2.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอย

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำลองของการถดถอยแบบเชิงเส้นที่ได้จากหัวข้อ 6.2.9 เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของการถดถอย โดยมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

$$H_0: B_1 = B_2 = ... = B_k = 0$$

$$H_1: B_1 \neq 0$$ ; อย่างน้อยที่สุดหนึ่งค่า

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอยแสดงดังในตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอยในโปรแกรม Minitab

**Regression Analysis: HE Concentration (%) versus RPM, Torque, Pressure**

Analysis of Variance

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Regression | 3 | 5688.2 | 1896.1 | 258.83 | 0.000 |
| Residual Error | 116 | 849.8 | 7.3 | | |
| Lack of Fit | 4 | 571.6 | 142.9 | 57.55 | 0.000 |
| Total | 119 | 6538.0 | | | |

S = 2.70658 R-Sq = 87.0% R-Sq(adj) = 86.7%

จากตารางที่ 6.8 ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Sq) มีค่าเท่ากับ 87.0% หมายความว่า ความผันแปรทั้งหมดของข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของ HE (%) บนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นซาสต้า 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปริมาตรภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ สามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็วรอบในการขันสกรู (RPM), แรงในการขันสกรู (Torque), ค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม (Pressure), อันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบในการขันสกรู (RPM) และแรงในการขันสกรู (Torque), อันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบในการขันสกรู (RPM) และค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม (Pressure) และอันตรกิริยาระหว่างแรงในการขันสกรู (Torque) และค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม (Pressure) เท่ากับ 87.0 เปอร์เซ็นต์ โดยจำนวนที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้ว่ามาจากแหล่งความผันแปรใด และค่า R-Sq (adj) มีค่าใกล้เคียงกับ R-Sq แสดงว่ามีโอกาสน้อยที่จะพบว่ามีพจน์ที่ไม่มีนัยสำคัญได้ถูกเติมลงไปในแบบจำลอง

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 6.8 พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า แบบจำลองการถดถอยที่สร้างขึ้นมีนัยสำคัญของการถดถอยที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

## 6.3 การสร้างระเบียบวิธีการปฏิบัติโดยใช้แนวคิดลีน

จากพื้นฐานการปฏิบัติงานภายในโรงงานกรณีศึกษาซึ่งบางขั้นตอนวิธีการปฏิบัติงาน พนักงานจะอาศัยความเคยชิน ทำให้การทำงานเป็นไปอย่างไม่มีระเบียบแบบแผน บ่อยครั้งที่เกิดความ

สับสน หรือไม่แน่ใจในขั้นตอนต่างๆ ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเปล่า ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นจากกระบวนการ การเคลื่อนย้าย ตรวจสอบ จัดเก็บ และการรอคอยที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นการสร้างระเบียบวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้องจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการช่วยลดความสูญเปล่าเหล่านั้น โดยระเบียบวิธีการปฏิบัติงานที่สร้างขึ้นมานั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความเข้าใจและเกิดขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้องสำหรับการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยมุ่งเน้นที่กระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมจนถึงกระบวนการเขียนและทดสอบสัญญาณบนเครื่องทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์ เนื่องจากระเบียบวิธีการปฏิบัติงานที่กระบวนการขั้นตอนอื่นจะมีรายละเอียดของการปรับตั้งอุปกรณ์ เครื่องจักร และวิธีการทำงานที่แตกต่างกัน อีกทั้งระเบียบวิธีปฏิบัติงานดังกล่าวยังสามารถนำไปใช้เป็นมาตรฐานในการสร้างระเบียบวิธีการปฏิบัติงานกระบวนการอื่นๆ ต่อไปได้

จากการศึกษาสภาพปัญหา และนำมาปรึกษาทีมงานสำหรับแก้ปัญหาคุณภาพของโรงงาน พบว่านอกจากระเบียบวิธีการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการปรับตั้งค่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยของเครื่องจักร ที่จะส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของเปอร์เซ็นต์ก๊าซฮีเลียมภายในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นซาสต้า เพิ่มขึ้นเป็น 97% แต่ยังมีปัญหาที่ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฮีเลียมลดน้อยลงอีก หลังจากที่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟผ่านกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมมาได้ตามค่าที่กำหนดแล้ว แต่มาเกิดอาการเสียประเภท Drive exceeded time limit ภายหลัง เนื่องจากเกิดการรั่วไหลของก๊าซฮีเลียมจากภายในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟออกสู่ภายนอก ซึ่งปัจจัยเหล่านั้นคือ วิธีการในการติดซีลในกระบวนการติดซีลไม่ถูกต้อง ระยะเวลาในการนำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ผ่านกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมและติดซีล ไปเข้าสู่กระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟภายในตู้ทดสอบเขียนและทดสอบสัญญาณเอ็กคาร์ลิเบอร์ใช้เวลานาน มีกระบวนการเคลื่อนย้าย ตรวจสอบ จัดเก็บ และการรอคอยชิ้นงานที่ไม่จำเป็นเกิดขึ้นเลยทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการขนส่งชิ้นงานนาน

ขั้นตอนที่จะนำมาพิจารณาเพื่อปรับปรุงแก้ไข จะเลือกขั้นตอนที่เป็นกิจกรรมประเภทที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Non Value-added) ได้แก่ กิจกรรมประเภทเคลื่อนย้าย ตรวจสอบงาน จัดเก็บ และรอคอย ส่วนกิจกรรมประเภทปฏิบัติการจะไม่นำมาพิจารณา

| ขั้นตอน | กิจกรรม | ประเภทของกิจกรรม | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ○ | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 1 | เตรียมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจากกระบวนการก่อนหน้า (โดยส่งงานเป็น batch แต่ละ batch มีฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจำนวน 50 ตัว) | ○ | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 2 | รอพนักงานมาเคลื่อนย้ายฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟไปสถานีงานอัดก๊าซฮีเลียม | ○ | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 3 | เคลื่อนย้ายฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟไปยังสถานีงานอัดก๊าซฮีเลียม (เส้นทางมีการวางชิ้นงานกีดขวางและไกลทำให้ขนส่งได้ล่าช้า) | ○ | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 4 | คัดแยกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟก่อนนำเข้าตู้อัดก๊าซฮีเลียม (โดยฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟต้องเป็นโมเดล และรุ่นเดียวกัน) | ○ | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 5 | เปิดฝาตู้อัดก๊าซฮีเลียมและใส่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเข้าภายในตู้ | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 6 | ปิดฝาตู้อัดก๊าซฮีเลียม | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 7 | กดปุ่ม START ที่หน้าเครื่องเพื่อเริ่มการอัดก๊าซฮีเลียม | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 8 | เครื่องทำการอัดก๊าซฮีเลียมให้ได้ค่าตามปริมาณที่กำหนดและแสดงข้อความ PASS ที่หน้าเครื่องเมื่ออัดก๊าซฮีเลียมเสร็จแล้ว | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 9 | เปิดฝาตู้เพื่อนำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟออกจากตู้ | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 10 | เตรียมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟให้ครบ 50 ตัว (1 batch) เพื่อส่งงานไปกระบวนการต่อไป | ○ | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 11 | เคลื่อนย้ายฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟไปยังสถานีงานติดซีล (เส้นทางมีการวางชิ้นงานกีดขวางและไกลทำให้ขนส่งได้ล่าช้า) | ○ | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 12 | หยิบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟครั้งละ 1 ตัวและวางลงในฟิกเจอร์ใส่งาน | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 13 | ใช้อุปกรณ์จับหนีบซีลออกจากม้วนซีล | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 14 | ติดซีลลงบนตำแหน่ง Breather filter บนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 15 | กดปุ่ม START ,เพื่อให้เครื่องทำการกดย้ำซีล | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 16 | ตรวจสอบความเรียบร้อยของการซีล | ○ | ⇨ | ■ | D | ▽ |
| 17 | เคลื่อนย้ายฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟไปยังสถานีงานเขียนสัญญาณ (เส้นทางมีการวางชิ้นงานกีดขวางและไกลทำให้ขนส่งได้ล่าช้า) | ○ | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 18 | คัดแยกงานก่อนนำงานเข้ากระบวนการเขียนสัญญาณ (โดยฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟต้องเป็นโมเดล และรุ่นเดียวกัน) | ○ | ⇨ | ■ | D | ▽ |

รูปที่ 6.18 แผนภูมิขั้นตอนในกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมจนนำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเข้าทดสอบในตู้ทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์

| ขั้นตอน | กิจกรรม | ประเภทของกิจกรรม | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ○ | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 19 | วางฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟลงบนสายพานหน้าเครื่องทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์ | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 20 | เครื่องเอ็กคาร์ลิเบอร์ทำการสแกนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เพื่อตรวจสอบรายละเอียด เช่น รุ่น ลูกค้า และความจุ | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 21 | แขนกลจับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเพื่อเตรียมใส่เข้าตู้ทดสอบ | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 22 | เครื่องทดสอบทำการตรวจสอบคุณสมบัติของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟว่าเหมือนกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีอยู่ภายในช่องหรือไม่ | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 23 | เครื่องทดสอบทำการบรรจุฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเข้าไปในช่องที่มีฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟคุณสมบัติเดียวกัน | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| 24 | ทำการเขียนสัญญาณและทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ | ● | ⇨ | □ | D | ▽ |
| ○ ปฏิบัติการ | ⇨ เคลื่อนย้าย | □ ตรวจสอบงาน | D รอคอย | ▽ จัดเก็บ | | |

รูปที่ 6.18 แผนภูมิขั้นตอนในกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมจนนำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเข้าทดสอบในตู้ทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์ (ต่อ)

จากรูปที่ 6.18 ซึ่งแสดงขั้นตอนในกระบวนอัดก๊าซฮีเลียมจนนำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเข้าทดสอบในตู้ทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์ สามารถจัดกลุ่มกระบวนออกมาได้เป็น 5 กลุ่ม คือ ปฏิบัติการ เคลื่อนย้าย ตรวจสอบงาน จัดเก็บ และรอคอย

### 6.3.1 การเลือกประเด็นปัญหาที่จะนำมาปรับปรุง

ทีมงานสำหรับแก้ปัญหาคุณภาพของโรงงานมองว่ากระบวนการมีปัญหา ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเด็น คือ ปัญหาเรื่องการจัดเก็บและจัดการ WIP ในกระบวนการผลิต ปัญหาเรื่องระยะทางในการขนส่งและเคลื่อนย้ายงาน และปัญหาเรื่องระเบียบวิธีการปฏิบัติงาน

#### 1) ปัญหาเรื่องการจัดเก็บและจัดการ WIP ในกระบวนการผลิต

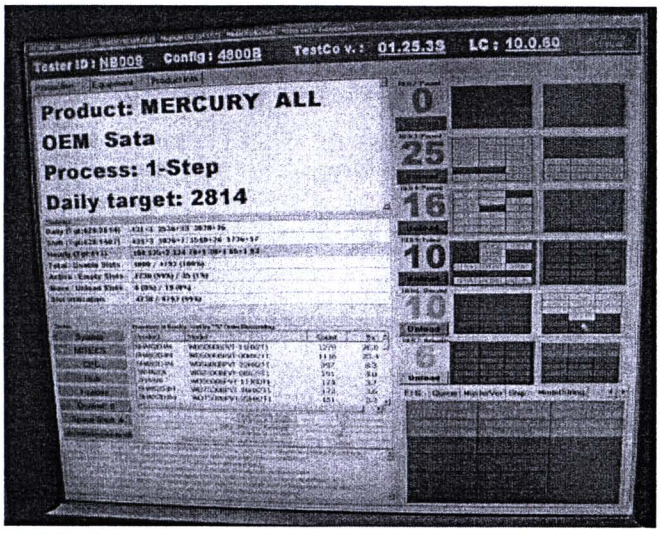
ปัญหาเรื่องการจัดเก็บและจัดการ WIP ในกระบวนการผลิต เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับความสมดุลของสัดส่วนความสามารถในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟของระหว่างสถานีงานแต่ละสถานีงาน ในประเด็นปัญหานี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของ WIP ในกระบวนการผลิตที่มีผลต่อปัญหา Drive exceed time limit ซึ่งจะนำมาพิจารณาปรับปรุงแก้ไข คือ WIP จากกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมและกระบวนการติดซีล ซึ่งถ้า WIP ในขั้นตอนนี้มีเป็นจำนวนมากและวางรอไว้ในกระบวนการ

ผลิตนาน จะส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฮีเลียมลดน้อยลงจนเกิดปัญหาของเสีย Drive exceeded time limit ขึ้นได้

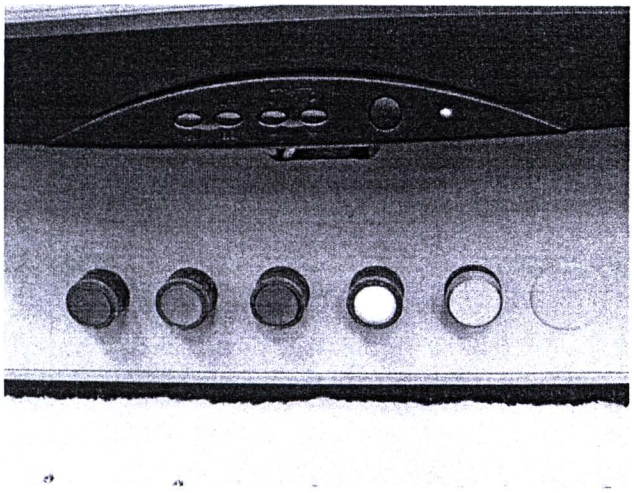
• ในการวิเคราะห์หาสาเหตุ หรือปัจจัยที่มีผลต่อ WIP จากกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมและกระบวนการติดซีล พบว่าเกิดจากการไม่ทราบแผนและความสามารถในการผลิตของสถานีงานทดสอบและเขียนสัญญาณบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟซึ่งเป็นสถานีงานต่อจากกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมและกระบวนการติดซีล เนื่องจากเครื่องทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์บางเครื่องมีการหยุดเครื่องเพื่อทำการซ่อมบำรุง บางเครื่องเกิดการหยุดเครื่องโดยไม่ได้วางแผนไว้ และบางเครื่องหยุดเพื่อปรับแก้ไขเครื่องให้สามารถรองรับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ

แนวทางที่ใช้แก้ปัญหาเกี่ยวกับสาเหตุการไม่ทราบแผนและความสามารถในการผลิตของสถานีงานทดสอบและเขียนสัญญาณบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ คือการนำระบบคัมบัง (Kanban system) มาประยุกต์ใช้ในการทำงาน เพื่อช่วยให้การทำงานระหว่างสถานีงานอัดก๊าซฮีเลียม สถานีงานติดซีล และสถานีงานทดสอบและเขียนสัญญาณมีการประสานงานที่ดี มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น ทำการผลิตด้วยระบบดึง (Pull system) และมีฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเข้ามาในสถานีงานที่ทำการผลิตในเวลาที่จำเป็นและด้วยจำนวนที่เหมาะสม

โดยแนวทางการประยุกต์ใช้ระบบคัมบังในโรงงานกรณีศึกษา คือ การนำระบบคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้แทนคัมบังการ์ด โดยคอมพิวเตอร์จะเชื่อมต่อกับตู้ทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์เพื่อส่งข้อมูลจำนวนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่อยู่ภายในตู้ รายละเอียดของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่กำลังทำการทดสอบและการเขียนสัญญาณอยู่ภายในตู้เขียนและทดสอบสัญญาณเอ็กคาร์ลิเบอร์ โดยข้อมูลเหล่านั้นจะแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Monitor) และสัญญาณไฟกระพริบที่อยู่ภายนอกบริเวณด้านหน้าตู้ทดสอบ หน้าจอคอมพิวเตอร์และสัญญาณไฟจะใช้เป็นสัญญาณเพื่อบอกว่าตู้ทดสอบกำลังจะเขียนและทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเสร็จเป็นจำนวนเท่าไหร่ และกำลังจะมีช่องว่างภายในตู้ทดสอบเหลืออีกจำนวนเท่าไหร่ที่สามารถรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟใหม่เข้ามาสู่กระบวนการทดสอบและเขียนสัญญาณได้ต่อไป โดยหน้าจอที่แสดงความต้องการให้มีการอัดก๊าซฮีเลียมเพิ่มเติม จะแสดงความต้องการล่วงหน้า 60 นาทีก่อนที่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟนั้นๆ จะทำการเขียนสัญญาณและทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเสร็จ เพื่อให้สถานีอัดก๊าซฮีเลียมและสถานีงานติดซีลเตรียมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้ทัน โดยที่ตู้เขียนและทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์จะไม่เกิดช่องทดสอบว่าง (Idle) ภายในตู้โดยไม่ได้ใช้งาน




รูปที่ 6.19 หน้าจอ (Monitor) เพื่อใช้เป็นสัญญาณบอกว่าตู้ทดสอบกำลังจะเขียนและทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเสร็จแล้ว



รูปที่ 6.20 สัญญาณไฟกระพริบเพื่อใช้เป็นสัญญาณบอกว่าตู้ทดสอบกำลังจะเขียนและทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเสร็จแล้ว

**2) ปัญหาเรื่องระยะทางในการขนส่งและเคลื่อนย้ายงาน**

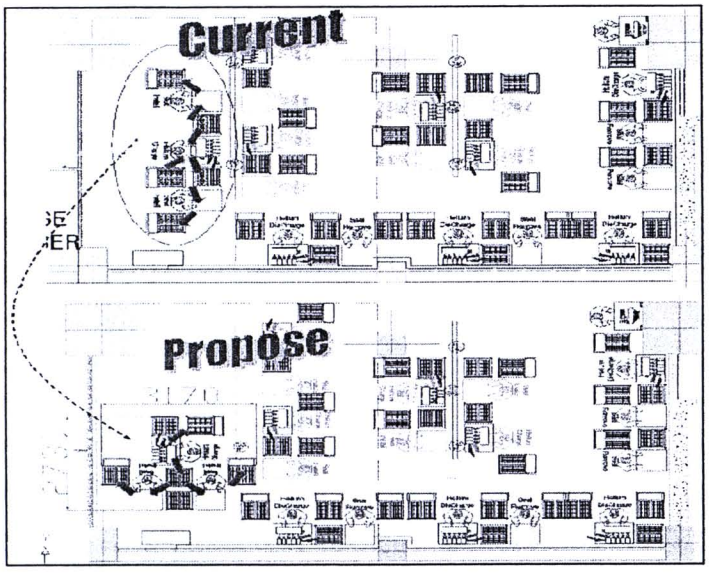
ปัญหาเรื่องระยะทางในการขนส่งและเคลื่อนย้ายงานในกระบวนการผลิต เป็นปัญหาที่มีสาเหตุมาจากการวางแผนผังโรงงานระหว่างสถานีงานแต่ละสถานีงาน ในประเด็นปัญหานี้ผู้วิจัยได้มีการประชุมร่วมกับทีมงานสำหรับแก้ปัญหาคุณภาพของโรงงาน และวิศวกรฝ่ายวางแผนผังโรงงาน ทีมได้สรุปว่าปัจจัยที่มีผลกับระยะทางในการขนส่งฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ คือ ปัญหาการวางแผนผัง

(Layout) โรงงานระหว่างสถานีงานอัดก๊าซฮีเลียม สถานีงานติดซีล และสถานีงานทดสอบและเขียนสัญญาณ

- เพื่อกำหนดแผนผัง (Layout) ของสถานีงานออกมาใหม่ ได้นำเทคนิค ECRS มาใช้ในการพิจารณาเพื่อกำหนดแผนผังใหม่ โดยเลือกเทคนิค

R; Rearrange คือ การจัดลำดับสถานีงานใหม่ให้เหมาะสม โดยพิจารณาว่าการจัดแผนผังสถานีงานแบบเดิม จะทำให้เกิดความสูญเสียจากระยะทางในการเคลื่อนย้ายฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเกิดขึ้น การจัดแผนผังสถานีงานใหม่นั้นจะต้องพิจารณาจากความสัมพันธ์ การติดต่องาน และความเกี่ยวข้องของสถานีงานด้วย เช่น สถานีงานอัดก๊าซฮีเลียม สถานีงานติดซีล และสถานีงานเขียนและทดสอบสัญญาณเป็นสถานีงานที่ต้องส่งฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเพื่อทำการผลิตต่อกัน ในการวางแผนผังโรงงานก็ควรจะจัดให้ทั้งสามสถานีงานนี้อยู่ใกล้กัน เพื่อให้ง่ายต่อการขนส่งฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ การติดต่อประสานงานกัน ช่วยลดระยะทางและระยะเวลาในการเคลื่อนย้ายและขนส่งฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟลงได้

S; Simplify คือ การปรับปรุงวิธีการทำงาน หรือสร้างอุปกรณ์ช่วยให้ทำงานได้ง่ายขึ้น เนื่องจากแผนผังการวางสถานีงานอัดก๊าซฮีเลียม สถานีงานติดซีล และสถานีงานเขียนและทดสอบสัญญาณแบบปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา ทำให้สถานีงานเขียนและทดสอบสัญญาณบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้รับงานช้า บางครั้งฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ได้รับอาจจะไม่ใช่โมเดล รุ่น หรือผลิตภัณฑ์ที่ทางตู้ทดสอบต้องการ หรือไม่ตรงกับช่องว่างสำหรับการทดสอบภายในตู้ทดสอบที่ว่างอยู่ จึงจำเป็นที่จะต้องนำระบบคัมบัง (Kanban system) และการเปลี่ยนแผนผังโรงงาน (Re-layout) เข้ามาช่วยเพื่อให้การติดต่อสื่อสารและแจ้งความต้องการได้ง่ายขึ้น สถานีงานอัดก๊าซฮีเลียม สถานีงานติดซีล ที่เคยอยู่ห่างกับสถานีงานทดสอบและเขียนสัญญาณ ก็จัดเปลี่ยนแผนผังใหม่ให้มาอยู่ใกล้กัน เพื่อไม่ต้องเสียเวลาในการขนส่ง การเสียเวลาในการขนส่งจะส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฮีเลียมลดน้อยลง ยิ่งใช้เวลาในการขนส่งมากก็จะทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฮีเลียมลดน้อยลง จนเกิดปัญหา Drive exceeded time limit ในกระบวนการเขียนและทดสอบสัญญาณ




รูปที่ 6.21 ตัวอย่างแผนผังโรงงานแบบใหม่จากทีม เพื่อช่วยลดระยะทางในการขนส่ง

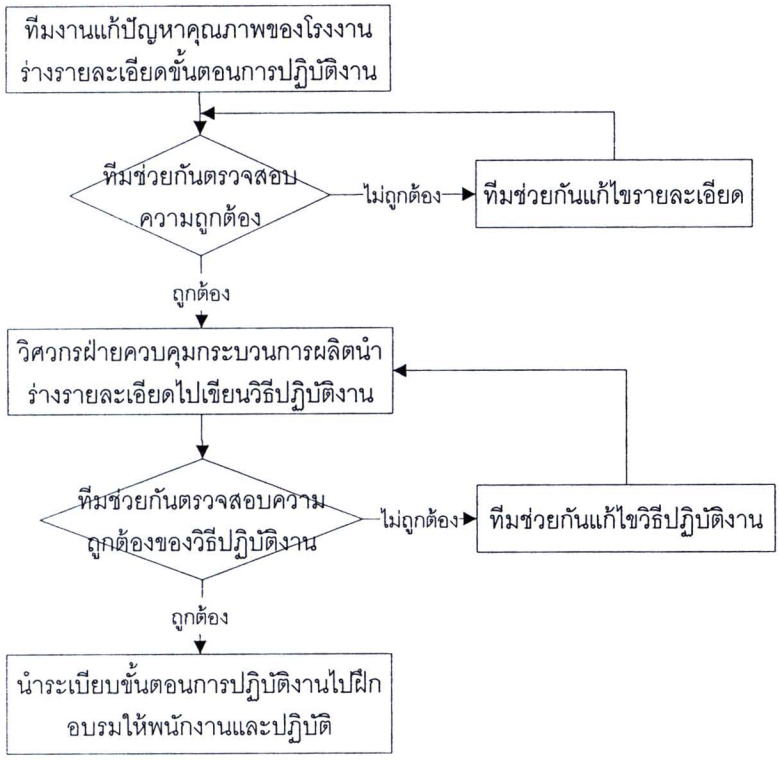
3) **ปัญหาเรื่องระเบียบวิธีการปฏิบัติงาน**

ปัญหาเรื่องระเบียบวิธีการปฏิบัติงาน เป็นปัญหาเนื่องมาจากระเบียบวิธีการปฏิบัติงานของบางขั้นตอน ไม่ได้ถูกระบุไว้ในเอกสารของทางโรงงานเพื่อฝึกอบรมให้พนักงานปฏิบัติตามได้อย่างถูกต้อง เพื่อแก้ปัญหาเรื่องวิธีการปฏิบัติจึงต้องมีการจัดทำระเบียบวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต

1. ขั้นตอนการจัดทำระเบียบวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต

ขั้นตอนการจัดทำระเบียบวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมจนถึงกระบวนการนำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเข้าทดสอบในตู้ทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์ เริ่มต้นจากการที่ทีมงานสำหรับแก้ปัญหาคุณภาพของโรงงานประชุมและระดมสมองเพื่อร่างรายละเอียดของขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้องในแต่ละส่วนของกระบวนการผลิตที่ยังไม่เคยมีการระบุลงในเอกสารเรียงตามลำดับก่อนหลังขึ้นมา จากนั้นทีมจะช่วยกันตรวจสอบความถูกต้อง ถ้าไม่ถูกต้องจะช่วยกันแก้ไขจนกว่าจะได้รายละเอียดขั้นตอนที่ถูกต้องครบถ้วน จากนั้นวิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิตจะนำร่างรายละเอียดไปเขียนเป็นวิธีการปฏิบัติงานอย่างละเอียดเพื่อให้พนักงานสามารถเข้าใจได้ง่ายและปฏิบัติตามได้อย่างถูกต้อง เมื่อเขียนระเบียบวิธีการปฏิบัติงานอย่างละเอียดเสร็จแล้ว จากนั้นจึงส่งระเบียบวิธีปฏิบัติงานอย่างละเอียดไปให้ทีมตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมอีกครั้ง แล้วจึงนำ

ระเบียบขั้นตอนนั้นไปใช้ในการปฏิบัติงานจริง จากขั้นตอนการจัดทำระเบียบวิธีการปฏิบัติงานที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 6.22




รูปที่ 6.22 แผนภูมิขั้นตอนการจัดทำระเบียบวิธีปฏิบัติงานในกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมจนนำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเข้าทดสอบในตู้ทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์

2. รายละเอียดของระเบียบวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต

ระเบียบวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมจนถึงกระบวนการนำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเข้าทดสอบในตู้ทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์ เป็นเอกสารที่แสดงถึงขั้นตอนวิธีการทำงานสำหรับใช้ในการอบรมให้กับพนักงานเพื่อให้เกิดความชัดเจนในการทำงานแต่ละขั้นตอน โดยระเบียบวิธีการปฏิบัติงานที่จัดทำขึ้นประกอบไปด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้ (รายละเอียดของวิธีการปฏิบัติงานในแต่ละหัวข้อแสดงไว้ในภาคผนวก ค)

1) ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานในกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมจนถึงกระบวนการเขียนสัญญาณ (WI-HE-01)

2) ขั้นตอนการตรวจสอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (WI-HE-02)

3) ขั้นตอนการตรวจสอบเครื่องจักรและอุปกรณ์ก่อนทำการอัดก๊าซฮีเลียม (WI-HE-03)

4) ขั้นตอนการอัดก๊าซฮีเลียม (WI-HE-04)

5) ขั้นตอนการเตรียมซีล (WI-HE-05)

6) ขั้นตอนการตรวจสอบเครื่องจักรและอุปกรณ์ก่อนทำการติดซีล (WI-HE-06)

7) ขั้นตอนการติดซีล (WI-HE-07)

8) ขั้นตอนการแก้ปัญหางานติดซีล (WI-HE-08)

9) ขั้นตอนการนำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเข้าเครื่องเขียนและทดสอบสัญญาณ (WI-HE-09)

โดยข้อมูลของการปรับตั้งค่าความเร็วรอบในการขันสกรู (RPM) แรงในการขันสกรูบนเครื่องขันสกรูฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Torque) และค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม (Pressure) จะแยกเก็บไว้ในเอกสารข้อมูลในการปรับตั้งเครื่องจักรของวิศวกรแผนกติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องจักร ซึ่งจัดทำขึ้นสำหรับรองรับข้อมูลผลการออกแบบการทดลองที่ประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ในอนาคต เพื่อจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลสำหรับใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานเพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด

**6.4 การนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ**

จากนั้นนำขั้นตอนจากวิธีการแก้ปัญหาที่ได้จากระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการมาปฏิบัติจริง เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ คือ เปอร์เซ็นต์ของเสียประเภท Drive exceeded time limit บนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นซาสต้าน้อยที่สุด โดยได้ทำการระดมสมองเพื่อสร้างแผนการดำเนินงานสำหรับแก้ปัญหา ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานตามแผนดังกล่าว พร้อมด้วยผู้รับผิดชอบและกำหนดเวลาของแผนเป็น ดังนี้

ตารางที่ 6.9 แผนการดำเนินงานแก้ปัญหาของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นซาสต้า

| ลำดับ | ขั้นตอน | ผู้รับผิดชอบ | กำหนดเวลา |
|---|---|---|---|
| 1. | การฝึกอบรมผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องจักร | วิศวกรฝ่ายติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องจักร | 1 พ.ย. 52 |
| 2. | การฝึกอบรมพนักงานที่ปฏิบัติงาน | วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต | 1 พ.ย. 52 |
| 3. | การทบทวนขั้นตอนการปฏิบัติงานของพนักงานก่อนเริ่มปฏิบัติงาน | วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต | 1 พ.ย. 52 |
| 4. | การปฏิบัติงานตามขั้นตอนของระเบียบวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมจนถึงกระบวนการเขียนและทดสอบสัญญาณ | วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต | 1 พ.ย. 52 |
| 5. | การสร้างแผนภูมิควบคุมกระบวนการ | วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต | 1 พ.ย. 52 |
| 6. | การประเมินผลการปฏิบัติงาน | ทีมงาน | 1 ก.พ. 53 |

### 6.4.1 การฝึกอบรมผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องจักร

การฝึกอบรมผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการติดตั้ง ปรับตั้งค่า และซ่อมบำรุงเครื่องจักร ดำเนินการโดยวิศวกรฝ่ายติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องจักร มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ช่างที่ทำหน้าที่ในการปรับตั้งค่าและซ่อมบำรุงเครื่องจักรทราบถึงรายละเอียดของกระบวนต่างๆ รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งเครื่อง และวิธีการแก้ปัญหาเมื่อพบปัญหาอาการเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) วิศวกรฝ่ายติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องจักรทำความเข้าใจในรายละเอียดของงานกระบวนการต่างๆ ที่มีผลมาจากการติดตั้ง ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ และซ่อมบำรุงเครื่องจักร และงานที่จะต้องมอบหมายให้ช่างแต่ละคน

2) วิศวกรฝ่ายติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องจักรอธิบายข้อมูลและกระบวนการทั้งหมดอย่างละเอียดให้ช่างที่ต้องทำหน้าที่ในการติดตั้ง ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ และซ่อมบำรุงเครื่องจักรทราบ และมอบหมายหน้าที่ให้แต่ละคน

3) ช่างแต่ละคนทำความเข้าใจในหน้าที่ที่ตนต้องรับผิดชอบ ถ้าเกิดปัญหาหรือข้อสงสัยให้สอบถามกับวิศวกรฝ่ายติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องจักร

### 6.4.2 การฝึกอบรมพนักงานที่ปฏิบัติงาน

การฝึกอบรมพนักงานที่ปฏิบัติงานดำเนินการโดยวิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต มีวัตถุประสงค์เพื่อให้พนักงานทราบถึงรายละเอียดของกระบวนการต่างๆ และงานที่ตนเองรับผิดชอบ เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้องตรงกัน

1) วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิตทำความเข้าใจในรายละเอียดของงานกระบวนการต่างๆ ที่ต้องดำเนินการ และงานที่จะต้องมอบหมายให้กับหัวหน้าพนักงานและพนักงานแต่ละคน

2) วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิตอธิบายข้อมูลและงานทั้งหมดอย่างละเอียดให้กับหัวหน้าพนักงานและพนักงานแต่ละคนฟัง

3) วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิตมอบหมายหน้าที่ให้กับหัวหน้าพนักงานและพนักงานแต่ละคน

4) หัวหน้าพนักงานพร้อมทั้งพนักงานแต่ละคนทำความเข้าใจในหน้าที่ที่ตนต้องรับผิดชอบ ถ้าเกิดปัญหาหรือข้อสงสัยให้สอบถามกับวิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต

### 6.4.3 การทบทวนขั้นตอนการปฏิบัติงานของพนักงานก่อนเริ่มปฏิบัติงาน

โดยก่อนเริ่มปฏิบัติงานจะให้พนักงานแต่ละคนทบทวนขั้นตอนการทำงานที่ตนเองรับผิดชอบร่วมกัน เพื่อให้สามารถนำไปปฏิบัติได้อย่างถูกต้อง ซึ่งดูแลโดยหัวหน้าพนักงาน มีขั้นตอนดังนี้

1) วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิตทบทวนขั้นตอนการปฏิบัติงานโดยสรุป

2) วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิตสอบถามถึงหน้าที่ความรับผิดชอบและขั้นตอนการปฏิบัติงานของพนักงานแต่ละคน เพื่อให้แน่ว่าพนักงานแต่ละคนจะสามารถปฏิบัติงานในส่วนของตนเองได้อย่างถูกต้อง และหากพบว่ามีส่วนใดไม่ถูกต้องให้หัวหน้าพนักงานดำเนินการแก้ไขและทำความเข้าใจกับพนักงานให้ถูกต้อง

3) หัวหน้าพนักงานทุกคนและพนักงานเตรียมปฏิบัติงาน

**6.4.4 การปฏิบัติงานตามขั้นตอนของระเบียบวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมจนถึงกระบวนการเขียนและทดสอบสัญญาณ**

ในส่วนนี้เป็นการนำระเบียบวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมจนถึงกระบวนการเขียนและทดสอบสัญญาณที่ได้จัดทำขึ้นมาในระยะการหาวิธีการแก้ปัญหา ในส่วนที่หัวหน้าพนักงานและพนักงานแต่ละคนได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบ และได้ผ่านขั้นตอนการทบทวนมาแล้วมาใช้กับการปฏิบัติงานจริง ในส่วนนี้ผู้รับผิดชอบ คือ หัวหน้าพนักงาน โดยหัวหน้าพนักงานเป็นผู้ควบคุมและปฏิบัติงานร่วมกับพนักงาน

**6.4.5 การสร้างแผนภูมิควบคุมกระบวนการ**

แผนภูมิควบคุมกระบวนการสร้างขึ้นเพื่อตรวจสอบจำนวนอาการเสียประเภท Drive exceeded time limit บนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นซาสต้า ที่เกิดขึ้นในระหว่างปฏิบัติงาน โดยวิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิตรวบรวมข้อมูลมาจากพนักงานประจำเครื่องทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์ และทำการสร้างแผนภูมิขึ้น โดยเลือกใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (แผนภูมิ p) ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย เนื่องจากการตรวจสอบข้อบกพร่องของโรงงานกรณีศึกษาโดยใช้เครื่องทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์ในกระบวนการจำแนกของเสีย โดยรายละเอียดของแผนภูมิควบคุมที่ใช้มีดังนี้

1) ความถี่ในการชักสิ่งตัวอย่าง

เนื่องจากกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาเป็นการผลิตแบบทำตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (Made to order) ซึ่งในการผลิตตามใบสั่งซื้อหนึ่งๆ จำเป็นต้องมีการปรับตั้งเครื่องจักรใหม่ทุกครั้ง เพื่อให้เหมาะสมกับรุ่นและโมเดลตามที่ลูกค้าต้องการ ดังนั้นจึงกำหนดความถี่ของการชักสิ่งตัวอย่างทุกครั้งที่มีใบสั่งซื้อของลูกค้าหรือมีการเดินเครื่องจักรสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่นซาสต้า

2) ขนาดตัวอย่าง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่ากระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาเป็นการผลิตแบบทำตามคำสั่งซื้อของลูกค้า และรายการผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษามีจำนวนไม่มากนัก ซึ่งโดยเฉลี่ยผลิตภัณฑ์รุ่นซาสต้าจะมีการผลิตทุกวัน ดังนั้นการสร้างแผนภูมิควบคุมกระบวนการผลิต

ในช่วงที่นำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติจึงเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียในแต่ละวัน โดยขนาดตัวอย่างมากกว่า 1,500 ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขึ้นไป

3) วิธีการวัด

พนักงานหน้าเครื่องทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์จะบันทึกข้อมูลผลผลิตและชิ้นงานของเสียที่หน้าเครื่องทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์ เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลต่อ

4) กฎการตัดสินใจ

กฎในการตัดสินใจเกี่ยวกับลักษณะ รูปแบบของข้อมูลในแผนภูมิควบคุมที่บ่งบอกถึงสภาวะของกระบวนเขียนและทดสอบสัญญาณที่มีแนวโน้มว่าจะออกนอกการควบคุม ได้แก่

1. Out of control คือ มีจุดใดจุดหนึ่งหรือมากกว่าออกนอกขีดจำกัดการควบคุมของแผนภูมิควบคุม

2. Run พิจารณาจาก

- มีจำนวนจุด 7 จุดอย่างต่อเนื่องของแผนภูมิควบคุมอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกลางของแผนภูมิควบคุม
- มีจำนวนจุด 6 จุดต่อเนื่องของแผนภูมิควบคุมอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของแผนภูมิควบคุม โดยที่มีความสอดคล้องกับเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งต่อไปนี้

- มีจุดอย่างน้อย 10 จุดใน 11 จุดต่อเนื่องอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกลางของแผนภูมิควบคุม

- มีจุดอย่างน้อย 12 จุดใน 14 จุดต่อเนื่องอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกลางของแผนภูมิควบคุม

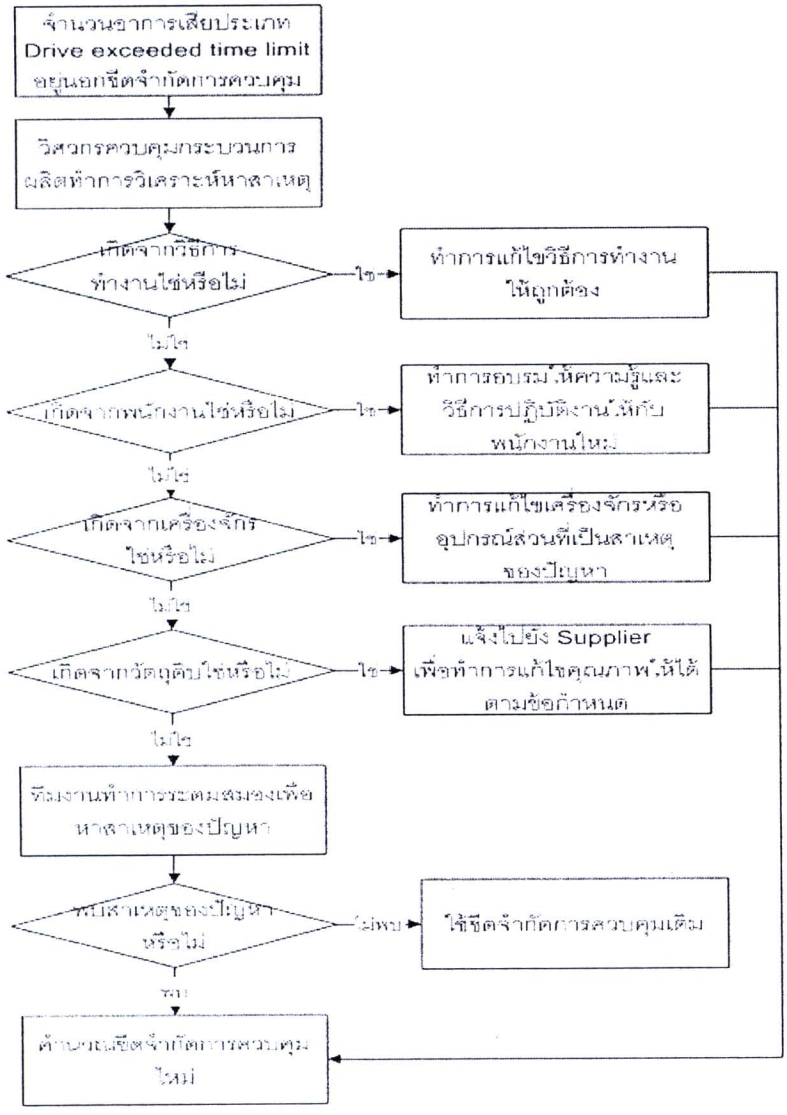
- มีจุดอย่างน้อย 16 จุดใน 20 จุดต่อเนื่องอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกลางของแผนภูมิควบคุม

3. Trend หรือแนวโน้ม พิจารณาจากการที่กราฟแสดงจุด 7 จุดต่อเนื่อง เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างต่อเนื่องในแผนภูมิควบคุม โดยมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงระดับทีละน้อย

4. Cycle หรือ วัฏจักร คือรูปแบบที่แสดงถึงการขึ้นลงของข้อมูลอย่างมีระบบในคาบเวลาที่เท่ากัน

5) แผนการแก้ไขและป้องกันเมื่อเกิดสภาวะออกนอกการควบคุม

ถ้ามีจุดใดออกนอกขีดจำกัดการควบคุม (Out of control) ของแผนภูมิควบคุมแล้ว ต้องหาค่าความผันแปรที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติให้ได้ เพื่อป้องกันไม่ให้สาเหตุดังกล่าวเกิดขึ้นอีก โดยขั้นตอนการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อทำให้กระบวนการเข้าสู่สภาวะการควบคุมโดยเร็ว มีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 6.23




รูปที่ 6.23 แผนการแก้ไขและป้องกันเมื่อเกิดสภาวะออกนอกการควบคุม

### 6.4.6 การประเมินผลการปฏิบัติงาน

หลังจากที่ได้นำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ วิศวกรควบคุมกระบวนการผลิตเป็นผู้รวบรวมข้อมูลของเสียของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคล รุ่นซาสต้า ประกอบกับแผนภูมิควบคุมกระบวนการผลิตที่สร้างขึ้นสำหรับนำมาใช้ประเมินผลจากการนำขั้นตอนการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ และทำการสรุปผลข้อมูลที่ได้ภายในที่ประชุมของทีมงาน

## 6.5 สรุปผลระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

สำหรับบทนี้ได้ทำการหาวิธีการสำหรับนำมาใช้แก้ปัญหา โดยเริ่มจากการเสนอแนะวิธีการแก้ปัญหาของสาเหตุหลักที่ผ่านการคัดเลือกจากระยะการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาจากบทที่ 5 จากนั้นจึงทำการจัดกลุ่มวิธีการดังกล่าวเข้าด้วยกันโดยใช้แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง จนสามารถได้วิธีการแก้ปัญหาหลักๆ 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรกคือ การออกแบบการทดลองสำหรับแก้ปัญหาเรื่องค่าการปรับตั้งค่าความเร็วรอบในการขันสกรู (RPM) แรงในการขันสกรูบนเครื่องขันสกรูฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Torque) และค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม (Pressure) ไม่เหมาะสม ซึ่งทำให้ทราบถึงค่าของการปรับตั้งปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดจำนวนของเสียจากอาการ Drive exceeded time limit บนผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ รุ่นซาสต้าน้อยที่สุด ได้แก่ ค่าความเร็วรอบในการขันสกรู (RPM) มีค่าเท่ากับ 1,200 rpm. แรงในการขันสกรู (Torque) มีค่าเท่ากับ 4 in.lb. และค่าความดันของเครื่องอัดก๊าซฮีเลียม (Pressure) มีค่าเท่ากับ 1.2 atm. โดยอาศัยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น ทำให้สามารถประมาณค่าของตัวแปรตอบสนองหลังการปรับระดับปัจจัยดังกล่าว และขั้นตอนที่สอง คือ การสร้างระเบียบวิธีการปฏิบัติงานโดยใช้แนวคิดลีน ในการจัดการปัญหาเรื่องการจัดเก็บและจัดการ WIP ในกระบวนการผลิต ปัญหาเรื่องระยะทางในการขนส่งและเคลื่อนย้ายงาน และปัญหาเรื่องการสร้างระเบียบวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการอัดก๊าซฮีเลียมจนนำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเข้าทดสอบในตู้ทดสอบเอ็กคาร์ลิเบอร์ที่ถูกต้องขึ้นมา เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาพนักงานขาดการฝึกอบรมวิธีการทำงาน