

บทที่ 3

กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

3.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้เข้าใจถึงส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในแต่ละขั้นตอนของกรณีศึกษา
2. เพื่อให้เข้าใจลักษณะความแปรปรวนรอบเวลาการผลิตที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรแต่ละเครื่องของสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และเข้าใจถึงผลกระทบจากความแปรปรวนรอบเวลาการผลิตที่เกิดขึ้นต่อผลผลิตที่ได้จริงจากสายการประกอบ โดยอาศัยการอธิบายด้วยทฤษฎีไดซ์เกม (Dice game theory)

3.2 บทนำ

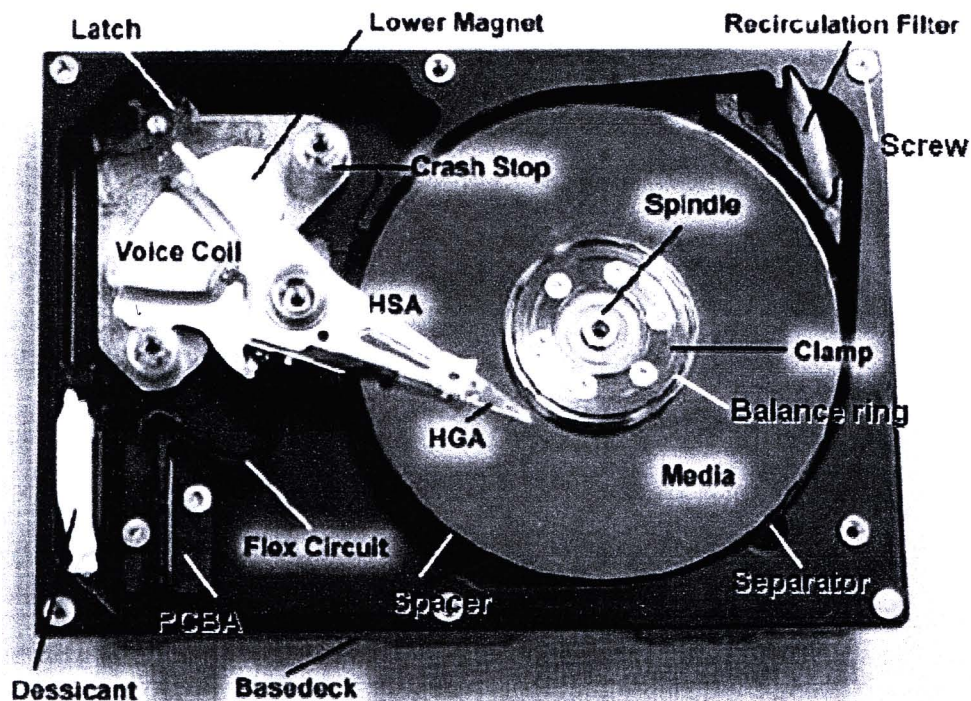
ชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะถูกประกอบด้วยสายการประกอบอัตโนมัติ โดยสายการประกอบประกอบไปด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติทั้งหมด 38 เครื่องจักร โดยแต่ละเครื่องจักรมีหน้าที่ในการประกอบชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเข้าไปในฐานรองฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งสายการประกอบกรณีศึกษานี้ได้ถูกออกแบบไว้ให้มีรอบเวลาการผลิตอยู่ที่ 4.5 วินาที ซึ่งจากข้อมูลรอบเวลาการผลิตของแต่ละเครื่องจักรพบว่า มีความแปรปรวนเกิดขึ้นกับรอบเวลาการผลิตแต่ละรอบของแต่ละเครื่องจักร โดยข้อมูลรอบเวลาการผลิตมีการกระจายตัวของข้อมูลไปทางด้านที่มากกว่าค่าเฉลี่ยมากกว่าทางด้านที่น้อยกว่าค่าเฉลี่ย จากข้อมูลที่ได้อธิบายในหัวข้อ 1.1

ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลรอบเวลาการผลิตลักษณะนี้ ส่งผลต่อจำนวนชิ้นงานที่ทำได้จริงของสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลดลง โดยจากการศึกษาทฤษฎีไดซ์เกมส์ที่ได้สร้างแบบจำลองของสายการประกอบ และทำการทดลองโดยให้เกิดความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิตจากน้อยไปหามาก โดยที่ตัวแปรอื่นคือ ค่าเฉลี่ยรอบเวลาการผลิต ประสิทธิภาพของเครื่องจักร มีค่าคงที่ ซึ่งผลที่ได้คือเมื่อความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิตเพิ่มมากขึ้น จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้จากสายการประกอบจะมีค่าลดลง (Elisabeth and Michael, 2005)

3.3 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive) ที่มีสาขาในประเทศไทย และโรงงานสาขาตามภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก โรงงานแห่งนี้แบ่งการผลิตเป็น 4 ขั้นตอนคือ ส่วนงานผลิตหัวอ่าน-เขียน (Slider Process) ส่วนงานประกอบหัวอ่าน-เขียนเข้ากับแกนอ่าน (Head Gimbals Assembly Process) ส่วนงานประกอบหัวอ่าน-เขียนหลายอันเข้า

ด้วยกัน (Head Stack Assembly Process) ส่วนงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive Assembly Process) ในกรณีศึกษานี้จะมุ่งเน้นไปที่ส่วนงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อลดความแปรปรวนรอบเวลาการผลิตของเครื่องจักรในสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จึงเป็นเรื่องจำเป็นที่ต้องทราบข้อมูลเบื้องต้นของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ส่วนประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 คือ



รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบภายในของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

1. ฐานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ประกอบมอเตอร์ (Basedock) คือตัวฐานรองฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ประกอบเข้ากับมอเตอร์เรียบร้อยแล้ว ทำหน้าที่เป็นฐานเพื่อรองรับอุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ส่วนตัวมอเตอร์มีหน้าที่ในการหมุนจานแม่เหล็ก (Media)
2. จานแม่เหล็ก (Media) คือ จานแม่เหล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บข้อมูลทางสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า
3. สเปเซอร์ (Spacer) คือวงแหวนที่ทำหน้าที่วางคั่นระหว่างจานแม่เหล็กแต่ละแผ่น
4. เซปারেเตอร์ (Separator) ทำหน้าที่ในการบังคับทิศทางและแรงลมในขณะที่จานแม่เหล็กหมุนอยู่ ตำแหน่งจะอยู่ระหว่างจานแม่เหล็กแต่ละแผ่น
5. แคลมป์ (Clamp) ทำหน้าที่ยึดจานแม่เหล็กให้อยู่สมดุลกับฐาน

6. วงแหวนถ่วงน้ำหนัก (Balance ring) ทำหน้าที่ถ่วงน้ำหนักสร้างความสมดุลในการหมุนจานแม่เหล็ก
7. ตัวเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กด้านล่าง (Lower magnet: LVCM) ทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำและควบคุมทิศทางการสนามแม่เหล็กในส่วนล่างที่ไหลผ่านแกนทองแดงของตัวบันทึกและอ่านข้อมูล (HSA)
8. ตัวบันทึกและอ่านข้อมูล (Head stack assembly: HSA) ทำหน้าที่เป็นตัวบันทึกและอ่านข้อมูลจากจานแม่เหล็กผ่านทางสัญญาณไฟฟ้า
9. ตัวเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กด้านบน (Upper voice coil magnet: UVCN) ทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำและควบคุมทิศทางการสนามแม่เหล็กในส่วนบนที่ไหลผ่านแกนทองแดงของ HAS
10. ชุดระบายความชื้นและดูดซับฝุ่น (Recirculating filter) ทำหน้าที่ในการระบายความชื้น และดูดซับฝุ่นที่มีอนุภาคขนาดเล็กระดับไมครอน
11. ฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Top cover) ทำหน้าที่ในการปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หลังจากประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เสร็จ
12. สกรู (Screw) หรือ ตะปูควง ทำหน้าที่ในการยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
13. สติกเกอร์ (Seal) มีลักษณะคล้ายป้ายกาวย ใช้ปิดตามร่องการขันตะปูควง ทำหน้าที่ในการป้องกันความชื้นและฝุ่นผงภายนอกไม่ให้เข้าสู่ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
14. แผงวงจร (Printed circuit board assembly: PCBA) คือ วงจรไฟฟ้าที่ติดตั้งเพื่อควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

3.4 ขั้นตอนผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ กระบวนการประกอบชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในห้องสะอาด (Cleanroom process) และกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Backend process)

3.4.1 กระบวนการประกอบชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในห้องสะอาด (Cleanroom process)

คือกระบวนการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เข้าด้วยกันโดยจะนำชิ้นส่วนที่ล้างได้มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำบริสุทธิ์ มาทำการล้างและอบแห้งเพื่อขจัดฝุ่นที่ติดมากับชิ้นส่วน ส่วนชิ้นส่วนที่ไม่สามารถล้างได้ก็จะนำเข้าไปประกอบได้เลยเพราะทำความสะอาดมา

จากขบวนการของผู้จัดตั้งขึ้นส่วนแล้ว โดยจะประกอบขึ้นส่วนเข้าด้วยกันโดยเครื่องจักรอัตโนมัติทั้งหมด 38 เครื่องจักร ดังแสดงขั้นตอนการประกอบขึ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในห้องสะอาด (Cleanroom process) ตามรูปภาพที่ 3.2

กระบวนการผลิตในห้องสะอาด	
เครื่องจักรใส่ฐานรองฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สู่สายงานการประกอบ BDL (Basedeck Load)	○
เครื่องจักรประกอบตัวเหนียวนำสนามแม่เหล็กด้านล่าง LVI (LVCM Install)	○
เครื่องจักรยึดตัวเหนียวนำสนามแม่เหล็กด้านล่างด้วยสกรู VS1 (LVCM Screw Install)	○
เครื่องจักรยึดตัวเหนียวนำสนามแม่เหล็กด้านล่างด้วยสกรู VS2 (LVCM Screw Install)	○
เครื่องจักรประกอบชุดระบายความชื้น BFI (Breather Filter Install)	○
เครื่องจักรวัดชุดระบายความชื้น BFV (Breather Filter Verify)	□
เครื่องจักรประกอบจานแม่เหล็กและสเปเซอร์ DSI (Disc and Spacer Install)	○
เครื่องจักรประกอบแคลมป์ CSI1 (Clamp Install)	○
เครื่องจักรประกอบแคลมป์ CSI2 (Clamp Install)	○
เครื่องจักรยึดเซปারেเตอร์ด้วยสกรู SS1 (Separator Screw Install)	○
เครื่องจักรยึดเซปারেเตอร์ด้วยสกรู SS2 (Separator Screw Install)	○
เครื่องจักรยึดเซปারেเตอร์ด้วยสกรู SS3 (Separator Screw Install)	○
เครื่องจักรยึดเซปারেเตอร์ด้วยสกรู SS4 (Separator Screw Install)	○
เครื่องจักรวัดระนาบจานแม่เหล็กและวงแหวนถ่วงน้ำหนัก BLM1 (Balance Measurement)	○
เครื่องจักรวัดระนาบจานแม่เหล็กและวงแหวนถ่วงน้ำหนัก BLM2 (Balance Measurement)	○
เครื่องจักรวัดระนาบจานแม่เหล็กขั้นสุดท้าย BLV1 (Balance Verify)	□
เครื่องจักรวัดระนาบจานแม่เหล็กขั้นสุดท้าย BLV2 (Balance Verify)	□
เครื่องจักรยึดเซปারেเตอร์ด้วยสกรู SS21 (Separator Screw Install)	○
เครื่องจักรยึดเซปারেเตอร์ด้วยสกรู SS21 (Separator Screw Install)	○
เครื่องจักรประกอบตัวบันทึกและอ่านข้อมูล HSI1 (HSA Install)	○
เครื่องจักรประกอบตัวบันทึกและอ่านข้อมูล HSI2 (HSA Install)	○
เครื่องจักรยึดแผงวงจรของตัวบันทึกและอ่านข้อมูลด้วยสกรู FS1 (Flex screw Install)	○
เครื่องจักรยึดแผงวงจรของตัวบันทึกและอ่านข้อมูลด้วยสกรู FS2 (Flex screw Install)	○
เครื่องจักรมัลติตัวบันทึกและอ่านข้อมูลให้อยู่บนจานแม่เหล็ก HMM1 (Head Media Merge)	○
เครื่องจักรมัลติตัวบันทึกและอ่านข้อมูลให้อยู่บนจานแม่เหล็ก HMM2 (Head Media Merge)	○
เครื่องจักรประกอบตัวเหนียวนำสนามแม่เหล็กด้านบน UVI (UVCN Install)	○
เครื่องจักรยึดตัวเหนียวนำสนามแม่เหล็กด้านบนด้วยสกรู VS3 (UVCN Screw Install)	○
เครื่องจักรประกอบชุดดูดซับฝุ่น RFI (Recirculating Filter Install)	○

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการประกอบขึ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในห้องสะอาด

เครื่องจักรประกอบฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ TCI (Top Cover Install)	
เครื่องจักรยึดฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยสกรูที่1 (Top Cover Screw Install 1)	
เครื่องจักรยึดฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยสกรูที่2 (Top Cover Screw Install 2)	
เครื่องจักรยึดฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยสกรูที่3 (Top Cover Screw Install 3)	
เครื่องจักรยึดฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยสกรูที่4 (Top Cover Screw Install 4)	
เครื่องจักรยึดฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยสกรูที่5 (Top Cover Screw Install 5)	
เครื่องจักรยึดฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยสกรูที่6 (Top Cover Screw Install 6)	
เครื่องจักรยึดฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยสกรูที่7 (Top Cover Screw Install 7)	
เครื่องจักรยึดฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยสกรูที่8 (Top Cover Screw Install 8)	
เครื่องจักรยึดฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยสกรูที่9 (Top Cover Screw Install 9)	

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในห้องสะอาด (ต่อ)

3.4.2 กระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Backend process)

เป็นกระบวนการทดสอบความสามารถทางไฟฟ้า การอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และการบรรจุหีบห่อก่อนส่งมอบให้กับลูกค้า ดังแสดงขั้นตอนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Backend process) ตามรูปภาพที่ 3.3

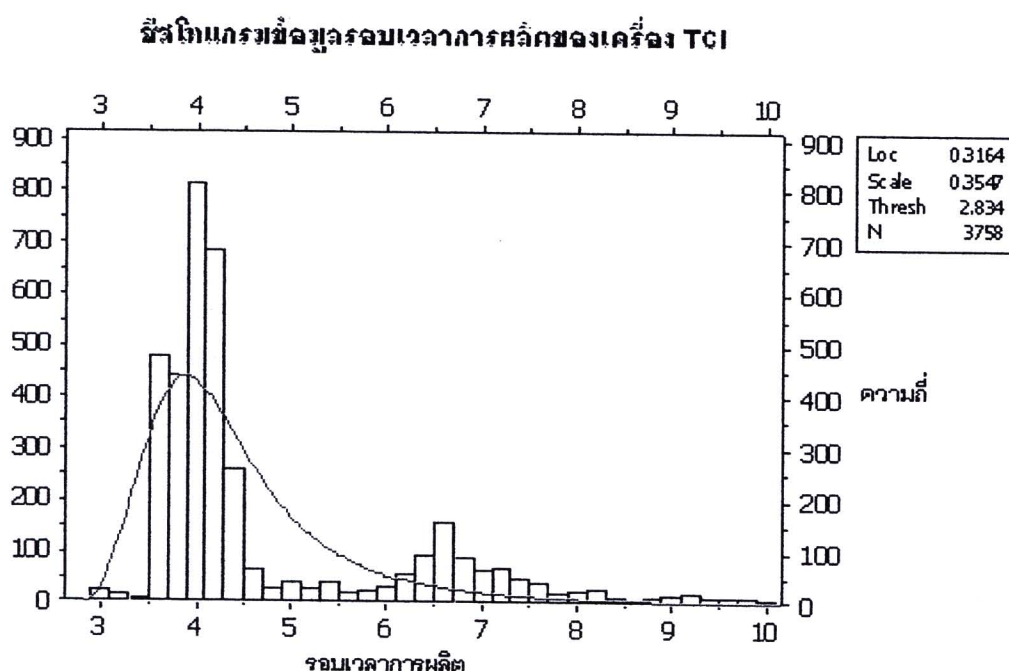
กระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	
เครื่องจักรใส่แผ่นฉนวนและแผงวงจร (Insulator and TOPCOVER Load)	
เครื่องจักรยึดแผงวงจรด้วยสกรูที่1 (PCBA Screw Install 1)	
เครื่องจักรยึดแผงวงจรด้วยสกรูที่2 (PCBA Screw Install 2)	
เครื่องจักรยึดแผงวงจรด้วยสกรูที่3 (PCBA Screw Install 3)	
เครื่องจักรยึดแผงวงจรด้วยสกรูที่4 (PCBA Screw Install 4)	
เครื่องจักรยึดแผงวงจรด้วยสกรูที่5 (PCBA Screw Install 5)	
เครื่องจักรยึดแผงวงจรด้วยสกรูที่6 (PCBA Screw Install 6)	
เครื่องจักรทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Gemini Test Process)	
เครื่องจักรติดสติ๊กเกอร์ (Label Install)	
เครื่องจักรตรวจชิ้นสุดท้าย (Final Visual Inspection)	
เครื่องจักรบรรจุหีบห่อ (Packing)	

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

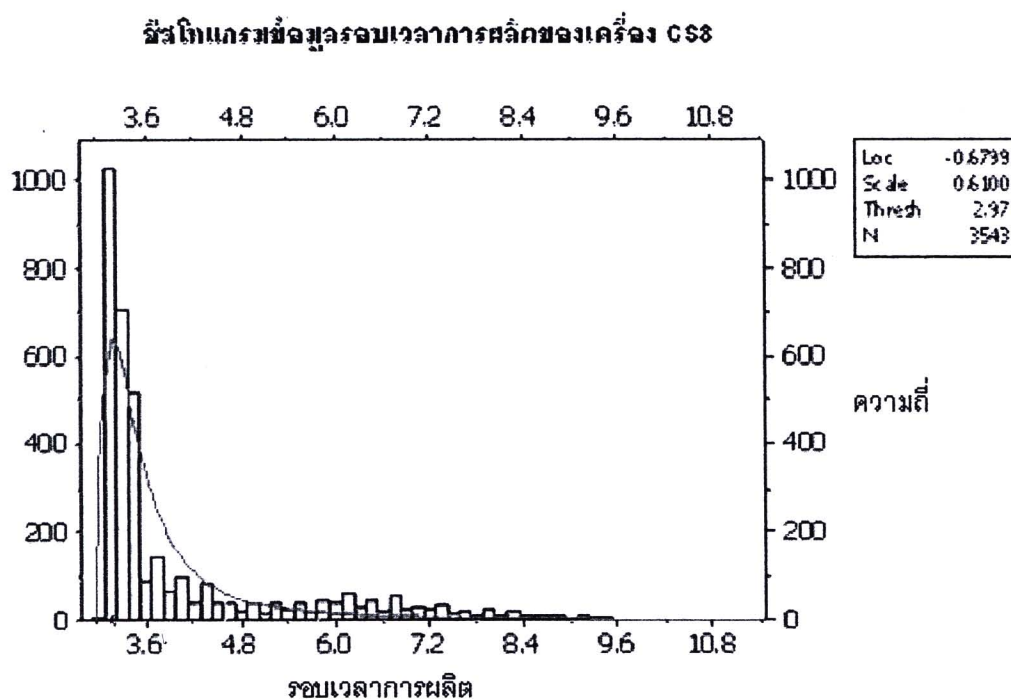
3.5 ผลกระทบจากความแปรปรวนรอบเวลาการผลิตต่อสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

3.5.1 ความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิตสายงานการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (C)

เนื่องจากขั้นตอนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต้องการความละเอียดสูง จำนวนเครื่องจักรในสายงานการประกอบมีถึง 38 เครื่องจักร อีกทั้งรอบเวลาการผลิตที่ถูกออกแบบให้มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับสายการประกอบอื่น ๆ ในโรงงานกรณีศึกษา คือ 4.5 วินาที ความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิตจึงมีผลต่อกำลังการผลิตของสายงานการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะมีสาเหตุความแปรปรวนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการของเครื่องจักรนั้น ๆ โดยเมื่อนำข้อมูลของรอบเวลาการผลิตของเครื่องจักรตัวอย่าง 2 เครื่องจากทั้งหมด 38 เครื่องคือ เครื่องประกอบฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Top Cover Install) และเครื่องยึดฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยสกรูที่ 8 (Top Cover Screw Install 8) มาทำการพล็อตด้วยฮิสโทแกรม (Histogram) จะได้ข้อมูลดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลรอบเวลาการผลิตของเครื่องประกอบฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Top Cover Install)



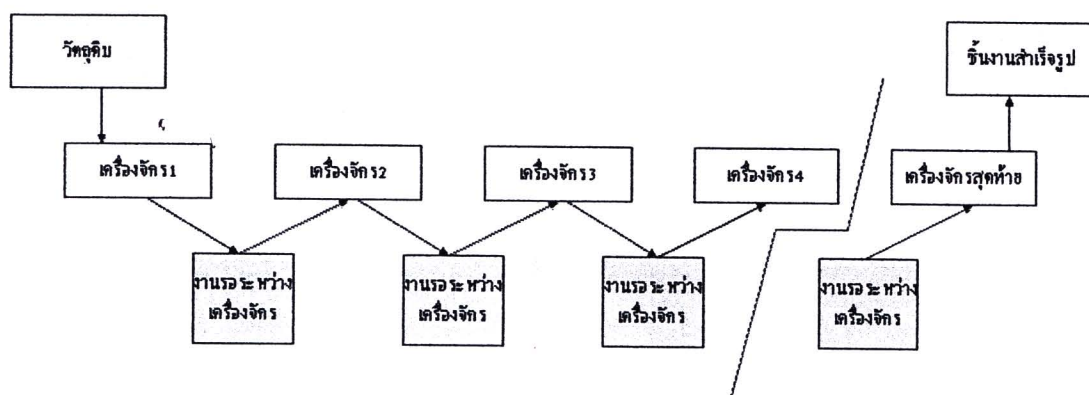
รูปที่ 3.5 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลรอบเวลาการผลิตของเครื่องยึดฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วย
สกรูที่ 8 (Top Cover Screw Install 8)

เมื่อนำข้อมูลดิบของรอบเวลาการผลิตของชิ้นงานที่ผ่านเครื่องจักรทั้งสองเครื่อง มาพล็อตด้วยกราฟฮิสโทแกรมจะเห็นว่ารอบเวลาการผลิตของเครื่องจักรทั้งสอง จะมีค่าเฉลี่ย (Mean) อยู่ที่ประมาณ 3.5-5 วินาทีและมีจำนวนประชากรส่วนมากของข้อมูลอยู่ที่ค่าเฉลี่ย ซึ่งก็มีข้อมูลบางส่วนที่กระจายตัวออกไปทั้งทางด้านมากกว่าและต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งก็คือความแปรปรวน (Variance) ของรอบเวลาการผลิตของเครื่องจักรนั่นเอง จากกราฟฮิสโทแกรมจะเห็นว่าจำนวนข้อมูลที่กระจายตัวออกไปทั้งทางด้านมากกว่าค่าเฉลี่ยจะมีจำนวนของข้อมูลสูงกว่าทางด้านน้อยกว่าค่าเฉลี่ย การที่มีความแปรปรวนรอบเวลาการผลิตของเครื่องจักรลักษณะนี้ย่อมทำให้ค่าเฉลี่ยรอบเวลาการผลิตของเครื่องจักรมากขึ้น และส่งผลต่อกำลังการผลิตที่ได้จริงของสายการประกอบลดลง

3.5.2 ผลกระทบจากความแปรปรวนรอบเวลาการผลิตต่อจำนวนชิ้นงานที่ทำได้ของสายการประกอบ

ความแปรปรวนรอบเวลาการผลิตที่เกิดขึ้นของแต่ละเครื่องจักรในสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ส่งผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้จริงจากสายการประกอบ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากทฤษฎีไดซ์เกม (Dice game theory) (Elisabeth and Michael, 2005) ซึ่งทฤษฎีนี้เป็นการจำลองการทำงานของสายการประกอบที่มีเครื่องจักรเรียงตัวกันเป็นลำดับขั้น

และมีพื้นที่ในการเก็บงานระหว่างขบวนการผลิต (Work in process) ระหว่างเครื่องจักร โดยเมื่อชิ้นงานถูกประกอบเสร็จที่เครื่องจักรที่ 1 ชิ้นงานก็จะเคลื่อนที่มายังพื้นที่ในการเก็บงานรอของเครื่องจักรที่ 2 ถ้าเครื่องจักรที่สองไม่มีชิ้นงานที่กำลังประกอบอยู่ก็จะทำการประกอบชิ้นงานตัวนั้น แต่ถ้าเครื่องจักรที่ 2 ถ้าเครื่องจักรที่สองมีชิ้นงานก่อนหน้านี้ที่กำลังประกอบอยู่ ชิ้นงานตัวนั้นก็จะต้องรอจนชิ้นงานก่อนหน้านี้ประกอบเสร็จ จึงสามารถเคลื่อนที่ไปยังเครื่องจักรที่ 2 ได้ โดย พื้นที่ในการเก็บงานระหว่างขบวนการผลิตจะมีจำนวนจำกัด ซึ่งถ้าพื้นที่เก็บงานรอเต็ม งานจากเครื่องจักรเครื่องก่อนหน้าก็ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปได้จนกว่าจะมีที่ว่างเกิดขึ้น ซึ่งสามารถเขียนแผนภาพแบบจำลองของสายการประกอบได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงแผนภาพแบบจำลองของสายการประกอบ

จากทฤษฎีไดซ์เกม (Dice game theory) ที่ได้สร้างแบบจำลองของสายการประกอบ และทำการทดลองโดยให้เกิดความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิตจากน้อยไปหามาก โดยที่ตัวแปรอื่นคือ ค่าเฉลี่ยรอบเวลาการผลิต ประสิทธิภาพของเครื่องจักร มีค่าคงที่ ซึ่งผลที่ได้คือเมื่อความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิตเพิ่มมากขึ้น จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้จากสายการประกอบจะมีค่าลดลง ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิตของเครื่องจักรในสายประกอบกับจำนวนชิ้นงานที่ทำได้จริงดังนี้

$$\text{จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้จริง} \propto \frac{1}{\text{ความแปรปรวนรอบเวลาการผลิตของเครื่องจักรในสายประกอบ}}$$

เมื่อตัวแปรอื่นมีค่าคงที่

จากแบบจำลองของทฤษฎีไดซ์เกม ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีลักษณะเหมือนกับสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของบริษัทกรณีศึกษา ที่มีเครื่องจักรหลายเครื่องในสายการประกอบ และมีพื้นที่ว่างสำหรับงานระหว่างเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่อยู่ติดกันจำกัด จึงสามารถสรุปได้ว่าความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิตของเครื่องจักรในสายการประกอบย่อมส่งผลจำนวนชิ้นงาน

ที่ทำได้จริงในสายการประกอบลดลง ดังนั้นการการปรับปรุงโดยลดความแปรปรวนรอบเวลาการผลิตของเครื่องจักรในสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จะส่งผลต่อจำนวนชิ้นงานที่ทำได้จริงของสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มากขึ้นเช่นกัน

3.6 บทสรุป

ขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ กระบวนการประกอบชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในห้องสะอาด (Cleanroom process) และกระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Backend process) โดยกระบวนการที่เป็นปัญหาในกรณีศึกษาคือ กระบวนการประกอบชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จะประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกันโดยเครื่องจักรอัตโนมัติทั้งหมด 38 เครื่องจักร

จากการศึกษารอบเวลาการผลิตของเครื่องจักรในสายการประกอบพบว่า รอบเวลาการผลิตของเครื่องจักรทั้งสอง จะมีค่าเฉลี่ย (Mean) อยู่ที่ประมาณ 3.5-5 วินาทีและมีจำนวนประชากรส่วนมากของข้อมูลอยู่ที่ค่าเฉลี่ย แต่จะเห็นว่าจำนวนข้อมูลที่กระจายตัวออกไปทางด้านมากกว่าค่าเฉลี่ยจะมีจำนวนของข้อมูลสูงกว่าทางด้านน้อยกว่าค่าเฉลี่ย การที่มีความแปรปรวนรอบเวลาการผลิตของเครื่องจักรลักษณะนี้ย่อมส่งผลต่อกำลังการผลิตที่ทำได้จริงของสายการประกอบลดลง โดยเปรียบเทียบได้กับการจำลองของทฤษฎีไดซ์เกม ที่ได้สร้างแบบจำลองของสายการประกอบ และทำการทดลองโดยให้เกิดความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิตจากน้อยไปหา มาก โดยที่ตัวแปรอื่นคือ ค่าเฉลี่ยรอบเวลาการผลิต ประสิทธิภาพของเครื่องจักร มีค่าคงที่ ซึ่งผลที่ได้คือเมื่อความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิตเพิ่มมากขึ้น จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้จากสายการประกอบจะมีค่าลดลง