

การประยุกต์วิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมาในกระบวนการติดยึดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF VALUE ENGINEERING AND SIX SIGMA
IN HEAD STACK ASSEMBLY TAIL TACKING PROCESS

Miss Primtheera Pimpanont



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

พริมพีธีรา พิมพานนท์ : การประยุกต์วิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมาในกระบวนการติด
ยึดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (APPLICATION OF VALUE ENGINEERING AND
SIX SIGMA IN HEAD STACK ASSEMBLY TAIL TACKING PROCESS) อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร.ปารเมศ ชูติมา, 114 หน้า.

ในสังคมโลกยุคปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลนับว่ามีบทบาทและความสำคัญใน
การอำนวยความสะดวกและตอบสนองความต้องการของมนุษย์ในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ซึ่ง
เทคโนโลยีที่ต้องมีการพัฒนาควบคู่ไปด้วยนั้นก็คือ เทคโนโลยีทางด้านการบันทึกข้อมูล (Data
storage technology) อุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่เป็นที่นิยมใช้ในการเก็บข้อมูลในปัจจุบันนั้นก็คือ
ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HDD) ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลในปัจจุบันจะมุ่งเน้นความสำคัญ
มากในเรื่องการเพิ่มความจุของข้อมูลการลดขนาดของอุปกรณ์ และการเพิ่มความน่าเชื่อถือในการ
บันทึกข้อมูล ในภาวะการแข่งขันที่รุนแรงในปัจจุบันเพื่อให้ธุรกิจสามารถอยู่รอดได้ การลดต้นทุน
รวมทั้งการเพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้านับเป็นสิ่งที่ท้าทายผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในปัจจุบันเป็น
อย่างมาก

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการบูรณาการหลักการวิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering) และ
ซิกซ์ซิกมา (Six Sigma) ในการลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตส่วนประกอบของ
ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ แผนงาน 8 ขั้นตอนซึ่งเกิดจากการบูรณาการหลักการวิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิก
มาได้ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้กรอบแนวคิด แผนงานวิศวกรรมคุณค่าและหลักการ DMAIC และได้ถูก
นำมาประยุกต์ใช้ในกรณีศึกษาในกระบวนการติดยึดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยมี
วัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนในการผลิตโดยที่หน้าที่ของผลิตภัณฑ์ ความน่าเชื่อถือ และ คุณภาพ
ของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลง ผลจากการศึกษาคาดว่าในปี พ.ศ 2558 จะสามารถลดต้นทุน
วัตถุดิบทางอ้อมของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้คิดเป็นมูลค่าคิดเป็นมูลค่า 615,490 เหรียญ
สหรัฐ หรือคิดเป็นร้อยละ 53

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5670938121 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: HEAD STACK ASSEMBLY / VALUE ENGINEERING / SIX SIGMA / COST REDUCTION

PRIMTHEERA PIMPANONT: APPLICATION OF VALUE ENGINEERING AND SIX SIGMA IN HEAD STACK ASSEMBLY TAIL TACKING PROCESS. ADVISOR: PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D., 114 pp.

Demand for data storage devices such as hard disk is rapidly increasing as almost every aspect of modern life has been digitized. The capacity requirement has increased, whereas the size of HDD has to be maintained or reduced. Consequently, the hard disk and its components have been designed to achieve quality and reliability, the key characteristics to HDD's performance. Nowadays, one of the main challenges for storage manufacturer is to reduce operational cost while increasing the customer satisfaction so that the company can survive in the fierce competition.

Recognizing the necessity of continuous improvement, this research has adopted an integrated Value Engineering VE-based and Six Sigma methodology for cost reduction in the manufacturing process of hard disk components. The 8-phase work plans were developed within the framework of the VE and DMAIC methodology, called synergic work plan. This proposed approach has been implemented and validated in a case study, which focused on Head Stack Assembly Tail Tacking Process to reduce cost whereas its functionality and quality are maintained or enhanced. Application results showed that the indirect materials product cost significantly will be decreased total 615,490 US dollars or 53% while the targets of main functionalities have been achieved.

Department: Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากบุคคลจากหลายภาคส่วน ทั้งจากบริษัทกรณีศึกษาและจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ดร.ปารเมศ ชูติมา ที่กรุณารับเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตั้ง แต่แรกเริ่ม รวมทั้ง ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับหัวข้อวิทยานิพนธ์ แนวทางในการเขียนวิทยานิพนธ์ตลอดจนคำแนะนำทางวิชาการ จนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

กราบขอบพระคุณ รศ. จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ ประธานการทำวิจัยฉบับนี้ ร่วมกับ ดร. โอฟาร์ กิตติธีรพรชัย ผู้ซึ่งเป็นกรรมการในการทำวิจัย และ รศ. ดร. วันชัย วิจิรวนิช ผู้ซึ่งเป็นกรรมการภายนอกในการทำวิจัย ที่ได้ให้แนวคิดตลอดจนแนะนำในเนื้อหาและรูปแบบการเขียนวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ให้โอกาสได้ทำการศึกษา เก็บข้อมูล ทำการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูล รวมทั้งทีมงานที่เกี่ยวข้องในการดำเนินแผนงานการทำวิจัยทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้ความร่วมมือในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อน พี่น้องนักศึกษาชั้น ปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ รหัส 56 ทุกคน ที่ช่วยให้การเรียนเป็นไปด้วยความราบรื่น ความสนุกสนานและเป็นกันเอง และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจในการเรียนเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวของผู้เขียนที่สนับสนุนการด้านการศึกษา คอยสนับสนุนและให้กำลังใจทุกเวลาที่เหนื่อยล้าจนการเรียนผ่านพ้นไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ข้อมูลทั่วไปของกรณีศึกษา.....	2
1.1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา.....	2
1.1.2 แผนผังองค์กร	3
1.1.3 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	4
1.1.4 ชุดหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	8
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	10
1.2.1 การสันสะเทือนในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	10
1.2.2 การสันฟุ้งของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	11
1.2.3 Tail Tacking Process	12
1.2.4 ต้นทุนการผลิต (Cost of Production)	18
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	22
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	22
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	23
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	23
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24

2.1	วิศวกรรมคุณค่า.....	24
2.1.1	ประวัติความเป็นมา.....	24
2.1.2	แผนงานวิศวกรรมคุณค่า 7 ขั้นตอนของ Mudge.	26
2.2	ซิกซ์ซิกมา	28
2.3	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
บทที่ 3	การดำเนินงานวิจัย	45
3.1	ขั้นตอนการเตรียมโครงการ.....	46
3.2	ขั้นตอนรวบรวมข้อมูล	47
3.3	ขั้นตอนการวิเคราะห์หน้าที่.....	55
3.3.1	การประเมินหน้าที่.....	55
3.3.2	ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างหน้าที่.....	56
3.3.3	การเปรียบเทียบน้ำหนักและให้น้ำหนักของหน้าที่.....	56
3.4	ขั้นตอนสร้างสรรค์ความคิดและปรับปรุง.....	60
3.5	ขั้นตอนประเมินผล.....	73
บทที่ 4	การทดสอบพหุคูณ การเสนอแนะ และควบคุมการดำเนินงาน	82
4.1	ขั้นตอนทดสอบพหุคูณ.....	82
4.1.1	การทดสอบและพหุคูณการยูวีชนิดใหม่	82
4.1.2	การทดสอบสมมติฐาน.....	83
4.1.2.1	การหาขนาดตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน	83
4.1.2.2	การทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติ (Normality Test).....	84
4.1.3	การทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มปกติ (กรณีประชากรสองชุด).....	88

4.1.4 การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติ (กรณีประชากรสองชุด).....	90
4.2 ขั้นตอนการเสนอแนะ	92
4.3 ขั้นตอนการควบคุม	95
4.3.1 ปรับปรุงเอกสารข้อมูล	95
4.3.2 การกำหนดแผนควบคุม (Control Plan)	97
4.3.2.1 การทดสอบการกระจายตัวแบบปกติ	97
4.3.2.2 การวิเคราะห์แผนภูมิควบคุม	98
4.4 สรุปผลการปรับปรุง	99
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	100
5.1 สรุปผลงานวิจัย	100
5.2 ข้อเสนอแนะ	106
5.3 แนวทางงานวิจัยในส่วนที่สามารถนำไปพัฒนาต่อไป (Further work)	107
รายการอ้างอิง.....	109
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	114

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายวัตถุดิบทางอ้อมที่ใช้ในการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไตร์พระหว่างปี พ.ศ. 2554-2556	20
ตารางที่ 2 แสดงโอกาสของการเกิด Defect ต่อล้านครั้งที่ระดับ Sigma ต่างๆ	32
ตารางที่ 3 แสดงขั้นตอนการทำงานและเครื่องมือคุณภาพในกระบวนการ DMAIC	36
ตารางที่ 4 รายการวัตถุดิบทางอ้อมในส่วนของกาวยูวีที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไตร์พระ.....	47
ตารางที่ 5 คุณสมบัติทั่วไปและคุณลักษณะจำเพาะของผลิตภัณฑ์	50
ตารางที่ 6 แสดงหน้าที่การทำงานของกาวยูวี	55
ตารางที่ 7 อักษรแทนสำหรับแต่ละหน้าที่	56
ตารางที่ 8 แสดงคุณสมบัติจำเพาะของกาวยูวีที่ใช้ปัจจุบัน กาวยูวีชนิดใหม่ และข้อกำหนด	62
ตารางที่ 9 จำนวนหยดกาวยูวีที่นับได้ที่อุณหภูมิห้องและจำนวนที่นับได้ในการใช้งานจริงในกระบวนการ TailTacking.....	67
ตารางที่ 10 สรุปแนวคิดที่ได้จากขั้นตอนสร้างสรรค์ความคิดสำหรับทำหน้าที่ “ลดการสิ้นเปลือง” ..	72
ตารางที่ 11 ต้นทุนต่อหน่วยการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไตร์พระ	73
ตารางที่ 12 ค่า Frequency Response Function ของหัวอ่านเขียน โดยการทดสอบทางโมดัลของแขนอ่านเขียนข้อมูล	80
ตารางที่ 13 ค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร็ค ที่ได้จากการวัดฮาร์ดดิสก์ไตร์พระ ...	85
ตารางที่ 14 แสดงผลการวิจัยดำเนินงานจากการประยุกต์ใช้แผนงานบูรณาการตามแนวทางวิศวกรรมคุณค่าและหลักการซิกซ์ซิกมา	105

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงมูลค่าสินค้าส่งออกที่สำคัญของไทย 10 อันดับแรก ประจำปี พ.ศ. 2556.....	1
รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนหลักของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟของโรงงานกรณีศึกษา	2
รูปที่ 3 แผนผังองค์กรของโรงงานกรณีศึกษา	3
รูปที่ 4 แผนผังองค์กรของหน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม.....	3
รูปที่ 5 ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและส่วนประกอบ.....	4
รูปที่ 6 หัวอ่านและเขียน	5
รูปที่ 7 แชนหัวอ่านและเขียน.....	5
รูปที่ 8 งานแม่เหล็ก.....	6
รูปที่ 9 มอเตอร์หมุนแผ่นแม่เหล็กและฐาน	6
รูปที่ 10 แม่เหล็กเหนียวนำ.....	7
รูปที่ 11 แผ่นวงจร	7
รูปที่ 12 ส่วนประกอบของชุดหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ.....	8
รูปที่ 13 ชุดประกอบหัวอ่านเขียนข้อมูล	8
รูปที่ 14 ส่วนประกอบแชนหัวอ่าน	9
รูปที่ 15 ส่วนประกอบแกนหมุน.....	9
รูปที่ 16 ส่วนประกอบของวงจรไฟฟ้า.....	9
รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างการสันสะเทือนของแชนหัวอ่านและการสันฟุ้งของ TGA.....	13
รูปที่ 18 แผนผังกระบวนการหยุดดาว	14
รูปที่ 19 แผนผังกระบวนการอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต	14
รูปที่ 20 ขั้นตอนการหยุดดาวในกระบวนการ Tail Tacking	16
รูปที่ 21 ขั้นตอนการอบชิ้นงานด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตในกระบวนการ Tail Tacking.....	18
รูปที่ 22 กาวยูวี ที่ใช้ในกระบวนการ Tail Tacking.....	22

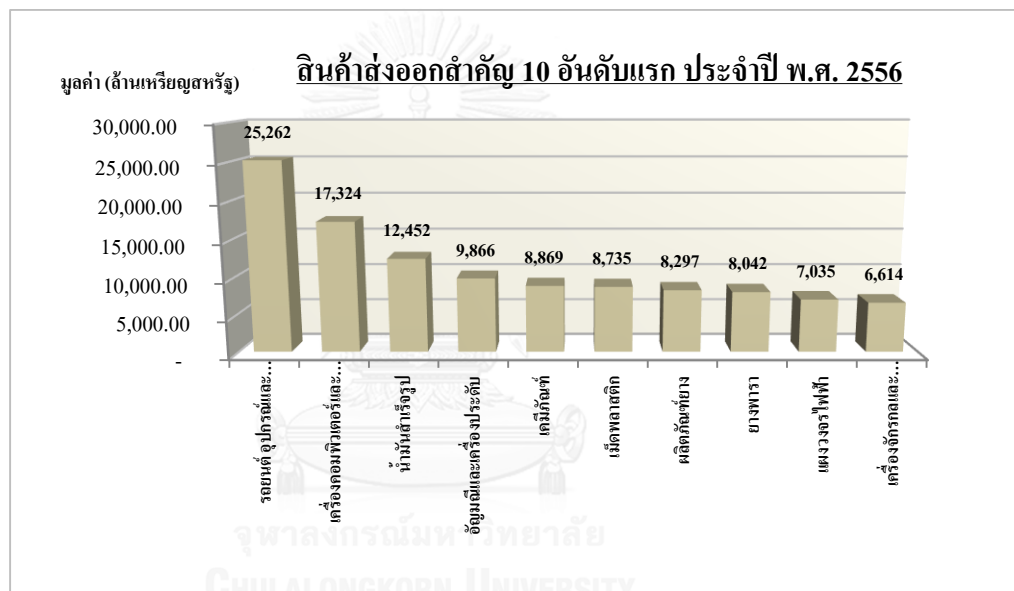
รูปที่ 23	ขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาใน Define Phase	32
รูปที่ 24	ขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาใน Measure Phase.....	33
รูปที่ 25	ขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาใน Analyze Phase	34
รูปที่ 26	ขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาใน Improve Phase.....	35
รูปที่ 27	ขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาใน Control Phase	36
รูปที่ 28	แผนงานบูรณาการตามแผนงานวิศวกรรมคุณค่า 7 ขั้นตอนและขั้นตอนการ ดำเนินงาน DMAIC.....	45
รูปที่ 29	ทีมงานแผนงานบูรณาการ.....	46
รูปที่ 30	สัดส่วนต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมในกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	48
รูปที่ 31	UV Curing Adhesive Product Data Sheet.....	49
รูปที่ 32	กระบวนการ Tail Tacking	52
รูปที่ 33	แผนผังกระบวนการหยุดคาว	53
รูปที่ 34	แผนผังกระบวนการอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต	53
รูปที่ 35	ข้อมูลจำนวนการยูวี (หลอด) ที่ถูกใช้ไปในกระบวนการ Tail Tacking เทียบกับข้อมูล ที่คาดการณ์	54
รูปที่ 36	การให้ระดับความสำคัญของหน้าที่.....	57
รูปที่ 37	การเปรียบเทียบและให้นำหนักของแต่ละหน้าที่	58
รูปที่ 38	กราฟประเมินหน้าที่เชิงเลขของกาวยูวี	59
รูปที่ 39	แบบฟอร์มสรุปการประเมินหน้าที่ของกาวยูวี.....	59
รูปที่ 40	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนและความหนืดของของเหลว.....	66
รูปที่ 41	เครื่องนับหยดกาวอัตโนมัติ (Automatic Dispensing Counter)	66
รูปที่ 42	แสดงลักษณะของ TGA ก่อนและหลังการปรับปรุง	68
รูปที่ 43	ตำแหน่งของ Flapper ปัจจุบันและทิศทางการเคลื่อนที่ในการติดตั้งตำแหน่ง Flapper ใหม่.....	69

รูปที่ 44 ระยะห่างของ Flapper ที่วัดจาก เส้นอ้างอิงการวัดตำแหน่งของแนวแกนหมุนของ หัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	70
รูปที่ 45 โครงสร้างของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก่อนและหลังปรับปรุง.....	71
รูปที่ 46 อุปกรณ์การทดสอบหาความถี่ธรรมชาติของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	76
รูปที่ 47 แสดง Finite Element ของการสั่นสะเทือนของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	79
รูปที่ 48 แบบจำลองการเขียนนอกนอกแทร็ค.....	82
รูปที่ 49 Power and Sample Size.....	84
รูปที่ 50 Power Curve for 2-Sample t Test.....	84
รูปที่ 51 การแจกแจงของข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ซึ่งใช้การยูวีชนิดเดิม	87
รูปที่ 52 การแจกแจงของข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ซึ่งใช้การยูวีชนิดใหม่.....	87
รูปที่ 53 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม(1).....	89
รูปที่ 54 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม (2).....	89
รูปที่ 55 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม Minitab 17 ในการทดสอบทางสถิติ Two-Sample T-Test ...	90
รูปที่ 56 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบสมมติฐานโดยการทดสอบทางสถิติ	91
รูปที่ 57 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบสมมติฐานโดยการทดสอบทางสถิติ	92
รูปที่ 58 ค่าใช้จ่ายของต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมในส่วนของกาวยูวี ที่คาดว่าจะลดลงในปี พ.ศ. 2558	93
รูปที่ 59 แบบฟอร์มเสนอแนะสำหรับการใช้การยูวีในกระบวนการ TailTacking.....	94
รูปที่ 60 ตัวอย่างเอกสารบันทึกข้อมูลการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต	96
รูปที่ 61 การแจกแจงของข้อมูลมูลค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร็ค	98
รูปที่ 62 แผนภูมิควบคุม Xbar – S ของค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร็ค ของ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	99

บทที่ 1

บทนำ

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อภาคการส่งออกของประเทศไทย และไทยจัดได้ว่าเป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สำคัญของโลก ข้อมูลจากศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร ประจำปี พ.ศ. 2556 ดังรูปที่ 1 ระบุว่า อิเล็กทรอนิกส์กลุ่มคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ เป็นกลุ่มสินค้าที่มีสัดส่วนมูลค่าการส่งออกสูงสุดถึงร้อยละ 15 คิดเป็นมูลค่าการส่งออกเท่ากับ 17,324 ล้านดอลลาร์สหรัฐ



รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงมูลค่าสินค้าส่งออกที่สำคัญของไทย 10 อันดับแรก ประจำปี พ.ศ. 2556

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร ประจำปี พ.ศ. 2556

สินค้าหลักของอิเล็กทรอนิกส์กลุ่มนี้ คือ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยประเทศไทยมีสัดส่วนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สูง เป็นอันดับ 2 ของโลกรองจากจีน อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของประเทศไทย นอกจากเป็นผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสำคัญต่อภาคการส่งออกของประเทศไทยแล้ว ประเทศไทยยังถูกจัดว่าเป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ที่สำคัญของโลกอีกด้วย เหตุผลสำคัญที่ผู้ผลิตเหล่านี้จะเลือกลงทุนในประเทศไทยนั้น เนื่องด้วยสาธารณูปโภคพื้นฐานที่เอื้อต่อการผลิตและเป็นศูนย์กลางของภูมิภาค ปัจจัยด้านบุคคลากรที่มีความสามารถ มาตรการจูงใจของ

คณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน ช่องทางการตลาดและอุตสาหกรรมสนับสนุน รวมทั้งต้นทุนในการผลิต การผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศมีการเพิ่มและขยายตัวอย่างต่อเนื่อง การแข่งขันด้านราคาและเทคโนโลยีที่สูง ทำให้ผู้ประกอบการต้องปรับตัวรับการแข่งขันด้วยการพัฒนาสินค้าที่มีคุณภาพ และบริหารต้นทุนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อคงความสามารถทางการแข่งขัน

1.1 ข้อมูลทั่วไปของกรณีศึกษา

1.1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานของกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และโซลูชันสำหรับจัดเก็บข้อมูลชั้นนำของโลก โดยโรงงานแห่งนี้ถือเป็นแคมปัส (Campus) ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลก ทำหน้าที่ผลิตสไลเดอร์ ประกอบชุดหัวอ่าน-เขียน (Head Gimbal Assembly ; HGA) และชุดหัวอ่าน-เขียนสำเร็จรูป (Head Stack Assembly ; HSA) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังรูปที่ 2



(ก) หัวอ่าน-เขียนข้อมูล (ข) ชุดหัวอ่าน-เขียนสำเร็จรูป (ค) ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สำเร็จรูป

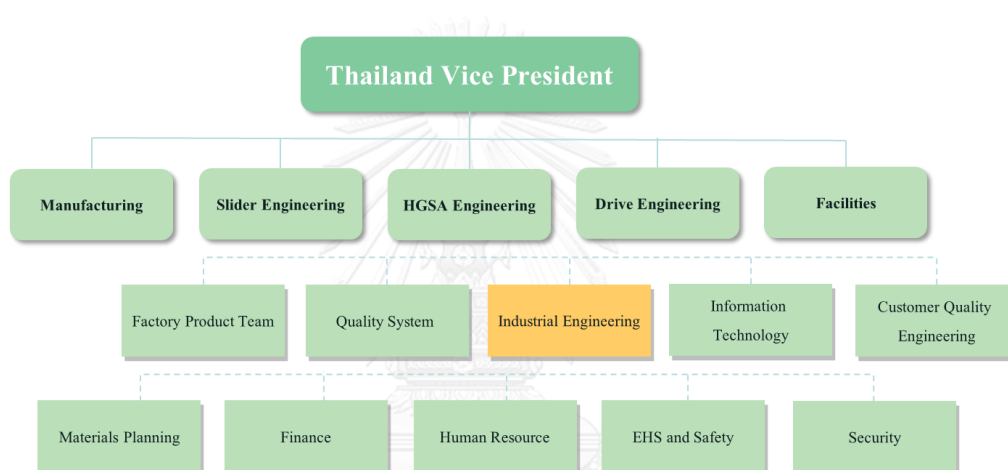
รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของโรงงานกรณีศึกษา

ปัจจุบันมีการว่าจ้างพนักงานกว่า 16,000 คน และวิศวกรมากกว่า 700 คน โดยจะมุ่งเน้นกระบวนการผลิตด้วยเครื่องจักรและเทคโนโลยีที่ทันสมัยและครอบคลุมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบบครบวงจร ทั้งการประกอบหัวอ่าน-เขียนและชุดหัวอ่าน-เขียนสำเร็จรูป สไลเดอร์ รวมไปถึงการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สำเร็จรูป

1.1.2 แผนผังองค์กร

แผนผังองค์กรของโรงงานกรณีศึกษาได้แสดงตามรูป 1.3 โดยแต่ละหน่วยงานได้ถูกจัดสรรหน้าที่โดยใช้หลักเกณฑ์ 2 ประเภทคือ ตามผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตและหน้าที่ความรับผิดชอบหลักของหน่วยงาน

หน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม (Industrial Engineering) (รูปที่ 3) เป็นหน่วยงานหนึ่งในองค์กรทำหน้าที่หลักในการวางแผนกำลังการผลิต วางแผนและจัดการเครื่องจักรอุปกรณ์ การวางผังโรงงาน รวมถึงร่วมมือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต รวมถึงต้นทุนที่เกี่ยวข้อง



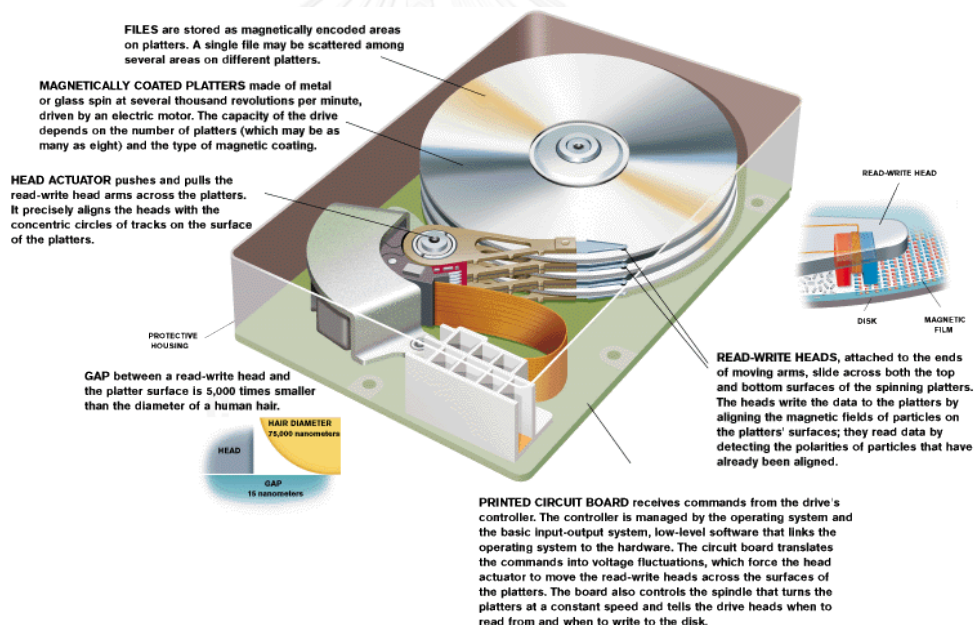
รูปที่ 3 แผนผังองค์กรของโรงงานกรณีศึกษา



รูปที่ 4 แผนผังองค์กรของหน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม

1.1.3 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เป็นอุปกรณ์หน่วยความจำที่ใช้สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลจำนวนมาก สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา โทรศัพท์มือถือและอื่น ๆ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูลดิจิทัลที่อาศัยหลักการแปลความหมายของตัวเลขไบนารีจากความต่างของขั้วแม่เหล็กที่กำหนดในแถบข้อมูลบนแผ่นจานดิสก์ ภายในฮาร์ดดิสก์จะมีแผ่นจานเหล็กกลมแบบที่ใช้บันทึกข้อมูลวางซ้อนกันเป็นชั้นๆ และยึดติดกับมอเตอร์ที่มีความเร็วในการหมุนหลายพันรอบต่อวินาทีโดยมีแขนเล็กๆที่ยื่นออกมา ตรงปลายแขนจะมีหัวอ่านซึ่งใช้สำหรับการอ่านหรือเขียนข้อมูลลงบนจานแม่เหล็ก การอ่านหรือเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์จะใช้หลักการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่หัวอ่าน ลักษณะและองค์ประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และส่วนประกอบ

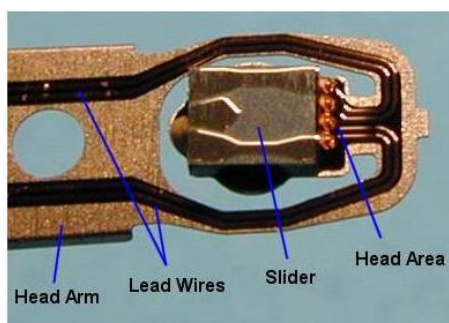
ที่มา : <http://fden->

2.phys.uaf.edu/211.fall2000.web.projects/j%20kugler/magnetic.html

สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ 2557

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักคือ

1. หัวอ่านและเขียน (Head) เป็นส่วนหนึ่งของแขนหัวอ่านและเขียน ซึ่งสร้างจากแผ่นเวเฟอร์ เพื่อใช้อ่านหรือเขียนข้อมูลลงบนแผ่นแม่เหล็ก โดยการรับคำสั่งจากตัวคอนโทรลเลอร์ ก่อนเกิดความเหนียวนำทางแม่เหล็ก และไปเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสนามแม่เหล็ก และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลนั่นเอง (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 หัวอ่านและเขียน

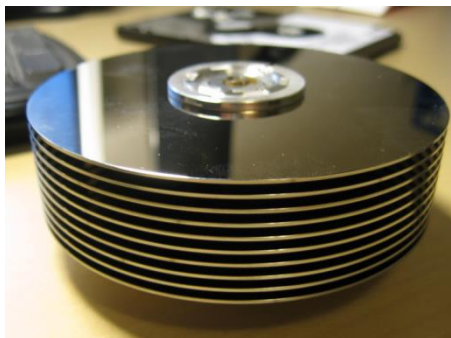
2. แขนหัวอ่านและเขียน (Actuator Arm) มีลักษณะเป็นแท่งยาว ซึ่งสามารถรับคำสั่งจากวงจรให้เลื่อนไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ ซึ่งจะต้องนำไปประกอบเข้ากับแม่เหล็กควบคุมแขนอ่านและเขียน (Voice Coil Motor ; VCM) เพื่อควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูลลงบนแผ่นแม่เหล็ก โดยต้องทำงานร่วมกับหัวอ่านและเขียน (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 แขนหัวอ่านและเขียน

3. จานแม่เหล็ก (Platters) มีลักษณะเป็นจานกลมๆ เคลือบด้วยสารแม่เหล็กวางซ้อนกันเป็นชั้นขึ้นอยู่กับความจุ ซึ่งสารแม่เหล็กจะเป็นตัวเก็บข้อมูลต่าง โดยข้อมูลนั้นจะถูกบันทึกในลักษณะของเลข 0 และ 1 แผ่นแม่เหล็กนั้นติดกับมอเตอร์สำหรับหมุน (Spindle Motor) และสามารถเก็บข้อมูลได้ทั้ง 2 ด้าน ขนาดของจานแม่เหล็กที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์

แบบตั้งโต๊ะ (Desktop) จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.5 นิ้ว ส่วนฮาร์ดดิสก์ของโน้ตบุ๊กจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 นิ้ว (รูปที่ 8)



รูปที่ 8 จานแม่เหล็ก

4. มอเตอร์หมุนแผ่นแม่เหล็กและฐาน (Spindle Motor and Base) ฮาร์ดดิสก์ใช้มอเตอร์เป็นตัวควบคุมจานแม่เหล็กให้หมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการเพื่อบันทึก หรือแก้ไขข้อมูล ปกติมักมีความเร็วในการหมุนประมาณ 7,200 รอบต่อนาที แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิมทำให้ตัวมอเตอร์สามารถเพิ่มความเร็วได้ถึง 15,000 รอบต่อนาที (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 มอเตอร์หมุนแผ่นแม่เหล็กและฐาน

5. แม่เหล็กเหนี่ยวนำ เป็นแม่เหล็กซึ่งประกอบอยู่ในตำแหน่งที่ครอบคลุมขดลวดของแขนหัวอ่านและเขียนไว้ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ ส่วนบน (Top VCM) และส่วนล่าง (Bottom VCM) ทำหน้าที่เหนี่ยวนำหัวอ่านให้เคลื่อนที่ (รูปที่ 10)



รูปที่ 10 แม่เหล็กเหนี่ยวนำ

6. แผ่นวงจร (Print Circuit Board Assembly ; PCBA) เป็นแผ่นวงจรซึ่งประกอบด้วยตัวควบคุมต่างๆซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และยังประกอบด้วยตัวเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อทำหน้าที่เชื่อมต่อกับหน่วยประมวลผลของคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 11)



รูปที่ 11 แผ่นวงจร

ในปัจจุบันความต้องการฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในท้องตลาดมีเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก เมื่อเทียบกับในปีที่ผ่านมา ทำให้ผู้ผลิตต้องพยายามเพิ่มขนาดความจุต่อหน่วยขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า เทคโนโลยีการจัดเก็บข้อมูลบนแผ่นดิสก์ในปัจจุบันคือ Shingled Magnetic Recording (SMR) เริ่มนำมาใช้ในปี 2014 ทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ มีความจุต่อหน่วยสูงมากขึ้น โดยฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้วจะมีความจุได้ที่ประมาณ 8 TB และความจุของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในตู้ขนาด 2.5 นิ้วจะมีความจุอยู่ที่ 1TB นอกจากนี้ยังได้มีการนำเสนอเทคโนโลยีในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รูปแบบใหม่นั้นคือ Heat Assist Magnetics Recording (HAMR) เพื่อเพิ่มความจุขึ้นเป็น 1 TB ต่อตารางนิ้ว อย่างไรก็ตามการพัฒนานี้เป็นเพียงขั้นเริ่มต้นของเทคโนโลยี HAMR ได้มีการคาดการณ์ว่าในอีก 10 ปีข้างหน้า ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อาจขยายความจุได้เป็น 5-10 TB ต่อตารางนิ้ว หรือสูงถึง 60 TB

1.1.4 ชุดหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ชุดหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดอีกส่วนหนึ่งของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ มีหน้าที่เสมือนแขนกล เคลื่อนที่เพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูลบนแผ่นแม่เหล็ก ขณะฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำงาน โดยการนำหัวอ่านเขียน มาประกอบเข้ากับอาร์ม เป็นตัวยูนิต (HSA) ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ส่วนประกอบของชุดหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ชุดหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักได้แก่

1. ชุดประกอบหัวอ่านเขียนข้อมูล คือ การประกอบชิ้นส่วนของหัวอ่านข้อมูล (Slider) กับ แกนโลหะ (Suspension) เข้าด้วยกันเพื่อทำหน้าที่ในการอ่านและเขียนข้อมูลบน แผ่นดิสก์ ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ชุดประกอบหัวอ่านเขียนข้อมูล

2. แขนหัวอ่านและเขียน ทำหน้าที่เป็นฐานประกอบชุดประกอบหัวอ่านเขียนข้อมูล โดยมี Coil เป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งสามารถรับคำสั่งจากวงจรให้เคลื่อนไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ ซึ่งจะต้องนำไปประกอบเข้ากับแม่เหล็กควบคุมแขนอ่านและเขียน เพื่อควบคุม การอ่านหรือเขียนข้อมูลลงบนแผ่นแม่เหล็ก (รูปที่ 14)



รูปที่ 14 ส่วนประกอบแขนหัวอ่าน

3. ส่วนประกอบแกนหมุน (Bearing Cartridge) ทำหน้าที่เป็นแกนหมุนของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ถูกติดตั้งอยู่ในแขนหัวอ่าน (รูปที่ 15)



รูปที่ 15 ส่วนประกอบแกนหมุน

4. วงจรไฟฟ้า (Print Circuit Cable Assembly ; PCCA) ทำหน้าที่เป็นวงจรสร้างกระแสไฟฟ้าในหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (รูปที่ 16)



รูปที่ 16 ส่วนประกอบของวงจรไฟฟ้า

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

1.2.1 การสั้นสะเทือนในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

การเติบโตของสื่อสังคมออนไลน์ โปรแกรมค้นหา (search engine) การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ (cloud computing) และระบบปฏิบัติการอื่นๆ ที่ต้องการพื้นที่สำหรับจัดเก็บข้อมูลสูง เพิ่มปริมาณความต้องการความจุในการจัดเก็บข้อมูลที่สูงขึ้น ความสามารถในการเก็บข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ถูกต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ขนาดของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กลับถูกจำกัดให้มีขนาดที่ลดลง เพื่อรองรับความต้องการเหล่านี้ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และส่วนประกอบภายในจึงถูกออกแบบให้มีความสามารถในการเก็บข้อมูลมีความทนทานและเสถียรภาพที่เพิ่มมากขึ้น

ประสิทธิภาพการทำงานฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการหมุนของจานดิสก์และความเร็วในการอ่านหรือเขียนข้อมูลของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ การพัฒนาให้สปินเดิลมอเตอร์ให้มีความเร็วในการหมุนมากขึ้นถือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เนื่องจากทำให้ตำแหน่งของข้อมูลที่ต้องการอ่านหรือเขียนเคลื่อนที่มาพบกับหัวอ่านได้เร็วยิ่งขึ้น ทำให้การอ่านหรือเขียนข้อมูลสามารถทำได้เร็วยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการที่สปินเดิลมอเตอร์ มีความเร็วการหมุนเพิ่มขึ้นก่อให้เกิดการสั้นสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ที่มากขึ้นไปด้วย

การสั้นสะเทือนที่เกิดขึ้นของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีสาเหตุจาก ความไม่สมดุลกันของชิ้นส่วนที่หมุน และอากาศที่ไหลปั่นป่วน แห่ลงกำเนิดภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เหล่านี้ สามารถแพร่กระจายการสั้นสะเทือนผ่านส่วนประกอบที่อยู่ติดกันอยู่ไปสู่ภายนอกของฮาร์ดดิสก์ได้ สาเหตุการสั้นสะเทือนและการแพร่กระจายการสั้นสะเทือนพิจารณาโดยละเอียดได้จาก

- สปินเดิลมอเตอร์ ที่มีหน้าที่หมุนแผ่นดิสก์ ที่มีข้อมูลอยู่ภายในไปหาหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อทำหน้าที่อ่านหรือเขียนข้อมูลลงบนแผ่น สปินเดิลมอเตอร์จะเริ่มทำงานเมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าจากแผงวงจร แรงแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างโรเตอร์และวงแหวนขดลวดเหนี่ยวนำภายในมอเตอร์จะผลักดันให้โรเตอร์หมุน ถ้ากระแสที่จ่ายเข้ามอเตอร์ไม่ราบเรียบ (ไม่เป็นคลื่นรูปไซน์) โรเตอร์จะเกิดการหมุนอย่างไม่สมดุลและเกิดการเสียวของส่วนประกอบทั้งสอง ก่อให้เกิดการสั้นสะเทือนขึ้น
- แผ่นดิสก์ จำนวนหลายแผ่นที่ยึดติดอยู่บนสปิลเดิลมอเตอร์นั้น เมื่อการหมุนที่ไม่สมดุลเกิดขึ้นจากความไม่สมดุลในการหมุนทางกลของตัวเอง รวมทั้งการที่อาจจะได้รับการสั้นสะเทือนจากตัวโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์ก็จะทำให้แผ่นดิสก์สั้น

กระพือมากขึ้น การสั่นของแผ่นดิสก์จะถูกส่งผ่านกลับไปยังโรเตอร์ เข้าสู่แบริ่งของมอเตอร์ และไปยังฐานของมอเตอร์ซึ่งติดกับโครงฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในที่สุด

- ในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ทำงาน แผ่นดิสก์จะหมุนด้วยความเร็วสูงจึงเกิดจากอากาศไหลวนบนแผ่นดิสก์ (Air Flow) กระตุ้นให้เกิดการสั่นสะเทือนของแผ่นดิสก์และผิวด้านในของฝาปิด และยังทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อีกด้วย

1.2.2 การสั่นพ้องของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

หัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ถูกติดตั้งอยู่บน Actuator arm ซึ่งลอยอยู่บนแผ่นดิสก์เพื่อทำหน้าที่อ่านและเขียนข้อมูลโดยตัวขับเคลื่อน VCM ภายในหัวอ่านมีลักษณะเป็นขดลวด โดยในการอ่านเขียนข้อมูลคอนโทรลเลอร์ จะนำคำสั่งที่ได้รับมาแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าแล้วป้อนเข้าสู่ขดลวดทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก ไปเปลี่ยนโครงสร้างของสารแม่เหล็ก ที่ฉาบบนแผ่นดิสก์ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลขึ้น

การสั่นสะเทือนของ HSA นั้นสามารถเกิดขึ้นได้หลายปัจจัยด้วยกัน เช่น เกิดจากตัวขับเคลื่อน VCM หรือเกิดจากอากาศไหลวนบนแผ่นดิสก์เนื่องจากการหมุนของแผ่นดิสก์ จากปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดการเสียหายจากการอ่านเขียนข้อมูลของตัวหัวอ่านได้

ในทุกๆระบบจะมีค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของตัวเองซึ่งเป็นผลที่ทำให้เมื่อระบบเคลื่อนที่จะเกิดการสั่นสะเทือน ถ้าความถี่ของแรงภายนอกเท่ากับค่าความถี่ธรรมชาติของระบบทางกล พบว่าแอมพลิจูดของการสั่นจะมีค่าสูงสุด และอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบทางกลนั้นได้ สภาวะการสั่นที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า การสั่นพ้อง (Resonance) ซึ่งทำให้เกิดการสั่นอย่างรุนแรงและอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบทางกลนั้นได้

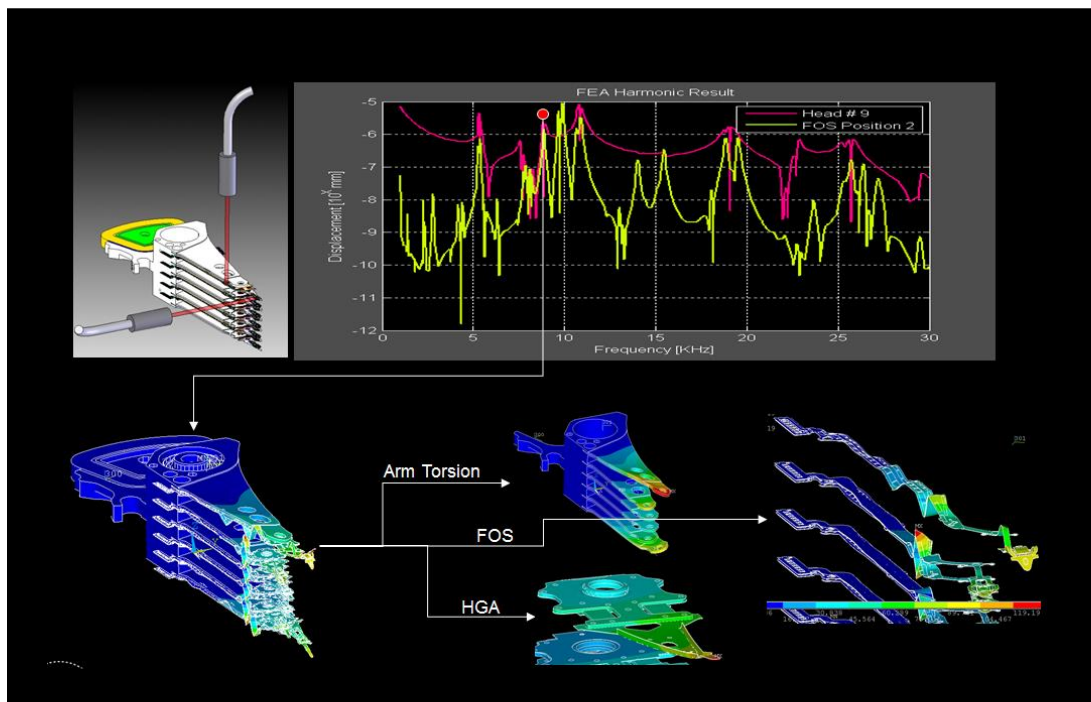
กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในปัจจุบันได้ให้ความสำคัญอย่างมากกับการสั่นพ้องที่เกิดขึ้นในส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าการสั่นพ้อง ที่เกิดขึ้นในแขนหัวอ่านเขียน การสั่นพ้องที่เกิดขึ้นในแขนหัวอ่าน อาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านเขียนขึ้น ปัญหาการอ่านเขียนออกนอกแทร็ค (Off-track failure) เป็นปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่งของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยปัญหาการอ่านเขียนออกนอกแทร็ค เกิดขึ้นจากการที่ HSA เคลื่อนที่ผิดตำแหน่งในขณะที่ทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล โดยหากเกิดการสั่นพ้องอย่างรุนแรง อาจจะทำให้เกิดการเขียนข้อมูลซ้อนทับกันบนแทร็คข้างเคียง ส่งผลให้เกิดการสูญหายของข้อมูลได้ นอกจากนี้

การสั่นพ้องที่เกิดขึ้นอาจทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับพื้นผิวของแผ่นดิสก์ซึ่งส่งผลกระทบต่อตรงกับการประสิทธิภาพการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

กระบวนการหลากหลายได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจัดการและลดทอนการสั่นพ้องที่เกิดขึ้นใน HSA อาทิ การใช้วงจรถัดแถบความถี่ หรือ notch filter เพื่อกำจัดช่วงความถี่ที่ทำให้เกิดการสั่นพ้องขึ้น หรือการใช้เทคนิคคอมมานด์เชปปี้งเพื่อปรับเปลี่ยนโครงสร้างของ Reference Signals ที่จะใส่เข้าไปในระบบเพื่อลดค่าพลังงานกระตุ้นในช่วงที่จะเกิดความถี่ธรรมชาติ และ การลดแอมพลิจูดของการสั่นโดยอาศัยการติดตัวหน่วง (damper) เข้ากับชุดหัวอ่านเขียน เป็นต้น

1.2.3 Tail Tacking Process

ชิ้นส่วนหนึ่งของหัวชุดอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีความสำคัญต่อการเกิดการสั่นพ้องใน HSA คือเส้นวงจรไฟฟ้าส่วนปลายของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Tail Gimbal Assembly ; TGA) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของ HGA ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับหัวอ่านเขียน โครงสร้างของ TGA เป็นวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นได้ (flexible printed circuit ; FPC) จึงเป็นชิ้นส่วนประกอบที่มีความละเอียดอ่อน ไวต่อการถูกกระตุ้นและตอบสนองกับแรงกระทำได้ง่าย ผลตอบสนองที่มีต่อแรงกระตุ้นก็คือแอมพลิจูดของการสั่น ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ของแรงภายนอกที่กระทำต่อระบบ สำหรับหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ แรงภายนอกที่กระทำกับ TGA คือการสั่นสะเทือนของ Actuator Arm หากความถี่ของแรงภายนอกเท่ากับความถี่ธรรมชาติของ TGA การสั่นที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า การสั่นพ้อง ซึ่งส่งผลโดยตรงกับการทำงานของหัวอ่านเขียน รูปที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านที่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของ TGA และทำให้เกิดการสั่นพ้องขึ้น



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านและการสั่นพ้องของ TGA

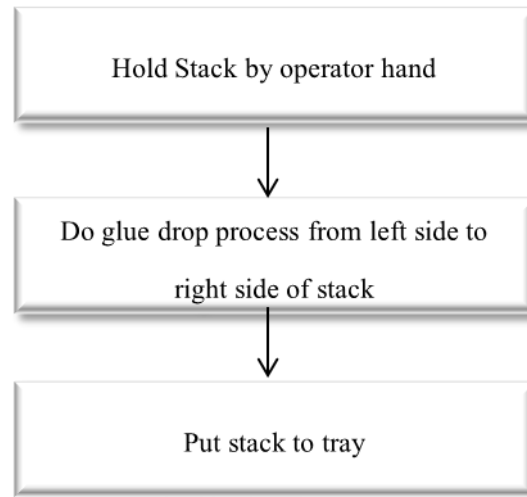
หนึ่งในกระบวนการในการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยลดการสั่นพ้องที่เกิดขึ้นในแขนหัวอ่าน คือกระบวนการที่เรียกว่า “Tail Tacking Process”

Tail Tacking คือ กระบวนการการหยอดกาวบริเวณเส้นวงจرفไฟฟ้าส่วนปลายของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของชุดประกอบหัวอ่านข้อมูล กับ แขนหัวอ่าน เพื่อยึด TGA ให้ติดกับแขนหัวอ่าน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสั่นพ้องที่เกิดขึ้นในหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ปัจจุบันกระบวนการ Tail Tacking ดำเนินการผ่านเครื่องหยอดกาวและอบกึ่งอัตโนมัติ แผ่นผังขั้นตอนการทำงานได้แสดงในรูปที่ 18 และ 19 โดยมีขั้นตอนหลักๆ 2 ขั้นตอนคือ

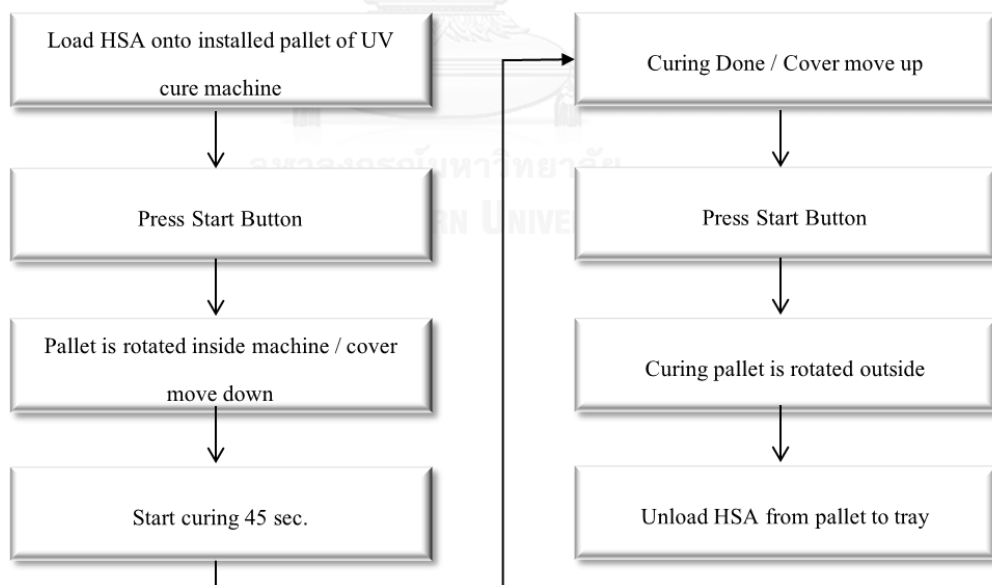
1. กระบวนการการหยอดกาว (Adhesive Apply Process)
2. กระบวนการการอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV Curing Process)

กระบวนการหยอดกาว (Adhesive Apply Process Flow)



รูปที่ 18 แผนผังกระบวนการหยอดกาว

กระบวนการอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต



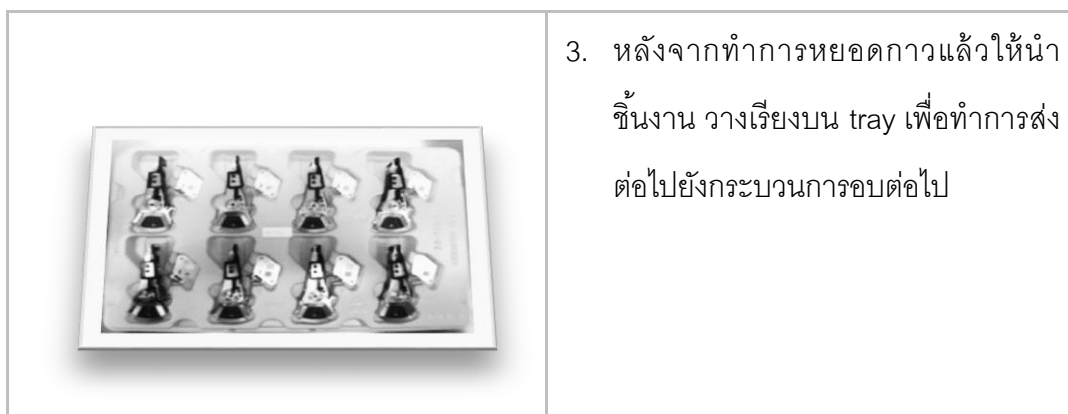
รูปที่ 19 แผนผังกระบวนการอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

กระบวนการ Tail Tacking

1. กระบวนการหยอดกาว

กระบวนการหยอดกาวดำเนินการผ่านเครื่องหยอดกาวกึ่งอัตโนมัติ (Adhesive dispenser) ซึ่งเครื่องหยอดกาวกึ่งอัตโนมัตินี้จะสามารถทำการควบคุมขนาดของกาวยูวีที่ทำการหยอดบนชิ้นงานโดยผ่านการควบคุมด้วยระบบ Pneumatic รูปภาพที่ 1.22 แสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการหยอดกาว

กระบวนการทำงาน	รายละเอียดการดำเนินงาน
	<p>1. พนักงานหยิบ HSA จาก tray และถือไว้ในมือเตรียมพร้อมสำหรับหยอดกาว โดยที่ก่อนหยอดกาวทุกครั้งพนักงานต้องทำการตรวจสอบชิ้นงานที่ถูกส่งมาจากกระบวนการก่อนหน้าว่าอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์หรือไม่</p>
 	<p>2. การหยอดกาว</p> <p>2.1 ก่อนเริ่มทำการหยอดกาว ต้องทำการตรวจสอบว่าเครื่อง Adhesive dispenser อยู่ในสถานะที่ถูกต้อง โดย feeding pressure อยู่ที่ระดับ 90 +/- 10 Psi และ feeding time มีค่า 0.8 +/- 0.2 sec และทำการตรวจสอบ needle pin จะต้องไม่หักหรือหลุดก่อนการใช้</p> <p>2.2 ทำการหยอดกาวจากซ้ายมือไปขวามือ ของ HSA โดยขนาดและตำแหน่งของการหยอด อ้างอิงตามแต่ละ product configuration data sheet</p>



3. หลังจากทำการหยอดกาวแล้วให้นำชิ้นงาน วางเรียงบน tray เพื่อทำการส่งต่อไปยังกระบวนการต่อไป

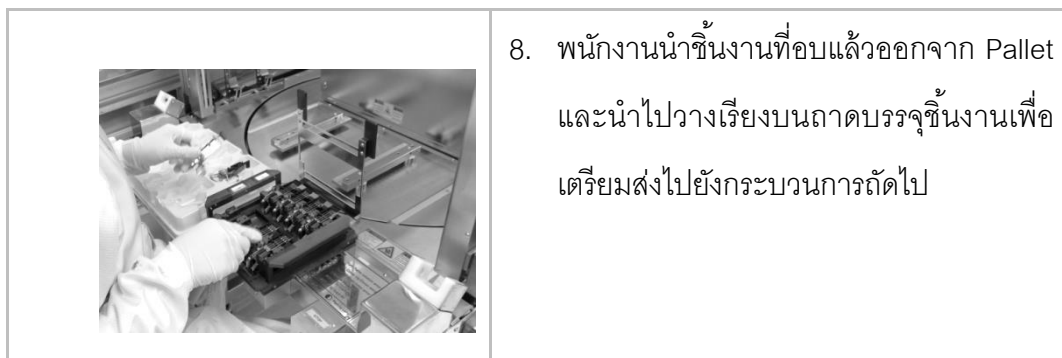
รูปที่ 20 ขั้นตอนการหยอดกาวในกระบวนการ Tail Tacking

2. กระบวนการอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

กระบวนการอบดำเนินการผ่านเครื่องอบโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต ตามขั้นตอนการดำเนินงานซึ่งแสดงในรูป 1.23

กระบวนการทำงาน	รายละเอียดการดำเนินงาน
	<p>1) พนักงานนำ HSA วางเรียงบน pallet ซึ่งถูกติดตั้งบนเครื่องอบชิ้นงาน</p>
	<p>2. ทำการกดที่ปุ่ม "Start" ซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายและขวาพร้อมๆกัน</p>

	<p>3. เครื่องจะทำการหมุนถาด (ซึ่งมี pallet ติดตั้งอยู่) เพื่อนำงานเข้าไปยังตำแหน่งอบ ฝาปิดจะเลื่อนลงมาเพื่อป้องกันแสง UV</p>
	<p>4. เครื่องเริ่มทำการอบชิ้นงาน ตัวบอกเวลาในการอบจะเริ่มทำงานโดยใช้ระยะเวลาในการอบทั้งหมด 45 วินาที</p>
	<p>5. ฝาปิดจะเลื่อนขึ้นเมื่อเครื่องอบชิ้นงานเสร็จ</p>
	<p>6. ทำการกดที่ปุ่ม "Start" ซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายและขวาพร้อมๆกัน</p>
	<p>7. เครื่องจะหมุนเพื่อนำงานที่อบเสร็จแล้วออกมาด้านนอกเพื่อให้พนักงานนำชิ้นงานออก</p>



รูปที่ 21 ขั้นตอนการอบชิ้นงานด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตในกระบวนการ Tail Tacking

1.2.4 ต้นทุนการผลิต (Cost of Production)

ต้นทุนการผลิต หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินกิจกรรมทางการผลิตเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ดี มีคุณภาพ ตามความต้องการของลูกค้า หัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ นับเป็นชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีต้นทุนการผลิตสูงที่สุด เนื่องจากมีส่วนประกอบและขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อน และลักษณะของหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ก็มีผลกระทบต่ออายุกับประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์โดยรวม

ต้นทุนการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ประกอบด้วย

1. **ต้นทุนวัตถุดิบ (material cost)** เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบ, อุปกรณ์, เครื่องมือ ที่ใช้ในการผลิตทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนี้

- 1.1 ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง (Direct material cost) คือ วัตถุดิบที่ใช้เพื่อการผลิตโดยตรง โดยส่วนมากมักจะเป็นส่วนประกอบหนึ่งของผลิตภัณฑ์ จำนวนในการใช้งานวัสดุหรือวัตถุดิบทางตรงนี้จะแปรผันกับหน่วยในการผลิตโดยตรง ในหนึ่งหน่วยการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ประกอบไปด้วยต้นทุนวัตถุดิบทางตรงคิดเป็นร้อยละ 50 ของต้นทุนทั้งหมด

- 1.2 ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม (Indirect material cost) เช่น วัสดุเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้สนับสนุนในการผลิตโดยส่วนมากจะไม่แปรผันกับปริมาณการผลิตโดยตรง เช่น ถูมือ กาว คีมจับชิ้นงาน เป็นต้น ในบางครั้งวัสดุทางอ้อมก็อาจถูกจัดให้อยู่ในหมวดหมู่ของวัสดุทางตรงก็เป็นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบาย

ทางการบัญชีของแต่ละองค์กร ในหนึ่งหน่วยการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์
ไดรฟ์ ประกอบไปด้วยต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมคิดเป็นร้อยละ 23 ของต้นทุน
ทั้งหมด

2. **ต้นทุนด้านแรงงาน (Labor cost)** เป็นค่าใช้จ่ายด้านแรงงานในการทำงานและผลิต
สินค้าเพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป สามารถแบ่งออกได้เช่นเดียวกับกับต้นทุน
วัตถุดิบ คือค่าใช้จ่ายด้านแรงงานทางตรง และค่าใช้จ่ายด้านแรงงานทางอ้อม ดังนี้

2.1 ต้นทุนแรงงานทางตรง (Direct labor cost) เช่น ค่าจ้างรายวันหรือเงินเดือน
ของพนักงานฝ่ายผลิต ซึ่งจะแปรผันกับปริมาณการผลิตโดยตรง ในหนึ่ง
หน่วยการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ประกอบไปด้วยต้นทุนวัตถุดิบ
ทางตรงคิดเป็นร้อยละ 6 ของต้นทุนทั้งหมด

2.2 ต้นทุนแรงงานทางอ้อม (Indirect labor cost) เช่น เงินเดือนของพนักงานขาย
เงินเดือนของผู้จัดการ เงินเดือนของวิศวกร ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะไม่แปรผันกับ
ปริมาณในการผลิตโดยตรง ในหนึ่งหน่วยการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์
ไดรฟ์ ประกอบไปด้วยต้นทุนวัตถุดิบทางตรงคิดเป็นร้อยละ 9 ของต้นทุน
ทั้งหมด

3. **ต้นทุนค่าใช้จ่ายโรงงานหรือค่าเสียหายในการผลิต (Overhead cost)** เป็นค่าใช้จ่าย
ที่นอกเหนือจากจากค่าใช้จ่ายของวัสดุและค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน เช่น ค่า
สาธารณูปโภค ค่าเช่าโรงงาน ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร สวัสดิการต่างๆ เป็นต้น ใน
หนึ่งหน่วยการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ประกอบไปด้วยต้นทุนค่าเสียหายคิด
เป็นร้อยละ 12 ของต้นทุนทั้งหมด

การคำนวณต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิต สามารถคำนวณได้ดังนี้

ต้นทุนการผลิต = ต้นทุนวัสดุ + ต้นทุนแรงงาน + ค่าเสียห่วย

จากแผนผังองค์กรในรูปที่ 4 หนึ่งในหน้าที่ความรับผิดชอบหน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม คือการร่วมมือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตรวมถึงต้นทุนที่เกี่ยวข้อง ซึ่งต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการผลิตนั้นคือต้นทุนของวัตถุดิบทางอ้อม ตารางที่ 1 แสดงค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบทางอ้อมในกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ระหว่างปี พ.ศ. 2554 – 2556 พบว่าค่าใช้จ่ายวัตถุดิบทางอ้อมสูงสุด 3 อันดับแรกคือ UV Curing Adhesive, SWAGE BALL และ HFE-7100 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายวัตถุดิบทางอ้อมที่ใช้ในการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ระหว่างปี พ.ศ. 2554-2556

ลำดับที่	รายการ	พ.ศ. 2554		พ.ศ. 2555		พ.ศ. 2556	
		ยอดรวม (\$)	%	ยอดรวม (\$)	%	ยอดรวม (\$)	%
1	UV ADHESIVE	725,526	22.5%	782,304	23.5%	922,521	26.0%
2	HFE-7100	563,061	17.5%	574,129	17.3%	593,210	16.7%
3	SWAGE BALL	501,726	15.6%	511,588	15.4%	528,592	14.9%
4	GLOVE	313,340	10%	319,499	10%	330,118	9%
5	SOLDER BALL	187,925	6%	191,619	6%	197,988	6%
6	SWAB COT	164,609	5%	167,844	5%	173,423	5%
7	WIPERS	153,603	5%	156,622	5%	161,828	5%
8	TWEEZER	124,403	4%	126,849	4%	131,065	4%
9	SOLDERING TIP	124,376	4%	126,821	4%	131,036	4%
10	GOLD WIRE	105,203	3%	107,271	3%	110,836	3%
11	WRIST STRAP	44,129	1%	44,996	1%	46,492	1%
12	GULE BEARING	42,427	1%	43,261	1%	44,698	1%
13	STICKY MAT	37,747	1%	38,489	1%	39,768	1%
14	NEEDLE	36,176	1%	36,887	1%	38,113	1%
15	DP460	31,229	1%	31,843	1%	32,902	1%
16	VATRON DP97031	27,804	1%	28,351	1%	29,293	1%
17	OTHERS	10,723	0%	10,934	0%	11,297	0%
18	EGC-1700	10,424	0%	10,629	0%	10,982	0%
19	LABELS	9,009	0%	9,187	0%	9,492	0%
20	CR Paper	5,868	0%	5,983	0%	6,182	0%
ยอดค่าใช้จ่ายรวม (\$)		3,219,306	100%	3,325,104	100%	3,549,835	100%
ปริมาณการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (หน่วย)		57,547,590		58,678,789		60,629,048	

วัตถุดิบทางอ้อมในกระบวนการผลิตที่มีค่าใช้จ่ายสูงเป็นลำดับที่ 3 คือ HFE-7100 (ในปี 2013 มีมูลค่าคิดเป็นค่าใช้จ่าย สูงถึง 1,098,240 เหรียญดอลลาร์สหรัฐ หรือร้อยละ 16 ของ ต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมทั้งหมด) HFE-7100 ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาที่ใช้ในกระบวนการล้าง หัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ในกระบวนการล้าง HSA จะถูกจัดเรียงบนตระแกรงและนำไปเข้าเครื่องล้าง ปัจจุบันนี้มีแผนการเพิ่มความจุของตะแกรงบรรจุชิ้นงานเพื่อทำให้สามารถล้าง

จำนวนชิ้นงานได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถลดจำนวนเครื่องล้างลงได้ เมื่อจำนวนเครื่องล้างลดลง จะส่งผลให้ปริมาณการใช้น้ำยา HFE-7100 ลดลงด้วย

วัตถุดิบทางอ้อมในกระบวนการผลิตที่มีค่าใช้จ่ายสูงเป็นลำดับที่ 2 คือ SWAGE BALL (ในปี 2013 มีมูลค่าคิดเป็นค่าใช้จ่าย 1,241,513 เหรียญดอลลาร์สหรัฐ หรือร้อยละ 18 ของต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมทั้งหมด) SWAGE BALL ถูกนำมาใช้ในการประกอบชุดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เนื่องจากมีข้อดีคือสามารถประกอบชิ้นส่วน ที่มีขนาดเล็กหรือมีความซับซ้อนได้ โดยการนำ HGA ประกอบเข้ากับแกนหัวอ่าน จากนั้นใช้ SWAGE BALL ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูด้านในของ HGA ยิ่งผ่านทำให้ผิวที่สัมผัสกับลูกบอลของ HGA เกิดการเปลี่ยนรูปถาวรขยายตัวออกในแนวรัศมีไปยึดติดกับแกนหัวอ่านขนาดของหัวอ่านเขียนในปัจจุบันได้มีขนาดลดลงจากในอดีต ทำให้ขนาดของรู Swage มีขนาดที่ลดลงขนาดของ SWAGE BALL จึงมีขนาดที่เล็กลงตามไปด้วย นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำ Swage Ball ที่ใช้แล้ว นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งคาดว่าแนวโน้มค่าใช้จ่ายของ SWAGE BALL จะมีแนวโน้มที่จะลดลงในอนาคต

วัตถุดิบทางอ้อมในกระบวนการผลิตที่มีค่าใช้จ่ายสูงเป็นลำดับที่ 1 คือ กาวยูวี ซึ่งในปี พ.ศ. 2556 มีมูลค่าคิดเป็นค่าใช้จ่าย 2,074,540 เหรียญดอลลาร์สหรัฐ หรือร้อยละ 31 ของต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมทั้งหมด กาวยูวีเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการยึดกับแกนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งวัตถุดิบหนึ่งที่มีความสำคัญในกระบวนการ Tail Tacking ซึ่งเป็นกาวที่มีคุณสมบัติเฉพาะสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ กาวยูวีเป็นแบบชนิดใส สามารถแห้งได้โดยการผ่านแสง UV ในเวลาอันรวดเร็ว ประมาณ 1-5 นาที (ขึ้นอยู่กับกำลังวัตต์ของหลอดยูวี) หลังจากอบแห้งแล้ว จะมีคุณสมบัติ ยึดติดแน่น ทนทาน และไม่มีคราบกาว สามารถทนความร้อนได้ถึง 85 องศา และ เย็นถึง -45 องศา กาวยูวีที่นำมาใช้ในกระบวนการ Tail Tacking จะทำหน้าที่เป็นตัวยึดติด TGA ของ ชุดประกอบหัวอ่านข้อมูล ให้ติดกับแกนหัวอ่าน และถูกทำให้แห้งโดยแสงอัลตราไวโอเล็ตจากเครื่องอบกาว ดังนั้นกาวยูวีที่นำมาใช้จึงต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับกระบวนการ นอกจากนี้หากพบข้อบกพร่องเกิดขึ้นในหัวอ่านและจำเป็นต้องทำการถอดส่วนประกอบของหัวอ่านเพื่อซ่อมแซมหรือทำความสะอาด กาวที่นำมาใช้ในกระบวนการจะต้องมีความยืดหยุ่นมากเพียงพอเพื่อทำให้การถอดประกอบหัวอ่านสามารถทำได้โดยง่าย ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานและไม่ก่อให้เกิดอนุภาคตกค้างในชิ้นงานซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของชิ้นงาน ปัจจุบันกาวยูวีที่ใช้ในกระบวนการ Tail Tacking เป็นกาวยูวีจากผู้ผลิตในต่างประเทศซึ่งมีปริมาตรบรรจุขนาด 10 ml. ดังรูปที่ 22

ข้อมูลจากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายของกาวยูวี มีแนวโน้มของการใช้วัสดุชนิดนี้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สาเหตุสำคัญที่ทำให้ปริมาณการใช้วัสดุชนิดนี้เพิ่มสูงขึ้น เนื่องด้วยการเพิ่มจำนวนหัวอ่านเขียนในชุดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งเป็นสัดส่วนแปรผันตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่บรรจุอยู่ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จำนวนแผ่นดิสก์ที่บรรจุอยู่ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เป็นองค์ประกอบหนึ่งซึ่งแสดงถึงความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 22 กาวยูวี ที่ใช้ในกระบวนการ Tail Tacking

ดังนั้นผู้วิจัยจึงคัดเลือกกาวยูวีที่ใช้ในกระบวนการ Tail Tacking มาพิจารณาเพื่อทำการปรับปรุงเนื่องจากเป็นวัสดุทางอ้อมสูงที่มีมูลค่าคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สูงที่สุดในกลุ่มเพื่อปรับปรุงตามหลักวิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมาโดยรักษาหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ไว้เช่นเดิม

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อประยุกต์ใช้หลักการวิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมาในการลดต้นทุนวัสดุทางอ้อมในกระบวนการติดยึดหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาต้นทุนในการผลิตหัวอ่าน-เขียน ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยมุ่งเน้นที่วัสดุทางอ้อมที่ใช้กระบวนการ Tail Tacking
2. นำเทคนิควิศวกรรมคุณค่า และ ซิกซ์ซิกมา มาประยุกต์ใช้ในการลดต้นทุนการผลิตโดยทำการศึกษาและทำการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ภายใต้ข้อกำหนดของ

กระบวนการและพารามิเตอร์ของกระบวนการโดยที่ไม่ทำให้คุณลักษณะและข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ทำการศึกษากระบวนการกรณีศึกษา วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่
 - 2.1 ทฤษฎีวิิศวกรรมคุณค่า
 - 2.2 ทฤษฎีซิกซ์ซิกมา
3. กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และแผนการดำเนินงานวิจัย
4. ดำเนินการแก้ไขปัญหาโดยประยุกต์ใช้หลักการวิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมาในการลดต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
5. วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการปรับปรุงกระบวนการทำงาน
6. เรียบเรียง จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ และนำเสนอวิทยานิพนธ์

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ในการที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในส่วนของต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมในกระบวนการตัดยัดหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งการปรับปรุงนี้จะยังคงไว้ซึ่งหน้าที่การทำงานหลักของผลิตภัณฑ์และเป็นไปตามข้อกำหนดของกระบวนการ และได้คุณภาพตามความต้องการของลูกค้า ผลจากการวิจัยนี้จะสามารถขยายและนำไปสู่การปรับปรุงผลิตภัณฑ์อื่นๆ ในอนาคตต่อไป

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิศวกรรมคุณค่า

2.1.1 ประวัติความเป็นมา

เทคนิคของวิศวกรรมคุณค่า (VE)[1] เกิดขึ้นในวงการอุตสาหกรรมในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 (ค.ศ. 1938-1945) สืบเนื่องมาจากการขาดแคลนวัตถุดิบที่สำคัญ อันเป็นหัวใจของอุตสาหกรรม ซึ่งได้แก่เหล็กทุกชนิด ทองแดง บรอนซ์ ดีบุก นิกเกิล บอลล์แบร์ริง รวมทั้งพวกสารตัวนำไฟฟ้าต่างๆ นอกจากจะขาดแคลนแล้ว ยังมีราคาสูงอีกด้วย

นาย Lawrence Miles เป็นวิศวกรจัดซื้อของบริษัท GE (General electric Company) สหรัฐอเมริกาได้รับคำสั่งให้ทำการหาวัตถุดิบสำคัญ เพื่อใช้ในการผลิตเครื่อง Turbo-charger สำหรับเครื่องบิน B-24 และขึ้นส่วนสำคัญในการเพิ่มการผลิตของเครื่องบิน B-29 จาก 50 เครื่องต่อสัปดาห์ เป็น 1000 เครื่องต่อสัปดาห์ ในสถานการณ์เช่นนั้น ย่อมยากลำบากที่จะทำให้สำเร็จได้ แต่ Miles ก็พยายามเป็นอย่างมาก เขาตั้งปณิธานว่า “ถ้าไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ ก็จะต้องพยายามหาหน้าที่การทำงาน (Function) ของมันออกมาให้ได้ จะต้องหาสิ่งที่มีหน้าที่การทำงานที่เหมือนกัน โดยใช้เครื่องจักร คน หรือวัสดุ ซึ่งสามารถที่จะหาได้” เมื่อได้ใช้ความพยายามอย่างหนักหลายต่อหลายครั้ง เขาก็พบหนทางที่จะทำได้ ทั้งผลการทดสอบทางวิศวกรรมที่ผ่านการพิสูจน์ และทันเวลาตามหมายกำหนดการที่ระบุไว้ ดังนั้น คำว่า “หน้าที่การทำงาน” จึงเป็นคำที่สำคัญในการพัฒนาเทคนิคทาง VE.

ในระหว่างสงครามนี้ Miles ก็พบว่ามียุทธวิธีหลายอย่างที่สามารถนำมาทดแทน และทำให้สมรรถนะเท่าเดิมหรือดีขึ้นกว่าเดิมได้ ในราคาที่ต่ำกว่าเดิม การวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน จึงพิสูจน์ได้ว่าได้ผลดี อย่างที่ไม่เคยคาดคิดมาก่อน

ในปีพ.ศ. 2490 บริษัท GE ได้จัดตั้งหน่วยวิจัยกิจกรรมการจัดซื้อขึ้น โดยได้รับการสนับสนุนจากรองประธานบริษัท เพื่อที่จะพัฒนา ศึกษารายละเอียด และใช้ VE อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมี Miles เป็นแกนนำ ซึ่งในครั้งแรกนั้นเรียกว่า การวิเคราะห์คุณค่า (Value analysis, VA)

เมื่อบริษัท GE ได้รับความสำเร็จอย่างมาก แนวความคิดนี้ก็แพร่หลายอย่างรวดเร็ว สำหรับในภาครัฐบาลนั้น กระทรวงกลาโหม ได้เริ่มนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการต่อเรือในปี 2497 จึงได้มีการเรียกชื่อใหม่ว่า วิศวกรรมคุณค่า ซึ่งนี้ได้เป็นที่ยอมรับ และได้มีการจัดตั้งสมาคมวิศวกรรม

คุณค่า ของสหรัฐอเมริกาในปี 2502 อย่างไรก็ดี ในปี พ.ศ. 2504 กระทรวงกลาโหมได้นำวิศวกรรมคุณค่าไปใช้ในทุกหน่วยงาน ก่อนปี 2504 ได้มีการนำ VE ไปใช้ในวงการอุตสาหกรรมการผลิตเท่านั้น ต่อมาในปี พ.ศ. 2506-2508 ทั้งสามเหล่าทัพของกระทรวงกลาโหม ได้นำเทคนิคของ VE ไปใช้ในการก่อสร้าง รวมทั้งการฝึกอบรมให้ผู้รับเหมาได้รับทราบเทคนิคนี้ด้วย

ในประเทศญี่ปุ่น เริ่มได้รู้จัก VE เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2498 และนำ VE ไปใช้ในอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2503 โดย S.F. Heinritz จากสมาคมผู้จัดซื้อแห่งสหรัฐอเมริกา ได้เดินทางมาประเทศญี่ปุ่น และได้เปิดให้มีการสัมมนาทางการจัดซื้อทางวิศวกรรม (Purchasing engineering seminar) ขึ้นทั่วประเทศ เพื่อเป็นการแนะนำการนำเอาเทคนิคของ VE ไปประยุกต์ในการบริหารการจัดซื้อ

ในช่วงที่ Heinritz เดินทางมานั้นเป็นช่วงที่ญี่ปุ่นมีการลงทุนด้านเครื่องจักรเกินความพอดี ซึ่งเกิดจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และนโยบายของรัฐบาลที่จะเปิดตลาดภายในประเทศมากขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการแก้ไขโครงสร้างในอุตสาหกรรมเช่น รถยนต์ และเครื่องจักรไฟฟ้ากำลัง ด้วยการหาทางลดต้นทุนในการผลิตอุตสาหกรรมของเหล่านี้ โดยให้ความสนใจในเทคนิค VE ซึ่งมีความแตกต่างจากวิธีอื่นที่เคยใช้กันมา จึงได้ลองนำไปใช้ในแผนกจัดซื้อเป็นหลักทำให้วิศวกรรมคุณค่า ค่อยๆพัฒนามาจนถึงปัจจุบันนี้

ในปี พ.ศ. 2506 ใช้ในอุตสาหกรรม ต่อเรือ ต่อรถตู้ อุตสาหกรรมไฟฟ้า และเครื่องมือ

พ.ศ. 2507 อุตสาหกรรมเครื่องจักรทั่วไป

พ.ศ. 2508 อุตสาหกรรมประกอบ เครื่องจักรโลหะ สิ่งทอ อาหาร ผลิตภัณฑ์เคมี และเหล็กกล้า

จุดมุ่งหมายของวิศวกรรมคุณค่า

เป้าหมายหลัก คือการที่ต้องการลดต้นทุนการผลิต หรือขจัดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น หรือเกินความจำเป็นออกไป โดยที่ทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นยังมีคุณภาพ และมีความน่าเชื่อถืออยู่

การลดต้นทุน ด้วยการทำให้คุณภาพและหน้าที่การทำงานลดลง มิใช่การใช้ VE ดังที่สมาคมวิศวกรรมคุณค่าแห่งสหรัฐอเมริกาได้นิยาม VE ไว้ดังนี้

วิศวกรรมคุณค่า คือ การประยุกต์ใช้เทคนิคที่มีระบบ โดยเน้น หน้าที่การทำงาน ของผลิตภัณฑ์หรือการบริการเป็นหลักใหญ่ ด้วยต้นทุนที่ต่ำที่สุด และยังคงไว้ซึ่งความน่าเชื่อถือได้

ในขณะที่การใช้เทคนิคของ VE เป็นที่แพร่หลายนั้น ได้เกิดศัพท์ใหม่ซึ่งเรียกตามขนาดของธุรกิจต่างๆอันได้แก่

VC = Value Control คือการมุ่งศึกษาไปที่การควบคุมคุณภาพ และต้นทุนการผลิต

VB = Value Buying คือการมุ่งไปที่การจัดซื้อ วัสดุ และผลิตภัณฑ์จากผู้ขาย

VR = Value Research คือการนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือทดสอบ

VI = Value Improvement เมื่อบริษัทมีการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ และแนะนำเข้าสู่ตลาดจะเรียกว่า การปรับปรุงคุณค่า

VM = Value Management ศัพท์คำนี้แพร่หลายเพื่อใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหาร ไม่ว่าจะใช้ศัพท์คำไหนจุดประสงค์คงมุ่งที่หน้าที่การทำงานของมัน ไม่ว่าจะประยุกต์ไปในหน่วยงานใด งานที่มีคุณค่าจะช่วยประหยัดต้นทุน และ VE ยังได้พิสูจน์แล้วว่า สามารถที่จะคงไว้ซึ่งความน่าเชื่อถือได้ นอกจากนี้ยังนิยมใช้ VE ไปประยุกต์ในโปรแกรมความปลอดภัย การอนุรักษ์พลังงาน การควบคุมและช่วยลดปัญหาที่เกิดจากมนุษย์ (Human Factors)

กล่าวโดยสรุป เมื่อองค์กรใดใช้ VE จะมีการกำหนดวัตถุประสงค์หลัก ซึ่งประกอบด้วย

- เพื่อใช้ทรัพยากร (กำลังคน วัสดุ และงบประมาณ) อย่างเหมาะสม ด้วยการกำจัดต้นทุนที่ไม่จำเป็นออกไป โดยไม่ทำให้คุณภาพ หรือสมรรถนะลดลง
- เพื่อสร้างการเปลี่ยนแปลงในองค์กรอย่างมีคุณภาพ
- เพื่อพัฒนาพนักงานให้เข้าใจในงานด้วยการฝึกทักษะในการประหยัด มีจิตสำนึกในเรื่องการลดต้นทุนในการผลิต ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

2.1.2 แผนงานวิศวกรรมคุณค่า 7 ขั้นตอนของ Mudge.

Authur E. Mudge (1989) ผู้อำนวยการ กองบริการวิศวกรรมคุณค่า ของบริษัท จอยอุตสาหกรรมการผลิต (JOY Manufacturing Company) และเป็นผู้แต่งหนังสือ วิศวกรรมคุณค่า การเข้าถึงอย่างมีระบบ (Value Engineering, A Systematic Approach) ได้เสนอแผนงาน VE ตามขั้นตอนนี้

1. ขั้นตอนที่ทั่วไป (General Phase)
2. ขั้นตอนที่รวบรวมข้อมูล (Information Phase)
3. ขั้นตอนที่วิเคราะห์หน้าที่ (Function Phase)
4. ขั้นตอนที่สร้างสรรค์ความคิด (Creation Phase)
5. ขั้นตอนที่ประเมินผล (Evaluation Phase)
6. ขั้นตอนที่ทดสอบพิสูจน์ (Investigation Phase)
7. ข้อเสนอแนะ (Recommendation Phase)

1. ขั้นตอนทั่วไป

แผนงาน VE ในขั้นนี้ ต้องการสิ่งเหล่านี้

- ใช้หลักมนุษยสัมพันธ์ที่ดี เพื่อก่อให้เกิดความช่วยเหลือซึ่งกันและกัน พร้อมทั้งจัดการต่อต้านการเปลี่ยนแปลง
- กระตุ้นให้เกิดการทำงานร่วมกันเป็นทีม ข้อนี้พูดง่ายแต่ทำให้เกิดผลสำเร็จได้อย่างยากลำบาก นอกจากได้ผู้นำที่รอบรู้ และตั้งใจทำงานอย่างจริงจัง รวมทั้งได้รับการสนับสนุนจากผู้บริหาร ร่วมมือระหว่างหน่วยงานต่างๆ
- ทำงานเฉพาะด้าน เก็บข้อมูล และข่าวสารที่เป็นปัญหาเฉพาะด้าน
- เอาชนะอุปสรรค อดทนเพื่อที่จะพิชิตแรงต่อต้าน การเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างแน่นอนในองค์การ
- ใช้การตัดสินใจที่ดีของธุรกิจ การตัดสินใจของธุรกิจและพิจารณาอย่างรอบคอบ จะต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานของความเป็นจริง การตัดสินใจที่ผิดพลาดย่อมทำให้พ่ายแพ้แก่คู่แข่งได้ง่ายดาย

2. ขั้นรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนนี้ใช้เทคนิคเพียง 3 ข้อเท่านั้น อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ดี พบว่าขั้นตอนนี้ยากที่สุดและใช้เวลามากที่สุดเช่นกัน

- หาข้อเท็จจริง เป็นงานยากที่จะได้ข้อเท็จจริงทั้งหมด โดยจะต้องแน่ใจว่าข้อมูลที่ได้นั้นมีใช้ข้อเท็จจริงเพียงครั้งเดียว
- หาต้นทุน ต้องสมบูรณ์และเป็นต้นทุนที่ถูกต้องมากที่สุด
- กำหนดต้นทุนของข้อกำหนด (specification) และสิ่งที่ต้องการ (requirement) ด้วยการหาความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนและข้อกำหนด

3. ขั้นวิเคราะห์

ให้นิยามของหน้าที่ โดยแบ่งเป็นคำกริยา และคำนาม ซึ่งยากในการปฏิบัติจริง ต่อจากนั้น ประเมินผลหน้าที่การทำงาน

4. ขั้นสร้างสรรค์ความคิดเพื่อปรับปรุง

เป็นการระดมความคิด (Brainstorming) ความคิดในทางบวก และความคิดในทางสร้างสรรค์ ต้องการปริมาณความคิดมากๆ ถึงแม้จะเป็นความคิดที่เป็นไปไม่ได้ก็ตาม เพื่อให้เหมาะกับหน้าที่การทำงาน

5. ขั้นประเมินผลความคิด

เป็นขั้นพิจารณาและประเมินความคิดสร้างสรรค์ ด้วยการกลั่นกรอง และรวบรวมความคิดเข้าด้วยกัน หาต้นทุนในแนวความคิดทั้งหมดว่าต้นทุนคิดเป็นเท่าไร สามารถประหยัดได้แค่ไหน พัฒนาทางเลือกของหน้าที่ ในกรณีที่มีปัญหา และประเมินผลด้วยการเปรียบเทียบว่าอันไหนจะได้คุณค่ามากที่สุด

6. ขั้นทดสอบและพิสูจน์

กลั่นกรองทางเลือกของแนวคิด ให้ได้ต้นทุนต่ำที่สุด รวมทั้งได้หน้าที่การทำงานที่ต้องการ ควรพิจารณาถึงมาตรฐานของบริษัทและอุตสาหกรรม ซึ่งควรปรึกษาผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน และผู้ขาย จะได้รับข้อมูลใหม่ๆ ได้อีกด้วย นอกจากนี้ควรใช้ชิ้นส่วนมาตรฐาน ขบวนการหรือวิธีการซึ่งจะทำให้ได้ต้นทุนต่ำโดยได้หน้าที่การทำงานเหมือนเดิมด้วย

7. ขั้นเสนอแนะเพื่อนำไปปฏิบัติ

เป็นขั้นสุดท้าย ซึ่งจะต้องเสนอต่อผู้บริหาร สิ่งที่จะต้องนำเสนอ คือความจริงในปัจจุบัน เป็นอย่างไร ปัญหาคืออะไร รวมทั้งต้นทุนปัจจุบัน แจกแจงรายละเอียดให้ทราบก่อนเพื่อเป็นการกระตุ้น ให้ผู้บริหารยอมรับในโครงการใหม่ เพื่อนำไปปฏิบัติสิ่งการต่อไป

การนำเสนอข้อเท็จจริง ต้นทุน และโครงการใหม่ อาจกระทำได้ในรูปแบบของการอธิบาย หรือการส่งรายงาน หรือในแบบผสม คืออธิบายด้วยพร้อมทั้งเสนอรายงาน ซึ่งวิธีนี้ดีที่สุด.

2.2 ชิกซ์ชิกมา

วิทยา สุหฤตดำรง และ นราศรี ถาวรกุล (2545)[2] ได้กล่าวไว้ว่าชิกซ์ชิกมานั้นแท้จริงแล้วเป็นภาษาในวิชาสถิติ ซึ่งสัญลักษณ์ σ เป็นตัวอักษรในภาษากรีก ที่ใช้แทนความหมายของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ซึ่งค่าชิกมา ยิ่งสูง แสดงว่ามีความแปรปรวนของกระบวนการยิ่งสูง ทำให้มีพื้นที่ที่อยู่นอกเหนือพื้นที่ในการยอมรับหรือในสเปคน้อยลง นั่นคือมีของเสียที่อยู่นอกเหนือขอบเขตที่ยอมรับได้น้อยลง โดยที่ในระดับ 6 ชิกมา นั้นจะยอมรับให้เกิดของเสีย

ได้ที่ปริมาณ 3.4 ขึ้นในการผลิต 1 ล้านชิ้น หรือที่เรียกว่า 3.4 ppm (parts per million) ซึ่งหากเป็นไปตามเส้นโค้งการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution Curve) จริงๆทางสถิติที่ระดับ 6 ซิกมา จะมีของเสียที่อยู่นอกขอบเขตของการยอมรับเท่ากับ 0.002 ขึ้นต่อ 1 ล้านชิ้นเท่านั้น แต่เหตุผลที่หลักการ ซิกซ์ซิกมา ใช้อยู่ในปัจจุบันมีการยอมรับของเสียที่ 3.4 ppm ก็เพราะว่า ในขณะที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ความแปรปรวนในบริษัท โมโตโรล่านั้น ได้พบว่าไม่มีระบบการผลิตใดเลยที่จะไม่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกนั้นก็คือเราไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกเพื่อไม่ให้ส่งผลถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลได้ ซึ่งระบบที่ไม่มี ความแปรปรวนเลยจึงเป็นเพียงระบบในอุดมคติ (Ideal System) ดังนั้นโมโตโรล่าจึงทำการเก็บรวบรวม ข้อมูลใหม่ในกระบวนการผลิต เพื่อหาความแปรปรวนที่เกิดจากปัจจัยภายนอกอันส่งผลถึงความ คลาดเคลื่อนของค่ากึ่งกลาง ซึ่งได้ข้อสรุปจากการวิเคราะห์คือค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลอันเนื่องจาก ปัจจัยภายนอกมีค่าอยู่ในช่วง 1.4-1.6 เท่าของซิกมา จึงนำค่าเฉลี่ยคือ 1.5 เท่าของซิกมา เป็นค่า ความเบี่ยงเบนของค่ากึ่งกลางข้อมูลที่ยอมรับได้และนำมาใช้ในทฤษฎี ซิกซ์ซิกมา ซึ่งค่า 3.4 ppm จึงเป็นค่าความผิดพลาดที่ 4.5 เท่าของซิกมาตามหลักสถิตินั่นเอง ซึ่งบริษัทโมโตโรล่าได้นำ หลักการนี้มาใช้เพื่อตั้งเป้าหมายในระบบการผลิตของบริษัทและพัฒนาวิธีการต่างๆ เพื่อนำไปสู่เป้าหมายนั้นจนกลายเป็นระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพระบบหนึ่งในปัจจุบันและเป็น ที่รู้จักไปทั่วโลก

ซิกซ์ซิกมา เป็นวิธีการปฏิบัติที่ดีที่สุดในปัจจุบัน [3] เพื่อการพัฒนากระบวนการทางธุรกิจ ทุกกระบวนการและเป็นวิธีที่นิยมทั่วโลกในขณะนี้ ในปี 1986 Bill Smith นักวิทยาศาสตร์และ วิศวกรอาวุโสในกิจการสายโทรคมนาคมของบริษัทโมโตโรล่า ได้ประยุกต์สูตรและวิธีการทางสถิติ เพื่อกลั่นกรองเป็นวิธีการของซิกซ์ซิกมาและนำแนวคิดนี้ไปนำเสนอต่อ CEO, Bob Galvin ในขณะ นั้น โดยมุ่งเน้นการลดต้นทุนและปรับกระบวนการทำงานให้สอดคล้องกับกลยุทธ์ที่วางไว้ ซิกซ์ซิก มาได้เข้าไปมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมองค์กร และพัฒนาแนวคิดของการบริหาร คุณภาพขึ้นใหม่จากระดับล่างสู่ระดับบนทั่วทั้งองค์กร หลักสูตรการอบรมซิกซ์ซิกมาได้ถูกจัดให้ สำหรับทุกคนในองค์กร ซึ่งการอบรมนั้นไม่ได้เป็นแค่เพียงภาคทฤษฎีในห้องเรียนเท่านั้น แต่เป็น หลักสูตรที่เข้าถึงทุกๆ คน ทุกคนจะต้องได้รับการเรียนรู้ที่แตกต่างกันออกไปตามหน้าที่ในการ ทำงาน เพื่อให้มั่นใจว่าทุกคนสามารถนำไปใช้และปฏิบัติร่วมกันได้จริงอย่างทั่วถึงทั้งองค์กร หลังจากที่ได้ร่วมแรงร่วมใจกัน วัฒนธรรมองค์กรเกี่ยวกับคุณภาพได้เปลี่ยนไปในทางที่ดีขึ้น ยอดขายและอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้นอย่างไม่เคยเป็นมาก่อน บริษัทได้รับรางวัลคุณภาพ

แห่งชาติ (Malcolm Baldrige National Quality Award)” หลายบริษัทได้นำซิกซ์ซิกมามาใช้เป็นแผนกลยุทธ์ของกิจการและประสบความสำเร็จกันมากมาย

Jack Welch ซึ่งเป็น CEO ของบริษัท GE ได้กล่าวเอาไว้ว่า “ซิกซ์ซิกมาเป็นโครงการที่ให้ผลตอบแทนเป็นมูลค่ามหาศาลที่สุดเท่าที่เราเคยทำมาก่อนในบริษัท” จากผลประกอบการปี 1997 ของ GE พบว่าซิกซ์ซิกมาสามารถทำให้ผลกำไรจากการดำเนินงานเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมเป็นมูลค่าถึง 300 ล้านดอลลาร์ และในปี 1998 ก็ได้ขยับขึ้นเป็น 750 ล้านดอลลาร์ ตัวอย่างบริษัทในเครือ GE ที่ได้นำซิกซ์ซิกมาเข้ามาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกิจการ ดังนี้

- บริษัท Medical System นำซิกซ์ซิกมาช่วยยืดอายุการใช้งานของหลอดรังสีของเครื่องเอกซเรย์ 10 เท่า ทำให้เพิ่มผลกำไรให้กับบริษัทเป็นอันมาก และยังช่วยให้รักษาคนไข้มากขึ้นด้วย
- ธุรกิจเกี่ยวกับเพชร ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 4 เท่า ทำให้ผลประกอบการของกิจการสูงสุดในรอบทศวรรษ
- ธุรกิจลิฟต์ซึ่งรกร้างเลือน ช่วยลดรอบเวลาในการซ่อมแซมเครื่องจักรลงได้ร้อยละ 62 ทำให้เพิ่มประสิทธิผลในการผลิตมากกว่าเดิม 2-3 เท่า ขั้นต่อไป เราจะให้ทีมงาน Black Belts, Green Belts และทีมงานอื่นๆ ได้ช่วยกันปรับปรุงกระบวนการอีก เพื่อช่วยลดระยะเวลาลงอีกร้อยละ 50
- ธุรกิจพลาสติก สามารถผลิตได้เพิ่มขึ้น 300 ล้านปอนด์ต่อปี ซึ่งเท่ากับได้โรงงานฟรีมาอีก 1 โรงงาน ช่วยให้เกิดค่าใช้จ่ายในการลงทุนไปอีก 400 ล้านดอลลาร์ และคาดว่าในปี 2000 จะประหยัดได้อีก 400 ล้านดอลลาร์
- ในทุกหน่วยธุรกิจของ GE มีการรณรงค์ซิกซ์ซิกมาอย่างทั่วถึง ผู้ที่จะได้รับการแต่งตั้งให้เป็นผู้จัดการ หรือผู้เชี่ยวชาญในด้านใดก็ตามแต่ จะต้องเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ผ่านการบริหารงานในโครงการซิกซ์ซิกมามาก่อน ค่าตอบแทน หรือโบนัสต่างๆ ก็ขึ้นอยู่กับจำนวนโครงการ และอัตราความสำเร็จของโครงการ Six Sigma ที่ผู้บริหารคนนั้นได้จัดทำในปัจจุบัน GE ได้มี Black Belts, Green Belts แบบเต็มเวลากว่า 4,000 คน และแบบ Part Time อยู่ราวๆ 60,000 คน ซึ่งอย่างน้อยทุกคนจะต้องประสบความสำเร็จอย่างน้อยคนละ 1 โครงการ

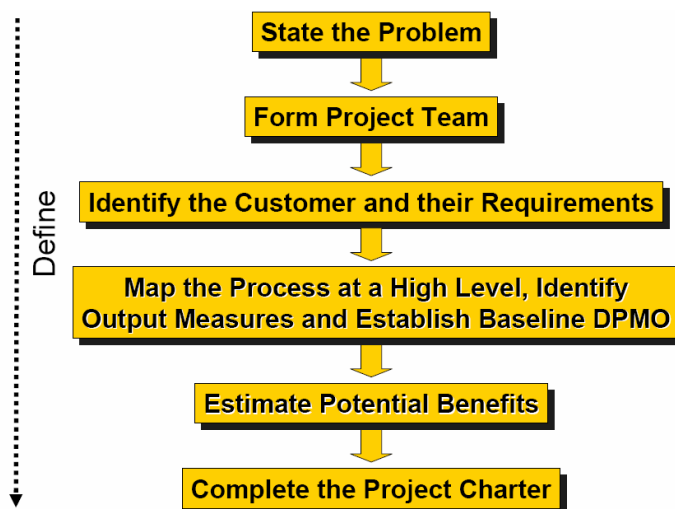
บริษัท Walmart เป็นห้างสรรพสินค้าชั้นนำที่ได้รับความสำเร็จจากการนำซิกซ์ซิกมาใช้ในการลดความผิดพลาดของระบบการออกแบบใบเสร็จ (Billing System Transaction) จากการ

วิเคราะห์ข้อมูล และทำการปรับปรุงตามแนวทางซิกซ์ซิกมาทำให้สามารถลดจำนวนความผิดพลาดได้ถึงร้อยละ 98 นอกจากนี้ผลประกอบการรวมตั้งแต่เริ่มประยุกต์ในกระบวนการซิกซ์ซิกมาของหลายบริษัทดังกล่าวสามารถลดต้นทุนได้เป็นจำนวนมหาศาล

ขั้นตอนการทำงานปรับปรุงกระบวนการทำงานของ Six Sigma ด้วย DMAIC

ซิกซ์ซิกมา ที่เป็นที่รู้จักและขอบเขตถึงอยู่ในปัจจุบันนั้นจะหมายถึง ซิกซ์ซิกมาในมุมมองที่เป็นระบบการจัดการระบบหนึ่ง ซึ่งจะไม่ใช่แค่การมุ่งเน้นให้เกิดข้อผิดพลาดที่ 3.4 ppm เท่านั้น แต่จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่างๆที่สำคัญที่จะทำให้ระบบการจัดการแบบซิกซ์ซิกมาประสบผลสำเร็จคือ การดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาโดยจัดตั้งทีมขึ้นมาจัดการฝึกอบรมและแบ่งหน้าที่ของแต่ละคนในทีม จนไปถึงการปฏิบัติตามกระบวนการ DMAIC ซึ่งกระบวนการ DMAIC เป็นขั้นตอนในการดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาโดยแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนใหญ่(phase) คือ Define Phase , Measure Phase , Analyze Phase , Improve Phase and Control Phase [4]

1. DefinePhase เป็นขั้นตอนแรกของการทำ Six Sigma คือ การกำหนดหัวข้อและขอบเขตของการทำโครงการ ว่าโครงการนี้ จะทำการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงในเรื่องใด ซึ่งจะต้องเริ่มจากการค้นหา ลูกค้านี้แท้จริงของกระบวนการ ที่จะทำการปรับปรุงเสียก่อน แล้วจึงหาความต้องการของลูกค้าซึ่งทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจ หรือสิ่งที่คู่แข่งในธุรกิจเดียวกันสามารถทำได้ เพื่อกำหนดเป็นเป้าหมายของโครงการ นอกจากนี้จะต้องกำหนดขอบเขตของโครงการ เพื่อให้การทำโครงการมีทิศทางและขนาดที่เหมาะสมภายในกรอบระยะเวลาที่กำหนด ตลอดจนกำหนดขั้นตอนของกระบวนการที่จะทำการปรับปรุง โดยเขียนในรูปของ Process Map เพื่อให้เกิดความชัดเจนว่า โครงการนี้ จะเข้าไปเกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงานในขั้นตอนใดบ้าง จะเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ใด ทั้งนี้เนื่องจากการทำโครงการซิกซ์ซิกมาแต่ละโครงการจะต้องใช้เวลาตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไป และมีผู้ร่วมโครงการ/ผู้เกี่ยวข้องหลายคน ซึ่งอาจมาจากต่างหน่วยงาน จึงจำเป็นต้องกำหนดกรอบของโครงการเพื่อให้เกิดความเข้าใจไปในแนวทางเดียวกัน อันจะส่งผลให้สามารถร่วมมือกันทำงานได้อย่างลุล่วง ขั้นตอนการดำเนินงานขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาใน Define Phase แสดงในรูปที่ 23



รูปที่ 23 ขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซิกมาใน Define Phase

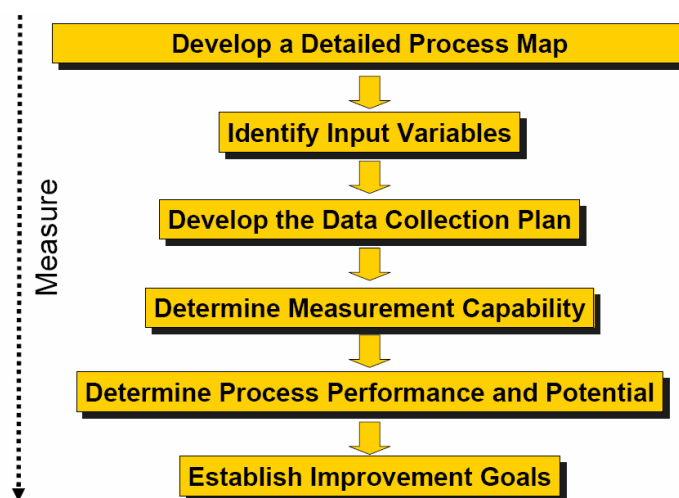
ที่มา : Breyfogle, Forrest W. (2000)

2. M-Measure คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับผลผลิต บริการที่ออกมาจากกระบวนการ (Y) โดยเริ่มจากการกำหนดแผนการเก็บข้อมูล รูปแบบ วิธีการเก็บข้อมูลให้เหมาะสมกับความต้องการและกระบวนการทำงาน หลังจากนั้น จะนำข้อมูลมาหาประสิทธิภาพของกระบวนการ โดยเปรียบเทียบกับเป้าหมายที่กำหนดว่า มีความใกล้เคียงหรือแตกต่างจากเป้าหมาย ซึ่งเป้าหมายก็คือ สิ่งที่ถูกค่าต้องการนั่นเอง ขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซิกมาในเป้าหมายที่กำหนด ถือว่าเป็น Defect และค่า Sigma Level จะสะท้อนให้เห็นถึงโอกาสของการเกิด Defect ต่อล้านครั้งว่ามีโอกาสมากน้อยเพียงใด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงโอกาสของการเกิด Defect ต่อล้านครั้งที่ระดับ Sigma ต่างๆ

SIGMA	DEFECTS PER MILLION OPPORTUNITIES
2	308,537
3	66,807
4	6,210
5	233
6	3.4

จะเห็นว่า ที่ Sigma Level = 6 จะมีโอกาสการเกิด Defect เพียง 3.4 ครั้งต่อล้านครั้งเท่านั้น ซึ่งก็คือนิยามของ Six Sigma นั่นเอง ทั้งนี้ ใน World Business โดยทั่วไปจะอยู่ที่ 3 Sigma หรือมี Defect = 66,807 ครั้งต่อล้านครั้งนั่นเอง ซึ่งซิกซ์ซิกมาจึงมาจากการกำหนดจุดหมายปลายทางของการปรับปรุงองค์กร ให้สามารถผลิตสินค้าหรือบริการให้มีข้อผิดพลาดน้อยมาก ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดความพึงพอใจของลูกค้าและมาตรฐานของสินค้าหรือบริการนั่นเอง

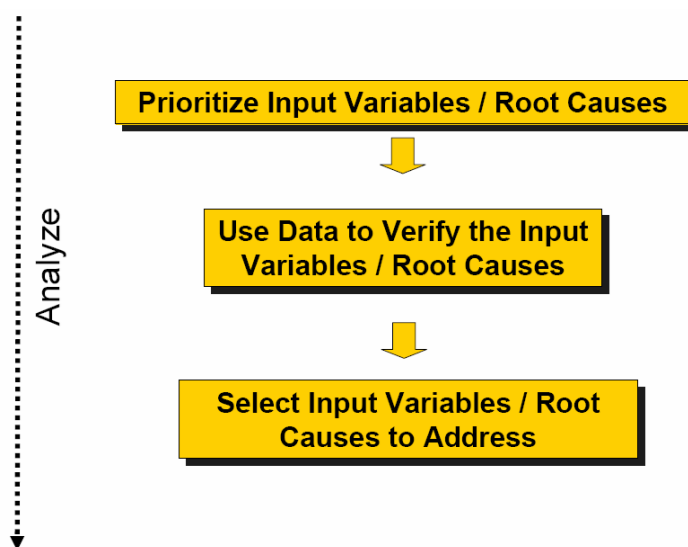


รูปที่ 24 ขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาใน Measure Phase

ที่มา : Breyfogle, Forrest W. (2000)

3. Analyze Phase คือ การวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ผลผลิต (Y) ของกระบวนการไม่เป็นไปตามที่กำหนด ซึ่งก็คือตัวสาเหตุของ Defect (Xs) นั่นเอง ดังสมการทางคณิตศาสตร์นี้ $Y = f(Xs)$ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าอะไรก็ตามที่ไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดในทางซิกซ์ซิกมาจะถือว่าเป็น Defect (Y) ฉะนั้นในขั้นตอนนี้ จะทำการวิเคราะห์ว่า ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อการเกิด Defect และนำมาเรียงลำดับความสำคัญเพื่อหาสาเหตุหลัก สาเหตุรอง (X_1, X_2, X_3, \dots) ขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาใน Analyze Phase แสดงในรูปที่ 24 โดยจะต้องรวบรวมข้อมูลและนำมาประมวลผลในเชิงสถิติ อันเป็นจุดเด่นของซิกซ์ซิกมาที่การทำงานทุกขั้นตอนต้องมีที่มาและพิสูจน์ได้อย่างชัดเจน ไม่ใช่ความเชื่อหรือความรู้สึกในการตัดสินใจ ทั้งนี้ เครื่องมือทางสถิติมีหลากหลายชนิด จึงต้องเลือกใช้ให้

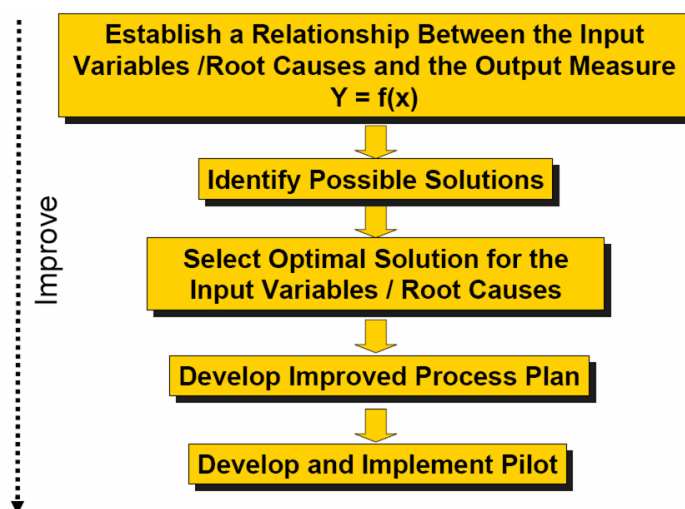
เหมาะสมกับข้อมูลและกระบวนการทำงาน เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำ สามารถเชื่อถือได้



รูปที่ 25 ขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาใน Analyze Phase

ที่มา : Breyfogle, Forrest W. (2000)

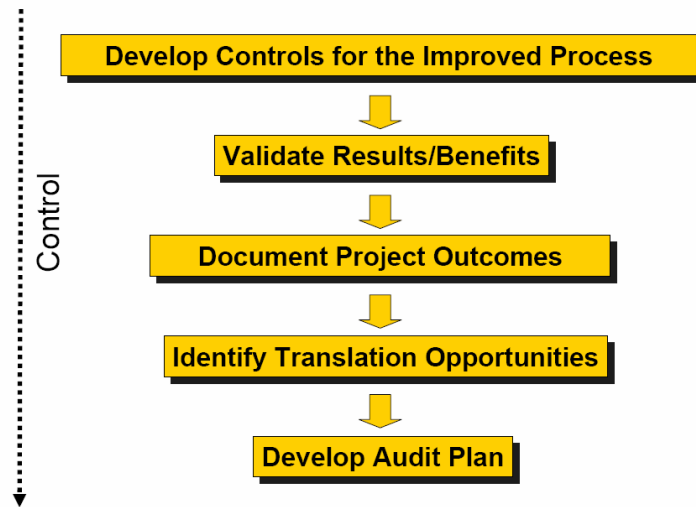
4. Improve Phase หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุจนทราบถึงสาเหตุหลัก (X1) ที่ทำให้เกิด Defect แล้ว ในขั้นตอนนี้ จะกำหนดแผนงานในการปรับปรุงกระบวนการทำงาน โดยมุ่งเน้นไปที่การกำจัดหรือลดสิ่งที่ทำให้เกิดปัญหาหลักนั้นๆ ทั้งนี้ ในซิกซ์ซิกมายังสามารถประเมินได้ด้วยว่า หากสามารถกำจัด X แต่ละตัวออกไป จะส่งผลในการปรับปรุงค่า Y เป็นจำนวนเท่าใด อันจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในด้านการศึกษาความคุ้มค่า เพราะการเปลี่ยนแปลงบางอย่างอาจจำเป็นต้องอาศัยการลงทุนเพิ่มขึ้นเมื่อศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการทำงานหลายๆแนวทางแล้วก็จะนำมาประเมิน หาแนวทางที่เหมาะสมที่สุด หรือนำมาเรียงลำดับว่า ควรจะเลือกดำเนินการตามแนวทางใดก่อน-หลัง จึงจะเหมาะสมตามสถานการณ์แวดล้อม เช่น งบประมาณที่ได้รับ ณ ขณะนั้น ผลกระทบที่เกิดขึ้น การยอมรับจากผู้ที่เกี่ยวข้อง แล้วจึงเริ่มดำเนินการปรับปรุงกระบวนการทำงานตามแผนงานที่กำหนดขึ้นขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาใน Improve Phase แสดงในรูปที่ 26



รูปที่ 26 ขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาใน Improve Phase

ที่มา : Breyfogle, Forrest W. (2000)

5. Control Phase เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำโครงการซิกซ์ซิกมาแต่ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง กล่าวคือ หลังจากที่ได้มีการปรับปรุง หรือ เปลี่ยนแปลงกระบวนการทำงานในขั้นตอน Improve ไปแล้วนั้น จำเป็นจะต้องวางระบบการควบคุมเพื่อให้ความเปลี่ยนแปลงนั้นยังคงอยู่ตลอดไป มิฉะนั้น กระบวนการจะค่อย ๆ ปรับกลับไปสู่รูปแบบเดิม อันเนื่องมาจากความเคยชินของผู้ปฏิบัติงาน ในการควบคุมจึงจำเป็นต้องอาศัยทั้งการสร้าง ให้เกิดการยอมรับหรือเห็นคุณค่าของกระบวนการใหม่ และการติดตามประเมินผลเป็นระยะๆอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ ยังจะต้องวิเคราะห์ความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ต่างๆ และหากการเปลี่ยนแปลงนั้น ได้รับการยอมรับปฏิบัติจนเป็นมาตรฐานแล้ว ก็ควรจะจัดทำหรือปรับปรุงคู่มือการปฏิบัติงานให้สอดคล้องกับกระบวนการใหม่ด้วยขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาใน Control Phase แสดงในรูปที่ 27



รูปที่ 27 ขั้นตอนการดำเนินโครงการซิกซ์ซิกมาใน Control Phase
ที่มา : Breyfogle, Forrest W. (2000)

ตารางที่ 3 แสดงขั้นตอนการทำงานและเครื่องมือคุณภาพในกระบวนการ DMAIC

ขั้นตอน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	เครื่องมือที่นิยมนำมาใช้
Define	<ul style="list-style-type: none"> ▪ แต่งตั้งทีมงาน ▪ นิยามปัญหา ▪ หาความต้องการลูกค้า/องค์กร ▪ ตั้งเป้าหมาย 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ New 7 Tools ▪ Quality Function Deployment(QFD) ▪ ผังกระบวนการ ▪ Process Mapping ▪ การวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk Analysis) ▪ ผังพาเรโต ▪ การระดมสมอง (Brainstroming)

ขั้นตอน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	เครื่องมือที่นิยมนำมาใช้
Measure	<ul style="list-style-type: none"> ▪ วัดขั้นตอน input ที่สำคัญ ▪ รวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ พิสูจน์ปัญหา 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ผังควบคุม (Control Chart) ▪ Run chart ▪ Process Mapping ▪ Gage R&R ▪ Check Sheets ▪ Box plot
Analyze	<ul style="list-style-type: none"> ▪ พิสูจน์ปัญหา ▪ หาต้นตอของความแปรปรวน 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement system analysis) ▪ การออกแบบการทดลอง (DOE) ▪ การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ Cp Cpk ▪ การวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ (FMEA) ▪ ผังก้างปลา (Cause & Effect diagram) ▪ แผนภูมิต้นไม้ (Fault Tree Analysis) ▪ การวิเคราะห์จุดที่ติดขัด (Theory of Constrain) ▪ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ▪ การจำลองกระบวนการ (Process Simulation) ▪ ANOVA ▪ การทดสอบสมมติฐาน
Improve	<ul style="list-style-type: none"> ▪ กำหนดวิธีกำจัดต้นตอของสาเหตุและนำไปดำเนินการ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ การวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ ▪ การออกแบบการทดลอง ▪ Evolutionary operations (EVOP) ▪ การจำลองกระบวนการ

ขั้นตอน	กิจกรรมที่ดำเนินการ	เครื่องมือที่นิยมนำมาใช้
Improve	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ทดสอบการดำเนินการ ▪ จัดทำมาตรฐานของผลการดำเนินการ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ การป้องกันข้อผิดพลาด (Mistake proofing, Poka-Yoke)
Control	<ul style="list-style-type: none"> ▪ จัดทำแผนควบคุม 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ผังควบคุม ▪ ฝ้าติดตามการดำเนินการ ▪ การป้องกันข้อผิดพลาด (Poka-Yoke) ▪ การควบคุมด้วยกระบวนการทางสถิติ (SPC) ▪ การวิเคราะห์ความสามารถ

โครงสร้างและหน้าที่รับผิดชอบของ Six sigma จะประกอบด้วย

1. Champion เป็นชื่อเรียกผู้ที่มีความรับผิดชอบสูงสุดต่อผลสำเร็จในงาน หรือผู้บริหารระดับสูง (Executive-Level Management) สนับสนุนให้เป้าหมายของงานสำคัญประสบความสำเร็จ หนุนแรงค์และผลักดันให้เกิดองค์กรซิกซ์ซิกมาและเกิดกระบวนการปรับปรุงองค์การอย่างต่อเนื่อง ขจัดอุปสรรค ให้รางวัล หรือค่าตอบแทน ตอบปัญหา อนุมัติโครงการ กำหนดวิสัยทัศน์โครงการ สนับสนุนทรัพยากรในด้านบุคลากร งบประมาณ เวลา สถานที่ กำลังใจ และความชัดเจนในหน้าที่ ผลักดันให้มีจำนวน Black Belt และ Green Belt ที่เหมาะสมในองค์กร มีหน้าที่ติดตามความก้าวหน้าของโครงการปรับปรุง ให้สอดคล้องกับเป้าหมายขององค์กร ส่งเสริมและสนับสนุนการสร้างวัฒนธรรมในการปรับปรุงให้เกิดขึ้นในองค์กร โดยอาศัยการสื่อสาร การตั้งคำถามเพื่อย้ำให้เกิดแนวความคิดแบบซิกซ์ซิกมา มีการชมเชยและการให้ประกาศเกียรติคุณแก่พนักงานในองค์กร มีการคัดเลือกโครงการปรับปรุงที่ ดีเยี่ยมและการให้รางวัลเมื่อพนักงานปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพ

2. Six sigma Director มีหน้าที่นำและบริหารองค์การให้สำเร็จบรรลุแนวทาง ชิกซ์ซิกมา ภายในหน่วยงานทางธุรกิจตนเอง เป็นผู้กำหนดแนวทางในการปฏิบัติและนโยบายการดำเนินงานของชิกซ์ซิกมาสนับสนุนกิจกรรมต่าง ๆ ที่สำคัญในการกระจายนโยบายให้ เป็นไปอย่างต่อเนื่อง
3. Master Black Belt คือ ผู้ชำนาญการด้านเทคนิค และเครื่องมือสถิติ เป็นผู้มีความรู้และ ความเชี่ยวชาญในการทำงานเป็นอย่างดี และสามารถถ่ายทอดและให้การอบรมเพื่อสร้าง ทีม Black Belt และ Green Belt ตลอดโครงการปรับปรุงได้ เป็นผู้ช่วยเลือกโครงการ ปรับปรุงให้แก่ Champion และเป็นผู้มีความคิดสร้างสรรค์ในการคัดเลือกโครงการ ปรับปรุง โดยมองในภาพรวมใหญ่ขององค์กร ได้แก่ การปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานและ การเสนอโครงการปรับปรุงที่เชื่อมโยงกันระหว่างหน่วยงานต่าง ๆ
4. Black belt คือ ผู้บริหารโครงการ (Project Manager) และผู้ประสานงาน (Facilitator) ได้รับการรับรองว่าเป็นสายดำชั้นครู Black belt เป็นการบ่งบอกถึงระดับความสามารถ สูงสุดของนักกีฬายูโด จะทำหน้าที่เป็นหัวหน้าโครงการ บริหารลูกทีมที่มีลักษณะข้ามสาย งาน

ในการบริหารชิกซ์ซิกมาจะประกอบไปด้วยการทำโครงการย่อยที่คัดเลือกจาก ปัญหาที่มีอยู่ในกระบวนการต่าง ๆ ขององค์กร กระจายกลยุทธ์และนโยบายของบริษัทไป ยังระดับปฏิบัติการ ผลักดันความคิดของ Champion ให้เกิดขึ้นและให้ความช่วยเหลือ Master Black Belt six sigma Director และ Champion นอกจากนี้ยังเป็นผู้ค้นหาปัญหา และอุปสรรคที่อยู่ในองค์กรและวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีความจำเป็นในการทำให้องค์กร บรรลุความพึงพอใจของลูกค้า

การบริหารโครงการในแต่ละขั้นตอนตามแนวทางชิกซ์ซิกมาประกอบด้วย กระบวนการวัด การวิเคราะห์ การปรับปรุง และการควบคุม โดยให้เกิดการกระจายผล การปรับปรุงไปสู่การปฏิบัติ รายงานความก้าวหน้าของโครงการให้ผู้บริหารระดับสูงทราบ Black Belt จะต้องทำหน้าที่ในการ ใ้มน้ำที่ทีมงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการ คัดเลือกเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงได้อย่างเหมาะสม เก็บรวบรวมปัจจัยที่ เกี่ยวข้องกับโครงการปรับปรุงจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ภายในองค์กร ทั้งจากพนักงาน

จนถึงระดับผู้จัดการ สร้างความมั่นใจว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงสามารถคงอยู่ได้ตลอดไป

Black Belt ต้องได้รับการฝึกอบรมเพื่อให้มีความรู้ที่สำคัญในการปรับปรุงการทำงาน ซึ่งความรู้หลัก ๆ ของ Black Belt เพื่อการทำโครงการปรับปรุงที่จะได้รับประกอบด้วย ความรู้ทางสถิติความรู้ทางด้านการบริหารโครงการ ความรู้ทางด้านการสื่อสารและการเป็นผู้นำโครงการ ความรู้เพื่อการปรับปรุงคุณภาพอื่น ๆ

5. Green belt คือพนักงานที่ทำหน้าที่โครงการ เป็นผู้ที่ได้รับการรับรองว่ามีความสามารถเทียบเท่ากับนักกีฬายูโดในระดับสายเขียว ซึ่งในการบริหารซิกซ์ซิกมา นั้น ผู้ที่ทำหน้าที่เป็น Green belt จะเป็นผู้ช่วยของ Black belt ในการทำงาน ทำหน้าที่ในการปรับปรุงโดยใช้เวลาส่วนหนึ่งของการทำงานปกติ นำวิธีการปรับปรุงตามแนวทางซิกซ์ซิกมา ไปใช้ในโครงการได้ สามารถนำเอาแนวความคิดและวิธีการปรับปรุงไปขยายผลต่อในหน่วยงานของตนเองได้
6. Team Member ในโครงการทุกโครงการจะต้องมีสมาชิกทำงาน 4-6 คน โดยเป็นตัวแทนของคนทำงานในกระบวนการที่อยู่ในขอบข่ายของโครงการ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ซิกซ์ซิกมา คือวิธีการที่ถูกสนับสนุนด้วยเครื่องมือทางสถิติที่มีประสิทธิภาพ โดยมุ่งเน้นในการลดความผันแปรของกระบวนการ ตรวจวัดข้อบกพร่อง และการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ กระบวนการและการบริการ แม้ว่าในเริ่มแรก ซิกซ์ซิกมาจะถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามปัจจุบันนี้ซิกซ์ซิกมาได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น ด้วยความมุ่งหวังเพื่อที่จะทำการลดข้อบกพร่องอย่างต่อเนื่อง

ในอุตสาหกรรมการผลิตซิกซ์ซิกมาถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและลดต้นทุนในอุตสาหกรรมต่างๆตลอดระยะเวลาเวลามากกว่า 10 ปีที่ผ่านมา

M. Sokovic, D. Pavletic, S. Fakin (2005) [5] ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ซิกซ์ซิกมาในการออกแบบกระบวนการผลิต คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในครัวเรือน โดยเครื่องมือทางซิกซ์ซิกมาที่ถูกนำมาใช้คือ process map และ cause and effect matrix การออกแบบกระบวนการผลิตใหม่ที่ถูกปรับปรุงแล้วโดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางซิกซ์ซิกมา จะใช้ระยะเวลาในการออกแบบและ

ต้นทุนในที่สูงกว่ากระบวนการเดิม อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยการเตรียมการผลิตที่ขึ้นต้นทุนในการขึ้นรูปและของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการจะลดลงและเป็นสัดส่วนมากกว่าต้นทุนในการออกแบบที่เพิ่มขึ้น

R. González Falcón (2011) [6] ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโรงงาน แนนฟา ซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากกว่าร้อยละ 25 ของกระบวนการทั้งหมด วิธีการซิกซ์ซิกมาเป็นประโยชน์อย่างมากในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหน่วยกลั่นกระบวนการ DMAIC ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแสดงลักษณะและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการกลั่นแนนนฟา การจัดระเบียบข้อมูลเพื่อนำไปสู่เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์คือความสำเร็จในขั้นตอนการวัดของกระบวนการ DMAIC ซึ่งเป็นตัวกำหนดพื้นฐานเพื่อการปรับปรุงในอนาคต ในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัจจัยวิกฤต 14 ปัจจัยได้ถูกระบุ ซึ่งทำให้สามารถนำมาใช้ในการทำความเข้าใจและแก้ไขการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ วิธีการทำงานที่เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหน่วยกลั่นได้ถูกนำเสนอ ซึ่งคาดว่าจะก่อให้เกิดการประหยัด 150,000 € / ปี โดยประมาณ

ซิกซ์ซิกมา ถูกนำมาใช้ในกระบวนการลดของเสียในโรงงานผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้าโดย ดุสิต จันทรวงศ์ วิภู ศรีสืบสาย (2555) [7] ได้นำหลักการซิกซ์ซิกมาใช้เพื่อลดจำนวนหัวเจาะ (Spindle) เสีย ที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการเจาะในสายการผลิตของโรงงาน ซึ่งก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่สูง โดยวิธีการวิจัยได้เริ่มจากการเก็บข้อมูลการเสียของหัวเจาะ และวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสีย โดยการวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ และเรียงลำดับความสำคัญตามค่า RPN จากนั้นจึงกำหนดแนวทางแก้ไขด้วยเทคนิคซิกซ์ซิกมา พบว่าจำนวนหัวเจาะเสียลดลงเฉลี่ยร้อยละ 13.51 ต่อเดือนเทียบเท่ากับการประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเฉลี่ยเดือนละ 290,000 บาท

นอกจากอุตสาหกรรมการผลิตแล้วพบว่าทางการแพทย์ได้มีการประยุกต์นำหลักการซิกซ์ซิกมาไปใช้อย่างกว้างขวางทั้งในและต่างประเทศ

R. Rohini, J. Mallikarjun (2011) [8] ได้นำหลักการซิกซ์ซิกมาไปปรับปรุงคุณภาพของห้องผ่าตัดในประเทศอินเดีย โดยกระบวนการที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษานี้คือ DMAIC (Define, Measure, Analyse, Improve/Implement and Control) ในขั้นตอน Define Phase ปัญหาและเป้าหมายได้ถูกระบุ โดยมีผลลัพธ์ที่สำคัญ 3 ประการคือ Project Charter , Measurable customer Requirements , High level process Map จากนั้นแผนการเก็บข้อมูลได้ถูกสร้างขึ้นในขั้นตอน Measure Phase สำหรับในขั้นตอน Analyse Phase ได้ถูกจำแนกเป็น 2 ประเภทคือ การวิเคราะห์ข้อมูล และการวิเคราะห์กระบวนการโดยใช้เครื่องมือ cause & effect

diagram ในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ หรือ Improve Phase ได้มีการรวบรวมความคิดจาก ทีม และผู้เชี่ยวชาญในแต่ละหน่วยงาน นำไปสู่การออกแบบการทำงานในห้องผ่าตัดด้วยความราบรื่น ขั้นตอนการควบคุม หรือ Control Phase ถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด แผนการควบคุมและการจัดการที่หลากหลายได้ถูกสร้างขึ้น รวมไปถึงความร่วมมือของผู้บริหารระดับสูง ผลจากการศึกษา ทำให้โรงพยาบาลสามารถเพิ่มการใช้งานห้องผ่าตัดได้มากขึ้น ทำให้เกิดการประหยัดถึง 6, 45, 30, 000 Rs. ต่อปี

ศิริศกย เทพจิต (2549) [9] ได้ใช้วิธีพลวัตของระบบจำลองสถานการณ์ทำการศึกษาพฤติกรรมของระบบของกระบวนการให้บริการตรวจรักษาของโรงพยาบาล และนำเสนอการบูรณาการระบบการผลิตแบบลีน และการจัดการคุณภาพแบบ ชิซุชิคามา นำมาปฏิบัติใช้ในกระบวนการของโรงพยาบาล โดยมีตัววัดผลคือคุณภาพของกระบวนการและคุณภาพที่คนไข้ได้รับจากการบริการ พบว่าการประยุกต์ใช้ Lean six sigma สามารถลดระยะเวลาการทำงานได้มากที่สุด โดยค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการทำงานตลอดช่วงเวลาจำลองสถานการณ์ลดลงร้อยละ 57.4 สัดส่วนอัตราการไหลเพิ่มขึ้นร้อยละ 375.75 การเพิ่มผลผลิตของพนักงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 30.4 และคุณภาพของการให้บริการเพิ่มขึ้นร้อยละ 120.7

วิศวกรรมคุณค่า A. Shekari, A. H. Khosrojerdi (2006) [10] เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาและลดค่าใช้จ่ายช่วยปรับปรุงการทำงานและคุณภาพเป็นเครื่องมือที่ตระหนักและปรับปรุงดัชนีมูลค่าเพื่อเพิ่มความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า วิศวกรรมคุณค่าได้สร้างมูลค่าเป็นตัวเงินที่มีต้นทุนต่ำสุดที่มีความน่าเชื่อถือและมีคุณภาพมากที่สุดปัจจุบันนี้วิศวกรรมคุณค่าได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมหลากหลายแขนง

เถลิง พลเจริญ, สุรเชษฐ์ บางเมือง (2555) [11] ได้นำเสนอวิธีลดต้นทุนในการสร้างเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอนโดยไม่ทำให้หน้าที่การทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ลดลง โดยใช้ขั้นตอนในการดำเนินการใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่าของ Arthur E. Mudge ซึ่งมี 7 ขั้นตอนดังนี้ (1) การเลือกหัวข้อเรื่อง (2) การรวบรวมข้อมูล (3) การกำหนดประโยชน์การใช้งาน (4) การประเมินหน้าที่การใช้งานที่สำคัญ (5) การออกแบบความคิดสร้างสรรค์ (6) การประเมินผล และ (7) ข้อเสนอแนะ โดยทำการออกแบบชิ้นส่วนใหม่โดยเปลี่ยนวัสดุที่ใช้จากท่อทองแดงมาเป็นท่ออลูมิเนียม ทำให้สามารถลดต้นทุนได้ 2,800 บาท

ก้องฤทธิ์ บุญเลี้ยง, ฤทธิชัย จันทร์สา (2554) [12] ได้ประยุกต์หลักการวิศวกรรมคุณค่าและดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนวิศวกรรมคุณค่าที่นำเสนอโดย Arthur Mudge 7 ขั้นตอน เพื่อช่วยในการปรับปรุงรูปแบบและลดต้นทุนการผลิตของบรรจุภัณฑ์แบบหมุนเวียน (Returnable

Packaging) ที่ได้ต้นแบบมาจากต่างประเทศสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์ จากการปรับปรุงด้วยหลักการวิศวกรรมคุณค่า ทำการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ชนิดหมุนเวียนให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลง 759.84 บาทต่อหน่วย ถ้าคิดรอบการหมุนเวียนของบรรจุภัณฑ์ในเวลา 2 เป็นจำนวน 24,884 หน่วย จะมีต้นทุนที่ลดลงคิดเป็น 18,907,858 บาท โดยบรรจุภัณฑ์แบบหมุนเวียนนี้สามารถใช้วัตถุดิบที่หาได้ภายในประเทศทั้งหมดและสามารถคงสภาพของคุณภาพการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ได้

สาทิต เต็มนาที (2544) [13] ได้ทำการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ในกลุ่มขวดลดน้ำหนักานของแผนก Electric Range Large (ELR) โดยนำหลักการของวิศวกรรมคุณค่ามาประยุกต์ใช้เพื่อลดต้นทุนค่าวัสดุ ภายใต้ข้อจำกัดและความต้องการของระบบ อันได้แก่ ข้อจำกัดด้านการขนส่ง, ความสามารถในการปกป้องผลิตภัณฑ์ ข้อจำกัดด้านการเคลื่อนย้าย และความต้องการลูกค้า ทำการวิเคราะห์หน้าที่การทำงานของวัสดุที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์เพื่อหาหน้าที่หลักของบรรจุภัณฑ์ หลังปรับปรุงพบว่า ต้นทุนค่าวัสดุที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ลดลงถึงร้อยละ 29 (คาดว่าจะมีมูลค่าที่ประหยัดได้ประมาณ 207,527.74 บาท/ปี)

ในกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ Ugo Ibusuki, Paulo Carlos Kaminski (2007) [14] ได้นำเทคนิควิศวกรรมคุณค่าและ target-costing มาใช้เพื่อการปรับปรุงระบบสตาร์ทของเครื่องยนต์ด้วยความมุ่งหวังในการปรับปรุงต้นทุนผลิตภัณฑ์และคุณภาพเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าและกลยุทธ์ของบริษัท ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ที่ต้นทุนจะลดลงราวร้อยละ 10 ในขณะที่ Li and Zheng (2010) [15] ทำการปรับปรุงคำสั่งซื้อหัวเครื่องกลึง โดยการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์วิศวกรรมคุณค่า (VE analysis) ซึ่งสัมพันธ์กับหน้าที่ สัมประสิทธิ์หน้าที่ ต้นทุน และสัมประสิทธิ์คุณค่า ถูกคำนวณโดยการใช้หลักการวิศวกรรมคุณค่าผลจากการปรับปรุงพบว่าสามารถลดต้นทุนในการผลิตหัวเครื่องกลึงไปได้ถึง 320 หยวนต่อชิ้น

วิศวกรรมคุณค่ายังมีส่วนในการช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมก่อสร้างได้โดยการเพิ่มผลประโยชน์ให้กับโครงการ Berawi et al (2014) [16] ได้ประยุกต์ใช้หลักการวิศวกรรมคุณค่า ในโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ ผลจากการดำเนินงานพบว่า มูลค่าของเงินลงทุนเพิ่มสูงขึ้นจากหน้าที่ที่เพิ่มขึ้น อีกหนึ่งตัวอย่างของโครงการก่อสร้างที่มีการนำหลักการวิศวกรรมคุณค่ามาประยุกต์ใช้ Senay Atabay, Niyazi Galipogullari (2013) [17] คือโครงการก่อสร้าง มอเตอร์เวย์ Bregana-Zagreb-Dubrovnik ในโครเอเชียโดยบริษัทร่วมทุน BECHTEL – ENKA หลักการวิศวกรรมคุณค่าถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการเตรียมโครงการและการ

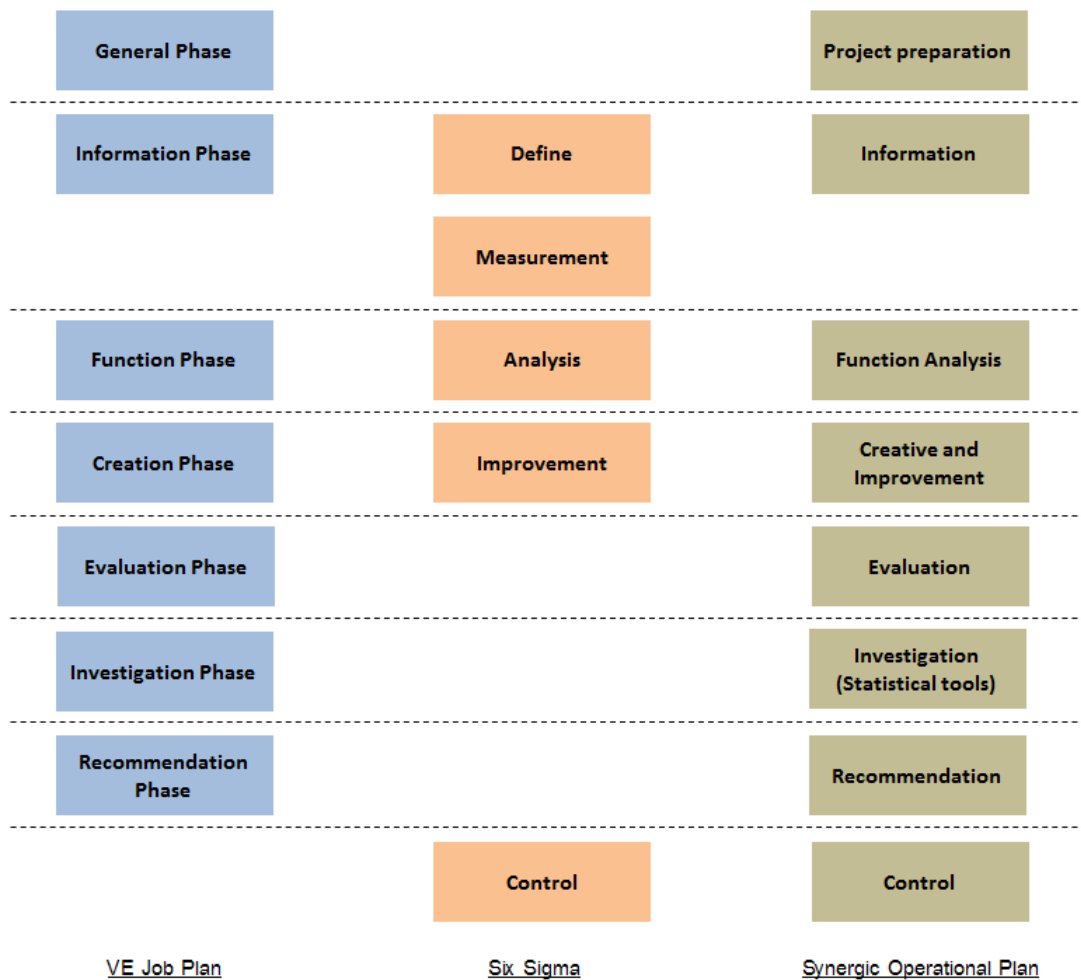
แก้ไขโครงการ ก่อให้เกิดความประหยัดด้านงบประมาณราว 43,000,000\$ และลดระยะเวลาการทำงานได้ประมาณ 12 เดือน

จากการทบทวนวรรณกรรมแสดงให้เห็นถึงคุณค่าของเครื่องมือทั้งสอง โดยวิศวกรรมคุณค่านั้นได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการลดต้นทุนการผลิตโดยที่ผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพและความน่าเชื่อถือ ในขณะที่ซิกซ์ซิกมาเป็นเครื่องมือในการปรับปรุงคุณภาพและแก้ปัญหาในการผลิตโดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติหรือข้อมูลจากการทดลองและยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตและอุตสาหกรรมที่หลากหลาย



บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำการดำเนินงานตามแผนงานวิศวกรรมคุณค่า 7 ขั้นตอนของ Mudge มาประยุกต์กับขั้นตอนการดำเนินงาน DMAIC ในหลักการซิกซ์ซิกมา โดยมีแผนงานบูรณาการมีขั้นตอนการดำเนินงานดังรูปที่ 28 ดังต่อไปนี้

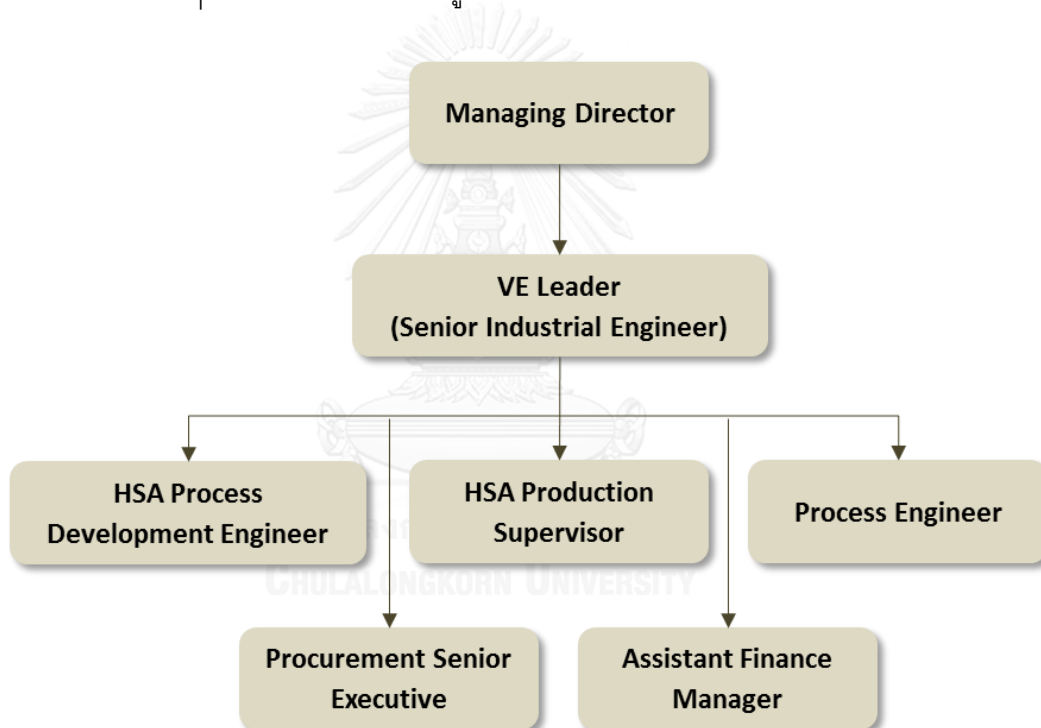


รูปที่ 28 แผนงานบูรณาการตามแผนงานวิศวกรรมคุณค่า 7 ขั้นตอนและขั้นตอนการดำเนินงาน DMAIC

3.1 ขั้นตอนการเตรียมโครงการ

กระบวนการในขั้นตอนนี้ เปรียบเสมือนรากฐานที่แข็งแรง สำหรับการดำเนินงานวิศวกรรมคุณค่าและแผนงานบูรณาการในขั้นตอนนี้เน้นให้ตระหนักถึงความสำคัญของบุคคล การสร้างมนุษยสัมพันธ์ที่ดี และเข้าใจการทำงานร่วมกับผู้อื่น นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นการพิจารณาหรือตัดสินใจอย่างรอบคอบ รวมไปถึงการมีวิจากรณญาณทางธุรกิจที่ดีอีกด้วย

ทีมงานแผนงานบูรณาการ ประกอบไปด้วยผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการดำเนินงานตามแผนงานวิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์มา โดยเริ่มต้นจากผู้บริหารระดับกลาง และผู้ปฏิบัติงานซึ่งมาจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจากหลายฝ่ายสำหรับทีมงานวิศวกรรมคุณค่าในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยบุคคลจากฝ่ายต่างๆ รวม 7 คนดังแสดงในรูปที่ 29



รูปที่ 29 ทีมงานแผนงานบูรณาการ

3.2 ขั้นตอนรวบรวมข้อมูล

หลักการสำคัญในขั้นตอนนี้ คือการตอบคำถามทั้ง 6 คำถาม ได้แก่ ทำไม (Why) อะไร (What) เมื่อไร (When) ที่ไหน (Where) ใคร (Who) และ อย่างไร (How) หรือ 5W1H โดยการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบซึ่งเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปแล้วความหมายและกิจกรรมในขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลตามหลักการวิศวกรรมคุณค่านี้ มีความใกล้เคียงกับขั้นตอนการนิยามปัญหาและการวัดและวิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้นของปัญหาตามแนวทางของซิกซ์ซิกมา ข้อมูลที่รวบรวมจากหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบซึ่งเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

หัวข้อที่ 1 ข้อมูลต้นทุน

ผู้รับผิดชอบ : Assistant Finance Manager

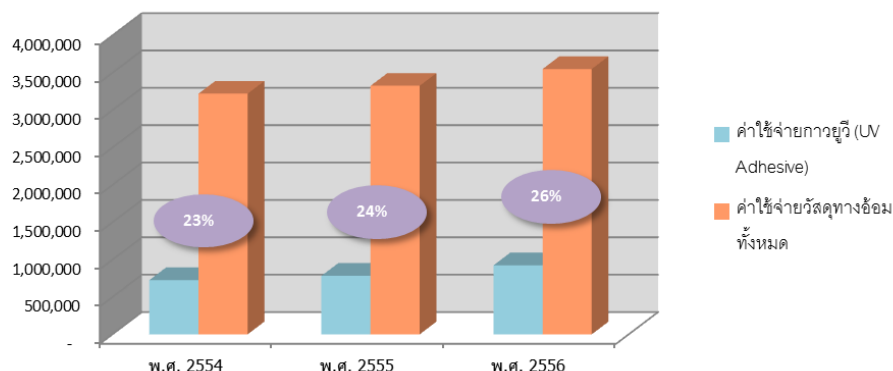
ข้อมูล : ต้นทุนวัตถุดิบจากทางอ้อมในส่วนของกาวยูวีที่ใช้ในการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ระหว่างปี พ.ศ 2554-2556 ซึ่งแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายการวัตถุดิบทางอ้อมในส่วนของกาวยูวีที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

รายการ	พ.ศ. 2554		พ.ศ. 2555		พ.ศ. 2556	
	ยอดรวม (\$)	%	ยอดรวม (\$)	%	ยอดรวม (\$)	%
ยอดค่าใช้จ่าย UV ADHESIVE	725,526	22.5%	782,304	23.5%	922,521	26.0%
ยอดค่าใช้จ่ายวัตถุดิบทางอ้อมรวม (\$)	3,219,306	100%	3,325,104	100%	3,549,835	100%
ปริมาณการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (หน่วย)	57,547,590		58,678,789		60,629,048	
ต้นทุนค่าใช้จ่ายวัตถุดิบทางอ้อมต่อหนึ่งหน่วยการผลิต HSA (\$)	0.056		0.057		0.059	
ต้นทุนค่าใช้จ่าย UV ADHESIVE ต่อหนึ่งหน่วยการผลิต HSA (\$)	0.0126		0.0133		0.0152	

จากตารางแสดงให้เห็นว่าต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมในส่วนของกาวยูวีนั้นมีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการวิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมระหว่างปี พ.ศ 2554-2556 พบว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายกาวยูวีคิดเป็นมูลค่าทุนต่อหน่วยการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เท่ากับ 0.0126 เหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2554 เพิ่มขึ้นเป็นมูลค่า 0.0133 เหรียญสหรัฐ ในปี พ.ศ. 2555 และเพิ่มขึ้นเป็นมูลค่า 0.0152 เหรียญสหรัฐในปี พ.ศ. 2556 ตามลำดับ

ค่าใช้จ่ายของกาวยูวีเทียบกับค่าใช้จ่ายวัสดุทางอ้อมในการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ระหว่างปี พ.ศ. 2554 - 2556



รูปที่ 30 สัดส่วนต้นทุนวัสดุทางอ้อมในกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

รูปที่ 30 แสดงสัดส่วนต้นทุนค่าใช้จ่ายกาวยูวี (UV Curing Adhesive) ที่ใช้ในกระบวนการ Tail Tacking เทียบกับยอดค่าใช้จ่ายของวัสดุทางอ้อมทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จากตารางที่ 4 และรูปที่ 30 แสดงให้เห็นว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายกาวยูวี ที่ใช้ในกระบวนการ Tail Tacking มีสัดส่วนสูงเป็นอันดับ 1 ของยอดค่าใช้จ่ายทั้งหมดและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

หัวข้อที่ 2 ข้อมูลเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์

ผู้รับผิดชอบ : Procurement Senior Executive

ข้อมูล : ข้อมูลเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ซึ่งข้อมูลของผลิตภัณฑ์เบื้องต้นจะเป็นข้อมูลโดยทั่วไปของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผู้ผลิตหรือจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์จะต้องนำเอกสารกำกับผลิตภัณฑ์ส่งมอบให้แก่หน่วยงานจัดซื้อเพื่อส่งให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องพิจารณาต่อไป เอกสารเหล่านี้อาจอยู่ในรูปของ Product Data sheet หรือ Material Safety Data sheet ใดๆอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่างก็ได้

รูปที่ 31 แสดง Product Data sheet ของ UV Curing Adhesive

Product Data sheet

Product Description	UV Adhesive, is high viscosity, nonflowing UV curable adhesives designed for bonding polyimide and encapsulating chips in hard disk drive (HDD). This product is flexible, tough, and designed to be low outgassing. Their high viscosities make adhesive suitable for TSA, conformal coat, voice coil wire Tacking and screw attachment HDD applications.		
Product Image			
Net Wt.	10 ML.		
Price	35.2 \$		
TYPICAL UNCURED PROPERTIES (not specifications)	Solvent Content	None, 100% Solids	
	Isocyanate Content	None	
	Chemical Class	Modified Urethane Acrylate	
	Appearance	Nonflowing Gel	
	Solubility	Alcohols/Chlorinated Solvents/Ketones	
	Flash Point	>93°C (200°F)	
	Viscosity (4 rpm, TF spindle, RTV viscometer)		
	29963	>1,200,000 cP	ASTM D-1084
	29963-REV-A	>1,200,000 cP	ASTM D-1084
TYPICAL CURED PROPERTIES (not specifications)	Durometer Hardness	D40	ASTM D-2240
	Elongation at Break	75%	ASTM D-638
	Tensile at Break	1,200 PSI	ASTM D-638
	Modulus of Elasticity	3,500 PSI	ASTM D-638
	Thermal Limit	150°C	DSTM D-200°
	Glass Transition Tg	30°C	ASTM D-3248
DISPENSING THE ADHESIVE	This material may be dispensed with a variety of automatic bench-top syringe applicators or other equipment as required.		
STORAGE & SHELF LIFE	Store the material in a cool, dark place when not in use. Do not expose to visible or UV light. This product may polymerize upon prolonged exposure to ambient light. Keep covered when not in use. This material has a one-year shelflife when stored between 10°C (50°F) and 32°C (90°F) in the original, unopened container.		
CLEAN UP	Uncured material may be removed from dispensing components and parts with organic solvents. Cured material will be impervious to many solvents and difficult to remove. Clean up of cured material may require mechanical methods of removal.		
GENERAL INFORMATION	This product is intended for industrial use only. Keep out of reach of children. Avoid breathing vapors. Avoid contact with skin, eyes, and clothing. Wear impervious gloves. Repeated or continuous skin contact with uncured material may cause irritation. Remove material from skin with soap and water. Never use organic solvents to remove material from skin and eyes. For more information on the safe handling of this material, please refer to the Material Safety Data Sheet before use.		

หัวข้อที่ 3 ข้อมูลลักษณะของผลิตภัณฑ์

ผู้รับผิดชอบ : Procurement Senior Executive

ข้อมูล : คุณสมบัติทั่วไปและคุณลักษณะจำเพาะของผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับข้อกำหนด

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทั่วไปและคุณลักษณะจำเพาะของผลิตภัณฑ์

Description		General Specification	UV Curing Adhesive
Functional Test	Feeding	High or Low pressure (Avg. 100 psi)	Good (Low pressure/ 80 psi)
	Shape profile	Not deform or flow after dispensing	Not deform or flow after dispensing
	Color	Clear	Clear
	Rework	Whole dot should be removed	Whole dot could be removed
	Viscosity (cP)	30,000-50,000	35,000 cP
	Tensile at Break (psi)	1,000 psi +/- 500 psi	1,200 psi
	Modulus of Elasticity (psi)	3,000 psi +/- 500 psi	3,500 psi
	UV curable	Yes	Yes
Certification Test	Tin	< 500 nanogram per gram of adhesive	100 nanogram per gram of adhesive
	Halogen	None	None
	Ozone Depleting Substances	None	None

Description		General Specification	UV Curing Adhesive
	Outgassing		
	TOTAL HYDROCARBONS	< 350,000 ppb	150,000 ppb
	TOTAL ORGANIC ACIDS	< 300,000 ppb	120,000 ppb
	TOTAL METHACRYLATES AND ALKYL ACRYLATES	< 1,000,000 ppb	800,000 ppb
	HYDROXYCYCLOHEXYL PHENYL KETONE	< 125,000 ppb	100,000 ppb
	a,a- DIMETHOXYPHENYL ACETOPHENONE	< 10,000 ppb	8,000 ppb
	TOTAL SILOXANES	< 5,000 ppb	3,500 ppb
	TOTAL AMINES	< 100,000 ppb	75,000 ppb
	TOTAL AMIDES	< 1,000 ppb	500 ppb
	TOTAL OUTGASSED MATERIAL	< 3,000,000 ppb	1,500,000 ppb
	Anion and Cation		
	Anion		
	Bromide	< 30,000 ppb	10,000 ppb
	Chloride	< 30,000 ppb	8,000 ppb
	Fluoride	< 30,000 ppb	8,500 ppb
	Nitrate	< 30,000 ppb	10,000 ppb
	Nitrite	< 30,000 ppb	15,000 ppb
	Phosphate	< 30,000 ppb	10,000 ppb
	Sulfate	< 30,000 ppb	8,000 ppb

Description		General Specification	UV Curing Adhesive
	Total Anions	< 100,000 ppb	69,500 ppb
	Cation		
	Ammonia	< 30,000 ppb	18,000 ppb

หัวข้อที่ 4 ข้อมูลการใช้งานผลิตภัณฑ์

ผู้รับผิดชอบ : HSA Production Supervisor และ Process Engineer

ข้อมูล : ลักษณะการใช้งานและสภาพปัญหาปัจจุบันในการใช้งานกาวยูวีในกระบวนการ Tail Tacking

1. ลักษณะการใช้งานกาวยูวีในกระบวนการ Tail Tacking

ปัจจุบันกระบวนการ Tail Tackingดำเนินการผ่านเครื่องหยอดกาวและอบกึ่งอัตโนมัติ กระบวนการทำงานได้แสดงในรูปที่ 32 โดยมีขั้นตอนหลักๆ 2 ขั้นตอนคือ

1. กระบวนการการหยอดกาว (รูปที่ 33)
2. กระบวนการการอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (รูปที่ 34)

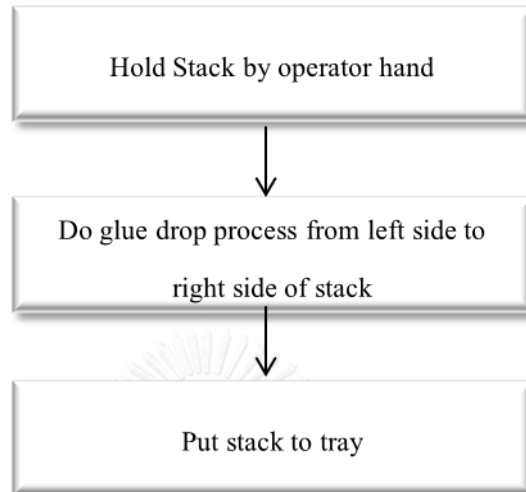


รูปที่ 32 กระบวนการ Tail Tacking

ในขั้นตอนการหยอดกาวยูวีลงบนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น พนักงานจะทำงานหยอดกาวยูวีบริเวณ Tail Gimbal Assembly (TGA) ของ ชุดประกอบหัวอ่านข้อมูล (HGA) กับ แชนหัวอ่าน เพื่อยึด TGA ให้ติดกับแชนหัวอ่าน ตำแหน่งอ้างอิงสำหรับการ

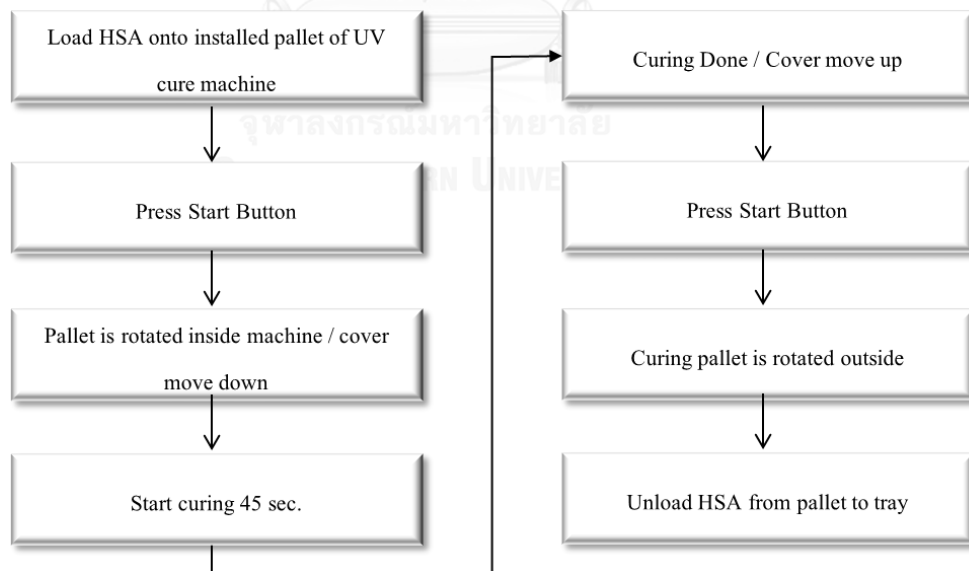
หยอดกาวยูวี ขนาดของกาวยูวี รวมทั้งจำนวนหยด จะอ้างอิงจาก Product configuration print. ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์

กระบวนการหยอดกาว



รูปที่ 33 แผนผังกระบวนการหยอดกาว

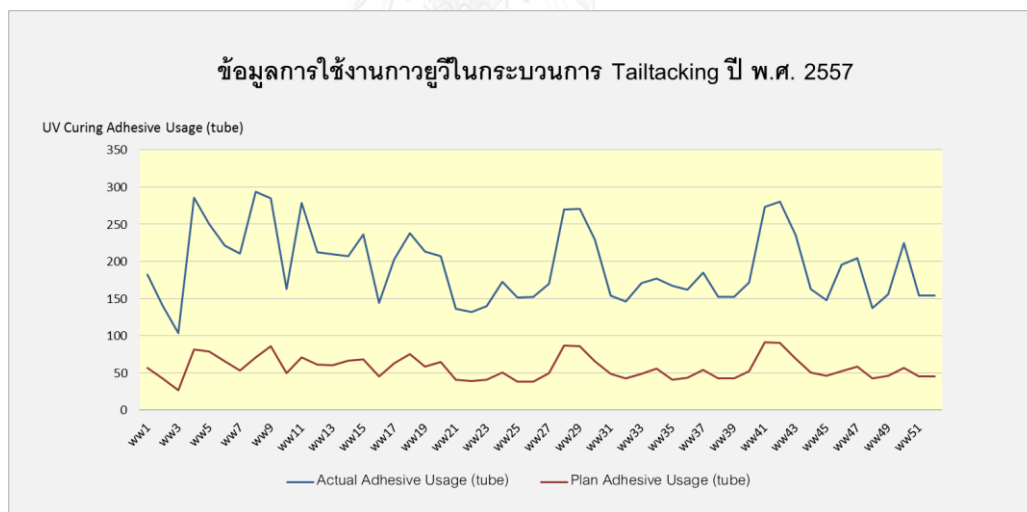
กระบวนการการอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต



รูปที่ 34 แผนผังกระบวนการอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

2. สภาพปัญหาที่พบในการใช้งานกาวยูวีในกระบวนการ Tail Tacking

จากการเก็บข้อมูลการใช้งานกาวยูวี ในกระบวนการ Tail Tacking โดยหน่วยงานวิศวกรกระบวนการ (Process engineering) และ หน่วยงานการผลิต (Production) พบว่าปัญหาหนึ่งที่พบในการใช้งานกาวยูวี ในกระบวนการ Tail Tacking ปริมาณกาวยูวีที่ถูกใช้ในกระบวนการมีปริมาณสูงกว่าที่คาดการณ์ไว้ จากการเก็บข้อมูลจำนวนกาวยูวี (หลอด) ที่ถูกใช้ไปในกระบวนการ Tail Tacking พบว่าจำนวนกาวยูวี (หลอด) ที่ถูกใช้ในกระบวนการมีปริมาณสูงกว่าที่คาดการณ์ไว้ แสดงให้เห็นถึงความสูญเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ รูปที่ 35 แสดงข้อมูลจำนวนกาวยูวี (หลอด) ที่ถูกใช้ไปในกระบวนการ Tail Tacking เทียบกับข้อมูลที่คาดการณ์ไว้ปี พ.ศ. 2557 พบว่ากาวยูวีที่ถูกใช้จริงในกระบวนการ Tail Tacking มีปริมาณสูงกว่าที่คาดการณ์ไว้ มากกว่าร้อยละ 50 ซึ่งนับว่าเป็นปริมาณที่สูงมาก จึงได้มีการศึกษาคูณสมบัติของกาวยูวีและขั้นตอนการทำงานของกระบวนการโดยละเอียด เพื่อนำข้อมูลไปประกอบเป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนสร้างสรรค์ความคิดและปรับปรุง (Creative and Improvement Phase) ในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 35 ข้อมูลจำนวนกาวยูวี (หลอด) ที่ถูกใช้ไปในกระบวนการ Tail Tacking เทียบกับข้อมูลที่คาดการณ์

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หน้าที่

3.3.1 การประเมินหน้าที่

การวิเคราะห์หน้าที่การทำงานเป็นกระบวนการหนึ่งในแผนงานของบูรณาการ ซึ่งอ้างอิงจากแผนงานวิศวกรรมคุณค่า ประกอบไปด้วยขั้นตอนของการอธิบายหน้าที่ ประเมินความสัมพันธ์ของหน้าที่และพัฒนาทางเลือก ในการวิเคราะห์หน้าที่นั้นสามารถแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ หน้าที่พื้นฐาน (Basic Function) และหน้าที่รอง (Secondary Function) ดังตารางที่ 6

หน้าที่หลัก เป็นหน้าที่ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์หรือบริการนั้นบรรลุตามความมุ่งหมายที่กำหนด

หน้าที่รอง เป็นหน้าที่ซึ่งจะช่วยให้หน้าที่พื้นฐานบรรลุตามวัตถุประสงค์

ตารางที่ 6 แสดงหน้าที่การทำงานของกาวยูวี

ชิ้นส่วน	หน้าที่		หน้าที่	
	คำกริยา	คำนาม	หลัก	รอง
กาวยูวี	ตรึง	ส่วนประกอบ		✓
	ช่วยยึด	ตำแหน่ง		✓
	ลด	การสั่นพ้อง	✓	
	จำกัด	การเคลื่อนไหว		✓
	ช่วย	ค้ำจุน		✓

หลังจากที่ทีมงานได้ทำการวิเคราะห์และพิจารณาการประกอบแล้ว มีความเห็นว่า กาวยูวี มีหน้าที่หลักคือ “ลดการสั่นพ้อง” ส่วนหน้าที่อื่น ๆ นั้นเป็นหน้าที่รอง

3.3.2 ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างหน้าที่

จุดประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของหน้าที่ต่างๆของชิ้นส่วน ให้อยู่ในรูปของ คำกริยา และคำนามหน้าที่หลัก และหน้าที่รอง เมื่อใส่หน้าที่ลงในบทสรุปการประเมิน แล้ว จะกำหนด “อักษรแทน” สำหรับแต่ละหน้าที่ เพื่อลดการเขียนลงดังตารางที่ 7

หน้าที่	ตริงส่วนประกอบ	ใช้แทนด้วยอักษร	A
หน้าที่	ช่วยยึดตำแหน่ง	ใช้แทนด้วยอักษร	B
หน้าที่	ลดการสั่นพ้อง	ใช้แทนด้วยอักษร	C
หน้าที่	จำกัดการเคลื่อนไหว	ใช้แทนด้วยอักษร	D
หน้าที่	ช่วยค้ำจุน	ใช้แทนด้วยอักษร	E

ตารางที่ 7 อักษรแทนสำหรับแต่ละหน้าที่

อักษร	หน้าที่
A	ตริงส่วนประกอบ
B	ช่วยยึดตำแหน่ง
C	ลดการสั่นพ้อง
D	จำกัดการเคลื่อนไหว
E	ช่วยค้ำจุน

3.3.3 การเปรียบเทียบน้ำหนักและให้น้ำหนักของหน้าที่

เริ่มต้นที่หน้าที่ “A ตริงส่วนประกอบ” ที่มงานได้เปรียบเทียบกับหน้าที่ “B ช่วยยึดตำแหน่ง” การเปรียบเทียบนี้พิจารณาว่าหน้าที่นั้นเกี่ยวข้องกับการประกอบอย่างไร หน้าที่ไหนสำคัญมากกว่ากัน ในกรณีนี้พบว่า หน้าที่ A สำคัญกว่าหน้าที่ B จึงใส่ A ไว้ในช่องประเมินผล

เมื่อตัดสินใจแล้วว่า หน้าที่ A สำคัญกว่าหน้าที่ B ต้องพิจารณาต่อไปอีกว่าสำคัญกว่าเป็นระดับเท่าไรโดยระดับความสำคัญได้กำหนดน้ำหนักในการประเมินไว้ดังนี้คือ

1. ความแตกต่างของความสำคัญน้อย
2. ความแตกต่างของความสำคัญปานกลาง
3. ความแตกต่างของความสำคัญมาก

ในที่นี้ระดับความแตกต่างของความสำคัญของหน้าที่ระหว่าง A และ B มีความแตกต่างของความสำคัญน้อย จึงใช้น้ำหนักแทนตัวเลข 1 ใส่ข้างหลัง A ดังรูปที่ 36

	B	C	D	E
A	A-1			

รูปที่ 36 การให้ระดับความสำคัญของหน้าที่

ทำการเปรียบเทียบและให้น้ำหนักต่อไปของหน้าที่ B, C, D และ E ตามลำดับ และทำการรวมน้ำหนักทั้งทางแนวนอนและแนวตั้งของทุกหน้าที่ โดยให้สมาชิกในทีมที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานผลิตภัณฑ์และกระบวนการโดยตรงคือ Senior Industrial Engineer, HSA Process Development Engineer, HSA Production Supervisor และ Process Engineer เป็นผู้ประเมินคะแนน (ภาคผนวกตารางที่ 1) พบว่าน้ำหนักความสำคัญของหน้าที่ที่ได้จากค่ามัธยฐาน (Median) มีค่าดังต่อไปนี้คือ น้ำหนักรวมของหน้าที่ A = 3 น้ำหนักรวมของหน้าที่ B = 1, C = 10, D = 6 และ E = 0. ดังรูปที่ 3.10 จากนั้นทำการพล็อตกราฟประเมินเชิงเลข ดังรูปที่ 37 นำผลลัพธ์นี้บันทึกลงในแบบฟอร์มการประเมินหน้าที่ รูปที่ 38 จากผลที่ได้หน้าที่หลักของกาวยูวีคือ ลดการสิ้นเปลือง ซึ่งทีมงานได้นำไปสร้างสรรค์ความคิดในขั้นตอนต่อไป คือการสร้างสรรค์สร้างสรรค์ ดังแบบฟอร์มสรุปการประเมินหน้าที่ ดังรูปที่ 39

การประเมินเชิงเลข

	B	C	D	E
A	A-1	C-3	D-1	A-2
	B	C-3	D-2	B-1
		C	C-1	C-3
			D	D-3

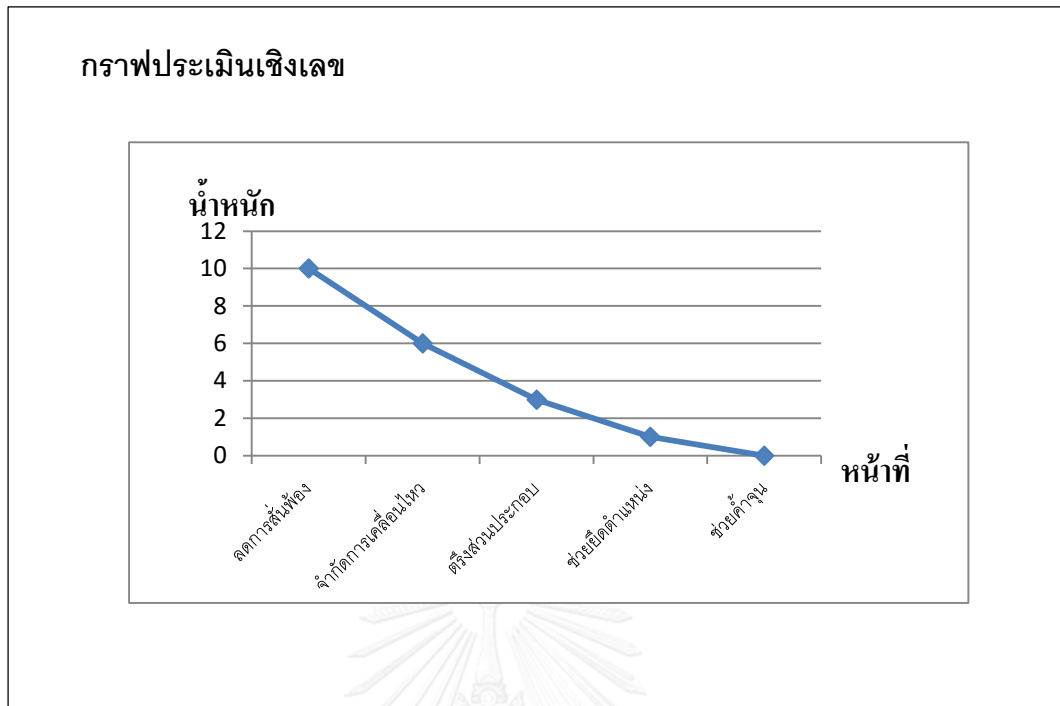
การประเมินเชิงเลข

น้ำหนักในการประเมิน

1. ความแตกต่างของความสำคัญน้อย
2. ความแตกต่างของความสำคัญปานกลาง
3. ความแตกต่างของความสำคัญมาก

อักษร	หน้าที่	น้ำหนัก
A	ตรึงส่วนประกอบ	3
B	ช่วยยึดตำแหน่ง	1
C	ลดการสั่นพ้อง	10
D	จำกัดการเคลื่อนไหว	6
E	ช่วยค้ำจุน	0

รูปที่ 37 การเปรียบเทียบและให้น้ำหนักของแต่ละหน้าที่



รูปที่ 38 กราฟประเมินหน้าที่เชิงเลขของกาวยูวี

PRODUCT FUNCTION EVALUATION FOR VE ACTIVITY																																																	
Ref. no.	2014-001	Date	29/10/2014	Team Member																																													
Model	UV Curing Adhesive		Team Leader	Primtheera P.																																													
Process	Tail Tacking Process		Supattra Finance	Waree Purchasing	Tanachai Development	Mali Production	Somechai PE																																										
สรุปการประเมินผล <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>อักษร</th> <th>หน้าที่</th> <th>น้ำหนัก</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>ดึงส่วนประกอบ</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>ช่วยยึดตำแหน่ง</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>ลดการสิ้นเปลือง</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>จำกั้ดการเคลื่อนไหว</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>ช่วยค้ำจุน</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		อักษร	หน้าที่	น้ำหนัก	A	ดึงส่วนประกอบ	3	B	ช่วยยึดตำแหน่ง	1	C	ลดการสิ้นเปลือง	10	D	จำกั้ดการเคลื่อนไหว	6	E	ช่วยค้ำจุน	0	น้ำหนักการประเมินผล <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>A</th> <td>A-1</td> <td>C-3</td> <td>D-1</td> <td>A-2</td> </tr> <tr> <th>B</th> <td></td> <td>C-3</td> <td>D-2</td> <td>B-1</td> </tr> <tr> <th>C</th> <td></td> <td></td> <td>C-1</td> <td>C-3</td> </tr> <tr> <th>D</th> <td></td> <td></td> <td></td> <td>D-3</td> </tr> </tbody> </table> <p>การประเมินเชิงเลข น้ำหนักในการประเมิน 1. ความแตกต่างของความสำเร็จน้อย 2. ความแตกต่างของความสำเร็จปานกลาง 3. ความแตกต่างของความสำเร็จมาก</p>			B	C	D	E	A	A-1	C-3	D-1	A-2	B		C-3	D-2	B-1	C			C-1	C-3	D				D-3	กราฟประเมินเชิงเลข 		
อักษร	หน้าที่	น้ำหนัก																																															
A	ดึงส่วนประกอบ	3																																															
B	ช่วยยึดตำแหน่ง	1																																															
C	ลดการสิ้นเปลือง	10																																															
D	จำกั้ดการเคลื่อนไหว	6																																															
E	ช่วยค้ำจุน	0																																															
	B	C	D	E																																													
A	A-1	C-3	D-1	A-2																																													
B		C-3	D-2	B-1																																													
C			C-1	C-3																																													
D				D-3																																													

รูปที่ 39 แบบฟอร์มสรุปการประเมินหน้าที่ของกาวยูวี

3.4 ขั้นตอนสร้างสรรค์ความคิดและปรับปรุง

จากการประเมินหน้าที่หลักที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 คือ ลดการสิ้นเปลือง ทีมงานได้ใช้หลักการระดมสมอง ของทีมงานเพื่อสร้างสรรค์แนวความคิดในการทำหน้าที่ดังกล่าว นอกจากนี้ยังได้นำหลักการการปรับปรุง (Improve Phase) ซึ่งเป็นหนึ่งในขั้นตอน DMAIC เพื่อนำมาปรับปรุงความคิดสร้างสรรค์ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการประเมินคุณค่าของการปรับปรุงโดยการกำหนดสาเหตุของปัญหาเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม ทางทีมงานได้ระดมความคิดผ่านกระบวนการทำงานตามแผนงาน โดยหลักการแนวคิดในการสร้างสรรค์ความคิด มีดังนี้คือ

1. การทำให้ลดลง (Reduction)

- การลดจำนวนชิ้นส่วน (Reduce a number of components) ที่ทำหน้าที่ซ้ำซ้อนกัน
- การใช้ร่วมกันของชิ้นส่วน (Combine components)
- การลดข้อกำหนด (Reduce Specifications)
- การลดหรือปรับเปลี่ยนบรรจุภัณฑ์ (Reduce or change packaging)

2. การตัดออก (Eliminate)

- การกำจัดชิ้นส่วนที่ซ้ำซ้อนหรือไม่จำเป็น (eliminate redundant or unnecessary components)

3. การทำให้ง่าย (Simplification)

- การออกแบบที่เรียบง่าย (Simple Design)
- รูปร่างที่เรียบง่าย (Simple Shape)
- ขั้นตอนหรือลำดับการประกอบที่ง่าย (Simple assembly process or sequence)

4. การดัดแปลง (Modification)

- ใช้วัสดุราคาถูกลง (Lesser material cost)
- เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต (More efficiency manufacturing)
- ใช้การขนส่งทางเลือก (Use alternative transportation methods)

โดยแนวทางเลือก ที่ได้จากการระดมสมองนั้น สามารถสรุปได้เป็น 4 แนวทางดังนี้คือ

แนวคิดที่ 1 การปรับปรุงลักษณะการใช้งานและต้นทุนของกาวยูวี

จากหลักการแนวคิดในการสร้างสรรค์ความคิดคือการดัดแปลง ที่มงานมีความเห็นตรงกันที่จะยังคงใช้กาวยูวีเป็นวัตถุดิบในกระบวนการ Tail Tacking และคงกระบวนการนี้ไว้ อย่างไรก็ตามจากข้อมูลที่รวบรวมได้จากขั้นตอนรวบรวมข้อมูล นำมาสู่แนวคิดในการปรับปรุงการใช้กาวยูวีในกระบวนการ Tail Tacking ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมในกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยมีแนวทางดังนี้คือ

1. ทีมงานมีความเห็นว่าต้นทุนของกาวยูวีที่ใช้ในปัจจุบันมีราคาค่อนข้างสูงเพราะเป็นกาวยูวีที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทางทีมงานต้องการที่จะหาซัพพลายเออร์รายใหม่ ที่สามารถผลิตกาวยูวีได้มีคุณสมบัติตรงกับข้อกำหนดและมีราคาต่ำกว่ากาวยูวีที่ใช้ปัจจุบัน จึงมอบหมายให้ผู้รับผิดชอบคือแผนกจัดซื้อได้ทำการติดต่อซัพพลายเออร์รายใหม่ โดยซัพพลายเออร์รายใหม่นี้นอกจากจะต้องสามารถส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความต้องการได้แล้ว จะถูกทำการประเมินในด้านต่างๆ ดังนี้
 - 1) คุณภาพสินค้าที่ส่งมอบไป (Quality)
 - คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามข้อกำหนด
 - การรับประกันคุณภาพ
 - 2) ต้นทุน (Cost)
 - ราคาเมื่อเปรียบเทียบกับคู่แข่ง
 - กิจกรรมในการลดต้นทุนที่มี
 - ผลการดำเนินกิจกรรมลดต้นทุนเปรียบเทียบกับเป้าที่ตั้งไว้
 - 3) การส่งมอบ (Delivery)
 - สามารถส่งมอบผลิตภัณฑ์ได้ตามข้อกำหนด
 - การส่งมอบตรงเวลาที่กำหนด
 - 4) ด้านวิศวกรรม (Engineering) เช่น
 - ความสามารถและเทคโนโลยีในการผลิตผลิตภัณฑ์

- ระบบการประเมินภายในองค์กร

5) การบริหารจัดการ (Management) เช่น

- นโยบายบริษัท
- ความเป็นผู้นำในอุตสาหกรรม
- ผลการรับรองคุณภาพต่างๆที่ได้รับ

ในการประเมินแต่ละด้านนั้น จะประยุกต์ใช้ตัวแบบการตัดสินใจ Kepner-Tregoe โดยการให้คะแนนและน้ำหนักการประเมินจากทีมงาน (ภาคผนวกตารางที่ 2) โดยผลจากการประเมิน ทีมงานได้ลงคะแนนให้ซัพพลายเออร์รายใหม่เป็นผู้ผลิตกาวยูวี ซึ่งกาวยูวีจากซัพพลายเออร์รายใหม่มีคุณสมบัติอยู่ภายใต้ข้อกำหนดตามตารางที่ 8 และมีราคาต่ำกว่ากาวยูวีที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งการวิเคราะห์ในส่วนของต้นทุนจะถูกกล่าวในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 8 แสดงคุณสมบัติเฉพาะของกาวยูวีที่ใช้ปัจจุบัน กาวยูวีชนิดใหม่ และข้อกำหนด

Description		General Specification	Current Adhesive	New Adhesive
Functional Test	Feeding	High or Low pressure (Avg. 100 psi)	Good (Low pressure/ 80 psi)	Good (Low pressure/ 95 psi)
	Shape profile	Not deform or flow after dispensing	Not deform or flow after dispensing	Not deform or flow after dispensing
	Color	Clear	Clear	Clear
	Rework	Whole dot should be removed	Whole dot could be removed	Whole dot could be removed
	Viscosity (cP)	30,000-50,000	35,000 cP	38,000 cP

Description		General Specification	Current Adhesive	New Adhesive
	Tensile at Break (psi)	1,000 psi +/- 500 psi	1,200 psi	1,300 psi
	Modulus of Elasticity (psi)	3,000 psi +/- 500 psi	3,500 psi	3,200 psi
	UV curable	Yes	Yes	Yes
Certification	Tin	< 500 nanogram	100 nanogram	100 nanogram
	Halogen	None	None	None
	Ozone Depleting Substances	None	None	None
	Outgassing			
	TOTAL HYDROCARBONS	< 350,000 ppb	150,000 ppb	125,000 ppb
	TOTAL ORGANIC ACIDS	< 300,000 ppb	120,000 ppb	105,000 ppb
	TOTAL METHACRYLATES AND ALKYL ACRYLATES	< 1,000,000 ppb	800,000 ppb	800,000 ppb
	HYDROXYCYCLOHEXYL PHENYL KETONE	< 125,000 ppb	100,000 ppb	80,000 ppb
	a,a-DIMETHOXYPHENYL ACETOPHENONE	< 10,000 ppb	8,000 ppb	6,500 ppb
	TOTAL SILOXANES	< 5,000 ppb	3,500 ppb	3,800 ppb

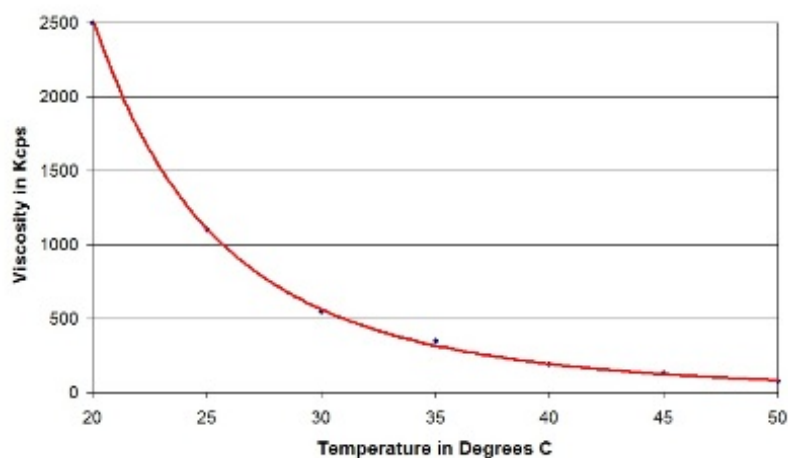
Description		General Specification	Current Adhesive	New Adhesive
	TOTAL AMINES	< 100,000 ppb	75,000 ppb	73,500 ppb
	TOTAL AMIDES	< 1,000 ppb	500 ppb	550 ppb
	TOTAL OUTGASSED MATERIAL	< 3,000,000 ppb	1,500,000 ppb	1,200,000 ppb
	Anion and Cation			
	Anion			
	Bromide	< 30,000 ppb	10,000 ppb	11,250 ppb
	Chloride	< 30,000 ppb	8,000 ppb	6,500 ppb
	Fluoride	< 30,000 ppb	8,500 ppb	8,500 ppb
	Nitrate	< 30,000 ppb	10,000 ppb	10,200 ppb
	Nitrite	< 30,000 ppb	15,000 ppb	15,500 ppb
	Phosphate	< 30,000 ppb	10,000 ppb	10,000 ppb
	Sulfate	< 30,000 ppb	8,000 ppb	8,000 ppb
	Total Anions	< 100,000 ppb	69,500 ppb	65,500 ppb
	Cation			
	Ammonia	< 30,000 ppb	18,000 ppb	16,500 ppb

2. จากสภาพปัญหาที่พบในการใช้งานกาวยูวีในกระบวนการ TailTacking จากขั้นตอนรวบรวมข้อมูล พบว่ามีปริมาณการใช้กาวยูวีสูงกว่าที่คาดการณ์ไว้มากกว่าร้อยละ 50 ทางทีมงานได้ทำการศึกษาลักษณะกระบวนการและกาวยูวี พบว่าระหว่างขั้นตอนการหยอดกาวยูวีโดยเครื่องหยอดกาวยูวีซึ่งทำงานด้วยระบบ Pneumatic นั้น จะก่อให้เกิดความร้อนขึ้นในกระบอกกาวยูวีความร้อนที่เกิดขึ้นนี้เพิ่มมากขึ้นในแต่ละครั้งที่จ่ายกาวยูวีและกลายเป็นความร้อนสะสม ซึ่งส่งผลให้กาวยูวีที่อยู่บริเวณใกล้เคียงเกิดการหลอมเหลว กาวยูวีในส่วนที่ถูก

ความร้อนนี้จะสูญเสียคุณสมบัติและไม่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการได้ และต้องทำการกำจัดทิ้งไปซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียขึ้น ทำให้ปริมาณการยูวีที่ถูกนำมาใช้จริงมีปริมาณสูงกว่าปริมาณที่คาดการณ์ไว้ปรากฏการณ์นี้ว่า Frictional Heating Effect ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ในระบบอัตโนมัติทำงานที่ทำการจ่ายการยูวีจำนวน 4,000 หยดต่อชั่วโมง นั้นหมายความว่าอากาศจะถูกแรงดันซ้ำๆเป็นจำนวน 4,000 ครั้งต่อชั่วโมงเช่นกัน นั้นเป็นแรงดันจำนวนมากและอากาศในกระบอกการยูวีที่ได้รับการบีบอัดซ้ำแล้วซ้ำอีกจะเกิดความร้อนขึ้น อากาศเป็นก๊าซที่มีอนุภาคยึดหยุ่นขนาดเล็กเมื่อโมเลกุลถูกกระทำให้เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วสูงไปกระทบโมเลกุลอื่นๆและกับชนกับผนังของกระบอกการยูวีด้วยแรงดัน ระดับของความดันยิ่งเพิ่มขึ้นทำให้พลังงานสะสมมากขึ้นตามไปด้วย การเพิ่มแรงดันให้อากาศด้วยความถี่สูงในการดันให้ของเหลวออกจากกระบอกฉีดอย่างต่อเนื่องนั้นจะไปกระตุ้นโมเลกุลของอากาศให้เกิดความร้อน ความร้อนนี้ถูกเหนี่ยวนำจากแรงเสียดทานจลน์ (dynamic frictional) ของการบีบอัดอากาศ ซึ่งความร้อนนี้จะเกิดขึ้นจากแรงเสียดทานภายในจากการที่โมเลกุลที่ถูกบังคับให้เลื่อนผ่านโมเลกุลอื่น ๆ และผ่านทางปากกระบอกหัวฉีดการ

ตัวชี้วัดของคุณสมบัติของแรงเสียดทานภายในของการยูวีที่เรียกว่าความหนืด (Viscosity) ซึ่งเป็นตัวบอกถึงค่าความต้านทานการไหลของการยูวี เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนืดของการยูวีจะลดลง ซึ่งก็คือการยูวีไหลได้ง่ายขึ้น เมื่อการยูวีได้รับความร้อนมากขึ้นจะไหลได้ง่ายขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นส่งผลให้การยูวีมีความหนืดของการยูวีลดลงและหลอมเหลวรูปที่ 40 แสดงความความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความหนืดของสสารพบว่าเมื่ออุณหภูมิของสสารเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความหนืดลดลง เช่นเดียวกับกับการหยุดการยูวีในกระบวนการ TailTackingเมื่อทำการจ่ายการยูวีซ้ำๆ โดยแรงดันลมด้วยระบบ Pneumatic เพื่อดันการยูวีให้ไหลออกมาอากาศจะถูกบีบอัดและก่อให้เกิดความร้อนขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้เพิ่มมากขึ้นในแต่ละครั้งที่จ่ายการยูวีและกลายเป็นความร้อนสะสม ซึ่งส่งผลให้การยูวีที่อยู่บริเวณใกล้เคียงเกิดการยูวีหลอมเหลวนั่นเอง

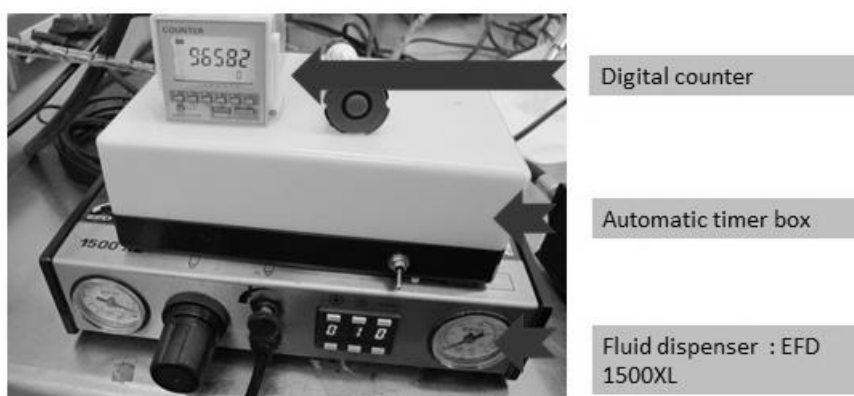
Temp and Viscosity



รูปที่ 40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนและความหนืดของของเหลว

ทางทีมงานได้เสนอแนวความคิดที่จะทำการลดปริมาตรของกระบอกกาวยูวีที่ใช้ในกระบวนการ Tail Tacking เพื่อลดจำนวนครั้งของการอัดอากาศเข้ากระบอกกาวยูวีซึ่งส่งผลให้ความร้อนสะสมในหลอดกาวยูวีลดลงจากปัจจุบันใช้ขนาด 10ml. เป็นขนาด 5 ml. และ 3ml. ตามลำดับ

ทำการทดลองนับจำนวนหยดของกาวยูวีทั้งในสถานะที่อุณหภูมิห้องและในสถานะการใช้งานในกระบวนการ TailTacking ทำการวัดจำนวนหยดกาวยูวีโดยใช้เครื่องนับหยดกาวยูวีอัตโนมัติดังแสดงในรูปที่ 41 พบว่าจำนวนหยดกาวยูวีมีการเปลี่ยนแปลง ดังตารางที่ 9



รูปที่ 41 เครื่องนับหยดกาวยูวีอัตโนมัติ (Automatic Dispensing Counter)

ตารางที่ 9 จำนวนหยดกาวยูวีที่นับได้ที่อุณหภูมิห้องและจำนวนที่นับได้ในการใช้งานจริงในกระบวนการ TailTacking

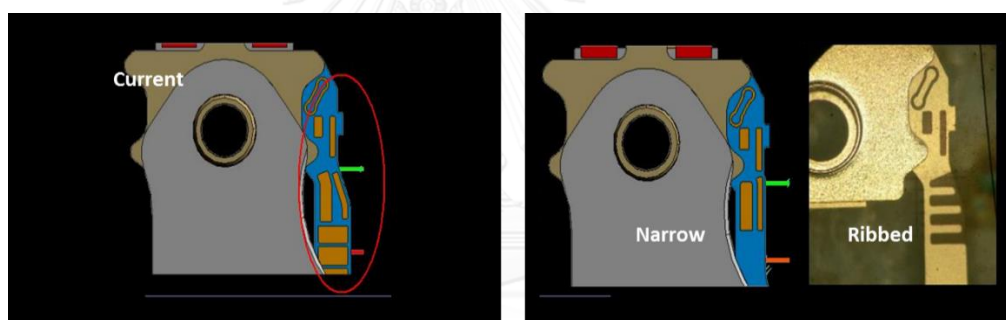
ขนาดปริมาตรกระบอกกาวยูวี	เงื่อนไขการใช้งาน	จำนวนหยดกาวยูวี	สัดส่วนกาวยูวีที่ถูกนำมาใช้จริง
กระบอกกาวยูวีปริมาตร 10 ml.	อุณหภูมิห้อง	98,500	
กระบอกกาวยูวีปริมาตร 10 ml.	กระบวนการ Tail Tacking	28,700	29%
กระบอกกาวยูวีปริมาตร 5ml.	อุณหภูมิห้อง	50,250	
กระบอกกาวยูวีปริมาตร 5ml.	กระบวนการ Tail Tacking	27,620	55%
กระบอกกาวยูวีปริมาตร 3ml.	อุณหภูมิห้อง	21,000	
กระบอกกาวยูวีปริมาตร 3ml.	กระบวนการ Tail Tacking	20,525	98%

จากตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่าจำนวนหยดกาวยูวีที่นับได้ที่อุณหภูมิห้องและจำนวนที่นับได้ในการใช้งานจริงในกระบวนการ TailTacking มีจำนวนลดลงอย่างเห็นได้ชัด จากข้อมูลที่ได้ โดยที่กาวยูวีในกระบอกกาวยูวีขนาด 10 ml. เมื่อถูกนำมาใช้ในกระบวนการ TailTacking จะมีการยูวีที่ใช้เพียงร้อยละ 29 ในขณะที่กาวยูวีในกระบอกกาวยูวีขนาด 5ml. เมื่อถูกนำมาใช้ในกระบวนการ Tail Tacking จะมีการยูวีที่ใช้เพียงร้อยละ 55 และกาวยูวีในกระบอกกาวยูวีขนาด 3 ml. เมื่อถูกนำมาใช้ในกระบวนการ Tail Tacking จะมีการยูวีที่ใช้ได้ร้อยละ 98 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่สูงที่สุดพบว่าชนิดกาวยูวีที่ให้ความคุ้มค่ามากที่สุดคือกาวยูวีขนาด 3 ml. ซึ่งจะถูกนำไปพิจารณาในขั้นตอนต่อไป

แนวคิดที่ 2 การออกแบบ TGA ให้มีความแข็งแรงขึ้น (ยกเลิกกระบวนการ Tail Tacking)

จากหลักการแนวคิดในการสร้างสรรค์ความคิดคือการตัดออก การทำให้ง่าย และการดัดแปลง นำมาซึ่งแนวคิดที่ 2 คือการยกเลิกกระบวนการ Tail Tacking และการออกแบบ TGA ให้มีความแข็งแรงขึ้นและช่วยลดผลกระทบของแรงกระตุ้นจากแรงลม โดยการใช้แนวคิด Narrow and Ribbed เมื่อ TGA มีความแข็งแรงขึ้นจะช่วยลดแอมพลิจูดในการสั่นพ้องได้ลักษณะของ TGA ก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงในรูปที่ 42 แนวคิดในการปรับปรุง TGA มีรายละเอียดดังนี้คือ

- Narrow คือการออกแบบให้ TGA มีพื้นที่แคบลงเพื่อลด Amplitude ของการสั่น
- Ribbed คือการเสริมความแข็งแรงให้กับ TGA โดยการเพิ่มพื้นที่ในส่วนที่เป็น เหล็กกล้าไร้สนิม หรือ สแตนเลส (Stainless steel) และทำให้อยู่ในรูปของโครงเพื่อห่อหุ้มส่วนที่เป็น เส้นวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน (Flexible Circuit)



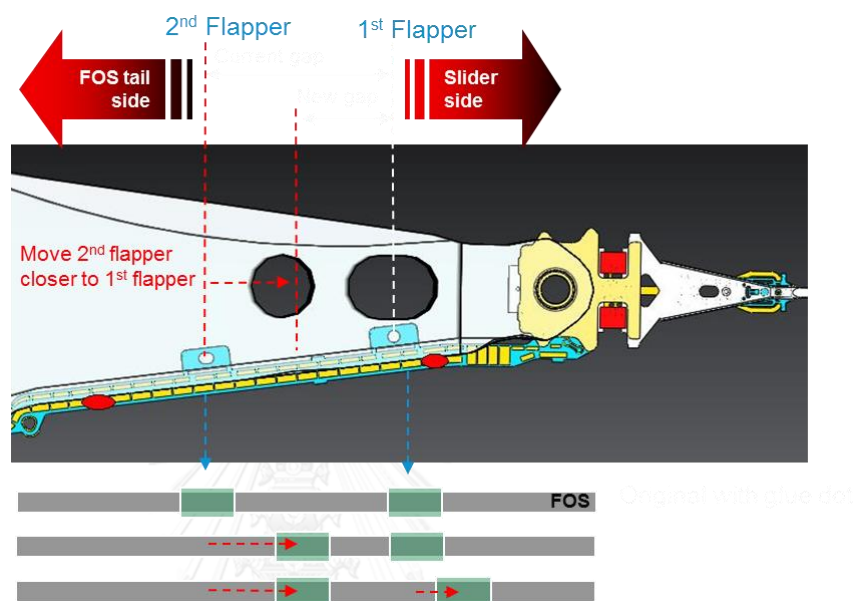
รูปที่ 42 แสดงลักษณะของ TGA ก่อนและหลังการปรับปรุง

แนวคิดที่ 3 การปรับเปลี่ยนตำแหน่งและเพิ่ม Flapper ในตำแหน่งที่กำหนด (ยกเลิกกระบวนการ Tail Tacking)

จากหลักการแนวคิดในการสร้างสรรค์ความคิดคือการทำให้ลดลง (การใช้ชิ้นส่วนร่วมกัน) การตัดออก และการดัดแปลงนำมาซึ่งแนวคิดที่ 3 คือการปรับเปลี่ยนตำแหน่งและเพิ่ม Flapper ในตำแหน่งที่กำหนดโดย Flapper เป็นชิ้นส่วนหนึ่งของ TGA มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดเล็กจะยื่นออกมาบริเวณด้านข้างของ TGA โดยปกติ Flapper จะมีอยู่ 2 ตำแหน่งเมื่อทำการประกอบ TGA ลงในช่องของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ Flapper จะช่วยให้ TGA คงรูปในลักษณะเป็นเส้นตรง และช่วยเติมเต็มช่องว่างระหว่าง TGA และแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์

ไดร์ฟ จึงช่วยลดการเคลื่อนที่ของ TGA จากหลักการดังกล่าวที่มงานจึงได้เกิดแนวคิดในการใช้ Flapper เพื่อลดเพื่อลดการสั่นพ้องที่เกิดขึ้นหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยมีขั้นตอนดังนี้คือ

1. ขยับตำแหน่งของ Flapper ที่ 2 ให้เข้ามาใกล้ Flapper ที่ 1 และขยับ Falpper ทั้ง 2 ให้เข้าไปใกล้ ด้านส่วนหัวของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ซึ่งมี Slider ติดตั้งอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 43



รูปที่ 43 ตำแหน่งของ Flapper ปัจจุบันและทิศทางการเคลื่อนที่ในการติดตั้งตำแหน่ง Flapper ใหม่

2. เพิ่ม Falpper อีก 1 ตำแหน่ง ในส่วนบริเวณปลายหาง TGA เพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับ TGA โดยทำการปรับตำแหน่งของ Flapper ให้เหมาะสมดังรูปที่ 44 โดยตำแหน่งของ Flapper ก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนโดยวัดจากเส้นอ้างอิงการวัดตำแหน่งของแนวแกนหมุนของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีค่าดังนี้คือ

ก่อนปรับตำแหน่ง

Fapper 1 มีระยะห่างจากเส้นอ้างอิง เท่ากับ 25.31 mm.

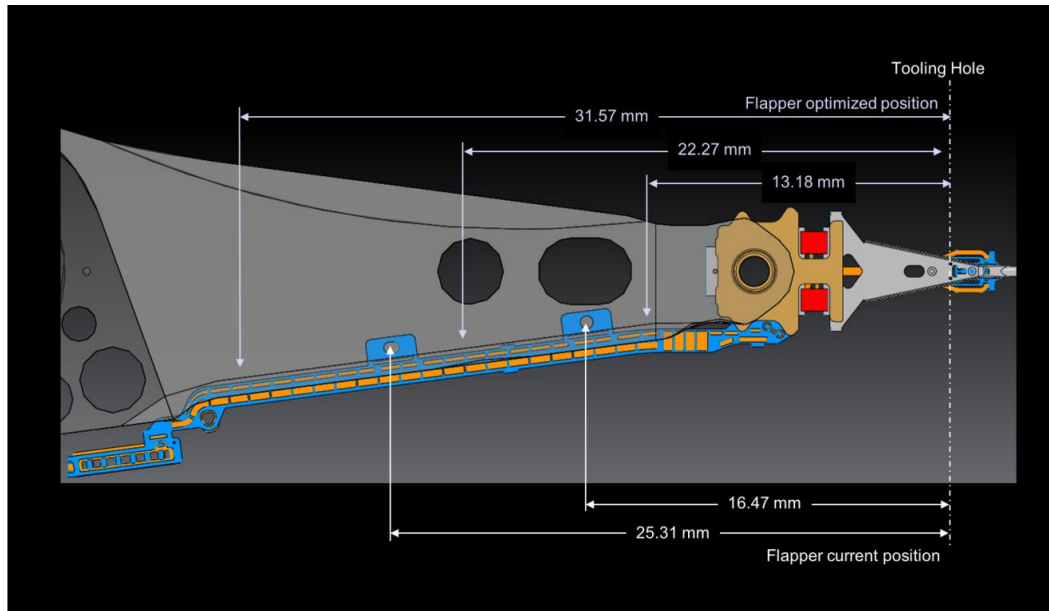
Fapper 2 มีระยะห่างจากเส้นอ้างอิง เท่ากับ 16.47mm.

หลังปรับตำแหน่ง

Fapper 1 มีระยะห่างจากเส้นอ้างอิง เท่ากับ 31.57mm.

Fapper 2 มีระยะห่างจากเส้นอ้างอิง เท่ากับ 22.27mm.

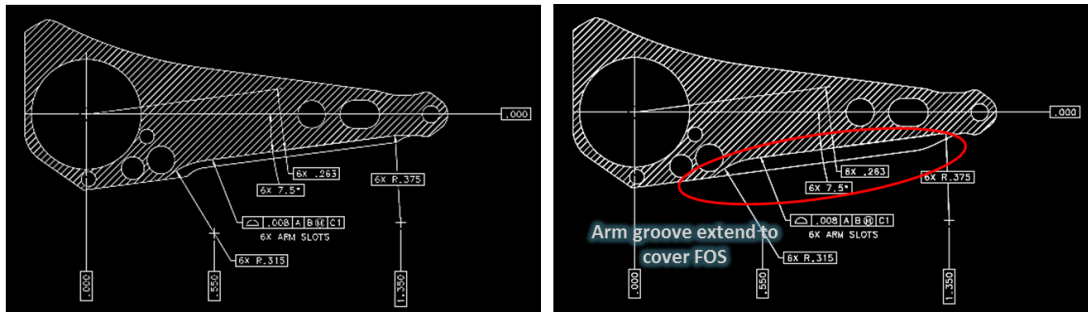
Flapper 2 มีระยะห่างจากเส้นอ้างอิง เท่ากับ 13.18mm.



รูปที่ 44 ระยะห่างของ Flapper ที่วัดจาก เส้นอ้างอิงการวัดตำแหน่งของแนวแกนหมุนของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

แนวคิดที่ 4 การปรับเปลี่ยนรูปแบบของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้มีพื้นที่ครอบคลุม TGA (ยกเลิกกระบวนการ Tail Tacking)

จากหลักการแนวคิดในการสร้างสรรค์ความคิดคือการตัดออก การทำให้ง่าย และการดัดแปลง นำมาซึ่งแนวคิดที่ 4 คือการปรับเปลี่ยนรูปแบบของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้มีพื้นที่ครอบคลุม TGA โดยการขยายร่องของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้มีความลึกมากขึ้น เพื่อให้ TGA สามารถเข้าไปอยู่ในร่องของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ลึกขึ้น พื้นที่ของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ส่วนที่ครอบ TGA นี้จะช่วยป้องกัน TGA จากการเกิดการสั้นพ้อง โดยเฉพาะการสั้นพ้องที่เกิดจากแรงลมอันเนื่องมาจากการหมุนของแผ่นดิสก์ รูปที่ 45 แสดงรูปแบบของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีการปรับเปลี่ยนร่องให้ลึกขึ้น จากเดิมคือ 0.2mm. เป็น 0.4mm. ซึ่งเป็นระยะที่ TGA สามารถสอดตัวเข้าไปอยู่ในร่องแขนหัวอ่านเขียนได้ทั้งหมด



รูปที่ 45 โครงสร้างของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก่อนและหลังปรับปรุง

แนวคิดที่ถูกสร้างสรรค์และปรับปรุงจากการระดมสมองของทีมงาน เพื่อทำหน้าที่ ที่ได้จากการประเมินหน้าที่หลักที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 คือ ลดการสั่นพ้อง ได้สรุปผังตารางที่ 10 ซึ่งประกอบด้วยแนวความคิดที่สร้างสรรค์และหลักการซึ่งเชื่อมโยงกับแนวความคิดสร้างสรรค์นั้นและรายละเอียดการดำเนินงาน แนวคิดทั้ง 4 นี้จะถูกนำไปประเมินในขั้นตอนที่ 5 คือ การประเมินผล ต่อไป

ตารางที่ 10 สรุปแนวคิดที่ได้จากขั้นตอนสร้างสรรค์ความคิดสำหรับทำหน้าที่ “ลดการสิ้นเปลือง”

แนวคิด (Concept)	รายละเอียด (Detail)	รูปแบบ (Model)
<p>1. การปรับปรุงลักษณะการใช้งานและต้นทุนของกาวยูวี (การดัดแปลง)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ คงกระบวนการ Tail Tacking ■ เปลี่ยนซีฟพลายเออร์กาวยูวีรายใหม่ซึ่งมีราคาต่ำกว่า ■ เปลี่ยนขนาดกาวยูวีจาก 10 ml. เป็น 3 ml. 	
<p>2. การออกแบบ TGA ให้มีความแข็งแรงขึ้น (การตัดออก การทำให้ง่าย และการดัดแปลง)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ ออกแบบให้ TGA มีพื้นที่แคบลง ■ เสริมความแข็งแรงให้กับ TGA โดยการเพิ่มพื้นที่ในส่วนที่เป็น Stainless steel ■ ยกเลิกกระบวนการ Tail Tacking 	
<p>3. การปรับเปลี่ยนตำแหน่งและเพิ่ม Flapper ในตำแหน่งที่กำหนด (การทำให้ลดลง การตัดออก และการดัดแปลง)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ เพิ่มจำนวน Flapper และปรับเปลี่ยนตำแหน่ง ■ ยกเลิกกระบวนการ Tail Tacking 	
<p>4. การปรับเปลี่ยนรูปแบบของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้มีพื้นที่ครอบคลุม TGA (การตัดออก การทำให้ง่าย และการดัดแปลง)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ ขยายร่องของ Actuator ให้มีความลึกมากขึ้น เพื่อให้ TGA สามารถเข้าไปอยู่ในร่อง ■ ยกเลิกกระบวนการ Tail Tacking 	

3.5 ขั้นตอนประเมินผล

ในขั้นตอนการประเมินผลนี้ ทางเลือกทั้งหมดที่เกิดจากการระดมสมองของทีมงาน จะถูกนำมาวิเคราะห์ถึงผลและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติทั้งในด้านของต้นทุนและความเหมาะสมต่อกระบวนการ เพื่อประเมินว่าแนวทางเลือกใดมีความเหมาะสมมากที่สุด

ในด้านของต้นทุนนั้น สมาชิกในทีมคือ Assistant Finance Manager ได้เป็นผู้รับผิดชอบในการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ที่เกิดขึ้นจากแนวคิดที่ถูกสร้างสรรค์ขึ้นและทำการเปรียบเทียบกับต้นทุนที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการทำงานปัจจุบัน (Taitacking) โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้จากสมาชิกในทีม ตารางที่ 11 แสดงต้นทุนต่อหน่วยการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยทำการเปรียบเทียบต้นทุนที่เกิดจากแนวคิดที่ถูกสร้างสรรค์ขึ้นกับต้นทุนที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการทำงานปัจจุบัน

ตารางที่ 11 ต้นทุนต่อหน่วยการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

Item	Idea 1 Change Adhesive	Idea 2 Ribbed Narrow TGA	Idea 3 Flapper Optimization	Idea 4 Wider arm groove design
Operators	6	0	0	0
Machine and Tooling Cost (\$)	0.0012	0.0108	0.0082	0.0087
Glue usage cost (\$)	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000
Total CPU percentage decrease (%)	8.07%	52.75%	63.78%	61.75%

จากตารางต้นทุนต่อหน่วยการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์พบว่าแนวคิดที่สร้างสรรค์ขึ้นทั้ง 4 แนวคิดก่อให้เกิดต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำกว่าวิธีการทำงานปัจจุบัน โดยแนวคิดที่ก่อให้เกิดต้นทุนต่อหน่วยต่ำที่สุดคือ แนวคิดที่ 3 คือการปรับเปลี่ยนตำแหน่งและเพิ่ม Flapper ในตำแหน่งที่กำหนด โดยสัดส่วนต้นทุนต่อหน่วยที่ลดลงคิดเป็นร้อยละ 63.78 ในขณะที่แนวคิดที่ 4 คือ การปรับเปลี่ยนรูปแบบของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้มีพื้นที่ครอบคลุม TGA มีสัดส่วนต้นทุนต่อหน่วยที่ลดลงคิดเป็นร้อยละ 61.75 แนวคิดที่ 2

การออกแบบ TGA ให้มีความแข็งแรงขึ้น มีสัดส่วนต้นทุนต่อหน่วยที่ลดลงคิดเป็นร้อยละ 52.75 และแนวคิดที่ 1 คือ การปรับปรุงลักษณะการใช้งานและต้นทุนของกาวยูวี มีสัดส่วนต้นทุนต่อหน่วยที่ลดลงคิดเป็นร้อยละ 8.07 อย่างไรก็ตามแนวคิดสร้างสรรค์ทั้งหมด จะต้องถูกนำมาวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมต่อกระบวนการ เพื่อประเมินว่าแนวทางเลือกใดมีความเหมาะสมมากที่สุดในช่วงขั้นตอนต่อไป

ในด้านของความเหมาะสมต่อกระบวนการผลิตนั้น ทีมงานได้ทำการทดลองเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการลดการสั่นพ้องที่เกิดขึ้นในหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ตัวอย่างชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นงานที่พัฒนาขึ้นจากแนวคิดที่สร้างสรรค์ในช่วงขั้นตอนที่ 4 จะถูกนำมาวิเคราะห์ Frequency Response Function (FRF) ของรูปแบบของการสั่นสะเทือนทั้งหมด 9 โหมด ซึ่งหากทางเลือกใดๆ ให้ค่า FRF ที่อยู่นอกเหนือจาก ขอบเขตบนของข้อกำหนด (Upper Specification limits) และ ขอบเขตล่างของข้อกำหนด (Lower Specification limits) ทางเลือกนั้นจะไม่ถูกนำมาพิจารณา รูปแบบของการสั่นสะเทือนทั้งหมด 9 โหมด มีดังต่อไปนี้

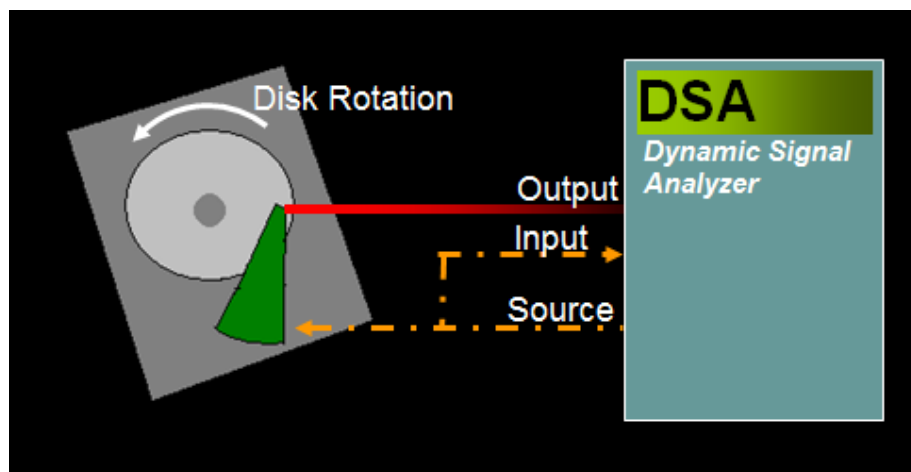
1. Coil 1st Torsion คือ การบิดของ coil
2. HSA 1st System Mode คือการขยับของ Arm บริเวณรอยเชื่อมต่อกับ Cartridge
3. HSA Twist / Arm Sway – Scissor คือการบิดของ Arm ในรูปแบบที่มีลักษณะเหมือนกรรไกร
4. Arm Torsion/Arm Sway Freq 1 คือการบิดและการเคลื่อนที่ไปมาของแขนหัวอ่านในรูปแบบที่ 1
5. Arm Torsion/Arm Sway Freq 2 คือการบิดและการเคลื่อนที่ไปมาของแขนหัวอ่านในรูปแบบที่ 2
6. Arm Torsion/Arm Sway Freq 3 คือการบิดและการเคลื่อนที่ไปมาของแขนหัวอ่านในรูปแบบที่ 3
7. HSA 2nd System Mode คือ การบิดของ coil และ Arm
8. HGA Sway คือการเคลื่อนที่ไปมาของชุดประกอบหัวอ่านในแนวระนาบ

9. HGA 3rd Torsion mode (HGA Sway 2) คือการบิดเป็นรูปคลื่นของชุดประกอบหัวอ่าน

ในการทดลองวัดการสั่นสะเทือนในงานวิจัยนี้ได้ใช้ LDV (Laser Doppler Vibrometer) ในการวัดการสั่นสะเทือน โดยการตรวจจับจะทำการยิงแสงไปยังวัตถุที่ต้องการจะทำการทดสอบ และแสงจะสะท้อนกลับจากวัตถุนั้นมายังตัวรับของ LDV ผลของการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นจะทำให้มุมของการสะท้อนกลับ (Phase angle) ที่สะท้อนกลับมาเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งผลจากการเปลี่ยนแปลงมุมของการสะท้อนกลับ LDV ก็จะถูกแปลงเป็นความเร็วหรือระยะทางในการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นๆ แล้ว จะแสดงผลที่ Dynamics Signal Analyzer (DSA) การทดสอบการสั่นสะเทือนของโครงสร้างของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยที่หัวอ่านเขียนที่นำมาทดลองนั้นเป็นแบบแขนหลายแขน (Multi Arms) โดยยึดแน่นติดอยู่กับส่วนที่เป็นฐานโลหะ โดยการยึดนั้นเป็นการยึดแน่นโดยไม่มีแบริ่ง ทั้งนี้เป็นเพื่อที่จะศึกษาการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพียงอย่างเดียว

ในการทดสอบหา Frequency Response Function ของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อวิเคราะห์หาความถี่ธรรมชาติและรูปแบบของการสั่นสะเทือน ทางผู้วิจัยทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง Dynamic Signal Analyzer เป็นแหล่งสัญญาณความถี่ โดยความถี่ของการกระตุ้นจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1KHz – 30KHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ต้องการทำการวัดรูปแบบของการสั่นสะเทือนมาทั้งหมด 9 โหมด หลังจากนั้นใช้อุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนทางแสง LDV ตรวจจับ การเคลื่อนที่หรือการสั่นสะเทือนของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สัญญาณที่ได้จาก LDV จะถูกส่งไปยัง DSA เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์และประมวลผลเพื่อหาความถี่ธรรมชาติและรูปแบบของการสั่นสะเทือน ผลการทดลองที่ได้จาก DSA จะอยู่ในรูปความถี่ธรรมชาติของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยการใช้ LDV เป็นตัววัดการสั่นสะเทือนของแขนหัวอ่านเขียน ซึ่งผลการทดสอบจาก LDV ได้ถูกแสดงในรูปแบบของ Frequency Response Function จากการทดสอบสามารถอธิบายได้ว่าความถี่ธรรมชาติที่ได้จากการทดสอบนั้น เกิดการเคลื่อนที่ในหลายมิติ และพฤติกรรมของการสั่นสะเทือนนั้นก็สามารถบอกได้ว่า แขนหัวอ่านเขียน มีความถี่ธรรมชาติ และรูปแบบการสั่นสะเทือนเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัว การทดสอบหา Frequency Response Function ของ

หัวอ่านเขียน โดยการทดสอบทางโมดัลของแขนอ่านเขียนข้อมูล การทดสอบทางโมดัลเป็นการหาฟังก์ชันตอบสนองเชิงถี่ทางโครงสร้าง ซึ่งการวิเคราะห์ทางโมดัลจะใช้การวัดสัญญาณจากระบบ คือ สัญญาณเข้า (Input Signal) และสัญญาณการตอบสนองของระบบ (Output Signal) DSA ทำการกระตุ้นเพื่อให้เกิดการสั่นสะเทือน โดยความถี่ (Frequency) ของการกระตุ้นจะอยู่ในช่วง 1KHz – 30KHz และทำการวัดค่าด้วยเครื่อง LDV สัญญาณที่ได้จาก LDV จะถูกส่งไปวิเคราะห์ที่ DSA ดังแสดงในรูปที่ 46



รูปที่ 46 อุปกรณ์การทดสอบหาความถี่ธรรมชาติของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

Finite Element ของการสั่นสะเทือนของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในโหมดที่เห็นได้ชัดเจนได้แสดงไว้ในรูปที่ 47 และตารางที่ 12 แสดงค่า Frequency Response Function ของหัวอ่านเขียน โดยการทดสอบทางโมดัลของแขนอ่านเขียนข้อมูล จากตารางสามารถสรุปผลได้ดังนี้คือ

- แนวคิดที่ 1 คือการเปลี่ยนการยู่วิโดยที่ยังคงกระบวนการ Tail Tacking ไว้ ผลจากการทดลองพบว่า ค่า FRF รูปแบบของการสั่นสะเทือนทั้งหมด 9 โหมด ของหัวอ่านเขียนที่วัดได้ทั้งหมดอยู่ภายใต้ ขอบเขตบนของข้อกำหนด และ ขอบเขตล่างของข้อกำหนด
- แนวคิดที่ 2 คือ การปรับเปลี่ยนรูปแบบของ TGA ให้มีความแข็งแรงขึ้นโดยผลจากการทดลองพบว่า ค่า FRF รูปแบบของการสั่นสะเทือนทั้งหมด 9 โหมด ของหัวอ่านเขียนที่วัดได้ทั้งหมดอยู่ภายใต้ ขอบเขตบนของข้อกำหนด และ ขอบเขตล่างของข้อกำหนดเพียง 6 โหมด เท่านั้น โดยค่าความถี่ในโหมดที่ 4 คือ Arm Torsion/Arm

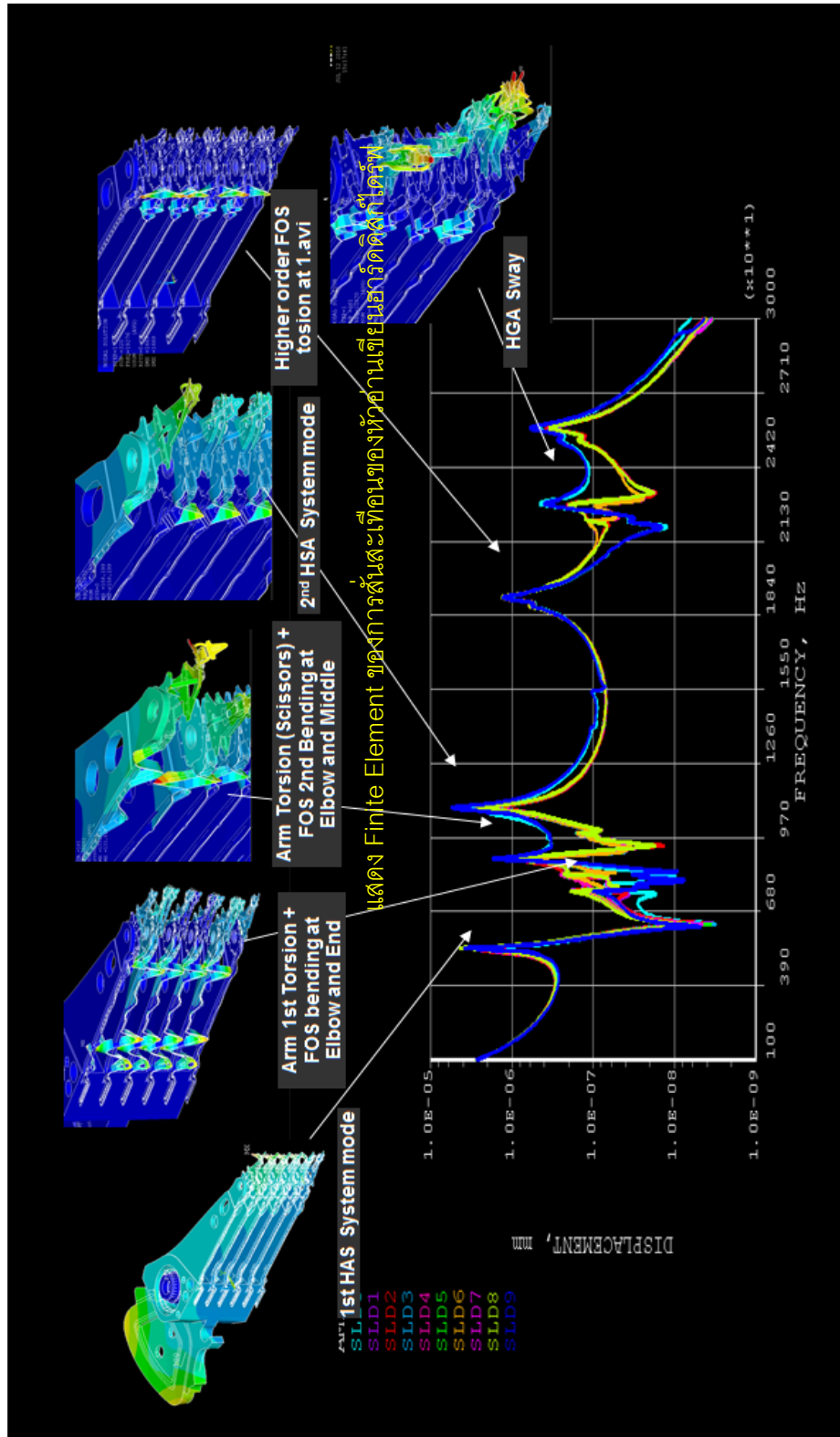
Sway Freq 1 โหมดที่ 5 คือ Arm Torsion/Arm Sway Freq 2 และ โหมดที่ 8 HGA Sway ให้ค่าความถี่ที่อยู่นอกเหนือขอบเขตที่กำหนด แสดงให้เห็นว่า แนวทางเลือกที่ 2 ให้ค่าความถี่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของกระบวนการ อันจะนำไปสู่การลดการสั่นพ้องของหัวอ่านและเขียนฮาร์ดดิสก์ได้

- แนวทางเลือกที่ 3 คือ คือการปรับเปลี่ยนตำแหน่งและเพิ่ม Flapper ในตำแหน่งที่กำหนด เพื่อให้ Flapper ทำหน้าที่ลดการสั่นพ้องที่เกิดขึ้นในแกนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์โดยผลจากการทดลองพบว่า ค่า FRF รูปแบบของการสั่นสะเทือนทั้งหมด 9 โหมด ของหัวอ่านเขียนที่วัดได้ทั้งหมดอยู่ภายใต้ ขอบเขตบนของข้อกำหนด และ ขอบเขตล่างของข้อกำหนดเพียง 7 โหมด เท่านั้น โดยค่าความถี่ในโหมดที่ 4 คือ Arm Torsion/Arm Sway Freq 1 และโหมดที่ 5 คือ Arm Torsion/Arm Sway Freq 2 ให้ค่าความถี่ที่อยู่นอกเหนือขอบเขตที่กำหนด แสดงให้เห็นว่า แนวทางเลือกที่ 3 ให้ค่าความถี่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของกระบวนการ อันจะนำไปสู่การลดการสั่นพ้องของหัวอ่านและเขียนฮาร์ดดิสก์ได้
- แนวทางเลือกที่ 4 คือ การขยายร่องของแกนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ให้มีความลึกมากขึ้นเพื่อให้ครอบคลุม TGA โดยผลจากการทดลองพบว่า ค่า FRF รูปแบบของการสั่นสะเทือนทั้งหมด 9 โหมด ของหัวอ่านเขียนพบว่ามีค่าความถี่ในโหมดที่ 8 HGA Sway ที่ไม่อยู่ขอบเขตบนของข้อกำหนด และ ขอบเขตล่างของข้อกำหนด แสดงให้เห็นว่า แนวทางเลือกที่ 4 ให้ค่าความถี่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของกระบวนการ อันจะนำไปสู่การลดการสั่นพ้องของหัวอ่านและเขียนฮาร์ดดิสก์ได้

จากการประเมินผลพบว่าแนวความคิดที่มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและความเหมาะสมต่อกระบวนการคือแนวคิดที่ 1 คือการเปลี่ยนกาวยูวีโดยใช้กาวยูวีที่มีคุณสมบัติสอดคล้องกับกระบวนการแต่ให้ต้นทุนที่ลดลง อย่างไรก็ตามพบว่าแนวคิดที่ 4 นี้มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติสูงเช่นเดียวกันเพราะมีค่าความถี่ที่อยู่ภายใต้ช่วงขอบเขตที่กำหนดถึง

8 โหมด ซึ่งหากมีการปรับปรุงและพัฒนาต่อไปคาดว่าแนวคิดที่ 4 จะเป็น แนวทางเลือกที่มี ศักยภาพในอนาคตได้





รูปที่ 47 แสดง Finite Element ของการสั่นสะเทือนของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ตารางที่ 12 ค่า Frequency Response Function ของหัวอ่านเขียน โดยการทดสอบทางโมดัลของ
แขนอ่านเขียนข้อมูล

Mode			1	2	3	4	5	6	7	8	9	Completion Percentage
Mode Description			Coil 1st Torsion	HSA 1st System Mode	HSA Twist Arm Sway - Scissor	Arm Torsion Arm Sway Freq 1	Arm Torsion Arm Sway Freq 2	Arm Torsion Arm Sway Freq 3	HSA 2nd System Mode	HGA Sway	HGA 3rd Torsion mode	
Nominal Frequency (Hz)			3500	5200	6800	7600	8400	9500	13500	18500	21000	
USL Frequency (Hz)			3850	5500	7200	8200	8900	10000	14500	20000	22500	
Current	Tail tacking	1	3324	5015	6841	7700	8515	9642	14010	18325	19895	100%
		2	3829	5424	6750	7397	8804	9497	13854	19845	20456	100%
		3	3816	5495	6857	7374	8022	9984	14174	18554	19885	100%
		4	3248	5497	6964	7712	8164	9763	13652	19048	21931	100%
		5	3259	4907	6997	8157	8723	9911	12805	19149	20174	100%
		Avg.	3495	5268	6882	7668	8446	9759	13699	18984	20468	
		Min	3829	5497	6997	8157	8804	9984	14174	19845	21931	
		Max	3248	4907	6750	7374	8022	9497	12805	18325	19885	
		S.D	300	284	100	317	342	198	536	590	851	
Idea 1	Change Adhesive	1	3560	5055	6820	7780	8435	9700	13250	19200	21200	100%
		2	3287	5222	7064	8010	8420	9240	14293	18064	19883	100%
		3	3497	5022	6551	7366	8688	9604	13570	19289	19608	100%
		4	3594	5431	6752	7660	8596	9703	13492	18901	20914	100%
		5	3243	5197	6686	7643	8810	9726	12964	19075	21829	100%
		Avg.	3436	5185	6775	7692	8590	9595	13514	18906	20687	
		Min	3594	5431	7064	8010	8810	9726	14293	19289	21829	
		Max	3243	5022	6551	7366	8420	9240	12964	18064	19608	
		S.D	161	162	190	234	167	204	496	493	926	
Idea 2	Ribbed Narrow TGA	1	3525	5213	7035	9010	9225	9450	13450	20125	21450	67%
		2	3288	5211	6900	10230	9501	9332	14281	21945	21788	67%
		3	3774	5399	6971	8721	9593	9339	13861	20378	20371	67%
		4	3596	4959	6857	8511	9453	9485	14149	21149	20447	67%
		5	3451	5318	6999	8846	9340	9341	14412	22160	19997	67%
		Avg.	3527	5220	6952	9064	9422	9389	14031	21151	20811	
		Min	3774	5399	7035	10230	9593	9485	14412	22160	21788	
		Max	3288	4959	6857	8511	9225	9332	13450	20125	19997	
		S.D	179	166	73	677	143	72	383	908	767	

ตารางที่ 12 ค่า Frequency Response Function ของหัวอ่านเขียน โดยการทดสอบทางโมดัลของ
แขนอ่านเขียนข้อมูล (ต่อ)

Mode			1	2	3	4	5	6	7	8	9	Completion Percentage
Mode Description			Coil 1st Torsion	HSA 1st System Mode	HSA Twist Arm Sway – Scissor	Arm Torsion Arm Sway Freq 1	Arm Torsion Arm Sway Freq 2	Arm Torsion Arm Sway Freq 3	HSA 2nd System Mode	HGA Sway	HGA 3rd Torsion mode (HGA Sway 2)	
Nominal Frequency (Hz)			3500	5200	6800	7600	8400	9500	13500	18500	21000	
LSL Frequency (Hz)			3200	4900	6500	7200	8000	9100	12500	17500	19500	
USL Frequency (Hz)			3850	5500	7200	8200	8900	10000	14500	20000	22500	
Idea 3	Flapper Optimizati on	1	3705	5325	6928	9250	9320	9685	13885	18950	20520	78%
		2	3373	5474	7007	9815	9763	9635	13305	17782	20455	78%
		3	3547	5272	6971	9314	10026	9650	13664	19084	19918	78%
		4	3845	5345	6650	9307	9082	9702	13151	19288	21710	78%
		5	3563	4971	6528	9153	9517	9703	14054	19252	22090	78%
	Average	3607	5277	6817	9368	9542	9675	13612	18871	20939		
	Min	3845	5474	7007	9815	10026	9703	14054	19288	22090		
	Max	3373	4971	6528	9153	9082	9635	13151	17782	19918		
S.D	178	187	214	258	369	31	381	624	918			
Idea 4	Wider arm groove design	1	3610	5135	6925	7800	8540	9848	13450	20100	21525	89%
		2	3666	5006	7166	8123	8596	9651	12681	20471	22046	89%
		3	3561	5135	6666	7996	8746	9907	14306	21082	20588	89%
		4	3372	5149	7121	7368	8577	9721	13527	23057	19567	89%
		5	3216	4974	6604	7787	8076	9327	14114	21037	21487	89%
	Average	3485	5080	6896	7815	8507	9691	13616	21149	21043	89%	
	Min	3666	5149	7166	8123	8746	9907	14306	23057	22046		
	Max	3216	4974	6604	7368	8076	9327	12681	20100	19567		
S.D	187	83	256	287	253	227	639	1142	977			

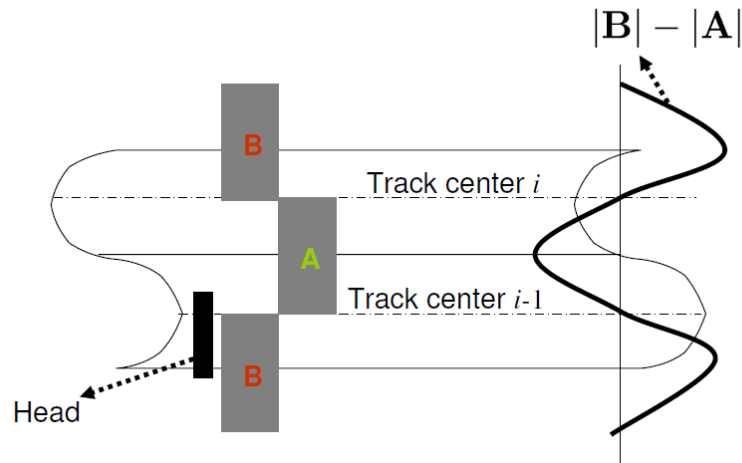
บทที่ 4

การทดสอบพิสูจน์ การเสนอแนะ และควบคุมการดำเนินงาน

4.1 ขั้นตอนทดสอบพิสูจน์

4.1.1 การทดสอบและพิสูจน์กาวยูวีชนิดใหม่

ในขั้นตอนการทดสอบและพิสูจน์นี้ ทีมงานจะทำการประเมิน ความแตกต่างระหว่างกาวยูวีชนิดเดิมและกาวยูวีชนิดใหม่ ในระดับของการประกอบฮาร์ดดิสก์ (Drive Level) โดยทำการวัดความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร็ค (Off Track Failures) ซึ่งมีสาเหตุหลักจากการเกิดการสั่นพ้องในหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ปัญหาการเขียนออกนอกแทร็ค (Off-track write failure) เป็นปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่งของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยปัญหาการเขียนออกนอกแทร็ค เป็นอาการที่เกิดขึ้นจากการที่หัวอ่าน เคลื่อนที่ผิดตำแหน่งในขณะที่ทำการเขียนข้อมูลลงบนฮาร์ดดิสก์ โดยหากอาการเขียนออกนอก แทร็ครุนแรง อาจจะทำให้เกิดการซ้อนทับกันของข้อมูลในแทร็คข้างเคียง ส่งผลให้เกิดการสูญหายของข้อมูลได้ รูปที่ 48 แสดงแบบจำลองการเขียนออกนอกแทร็ค



รูปที่ 48 แบบจำลองการเขียนออกนอกแทร็ค

4.1.2 การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดลองเพื่อหาความแตกต่างของกาวยูวีชนิดเดิมและกาวยูวีชนิดใหม่ จะพิจารณาโดยการทดสอบสมมติฐาน โดยการวัดความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทริค ทำได้โดยการประเมินกลุ่มตัวอย่างหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 2 กลุ่ม ซึ่งใช้กาวยูวีคนละชนิดกันในกระบวนการ Tail Tacking หัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะถูกนำไปประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและถูกนำไปวัดความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทริค ค่าที่ได้จากการวัดจะถูกนำไปทดสอบวิธีการทางสถิติต่อไป

สมมติฐาน :

H_0 : ความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทริค จากการใช้กาวยูวีทั้ง 2 ชนิดที่กระบวนการ Tail Tacking มีค่าไม่แตกต่างกัน

H_1 : ความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทริค จากการใช้กาวยูวีทั้ง 2 ชนิดที่กระบวนการ Tail Tacking มีค่าแตกต่างกัน

4.1.2.1 การหาขนาดตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน

การออกแบบการทดลอง ขนาดตัวอย่างเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องมีจำนวนตัวอย่างเพียงพอเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล การคำนวณหาขนาดตัวอย่างสำหรับการทดสอบตัวแปรตอบสนองต่อค่าความสั่นสะเทือนของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในกระบวนการ Tail Tacking โดยการคำนวณขนาดตัวอย่างจากการทดสอบ Power and Sample Size จากโปรแกรม Minitab17 โดยกำหนดให้กำลัง (Power) ของการ 0.9 ซึ่งจากประมวลผลพบว่า ขนาดกลุ่มตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 23 ซึ่งจะได้ Actual Power ที่ 0.912 ดังแสดงในรูปที่ 49 และ 50 ตามลำดับ

Power and Sample Size

2-Sample t Test

Testing mean 1 = mean 2 (versus \neq)

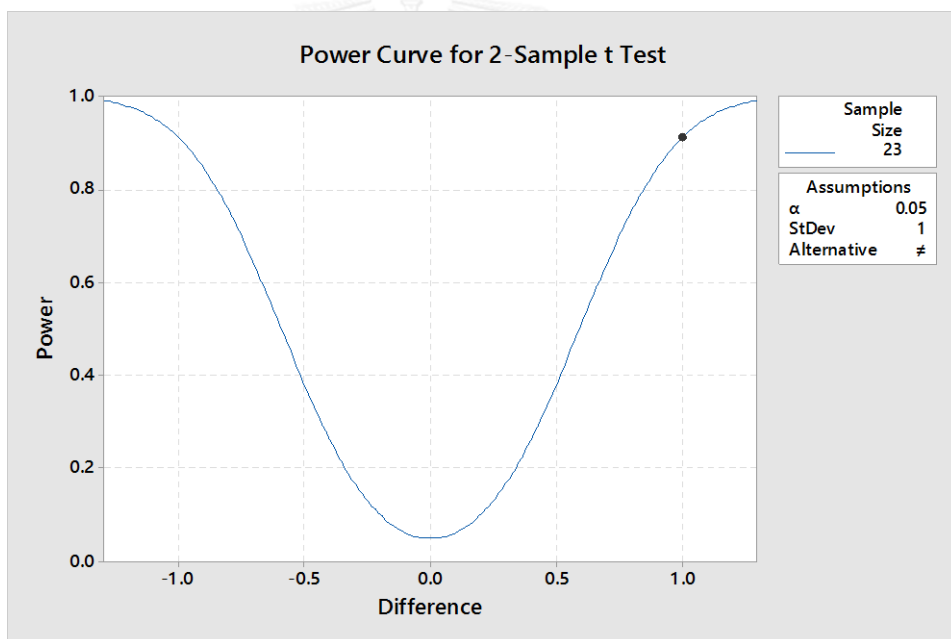
Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference

$\alpha = 0.05$ Assumed standard deviation = 1

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
1	23	0.9	0.912498

The sample size is for each group.

รูปที่ 49 Power and Sample Size



รูปที่ 50 Power Curve for 2-Sample t Test

4.1.2.2 การทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติ (Normality Test)

เมื่อใดก็ตามที่ต้องการนำข้อมูลของสิ่งตัวอย่างไปทำการอนุมานถึงประชากรแม่ เราจะต้องแน่ใจว่าข้อมูลดังกล่าว มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติเสมอ หากไม่เช่นนั้นการทดสอบสมมติฐาน หรือการอนุมาน ด้วยเครื่องมือทางสถิติ อื่นๆ ก็จะทำให้ผลคลาดเคลื่อน ตั้งแต่เล็กน้อย จนถึงไม่อาจยอมรับได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะความไม่เป็นการกระจายแบบปกติ เมื่อเป็น

เช่นนี้การทดสอบว่าข้อมูลของสิ่งตัวอย่างที่ได้มานั้นมีการกระจายแบบปกติหรือไม่ จึงเป็นสิ่งที่
ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยการ
พิจารณาจากค่า P-Value ค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแพ็คเกจ ที่ได้จากการวัด
ฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์จำนวน 23 ยูนิตในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแพ็คเกจ ที่ได้จากการวัดฮาร์ดดิสก์ไทรฟ์

No	Current Adhesive	New Adhesive
1	7.63%	6.36%
2	4.92%	5.89%
3	4.03%	3.51%
4	6.42%	5.31%
5	5.48%	6.43%
6	9.57%	8.83%
7	8.75%	7.47%
8	6.02%	5.22%
9	7.96%	6.66%
10	5.33%	5.16%
11	7.66%	8.59%
12	6.48%	5.10%
13	8.75%	7.22%
14	7.53%	5.49%
15	5.57%	6.56%
16	7.36%	6.03%
17	9.82%	7.79%
18	7.00%	6.56%
19	5.04%	5.50%
20	5.62%	5.93%
21	6.37%	6.63%
22	7.17%	6.05%
23	9.68%	8.69%

ทำการพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ที่ใช้การยูนิตเดิม และ กลุ่ม
ตัวอย่างที่ 2 ที่ใช้การยูนิตใหม่ว่ามีการกระจายตัวปกติหรือไม่ โดยการทดสอบการกระจาย
ตัวของข้อมูลจากการทดสอบสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีการสมมติฐานดังนี้

สมมติฐาน :

H_0 : ข้อมูลค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร์ค ของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ที่ใช้กาวยูวีชนิดเดิมมีการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร์ค ของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ที่ใช้กาวยูวีชนิดเดิมมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

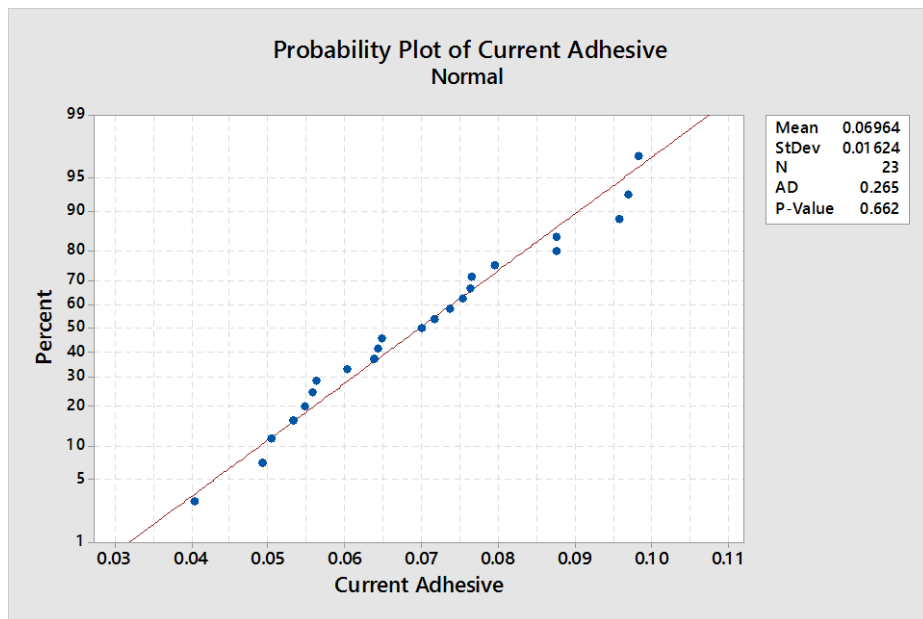
เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลพบว่าข้อมูลของความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร์ค ของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ที่ใช้กาวยูวีชนิดเดิม ดังรูปที่ 51 แสดงให้เห็นถึงการแจกแจงของข้อมูล โดยที่ค่าส่วนใหญ่อยู่ในแนวเส้นตรง 45 องศา นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่า p-value โดยใช้วิธีทดสอบการแจกแจงแบบปกติของ Anderson – Darling พบว่าค่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.662 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ที่ความเชื่อมั่นที่ระดับนัยสำคัญ 95% ตามที่กำหนดไว้จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลชุดนี้มีการแจกแจงแบบปกติ.

สมมติฐาน :

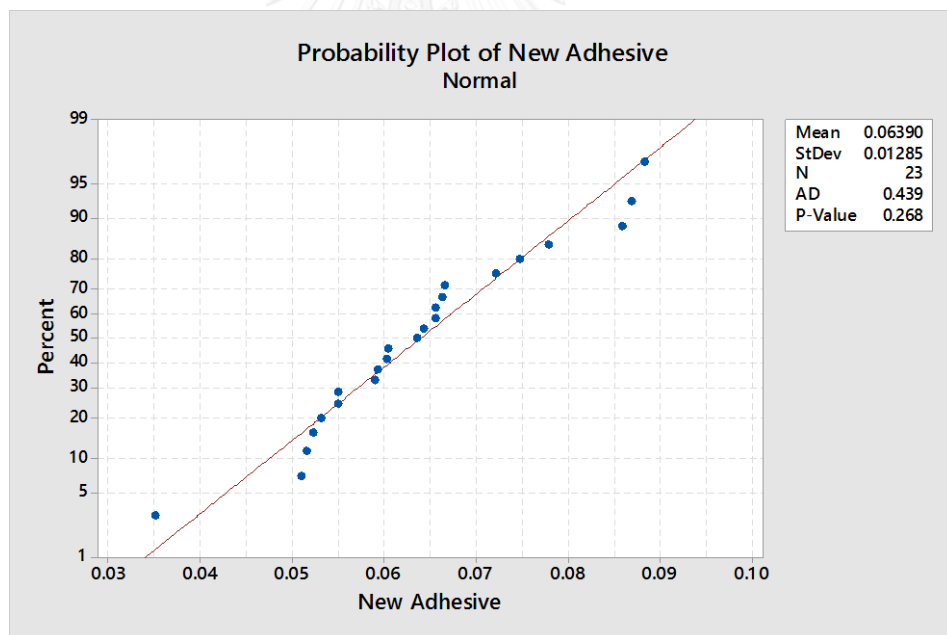
H_0 : ข้อมูลค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร์ค ของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ที่ใช้กาวยูวีชนิดเดิมมีการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร์ค ของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ที่ใช้กาวยูวีชนิดเดิมมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลพบว่าข้อมูลของความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร์ค ของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ที่ใช้กาวยูวีชนิดเดิม ดังรูปที่ 52 แสดงให้เห็นถึงการแจกแจงของข้อมูล โดยที่ค่าส่วนใหญ่อยู่ในแนวเส้นตรง 45 องศา นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่า p-value โดยใช้วิธีทดสอบการแจกแจงแบบปกติของ Anderson – Darling พบว่าค่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.268 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ที่ความเชื่อมั่นที่ระดับนัยสำคัญ 95% ตามที่กำหนดไว้จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลชุดนี้มีการแจกแจงแบบปกติ.



รูปที่ 51 การแจกแจงของข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ซึ่งใช้กาวยูวีชนิดเดิม

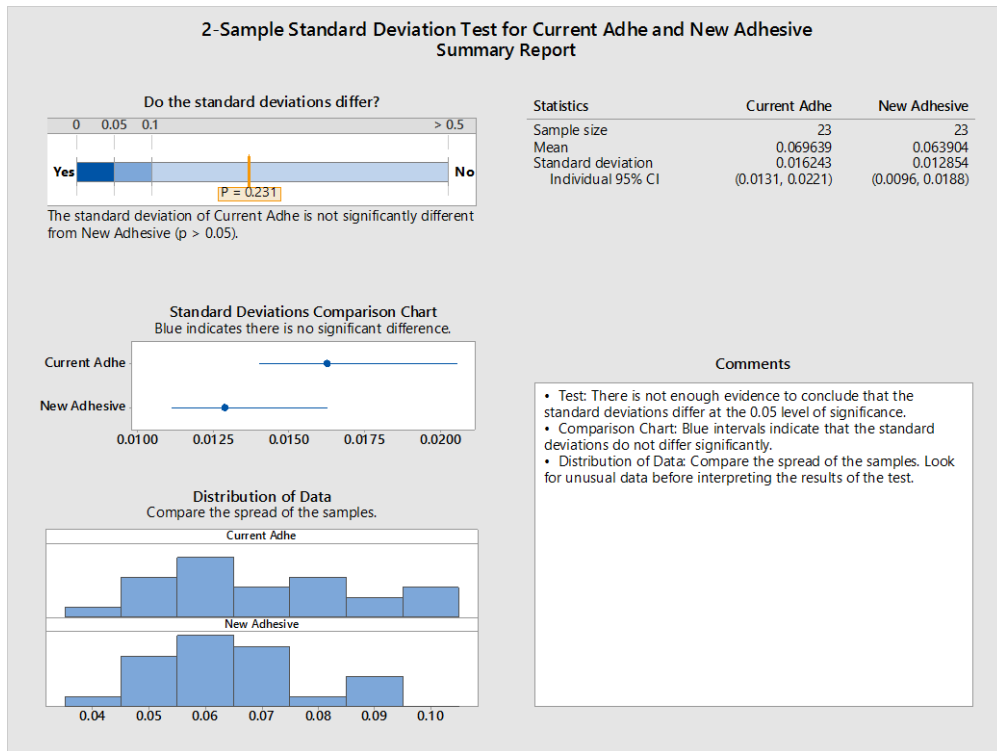


รูปที่ 52 การแจกแจงของข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ซึ่งใช้กาวยูวีชนิดใหม่

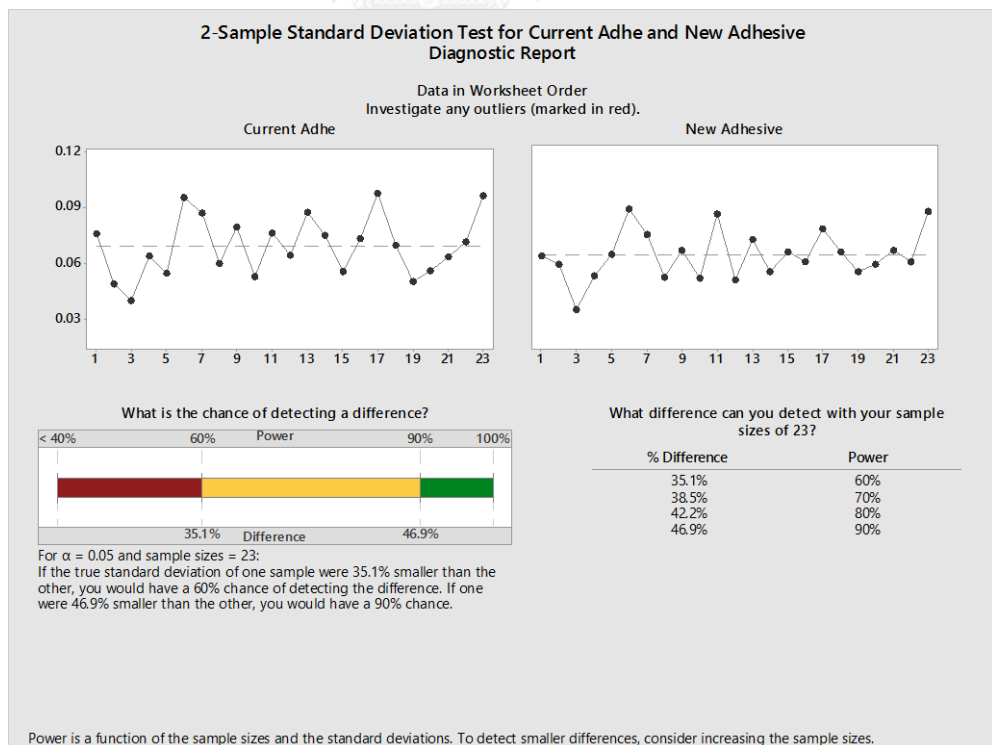
4.1.3 การทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มปกติ (กรณีประชากรสองชุด)

การทดสอบความมีนัยสำคัญที่สำคัญมากต่องานวิศวกรรมอีกประการหนึ่งคือการทดสอบถึงความแตกต่างของความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มปกติ 2 ชุด หรือความแตกต่างของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรสุ่มปกติ 2 ชุด โดยการทดสอบนี้จะทำควบคู่กันไปกับการทดสอบแบบ t ของประชากร 2 ประชากรเพื่อพิจารณาถึงข้อกำหนดก่อนว่า $\sigma_x = \sigma_y$ หรือไม่ เพื่อการตัดสินใจเกี่ยวกับองศาอิสระของ t ในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยต่อไป นอกจากนี้แล้ว การทดสอบดังกล่าวยังมีประโยชน์อย่างมากต่อการตัดสินใจด้านการควบคุมความผันแปรในงานควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ เช่น การตรวจจับความผันแปรในการตั้งเครื่องจักรเพื่อการดำเนินการผลิตให้ได้ตามข้อกำหนดเฉพาะ การทดสอบนี้ได้นำข้อมูลความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทรีค ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม จากการใช้กาวยูวีชนิดเดิมและชนิดใหม่ มาทำการทดสอบด้วยเครื่องมือทางสถิติโดยการใช้โปรแกรม Minitab17 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- [1] ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พิจารณาค่า P-Value = 0.231 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ดังรูปที่ 53
- [2] พิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 54 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติคือ ไม่มีข้อมูลที่เป็นค่าผิดปกติ (Outliers) หรือข้อมูลที่มีค่าแยกออกจากกลุ่ม หรือผิดแผกแตกต่างไปจากข้อมูลค่าอื่นซึ่งข้อมูลที่เป็นค่าผิดปกติจะถูกแสดงเป็นจุดสีแดงในแผนภาพ



รูปที่ 53 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม (1)



รูปที่ 54 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม (2)

4.1.4 การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติ (กรณีประชากรสองชุด)

ในการทดสอบความแตกต่างหรือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม สำหรับการทดสอบข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) สำหรับตัวอย่าง 2 กลุ่มที่มีลักษณะคือเป็นตัวอย่างที่อิสระกัน (Independent Samples) จะใช้ใช้สถิติการทดสอบค่า t โดยนำข้อมูลความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแท่ง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม จากการใช้กาวยูวีชนิดเดิมและชนิดใหม่ มาทำการทดสอบด้วยเครื่องมือทางสถิติ 2-Sample t Test ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม Minitab 17 ในการทดสอบทางสถิติ Two-Sample T-Test แสดงในรูปที่ 55 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

Two-Sample T-Test and CI: Current Adhesive, New Adhesive

Two-sample T for Current Adhesive vs New Adhesive

	N	Mean	StDev	SE Mean
Current Adhesive	23	0.0696	0.0162	0.0034
New Adhesive	23	0.0639	0.0129	0.0027

Difference = μ (Current Adhesive) - μ (New Adhesive)

Estimate for difference: 0.00574

95% CI for difference: (-0.00297, 0.01444)

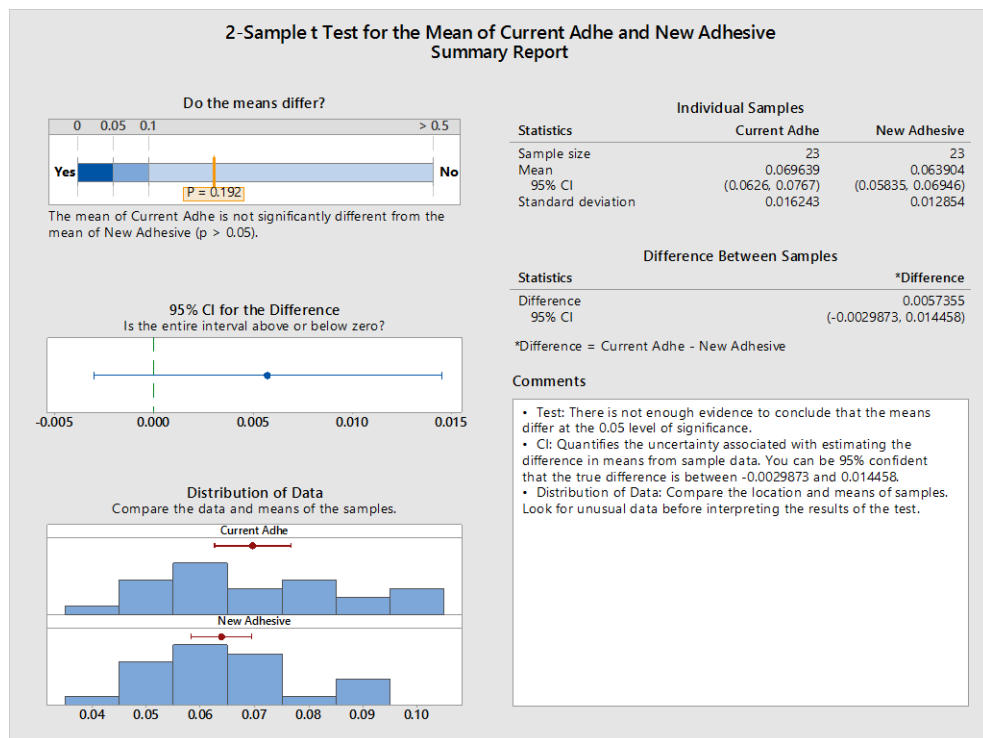
T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 1.33 P-Value = 0.191 DF = 44

Both use Pooled StDev = 0.0146

รูปที่ 55 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม Minitab 17 ในการทดสอบทางสถิติ Two-Sample T-Test

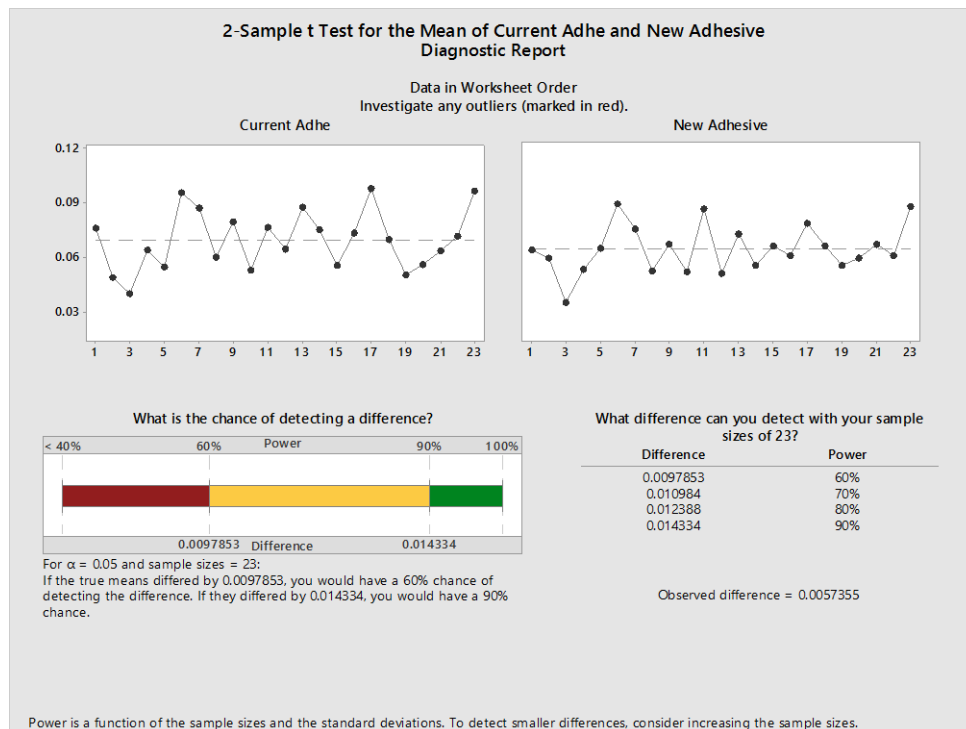
- [1] ระดับความเชื่อมั่น 95%พบว่าข้อมูลความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแท่งของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม จากการใช้กาวยูวีชนิดเดิมและชนิดใหม่ มีค่าข้อมูลความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแท่ง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พิจารณาค่า P-Value = 0.192 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ที่ความเชื่อมั่นที่ระดับนัยสำคัญ 95% ตามที่กำหนดไว้จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้ ดังรูปที่ 56
- [2] พิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 57 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติคือ ไม่มีข้อมูลที่เป็นค่าผิดปกติ หรือข้อมูลที่มีค่าแยกออกจากกลุ่มหรือผิดแผกแตกต่างไปจากข้อมูลค่าอื่นซึ่งข้อมูลที่เป็นค่าผิดปกติจะถูกแสดงเป็นจุดสีแดงในแผนภาพ

- [3] ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า กาวยู่ชนิดใหม่มีคุณสมบัติที่จะนำมาใช้ในกระบวนการ Tail Tacking โดยไม่ทำให้ข้อกำหนดของกระบวนการเปลี่ยนแปลงอีกทั้งยังคงหน้าที่หลักคือ ลดการสันฟุ้ง ในหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ได้



รูปที่ 56 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบสมมติฐานโดยการทดสอบทางสถิติ

Two-Sample T-Test (1)



รูปที่ 57 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบสมมติฐานโดยการทดสอบทางสถิติ

Two-Sample t-Test (2)

4.2 ขั้นตอนการเสนอแนะ

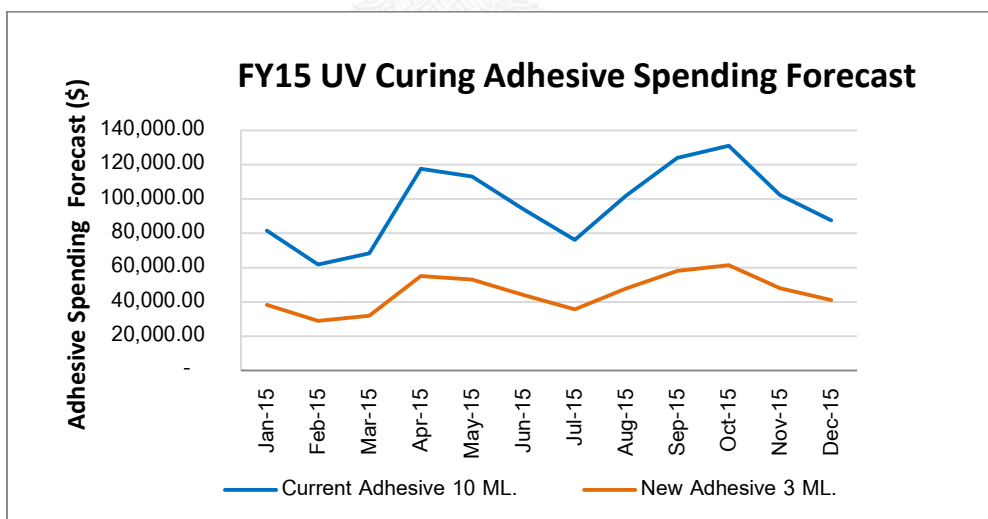
นำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทำแผนงานวิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมา นำเสนอให้ผู้บริหารพิจารณา โดยใช้ข้อความที่สั้นชัดเจน และเข้าใจง่าย มีการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ปัจจุบันและแบบที่เสนอแนะเปลี่ยนแปลง เนื้อหาทั้งหมดประกอบด้วยข้อเท็จจริงที่ยืนยันได้ แบบฟอร์มการเสนอแนะแสดงดังรูปที่ 59 โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

ปัจจุบัน : กาวยูวีจากผู้จัดจำหน่ายต่างประเทศขนาด 10 มิลลิเมตร ราคา 35.2 เหรียญสหรัฐ ซึ่งให้จำนวนหยดในการใช้งานเท่ากับ 28,700 หยดต่อ 1 หลอดโดยมีหน้าที่หลักคือการลดการสิ้นพ้องที่เกิดขึ้นในหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในกระบวนการ Tail Tacking

ข้อเสนอแนะ : เปลี่ยนมาใช้กาวยูวีจากผู้จัดจำหน่ายรายใหม่โดยเปลี่ยนมาใช้กาวยูวีขนาด 3 มิลลิเมตร ราคา 11.8 เหรียญสหรัฐ ปัจจุบันซึ่งให้จำนวนหยดในการใช้งานเท่ากับ 20,525 หยดต่อ 1 หลอดโดยมีหน้าที่หลักคือการลดการสิ้นพ้องที่เกิดขึ้นในหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในกระบวนการ Tail Tacking

สรุปผล :

1. เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงในเชิงผู้จัดจำหน่ายวัสดุดิบและขนาดของวัสดุดิบทางอ้อม ซึ่งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกระบวนการจึงไม่ก่อให้เกิดต้นทุนที่เพิ่มขึ้นหรือก่อให้เกิดการประหยัดในเชิงต้นทุนด้านแรงงานและค่าเสียหายต่างๆ
2. ผลจากการทดสอบค่า FRF รูปแบบของการสั้นสะเทือนทั้งหมด 9 โหมด ของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์พบว่ากาวยูวีชนิดใหม่ให้ค่า FRF รูปแบบของการสั้นสะเทือนทั้งหมด 9 โหมด ของหัวอ่านเขียนที่วัดได้ทั้งหมดอยู่ภายใต้ ขอบเขตบนของข้อกำหนด และ ขอบเขตล่างของข้อกำหนด
3. ผลจากการทดสอบทางสถิติพบว่าค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร็ค จากการใช้กาวยูวีทั้ง 2 ชนิดมีค่าไม่แตกต่างกัน และอยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดคือร้อยละ 12
4. ค่าใช้จ่ายของต้นทุนวัสดุดิบทางอ้อมในส่วนของกาวยูวีที่ใช้ในกระบวนการ Tail Tacking ที่คาดว่าจะลดลงในปี พ.ศ. 2558 คิดเป็นมูลค่า 615,490 เหรียญสหรัฐ หรือคิดเป็นร้อยละ 53 รูปที่ 58 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย



รูปที่ 58 ค่าใช้จ่ายของต้นทุนวัสดุดิบทางอ้อมในส่วนของกาวยูวี ที่คาดว่าจะลดลงในปี พ.ศ. 2558

PRODUCT PROPOSAL						
Doc. no.	2015-HSA-ECR-1038	Date	29/10/2014	Team Member		
Model	UV Curing Adhesive		Team Leader		Primtheera	
Process	Tail Tacking Process		Supattra Finance	Waree Purchasing	Tanachai Development	Mali Production Somchai PE
<p>ปัจจุบัน</p>  <p>กาวยูวีจากผู้จัดจำหน่ายต่างประเทศขนาด 10 มิลลิลิตร ราคา 35.2 เหรียญสหรัฐ ซึ่งให้จำนวนหยดในการใช้งานเท่ากับ 28,700 หยดต่อ 1 หลอด</p>			<p>ข้อเสนอแนะ</p>  <p>เปลี่ยนมาใช้กาวยูวีจากผู้จัดจำหน่ายรายใหม่โดยเปลี่ยนมาใช้กาวยูวีขนาด 3 มิลลิลิตร ราคา 11.8 เหรียญสหรัฐ ปัจจุบันซึ่งให้จำนวนหยดในการใช้งานเท่ากับ 20,525 หยดต่อ 1 หลอด</p>			
<p>สรุปผล :</p> <ol style="list-style-type: none"> เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงในเชิงผู้จัดจำหน่ายวัตถุดิบและขนาดของวัตถุดิบทางอ้อม ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงการทำงานของกระบวนการ จึงไม่ก่อเกิดต้นทุนที่เพิ่มขึ้นหรือก่อให้เกิดการประหยัดในเชิงต้นทุนด้านแรงงานและค่าวัสดุต่างอื่นๆ ผลจากการทดสอบค่า FRF รูปแบบของการสิ้นเสียนทั้งหมด 9 โหมด (Mode) ของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ที่พบว่าการชนิดใหม่ให้ค่า FRF รูปแบบของการสิ้นเสียนทั้งหมด 9 โหมด (Mode) ของหัวอ่านเขียนที่วัดได้ทั้งหมดอยู่ภายใต้ขอบเขตบนของข้อกำหนด (Upper Specification limits) และ ขอบเขตล่างของข้อกำหนด (Lower Specification limits) ผลจากการทดสอบทางสถิติพบว่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร็ค (Off Track Failures) จากการใช้กาวทั้ง 2 ชนิดมีค่าไม่แตกต่างกัน และอยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดคือ 12% ค่าใช้จ่ายของต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมที่คาดว่าจะลดลงในปี พ.ศ. 2558 คิดเป็นมูลค่า 615,490 เหรียญสหรัฐ หรือคิดเป็น 53% 						
<p>อนุมัติ _____ ไม่เห็นด้วย _____ วันที่ _____</p> <p>เลขที่ใบสั่งการเปลี่ยนแปลงทางวิศวกรรม _____</p> <p style="text-align: right;">(.....) ผู้อนุมัติ</p>						

รูปที่ 59 แบบฟอร์มเสนอแนะสำหรับการใช้กาวยูวีในกระบวนการ TailTacking

4.3 ขั้นตอนการควบคุม

การควบคุม มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้การแก้ไขและพัฒนาที่ได้มาเป็นไปอย่างยั่งยืน เพื่อเพิ่มพูนผลที่ได้จากการแก้ไขและพัฒนากระบวนการ และเพื่อค้นหาและระบุความเป็นไปได้ในการขยายผลไปยังพื้นที่หรือกระบวนการอื่น ๆ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการปรับปรุงตามแนวหลักการของซิกซ์ซิกมา โดยการนำผลลัพธ์ที่ได้จากแผนงานทั้ง 6 ลำดับก่อนหน้ามาประยุกต์ใช้ในกระบวนการและทำการเฝ้าติดตามผลการปรับปรุงโดยในงานวิจัยนี้หลังจากการนำการยูวีชนิดใหม่ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการ Tail Tacking เพื่อให้มั่นใจได้ว่า กระบวนการอยู่ภายใต้ข้อกำหนดและต้นทุนสามารถลดลงได้ตามที่คาดการณ์ไว้ สิ่งที่ต้องทำการควบคุมต่อไปนี้

4.3.1 ปรับปรุงเอกสารข้อมูล

บันทึกข้อมูลการปรับเปลี่ยนชนิดของกาวยูวีในเอกสารบันทึกข้อมูลการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Material Revision Record) เพื่อชี้แจงรายละเอียดให้ผู้ที่เกี่ยวข้องทราบ รูปที่ 60 แสดงตัวอย่างเอกสารบันทึกข้อมูลการปรับเปลี่ยนกาวยูวีที่ใช้ในกระบวนการ Tail Tacking จากขนาด 10 มิลลิลิตร เป็นขนาด 3 มิลลิลิตร

REVISION RECORD				
REV	ECO	DESCRIPTION	DATE	APP
A	---	PRODUCTION RELEASE	SEAPDM	---
B	ECR0173260	ADD NEW PART NUMBER FOR 3ML SYRINGE	SEE SEASCAPE	SEE SEASCAPE

WARNING - HAZARDOUS MATERIAL

THIS DOCUMENT PROVIDES BASIC INFORMATION REQUIRED FOR ORDERING, PACKAGING AND HANDLING OF A HAZARDOUS MATERIAL. DO NOT USE UNTIL SAFETY PRECAUTIONS ARE FULLY UNDERSTOOD.

PART NUMBER	DESCRIPTION/COMPOSITION	VP/N	SIZE/TYPE CONTAINER
100510649	COML, ADHESIVE, UV, REV.A	N/A	10.0 ML AUV AMBER SYRINGE WITH 10 ML CONTENT
100753816	COML, ADHESIVE, UV, REV.A	N/A	3 ML AMBER SYRINGE WITH 3ML CONTENT

DESCRIPTION: UV curing adhesive used in HSA process for TGA tail tacking process, may applicable to other tacking process as needed.

Chemical Name: UV CURING ADHESIVE

CAS #: Not applicable for mixtures.

Common Trade Name: N/A

CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 60 ตัวอย่างเอกสารบันทึกข้อมูลการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต

4.3.2 การกำหนดแผนควบคุม (Control Plan)

เพื่อให้มั่นใจว่ากาวยูวีชนิดใหม่ที่นำมาใช้ในกระบวนการ TailTacking ไม่ทำให้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงและอยู่ภายใต้การควบคุม จึงกำหนดให้มีการทดสอบการค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทรีค โดยทำการสุ่มชิ้นงานจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทุกๆ 20 ยูนิตต่อการทดสอบทุกๆ 1000 ยูนิตและทำการบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องทั้งหมด 500 ยูนิต ซึ่งการควบคุมค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทรีค จะถูกตรวจสอบที่ขั้นตอนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และถูกควบคุมด้วยแผนภูมิ Xbar-S Chart สำหรับควบคุมระดับค่าเฉลี่ยของกระบวนการและระดับความแปรผันของกระบวนการซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.2.1 การทดสอบการกระจายตัวแบบปกติ

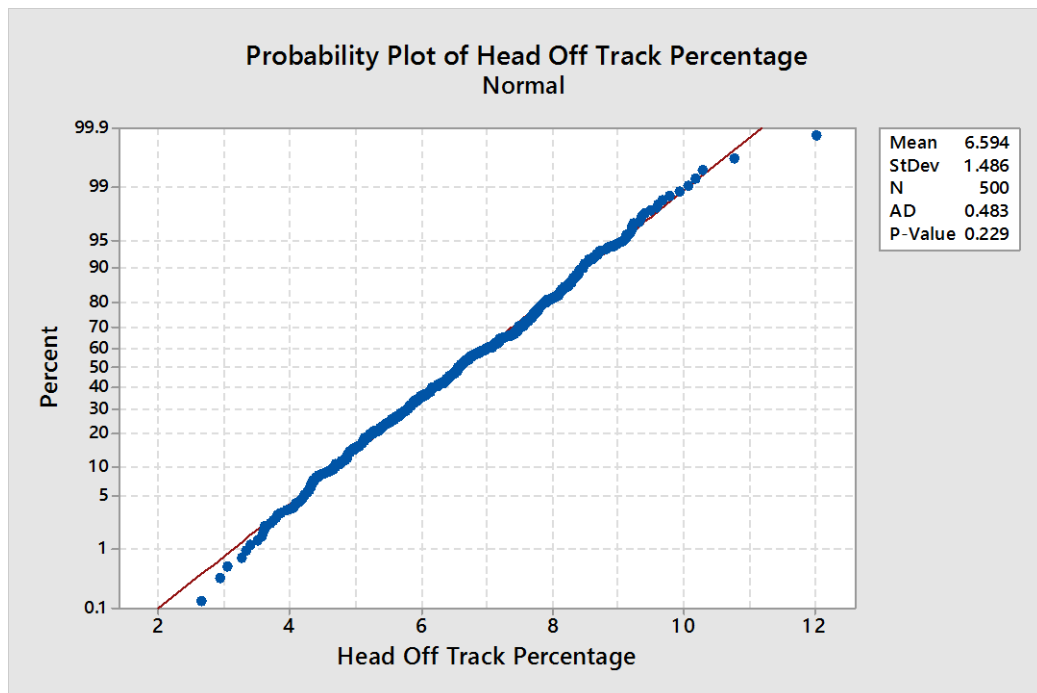
การพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลว่ามีการกระจายตัวปกติหรือไม่เป็นเรื่องที่มีความสำคัญ เพื่อปกป้องความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลจากการทดสอบสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีการสมมติฐานดังนี้

สมมติฐาน :

H_0 : ข้อมูลค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทรีค มีการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทรีค มีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

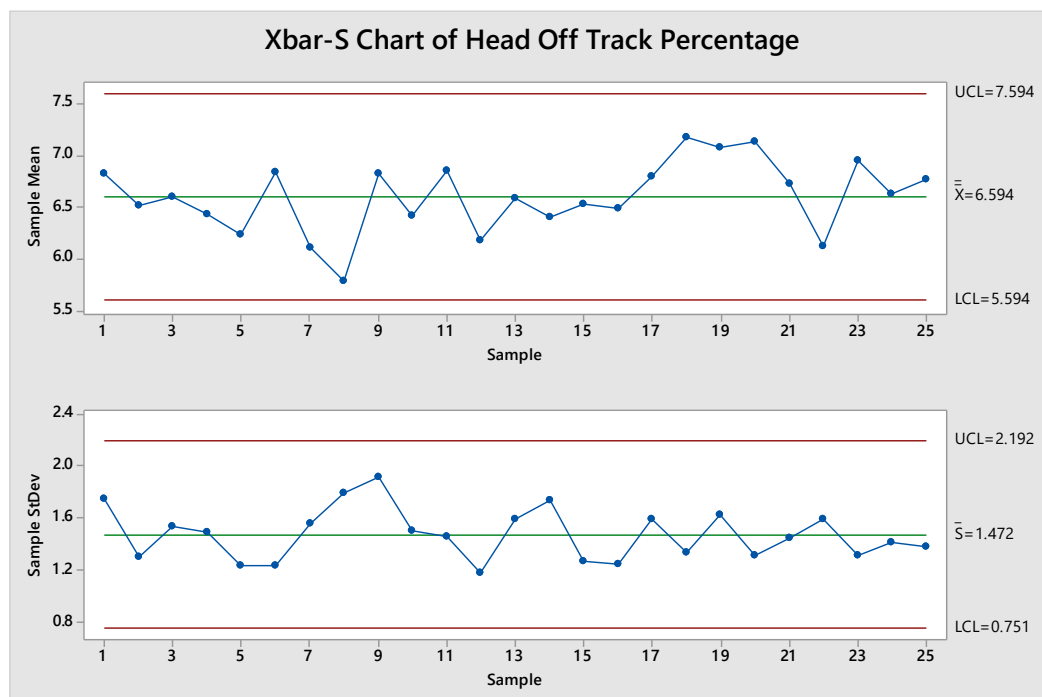
จากผลการทดสอบการกระจายตัวแบบปกติโดยใช้วิธีทดสอบการแจกแจงแบบปกติของ Anderson – Darling พบว่าค่า P-value มีค่า 0.229 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ที่ความเชื่อมั่นที่ระดับนัยสำคัญ 95%ตามที่กำหนดไว้ ดังนั้น จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลชุดนี้มีการแจกแจงแบบปกติ.



รูปที่ 61 การแจกแจงของข้อมูลมูลค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร์ค

4.3.2.2 การวิเคราะห์แผนภูมิควบคุม

การควบคุมกระบวนการทำให้สามารถประเมินค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร์ค ตามเป้าหมายในระยะยาว ได้นำแผนภูมิควบคุมมาประยุกต์ใช้ในการติดตามเฝ้าดูกระบวนการ โดยแผนภูมิควบคุมจะมีเส้นควบคุมทางด้านสูงเพื่อควบคุมค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร์ค ไม่ให้สูงเกินเขตควบคุม สามารถตรวจจับข้อมูลที่ออกนอกเหนือเส้นควบคุม และยังเป็นสัญญาณแจ้งเตือนความผิดปกติของกระบวนการอีกด้วย ผลจากการนำการยู่ยวชิชนิดใหม่มาใช้ในกระบวนการ Tail Tacking พบว่าค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร์ค ยังคงอยู่ภายใต้ข้อกำหนด โดยมีค่าเฉลี่ยค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร์ค อยู่ที่ร้อยละ 6.59 และมีค่าเฉลี่ยความเบี่ยงเบนอยู่ที่ 1.47 ดังรูปที่ 62



รูปที่ 62 แผนภูมิควบคุม Xbar – S ของค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร็ค ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

4.4 สรุปผลการปรับปรุง

เพื่อให้ผลการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการสามารถควบคุมได้ในระยะยาว จึงได้มีการควบคุมกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุมเพื่อติดตามและเฝ้าดูกระบวนการหลังการปรับปรุง ในงานวิจัยนี้ค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร็คของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะถูกเฝ้าติดตามโดยใช้แผนภูมิควบคุม Xbar – S ซึ่งผลจากการติดตามพบว่าค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร็คของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หลังจากการประยุกต์ใช้การยูวีชนิดใหม่ในขั้นตอนการประกอบหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ยังคงให้ค่าความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร็คที่อยู่ในระดับของขอบเขตการควบคุม

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษางานวิจัยโดยการประยุกต์ใช้หลักการวิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมาในกระบวนการตัดยึดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อลดต้นทุนการผลิต โดยทำการศึกษาและทำการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ภายใต้ข้อกำหนดของกระบวนการและพารามิเตอร์ของกระบวนการ โดยที่ไม่ทำให้คุณลักษณะและข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง สามารถสรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลวัตถุดิบทางอ้อมที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งข้อมูลเบื้องต้นพบว่า กาวยูวี ที่ใช้ในกระบวนการยึดติดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีต้นทุนค่าใช้จ่ายสูงเป็น อันดับ 1 ของค่าใช้จ่ายวัตถุดิบทางอ้อมทั้งหมด โดยกระบวนการยึดติดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Tail Tacking Process) เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งช่วยควบคุมและลดการสั้นพังที่เกิดขึ้นในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อันจะส่งผลให้เกิดปัญหาการเขียนออกนอกแทร็ค

ในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ได้นำแผนงานวิศวกรรมคุณค่า 7 ขั้นตอนของ Arthur E. Mudge มาประยุกต์ใช้ในแผนการดำเนินงาน ซึ่งประกอบไปด้วย

1. ขั้นตอนทั่วไป
2. ขั้นตอนรวบรวมข้อมูล
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์หน้าที่
4. ขั้นตอนสร้างสรรค์ความคิด
5. ขั้นตอนประเมินผล
6. ขั้นตอนทดสอบพิสูจน์
7. ขั้นตอนการเสนอแนะ

อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์แผนงานวิศวกรรมคุณค่านั้น พบว่าวิธีการของวิศวกรรมคุณค่า มุ่งที่จะลดต้นทุนของบรรจุภัณฑ์ โดยการวิเคราะห์หาหน้าที่ที่จำเป็นและสำคัญที่สุดของบรรจุภัณฑ์ แล้วทำการลดหน้าที่ที่ไม่จำเป็นและความซ้ำซ้อนของหน้าที่ออกไปโดยที่ยังคง

รักษาคุณค่าและหน้าที่หลักของผลิตภัณฑ์ไว้ ซึ่งมีต้นทุนเป็นตัวแปรสำคัญในการวิเคราะห์ โดยมีได้มีการคำนึงถึงข้อจำกัด ผลกระทบ และความต้องการทางด้านอื่นๆ ของกระบวนการ โดยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการที่เป็นผลจากการเป็นแปลงวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ สามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ทางสถิติ ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมาก คือในส่วนของกาวิเคราะห์หน้าที่โดยการประเมินให้คะแนนน้ำหนักความสำคัญ รวมถึงแนวความคิดสร้างสรรค์ต่างๆ ตลอดจนวิธีการของวิศวกรรมคุณค่า ตั้งอยู่บนแนวความคิดและสมมุติฐานของสมาชิกในทีมที่เกี่ยวข้องเท่านั้น การเลือกสมาชิกในทีมจึงเป็นตัวแปรที่สำคัญ ที่ส่งผลต่อลักษณะขอผลิตภัณฑ์หลังการปรับปรุง เพื่อให้แผนงานวิศวกรรมคุณค่าสามารถครอบคลุมข้อจำกัดข้างต้น จึงมีการนำขั้นตอน DMAIC ในหลักการซิกซ์ซิกมาประยุกต์ใช้ในแผนงานครั้งนี้ โดยประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนหลักคือ การนิยามปัญหา การวัด การวิเคราะห์ปัญหา การปรับปรุง และการควบคุม แผนงานบูรณาการและผลสรุปการดำเนินงานแต่ละขั้นตอนสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

1. **ขั้นเตรียมโครงการ** ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นเริ่มต้นของการทำโครงการ โดยการจัดตั้งทีมงาน แผนงานบูรณาการ อันประกอบไปด้วยผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องจากฝ่ายต่างๆ เทคนิคที่เป็นรากฐานของขั้นตอนนี้ ได้แก่ การใช้มนุษย์สัมพันธ์ที่ดี การทำงานเป็นกลุ่ม ทำงานเฉพาะด้าน ขจัดอุปสรรคและการตัดสินใจที่ดีของธุรกิจ
2. **ขั้นตอนรวบรวมข้อมูล** ในขั้นตอนนี้จะเป็นการประยุกต์ขั้นตอนรวบรวมข้อมูลของแผนงานวิศวกรรมคุณค่าและ ขั้นตอนนิยามปัญหาและการวัดและวิเคราะห์ของแนวทางซิกซ์ซิกมาไว้ด้วยกันโดยรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์จากหน่วยงานต่างๆ ซึ่งเป็นปัญหาในการดำเนินงาน ข้อมูลเหล่านี้ได้แก่ ต้นทุนของผลิตภัณฑ์, ข้อมูลทั่วไปของผลิตภัณฑ์, ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ ลักษณะการใช้งานและปัญหาในการใช้งาน เป็นต้น
3. **ขั้นตอนการวิเคราะห์หน้าที่** การวิเคราะห์หน้าที่การทำงานเป็นขั้นตอนอย่างหนึ่งที่สำคัญของแผนงานบูรณาการซึ่งอ้างอิงจากแผนงานวิศวกรรมคุณค่า ซึ่งเป็นขั้นตอนที่แตกต่างออกไปจากเทคนิคการลดต้นทุนและปรับปรุงการดำเนินงานอื่นๆ การวิเคราะห์

หน้าที่ทำได้โดยการอธิบายหน้าที่ และประเมินความสัมพันธ์ของหน้าที่จากผลการประเมินหน้าที่ของกาวยูวี พบว่ามีหน้าที่หลักคือ ลดการสิ้นฟุ้ง ของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยมีหน้าที่รองคือ ตรึงส่วนประกอบ ควบคุมตำแหน่ง จำกัดการเคลื่อนไหว และ ช่วยค้ำจุน

4. **ขั้นตอนสร้างสรรค์ความคิดและปรับปรุง** ทีมงานได้ใช้หลักการระดมสมอง เพื่อสร้างสรรค์ทางเลือกในการทำหน้าที่ลดการสิ้นฟุ้ง โดยในขั้นตอนนี้ได้มีการประยุกต์นำหลักการการปรับปรุง ซึ่งเป็นหนึ่งในขั้นตอน DMAIC เพื่อนำมาปรับปรุงความคิดสร้างสรรค์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม แนวคิดที่ได้จากที่ได้จากการระดมสมองนั้นสามารถสรุปได้เป็น 4 แนวทางดังนี้คือ

- 1) **การปรับปรุงลักษณะการใช้งานและต้นทุนของกาวยูวี** ทีมงานมีความเห็นตรงกันที่จะยังคงใช้กาวยูวีเป็นวัตถุดิบในกระบวนการ Tail Tacking และคงกระบวนการนี้ไว้ อย่างไรก็ตามด้วยต้นทุนของวัตถุดิบที่ค่อนข้างสูงทางทีมงานจึงมีความเห็นในการประเมินชีพปลายเออร์รายใหม่ที่สามารถผลิตกาวยูวีที่มีราคาต่ำกว่าแต่ยังคงคุณภาพไว้ นอกจากนี้ยังปรับลดขนาดของกระบอกกาวยูวีให้มีขนาด 3 มิลลิเมตร เพื่อลดผลกระทบ Frictional Heating Effect
- 2) **การออกแบบ TGA ให้มีความแข็งแรงขึ้น** เนื่องจากมวลและความแข็งแรงเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดการสิ้นฟุ้งของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ทางทีมงานจึงมีแนวคิดในการออกแบบ TGA ให้มีความแข็งแรงขึ้น โดยการใช้แนวคิด Narrow and Ribbed
- 3) **การปรับเปลี่ยนตำแหน่งและเพิ่ม Flapper ในตำแหน่งที่กำหนด** ทีมงานมีแนวคิดในการใช้ Flapper (ชิ้นส่วนของ TGA) เพื่อลดเพื่อลดการสิ้นฟุ้งที่เกิดขึ้น หัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยการปรับตำแหน่งและระยะของ Flapper รวมทั้งเพิ่ม Flapper เพื่อลดการสิ้นสละเทือนของหัวอ่านเขียนที่มี Slider ติดอยู่และเสริมความแข็งแรงให้ TGA

4) การปรับเปลี่ยนรูปแบบของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้มีพื้นที่ครอบคลุม TGA ทำขยายร่องของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้มีความลึกมากขึ้น เพื่อให้ TGA สามารถเข้าไปอยู่ในร่องของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ลึกขึ้น พื้นที่ของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ส่วนที่ครอบ TGA นี้จะช่วยป้องกัน TGA จากการเกิดการสั่นพ้องโดยเฉพาะการสั่นพ้องที่เกิดจากแรงลมอันเนื่องมาจากการหมุนของแผ่นดิสก์

5. **ขั้นตอนประเมินผล** ทางเลือกทั้งหมดที่เกิดจากการระดมสมองของทีมงานจะถูกนำมาวิเคราะห์ถึงผลและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและความเหมาะสมต่อกระบวนการชิ้นงานที่พัฒนาขึ้นจากแนวคิดที่สร้างสรรค์ในขั้นตอนที่ 4 จะถูกนำมาวิเคราะห์ FRF ของรูปแบบของการสั่นสะเทือนมาทั้งหมด 9 โหมด โดยการทดสอบทางโมดัลของแขนอ่านเขียนข้อมูล สรุปได้ว่า แนวคิดที่ 1 คือการปรับปรุงลักษณะการใช้งานและต้นทุนของกาวยูวี โดยที่ยังคงกระบวนการ Tail Tacking ไว้ ให้ค่า FRF รูปแบบของการสั่นสะเทือนทั้งหมด 9 โหมด อยู่ภายใต้ขอบเขตควบคุม

6. **ขั้นตอนทดสอบพิสูจน์** การนำเครื่องมือทางสถิติ (Statistical tools) มาใช้ในการทดสอบพิสูจน์ถือเป็นเครื่องมือที่สำคัญในขั้นตอนนี้ ข้อมูลที่นำมาทดสอบจะถูกทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติ โดยใช้วิธีทดสอบการแจกแจงแบบปกติของ Anderson – Darling หลังจากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยข้อมูลความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร็ค ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม จากการใช้กาวยูวีชนิดเดิมและชนิดใหม่ มาทำการทดสอบด้วยเครื่องมือทางสถิติ 2-Sample t Test ผลการทดสอบสมมติฐานสรุปได้ว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าข้อมูลความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร็ค ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม จากการใช้กาวยูวีชนิดเดิมและชนิดใหม่ มีค่าข้อมูลความผิดพลาดในการอ่านการเขียนนอกแทร็ค ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พิจารณาว่า P-Value = 0.192 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05

7. **ขั้นตอนการเสนอแนะ** นำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทำแผนงานวิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมา นำเสนอให้ผู้บริหารพิจารณา โดยการใช้แบบฟอร์มเสนอแนะจากทีมงาน อันประกอบไปด้วยข้อเท็จจริงปัจจุบัน และข้อเสนอแนะ ซึ่งผลจากการนำกาวยูวีขนาด 3 มิลลิเมตร จากผู้จัดจำหน่ายรายใหม่มาใช้ในกระบวนการ Tail Tacking ค่าใช้จ่ายของต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมในส่วนของกาวยูวีที่ใช้ในกระบวนการ Tail Tacking ที่คาดว่าจะลดลงในปี พ.ศ. 2558 คิดเป็นมูลค่า 615,490 เหรียญสหรัฐ หรือคิดเป็นร้อยละ 53
8. **ขั้นตอนการควบคุม** เพื่อให้การแก้ไขและพัฒนาที่ได้มาเป็นไปอย่างยั่งยืนจึงได้มีการนำขั้นตอนการควบคุมซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของแนวทางซิกซ์ซิกมา มาประยุกต์ใช้ในแผนงานนี้ อันประกอบไปด้วย การปรับปรุงเอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งกำหนดแผนควบคุม และควบคุมระดับค่าเฉลี่ยของกระบวนการและระดับความแปรผันของกระบวนการโดยการใช้แผนภูมิควบคุม Xbar-S Chart
จากการดำเนินงานวิจัยโดยการประยุกต์ใช้หลักการวิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมา สามารถสรุปผลการดำเนินงานแยกตามขั้นตอนได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แสดงผลการวิจัยดำเนินงานจากการประยุกต์ใช้แผนงานบูรณาการตามแนวทางวิศวกรรมคุณค่าและหลักการซิกส์ซิกมา

ขั้นตอนการทำงาน	ผลการดำเนินงาน
1. ขั้นเตรียมโครงการ	ทีมงานวิศวกรรมคุณค่า
2. ขั้นตอนรวบรวมข้อมูล	ข้อมูลต้นทุน , ข้อมูลผลิตภัณฑ์, คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์, กระบวนการผลิต
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์หน้าที่	หน้าที่การทำงานหลักที่นำมาวิเคราะห์คือ ลดการสิ้น
4. ขั้นตอนสร้างสรรค์ความคิดและปรับปรุง	ฟ่อง คิดเป็นร้อยละ 50 ของหน้าที่การทำงานทั้งหมด
5. ขั้นตอนประเมินผล	การคัดเลือกผู้ผลิตกาวยูวีใหม่ที่สามารถผลิตกาวยูวีได้
6. ขั้นตอนทดสอบพิสูจน์	คุณสมบัติตามที่ต้องการโดยที่ราคาต่ำกว่ากาวยูวีชนิด
7. ขั้นตอนการเสนอแนะ	ที่ใช้ในกระบวนการผลิตปัจจุบันและปรับลดขนาด
8. ขั้นตอนการควบคุม	ค่า FRF รูปแบบของการสิ้นสะท้อนทั้งหมด 9 โหมด
	ของหัวอ่านเขียนที่วัดได้ทั้งหมดอยู่ภายใต้ ขอบเขตบน
	ของข้อกำหนดและขอบเขตล่างของข้อกำหนด
	- 2-Sample t Test
	- ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าค่าความผิดพลาด
	ในการอ่านการเขียนนอกแทร์ค ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง
	2 กลุ่ม จากการใช้กาวยูวีชนิดเดิมและชนิดใหม่ไม่
	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พิจารณาค่า P-
	Value = 0.192 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05
	จากการประยุกต์หลักการใช้วิศวกรรมคุณค่าและซิกส์
	ซิกมา คาดว่าในปี พ.ศ.2558 ค่าใช้จ่ายของต้นทุน
	วัตถุดิบทางอ้อมในส่วนของกาวยูวีที่ใช้ในกระบวนการ
	Tail Tacking คิดเป็นมูลค่า 615,490 เหรียญสหรัฐ
	- ปรับปรุงเอกสารข้อมูล
	- การกำหนดแผนควบคุม

5.2 ข้อเสนอแนะ

การพิจารณาถึงความแตกต่างในด้านต่างๆของหลักการวิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์มา จะทำให้สามารถระบุถึงความเชื่อมโยงของหลักการทั้งสองได้ ศักยภาพและความสามารถของหลักการทั้งสองนั้นทำให้การเลือกนำวิธีการใดวิธีการหนึ่งมาใช้ในการปรับปรุงองค์กรเป็นสิ่งที่ท้าทาย การประยุกต์ใช้หลักการใดหลักการหนึ่ง หรือการบูรณาการหลักการทั้งสองเข้าด้วยกันเพื่อนำมาใช้ปรับปรุงการดำเนินงาน สามารถพิจารณาได้ดังนี้

- เป้าหมายของวิศวกรรมคุณค่า จะเน้นที่การพัฒนาคุณค่าของสิ่งที่นำมาศึกษา เช่น เพิ่มคุณภาพ สมรรถภาพ ความปลอดภัย ลดค่าใช้จ่ายทั้งทางตรงและค่าใช้จ่ายตลอดวงจรชีวิต โดยการวิเคราะห์หน้าที่การทำงานและใช้หลักความคิดสร้างสรรค์ ในขณะที่เป้าหมายของซิกซ์ซิกมาคือการลดต้นทุนและปรับปรุงระบบโดยการใช้หลักการทางสถิติ
- เป้าหมายและขั้นตอนการทำงานของวิศวกรรมคุณค่าขึ้นอยู่กับปัจจัยทางคุณภาพและความคิดสร้างสรรค์ ในขณะที่หลักการของแนวทางซิกซ์ซิกมาจะขึ้นอยู่กับเครื่องมือทางสถิติและวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งจะช่วยให้การตัดสินใจถูกต้องแม่นยำมากกว่า ดังนั้นหลักการวิศวกรรมคุณค่าและแผนการทำงานจึงไม่เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาที่ต้องการใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งหลักการซิกซ์ซิกมาจะมีความเหมาะสมในการแก้ปัญหารูปแบบนี้มากกว่า
- สมาชิกของแผนงานซิกซ์ซิกมาจะเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านสถิติและเชิงคุณภาพ ในขณะที่ทีมงานวิศวกรรมคุณค่านั้นสมาชิกในทีมจะเป็นผู้ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาจากฝ่ายต่างๆ ซึ่งจะทำให้การพิจารณาปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาคครอบคลุมในทุกๆด้านมากกว่า
- แผนงานของซิกซ์ซิกมาจะครอบคลุมถึงการติดตามผลและการควบคุม ในขณะที่แผนงานวิศวกรรมคุณค่านั้นขั้นตอนการทำงานจะสิ้นสุดเพียงการทำการเสนอแนะเท่านั้น เพราะฉะนั้นตามแนวทางของซิกซ์ซิกมาจะช่วยให้อาจสามารถตรวจจับปัญหา ปรับปรุงและควบคุมกระบวนการได้
- องค์ประกอบและเป้าหมายในแผนงานวิศวกรรมคุณค่าให้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการปฏิบัติแผนงานซิกซ์ซิกมา เนื่องจากแผนงานวิศวกรรมคุณค่าสามารถประยุกต์ใช้ได้คล่องแคล่วและรวดเร็วมากกว่า

- หลักการวิศวกรรมคุณค่ามีเป้าหมายในการปรับปรุงการทำงานของระบบ การเพิ่มดัชนีคุณค่า (Value Index) และการเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า ในขณะที่ซิกซ์ซิกมาต้องใช้เวลามากขึ้นในการดำเนินกิจกรรมและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า ดังนั้นการประยุกต์ใช้วิธีการทั้งสองจะช่วยปรับปรุงองค์กรในรูปแบบที่ครอบคลุม
- เครื่องมือทางสถิติและจุดวิกฤตต่อคุณภาพ (CTQ) ซึ่งเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการวัด (Measurement Phase) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หน้าที่พื้นฐานและหน้าที่ที่ไม่จำเป็น เพื่อทำการวิเคราะห์แนวทางการแก้ปัญหาได้ ในขณะที่ปัจจัย จุดวิกฤตต่อคุณภาพ สามารถทำการวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วโดยการใช้ FAST Diagram การระดมความคิด หรือการให้นำหนักจากสมาชิกในทีม ซึ่งเป็นขั้นตอนของแผนงานวิศวกรรมคุณค่า

การประยุกต์ใช้วิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมาช่วยกันช่วยให้องค์กรเกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง วิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมา มุ่งเน้นในการเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า การลดข้อบกพร่องของระบบ และการปรับปรุงคุณภาพ การเปรียบเทียบข้อจำกัดของหลักการทั้งสองแสดงให้เห็นว่าหลักการวิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมา ต่างเกี่ยวพันซึ่งกันและกัน ดังนั้นองค์กรควรที่จะนำหลักการทั้งสองมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้บรรลุเป้าหมาย คือการเพิ่มผลผลิตภาพและมีประสิทธิภาพในองค์กร ลดความแปรปรวนของกระบวนการ และเพิ่มความแม่นยำของระบบ การออกแบบกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสำหรับทั้งวิธีการทั้งสอง ทำให้เกิดการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ นวัตกรรมและองค์ความรู้ในองค์กร ตลอดจนคุณค่าที่ลูกค้าต้องการจากสินค้า ในขณะที่ต้นทุน คุณภาพ และการขนส่ง ถูกทำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

5.3 แนวทางงานวิจัยในส่วนที่สามารถนำไปพัฒนาต่อไป (Further work)

การทำวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการประยุกต์ใช้หลักการวิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมากับอุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ อย่างไรก็ตามคาดว่าผลของการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปพัฒนาเป็นงานวิจัยในอนาคตต่อไปได้ ดังนี้

1. ทางเลือกที่มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและความเหมาะสมต่อกระบวนการซึ่งถูกเลือกมาใช้ในการลดต้นทุนในงานวิจัยนี้ คือแนวคิดที่ 1 คือการปรับปรุงลักษณะการใช้งานและต้นทุนของกาวยูวี อย่างไรก็ตามด้วยระยะเวลาการทำวิจัยที่จำกัดทำให้กระบวนการ

คัดลอกซ์พพลายเออร์และจำนวนซ์พพลายเออร์ผู้ผลิตกาวที่ได้จึงมีจำนวนไม่มากนัก ดังนั้นการหาซ์พพลายเออร์ผู้ผลิตกาวเพิ่มเติม ซึ่งสามารถส่งมอบกาวที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการและมีราคาต่ำกว่า จะก่อให้เกิดการประหยัดต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น

2. จากผลการประเมินความเหมาะสมในการใช้งานโดยการทดสอบ Mode of Vibration ในขั้นตอนที่ 5 ของแผนงานบูรณาการพบว่ามียังแนวคิดที่ 1 คือการเปลี่ยนกาวยูวีโดยที่ยังคงกระบวนการ Tail Tacking เท่านั้น ที่มีค่า FRF อยู่ภายใต้ข้อกำหนดของกระบวนการ ในขณะที่แนวคิดอื่นๆ ซึ่งให้ค่า FRF นอกเหนือขอบเขตที่กำหนด พบว่ามีค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วยที่ต่ำกว่า ดังนั้นสิ่งที่ควรพิจารณาต่อไปคือการพัฒนาแนวทางเลือกอื่นๆ เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ รวมไปถึงการรวมแนวคิดที่สร้างสรรค์ได้เข้าด้วยกันอาจก่อให้เกิดการประหยัดต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างเช่น พิจารณาแนวคิดที่ 4 คือการขยายร่องของแกนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้มีความลึกมากขึ้นเพื่อให้ครอบคลุม TGA นี้มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติสูงเพราะมีค่าความถี่ที่อยู่ภายใต้ช่วงขอบเขตที่กำหนดถึง 8 โหมด ถือได้ว่าเป็นแนวทางเลือกที่มีศักยภาพ การพิจารณาเพื่อพัฒนาแนวทางเลือกนี้อาจสามารถทำได้โดยการออกแบบแกนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ใหม่ หรือ พิจารณาใช้แกนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ที่พัฒนาขึ้นนี้ร่วมกับการใช้กาวโดยลดจำนวนหยดกาวลง เป็นต้น
3. แผนงานบูรณาการที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยการประยุกต์ใช้แนวทางวิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมา ช่วยลดข้อจำกัดของเครื่องมือทั้งสองและก่อให้เกิดการปรับปรุงกระบวนการในรูปแบบที่ครอบคลุม ด้วยรูปแบบแผนงานที่ปรับปรุงขึ้นนี้คาดว่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่นๆได้ต่อไป โดยไม่จำกัดเพียงอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เท่านั้น
4. ทำการปรับปรุงแผนงานบูรณาการโดยการประยุกต์ใช้หลักการวิศวกรรมคุณค่าและซิกซ์ซิกมากับเครื่องมือทางวิศวกรรมอื่นๆ เช่น Lean หรือ Reengineering เป็นต้น

รายการอ้างอิง

1. อัมพิกา ไกรฤทธิ, วิศวกรรมคุณค่า เทคนิคการลดต้นทุนอย่างมีระบบ. 2548, กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. วิทยา สุหฤทต์ดำรง และ ก้องเดชา บ้านมะหิงษ์, *Six Sigma* กลยุทธ์การจัดการระดับโลก. 2545, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท็อป.
3. Peter S. Pande, R.R.C., and Robert P. Neuman, *The Six SIGMA Way : How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance. The United States of America*. How GE, Motorola, and Other Top Companies Are Honing Their Performance. The United States of America. 2000: McGraw-Hill Companies.
4. Forrest W. Breyfogle, J.M.C., Becki Meadows, *Managing Six Sigma: A Practical Guide to Understanding, Assessing, and Implementing the Strategy That Yields Bottom-Line Success*. 2000, Canada: Wiley-Interscience Publication.
5. M. Sokovic, D.P., S. Fakin, *Application of Six Sigma methodology for process design*. *Materials Processing Technology*, 2005(162–163): p. 777–783.
6. R. González Falcón, D.V.A., L.M. Gallego Fernández , Luis Pérez-Lombard, *Improving energy efficiency in a naphtha reforming plant using Six Sigma methodology*. *Fuel Processing Technology*, 2012(103): p. 110–116.
7. ดุสิต จันทรวงศ์ และ วิภู ศรีสืบสาย, การลดจำนวนสปินเดิลเสียในกระบวนการเจาะของโรงงาน ผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้าโดยใช้หลักการซิกซ์ซิกมา. . *วิศวกรรมลาดกระบัง* 2555. 29(1): p. 31-37.
8. Rohini. R, D.M.J., *Six Sigma: Improving the Quality of Operation Theatre*. . *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2011(25): p. 273 – 280.
9. ศิริศกย เทพจิต, การประเมินการนำ *Lean Six Sigma* ไปใช้งานด้วยการสร้างแบบจำลองพลวัตของระบบ: กรณีศึกษาโรงพยาบาล, in *วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2549, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*.

10. Khosrojerdi, A.S.A.H. *Value engineering & six-sigma.Proceedings*. in *36th CIE Conference on Computer and Industrial Engineering*. 2006. Taiwan.
11. เถลิง พลเจริญ และ สุรเชษฐ์ บางเมือง, การลดต้นทุนโดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า: กรณีศึกษาเครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ของมหาวิทยาลัยธนบุรี. , in การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2555. 2555: ชะอำ เพชรบุรี. .
12. ก้องฤทธิ์ บุญเลี้ยง และ ฤทธิชัย จันทระสา, การพัฒนาบรรจุภัณฑ์แบบหมุนเวียนสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยเทคนิควิศวกรรมคุณค่า, in การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554. 2554. p. 1950-1955.
13. สาทิต เต็มนาที, การปรับปรุงบรรจุภัณฑ์เพื่อลดต้นทุนการผลิตในโรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า, in สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2554, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
14. Ugo Ibusuki, P.C.K., *Product development process with focus on value engineering and target-costing: A case study in an automotive company*. Int. J. Production Economics, 2007(105): p. 459-474.
15. Zheng, Z.L.a.a.X., *Appliance of Value Engineering on the Improvement of Headstock Gear*. International Business Research, 2010. 3: p. 44–49.
16. M. A. Berawi, B.S., P. Miraj, A. R. B. Berawi, H. Z. and G. Rahman, and A. Husin, *Enhancing Value for Money of Mega Infrastructure Projects Development Using Value Engineering Method*, in *International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies*. 2014. p. 1037-1046.
17. Senay Atabay, N.G., *Application of Value Engineering in Construction Projects*. Journal of Traffic and Transportation Engineering. , 2013. 1(1): p. 39-48.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบหน้าที่ของสมาชิกในทีม

ภยเปรียบเทียบหน้าที่และให้หน้าที่ของหน้าที่

Process Engineer

		B	C	D	E
A	A-1	C-3	D-1	A-2	
	B	C-3	D-2	B-1	
		C		C-1	C-3
			D		D-3

อักษร	หน้าที่	น้ำหนัก
A	ครึ่งส่วนประกอบ	3
B	ช่วยยึดตำแหน่ง	1
C	ลดการสั่นพ้อง	10
D	จำกัดการเคลื่อนไหว	6
E	ช่วยคำนวณ	0

HSA Process Development Engineer

		B	C	D	E
A	A-1	C-3	D-2	A-2	
	B	C-2	D-2	B-3	
		C		C-1	C-3
			D		D-3

อักษร	หน้าที่	น้ำหนัก
A	ครึ่งส่วนประกอบ	3
B	ช่วยยึดตำแหน่ง	3
C	ลดการสั่นพ้อง	9
D	จำกัดการเคลื่อนไหว	7
E	ช่วยคำนวณ	0

Senior Industrial Engineer

		B	C	D	E
A	A-2	C-3	D-1	A-2	
	B	C-3	D-1	B-1	
		C		C-2	C-3
			D		D-2

อักษร	หน้าที่	น้ำหนัก
A	ครึ่งส่วนประกอบ	4
B	ช่วยยึดตำแหน่ง	1
C	ลดการสั่นพ้อง	11
D	จำกัดการเคลื่อนไหว	4
E	ช่วยคำนวณ	0

HSA Production Supervisor

		B	C	D	E
A	A-1	C-3	D-1	A-2	
	B	C-3	D-2	B-2	
		C		C-3	C-3
			D		D-3

อักษร	หน้าที่	น้ำหนัก
A	ครึ่งส่วนประกอบ	3
B	ช่วยยึดตำแหน่ง	2
C	ลดการสั่นพ้อง	12
D	จำกัดการเคลื่อนไหว	6
E	ช่วยคำนวณ	0

ผลคะแนนจากค่านัยฐาน (Median)

		B	C	D	E
A	A-1	C-3	D-1	A-2	
	B	C-3	D-2	B-1	
		C		C-1	C-3
			D		D-3

อักษร	หน้าที่	น้ำหนัก
A	ครึ่งส่วนประกอบ	3
B	ช่วยยึดตำแหน่ง	1
C	ลดการสั่นพ้อง	10
D	จำกัดการเคลื่อนไหว	6
E	ช่วยคำนวณ	0

ตารางที่ 2 แบบฟอร์มการประเมินที่พหุหลายเออร์ด้วยวิธี KEPNER-TREGOE DECISION ANALYSIS

KEPNER-TREGOE DECISION ANALYSIS TEMPLATE

Decision Statement:

UV Curing Adhesive Supplier Selection (Tail Tacking Process)

MUST Objectives	Alternative 1 Current Supplier		
	Must Information	Go	No Go
Product meets requirement	Yes	Go	
Supplier Financial Analysis (Z-Score Private>1.1, Public> 1.8)	2013 Z=0.91 2014 Z=1.74	Go	
Responsiveness - Availability of Field Service Support in China and Thailand	Thailand-Sub and China-Sub	Go	
EICC Compliance	Compliance (signed)	Go	
Com Cap - MESA - Standard Terms and Condition	Signed	Go	
Com Cap - IP Protection (sign NDA)	Signed Master NDA # 30442	Go	
Quality - ISO Certification	9001	Go	
WANT Objectives	Want Information	Score	Wt. Score
Technology - Experience in Business field	10Y	10	8
Technology - Similar product provided at all company sites are constructed, supported, and perform in congruent manner or as specified company	Yes	10	3
Technology - Technical Personnel Team support	1Pax (Eng) / 2Pax (Technician)	10	3
Supplier Risk - Electronics Business Ratio	78%	6	5
Responsiveness - Procurement Team	SrMgr 1, Mgr1, Buyer 11	10	2
Delivery - Supplier Capacity Flexibility	per Requirement	10	8
Delivery - Leadtime meet to requirement	45 days	8	8
Delivery - Product Rescheduling	30 days	8	3
Cost - Price	10 ml. = 35.2 3 ml. = 15.3	5	10
Cost - Payment Terms	Net60	9	8
Cost - Cost Reduction Program	Participates in cost reduction efforts	8	10
EHS (EICC) - By EICC compliance, Signed doc (2), Trained (6), Completed Self audit (10)	Signed/Trained/Completed Self assessment	10	5
Responsiveness - 24 hr onsite support	48 hrs Korat / 72 hrs China (Fly from Spore)	5	3
Quality (QA) - System review by ST1127	100% (ST1127 self audit)	10	3
Total weighted score			655

MUST Objectives	Alternative 2 New Supplier#1		
	Must Information	Go	No Go
Product meets requirement	Yes	Go	
Supplier Financial Analysis (Z-Score Private>1.1, Public> 1.8)	2013 Z=0.828 2014 Z=1.646	Go	
Responsiveness - Availability of Field Service Support in China and Thailand	Thailand-Sub and China-Sub	Go	
EICC Compliance	Compliance (signed)	Go	
Com Cap - MESA - Standard Terms and Condition	Signed	Go	
Com Cap - IP Protection (sign NDA)	Signed Master NDA# 67098	Go	
Quality - ISO Certification	9001	Go	
WANT Objectives	Want Information	Score	Wt. Score
Technology - Experience in Business field	8Y	8	8
Technology - Similar product provided at all company sites are constructed, supported, and perform in congruent manner or as specified company	Yes	10	3
Technology - Technical Personnel Team support	2Pax (Technician)	10	3
Supplier Risk - Electronics Business Ratio	65%	8	5
Responsiveness - Procurement Team	Mgr 1, SrMgr 2, buyer 4, Asst Buyer 3 (all overseas)	10	2
Delivery - Supplier Capacity Flexibility	per Requirement	10	8
Delivery - Leadtime meet to requirement	30 days	10	8
Delivery - Product Rescheduling	30 days	8	3
Cost - Price	10 ml. = 28.3 3 ml. = 11.8	10	10
Cost - Payment Terms	Net60	9	8
Cost - Cost Reduction Program	Participates in cost reduction efforts	8	10
EHS (EICC) - By EICC compliance, Signed doc (2), Trained (6), Completed Self audit (10)	Signed/Trained/Completed Self assessment	10	5
Responsiveness - 24 hr onsite support	24 hrs for Korat & China	10	3
Quality (QA) - System review by ST1127	82.5% (ST1127 self audit)	8.25	3
Total weighted score			724.75

MUST Objectives	Alternative 3 New Supplier#2		
	Must Information	Go	No Go
Product meets requirement	Yes	Go	
Supplier Financial Analysis (Z-Score Private>1.1, Public> 1.8)	2013 Z=0.78 2014 Z=1.65	Go	
Responsiveness - Availability of Field Service Support in China and Thailand	Thailand-Sub and China-Sub	Go	
EICC Compliance	Compliance (signed)	Go	
Com Cap - MESA - Standard Terms and Condition	Signed	Go	
Com Cap - IP Protection (sign NDA)	Signed Master NDA# 63823	Go	
Quality - ISO Certification	9001	Go	
WANT Objectives	Want Information	Score	Wt. Score
Technology - Experience in Business field	5Y	6	8
Technology - Similar product provided at all company sites are constructed, supported, and perform in congruent manner or as specified company	N/A	0	3
Technology - Technical Personnel Team support	1Pax (Eng) / 2Pax (Technician)	10	3
Supplier Risk - Electronics Business Ratio	30%	10	5
Responsiveness - Procurement Team	Buyer 1 oversea, Buyer 1 local, Eng Mgr 1	5	2
Delivery - Supplier Capacity Flexibility	per Requirement	10	8
Delivery - Leadtime meet to requirement	45 days	8	8
Delivery - Product Rescheduling	25 days	10	3
Cost - Price	10 ml. = 45 3 ml. = 16.8	3	10
Cost - Payment Terms	Net75	10	8
Cost - Cost Reduction Program	Participates in cost reduction efforts	8	10
EHS (EICC) - By EICC compliance, Signed doc (2), Trained (6), Completed Self audit (10)	Signed only	4	5
Responsiveness - 24 hr onsite support	24 hrs for Korat/China (conactant in July-2015)	8	3
Quality (QA) - System review by ST1127	87.5% (ST1127 Self audit)	8.75	3
Total weighted score			572.25

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพริมพีรธา พิมพานนท์ เกิดวันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2527 จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2556 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งวิศวกรอุตสาหกรรมอาวุโสภาคพื้นเอเชีย โดยมีประสบการณ์การทำงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มากกว่า 7 ปี

