บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและความสำคัญฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ในช่วงที่ผ่านมากล่าวได้ว่าคอมพิวเตอร์ได้มีบทบาทสำคัญเพิ่มขึ้นจนสามารถสร้างดุลยภาพใหม่ของวิถีแห่งการดำรงชีวิตของมนุษยชาติบนโลกใบนี้ คอมพิวเตอร์ทำให้สังคมโลกที่เรียบง่ายกลายเป็นสังคมที่การดำรงชีวิตมีความสลับซับซ้อนมากขึ้น คอมพิวเตอร์นำมาซึ่งความท้าทายต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง สิ่งแวดล้อม และวัฒนธรรมของแต่ละประเทศ คอมพิวเตอร์ก่อให้เกิดกระแสแห่งความไร้พรมแดนของข้อมูลข่าวสาร และประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์กำลังทำให้โลกใบนี้เล็กลงทุกขณะ

ส่วนสำคัญในคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลต่าง ๆ ก็คือ ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ซึ่งมีหน้าที่บันทึกและเก็บข้อมูลต่าง ๆ ข้อมูลเหล่านี้เมื่อได้ถูกบันทึกลงในหน่วยความจำแล้วจะสามารถเรียกกลับมาได้ตลอดเวลาถึงแม้ว่าไฟจะดับข้อมูลเหล่านี้ก็ไม่สูญหายไป

ระบบโครงสร้างของคอมพิวเตอร์และความสำคัญฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีต่อระบบคอมพิวเตอร์มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 โครงสร้างของคอมพิวเตอร์

โดยทั่วๆ ไปประกอบด้วยส่วนสำคัญๆ อยู่ 4 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

Input Unit เป็นส่วนที่ใช้ป้อนข้อมูล คำสั่ง หรือโปรแกรมเข้าเครื่อง อุปกรณ์ที่นิยมใช้ทั่วไปประกอบไปด้วย แป้นคีย์บอร์ด ดิสเกตต์ เทป คาสเซท เทปแม่เหล็ก เป็นต้น

Memory Unit เป็นส่วนที่ใช้เก็บโปรแกรมหรือข้อมูลที่เราป้อนเข้าทางส่วนป้อนข้อมูล หรืออาจจะเป็นที่เก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการปฏิบัติข้อมูลก็ได้ ส่วนความจำที่ใช้ในคอมพิวเตอร์มีอยู่ 2 ชนิด คือ magnetic core และพวกสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) พวก magnetic core เป็นหน่วยความจำประเภทที่ใช้มาตั้งแต่สมัยคอมพิวเตอร์ถูกสร้างขึ้นใหม่ ๆ และในปัจจุบันไม่มีใช้แล้ว แต่อย่างไรก็ตาม magnetic core เป็นพื้นฐานความคิดของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ข้อดีของหน่วยความจำประเภทนี้ก็คือ ข้อมูลที่เก็บไว้จะไม่หายไปเมื่อเวลาไฟดับ ส่วนความจำชนิดเซมิคอนดัคเตอร์ปัจจุบันได้รับความนิยมมาก ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัยจึงทำให้ได้ราคาต่ำ มีขนาดเล็กกว่า และใช้พลังงานน้อย

กว่า แต่อย่างไรก็ตามความจุในการบันทึกข้อมูลยังน้อยมากเมื่อเทียบกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ดังนั้นความจำประเภทเซมิคอนดัคเตอร์จึงใช้สำหรับเก็บข้อมูลเพื่อเป็นการจัดการทางด้านฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์เมื่อผู้ใช้เริ่มเปิดเครื่องก่อนที่จะใช้งาน

CPU (Central Processing Units) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมและประมวลผลที่ในปัจจุบันเราเรียกกันว่า ไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor) ไมโครโพรเซสเซอร์ตัวแรกที่ผลิตขึ้นมาคือ Intel 4004 โดยบริษัท Intel Corporation ในปี 1971 เป็น ไมโครโพรเซสเซอร์ขนาด 4 บิท จุดประสงค์เพื่อใช้งานในเครื่องคิดเลขหลังจากนั้นไม่นานบริษัทผลิตไอซีในสหรัฐอเมริการวมทั้งในประเทศญี่ปุ่นต่างก็ตื่นตัวผลิตไมโครโพรเซสเซอร์ขนาดต่างกันมีคุณสมบัติเฉพาะตัวแตกต่างกันขึ้นมากมาย จำนวนบิทของไมโครโพรเซสเซอร์ ก็ได้พัฒนามาตลอดจาก 4 บิท เพิ่มขึ้นเป็น 8 บิท ,16 บิท และ 32 บิท ในปัจจุบัน การที่ไมโครโพรเซสเซอร์มีจำนวนบิทมากขึ้นนั่นก็หมายความว่าไมโครโพรเซสเซอร์สามารถที่จะทำ าการประมวลผลได้ครั้งละจำนวนมาก ๆ ก็จะส่งผลให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้รวดเร็วขึ้น

Output เป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ส่งผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลของไมโครโพรเซสเซอร์ เช่นอาจจะส่งออกไปแสดงบนจอภาพ (CRT), Printer หรือ ในส่วนเก็บสำรองอื่นๆ เช่น Diskett เป็นต้น

2.1.2 เทคโนโลยีพื้นฐานของการบันทึกข้อมูล

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในโครงสร้างของคอมพิวเตอร์ การส่งข้อมูลและการคำนวณจะใช้เป็นระบบตัวเลขฐาน 2 (Binary system) ที่อยู่ในรูป "0" และ "1" เท่านั้น การบันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟก็ใช้ระบบตัวเลขฐาน 2 เหมือนกัน โดยที่ bit จะเป็น "0" หรือ "1" และ byte จะเป็นการเอา bit หลาย ๆ ตัวเข้ามาเรียงกัน โดยทั่วไปในระบบคอมพิวเตอร์ 1 byte จะมี 4 บิท 8 บิท หรือ 16บิทตัวอย่างเช่น

byte (4 bits)	0000	0001	0010	0100
byte (8 bits)	00000001	00000010	00000100	00001000

byte ที่มี 4 bit จะมีจำนวนรูปแบบที่เป็นไปได้อยู่ 16 patterns
byte ที่มี 8 bit จะมีจำนวนรูปแบบที่เป็นไปได้อยู่ 256 patterns
byte ที่มี 16 bit จะมีจำนวนรูปแบบที่เป็นไปได้อยู่ 65,536 patterns

ในระบบการบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ถ้าเราใช้ byte ระบบ 4 bit แทนตัวอักษรที่จะบันทึกลงไปในแผ่นบันทึกข้อมูล เราจะได้ตัวอักษรทั้งหมด 16 ตัวดังนี้

A=0000	B=0001	C=0010	D=0100
E=1000	F=0011	G=0110	H=1100
I = 0101	J =1010	K=1001	L=0111
M=1011	N=1101	O=1110	P=1111

จากตัวอย่างจะเห็นว่าระบบ byte 4 bit จะสามารถเขียนแทนตัวอักษรได้จาก A ถึง P เท่านั้น อย่างไรก็ตามเราก็สามารถนำเอาตัวเลข byte 2 byte (4bit +4bit) มารวมกันได้และสามารถแทนตัวอักษรตัวถัดไปได้เช่น

Q=00000001	R=00000010	S=00000100
T=00001000	U=00000011	V=00000110

ตัวอย่าง

- หนังสือ 1 เล่มซึ่งมี 100 หน้าจะมีจำนวน bit ที่บันทึกลงบนแผ่นบันทึกข้อมูลประมาณ 300 Megabits
- ภาพยนตร์ที่เราใช้เวลาฉายประมาณ 2 ชั่วโมงจะมีความจุที่อยู่บนแผ่นบันทึกข้อมูลประมาณ 4,000 Megabits
- Software (Window 95) จะมีความจุอยู่ประมาณ 100 Megabits

2.1.3 เทคโนโลยีของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ในยุคต้น ๆ ของการใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นอุปกรณ์ที่หรูหราเกินความจำเป็น แต่ปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นอย่างมากสำหรับระบบคอมพิวเตอร์เพราะว่าซอฟท์แวร์สมัยใหม่มีขนาดใหญ่ขึ้นและต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมาก ในการเก็บโปรแกรมและข้อมูลต่าง ๆ ลงบนแผ่น Floppy Disk อาจทำไม่ได้อย่างสมบูรณ์ถึงแม้ว่าจะถ่ายลงแผ่น Floppy Disk ได้ก็ตาม การประมวลผลนั้นก็จะยุ่งยากไม่สะดวก เพราะต้องมีการสลับแผ่น Floppy Disk เข้าออกช่องกลับไปกลับมาซึ่งทำให้ต้องหันมาใช้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเพราะจะทำให้ทำงานได้ง่ายและสะดวก

กว่าการใช้ Floppy Disk แต่ที่สำคัญก็คือความได้เปรียบทางด้านขนาดความจุ ประสิทธิภาพ ความเร็วในการทำงานทำให้เทคโนโลยีทางด้าน ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟก้าวต่อไปอีกไกล

ความสามารถของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้ถูกพัฒนาตามความต้องการของตลาดตลอดมา ตั้งแต่ยุคต้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 8 " ความจุเพียง 10 MB จนถึงปัจจุบันนี้ ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีขนาดเล็กลงมากเหลือเพียง 5.5 " , 3.5 " , 2.5", 1.8 "และ 1.3 " ตามลำดับ ในขณะเดียวกันความสามารถในการเก็บข้อมูลกลับมากขึ้นหลายสิบเท่า รวมทั้งความเร็วในการเก็บและการค้นหาข้อมูลได้เร็วขึ้น

2.1.4. โครงสร้างของ Hard Disc Drive

โครงสร้างและการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะมีความแตกต่างกันที่ขนาดและความจุ โดยที่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรุ่นใหม่ที่ออกมาในท้องตลาดจะเพิ่มประสิทธิภาพความจุความไวในด้านของการค้นหาข้อมูลและพยายามลดขนาดแผ่นมีเดียและหัวอ่านและบันทึก ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการเช่น 1.8"/2.5" เป็นฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่เหมาะสมสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบประเภทกระเป๋าหิ้ว หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า Notebook ขนาด 3.5 และ 5.5 นิ้วจะเหมาะกับ คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะที่ใช้กันโดยทั่วไปในสำนักงาน ส่วนขนาดที่ใหญ่ขึ้นไปคือ 8 นิ้วจะใช้สำหรับระบบที่ต้องใช้การหน่วยความจำมากๆ เช่น Work Station

โครงสร้างภายในของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะประกอบไปด้วยส่วนต่างดังนี้

- Disc ทำมาจากโลหะที่เป็นอะลูมิเนียม ที่มีการขัดผิวและแม่เหล็ก (Magnetic Material) ซึ่งประกอบไปด้วย Co-C2, Co-Ni ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำที่เก็บบันทึกข้อมูลไว้ในลักษณะของสนามแม่เหล็ก เทคโนโลยีของ Media จะเป็นปัจจัยสำคัญอย่างมากสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

- Spindle Motor เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำหน้าที่ในการขับแผ่นจานแม่เหล็กของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยควบคุมความเร็วรอบให้หมุนได้ตามกำหนดทั้งนี้เพื่อให้การเขียนและการอ่านข้อมูลเป็นไปอย่างแม่นยำและได้ความจุข้อมูลที่มากเนื่องจากฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทำงานด้วยสัญญาณไฟฟ้าอิเลคโทนิคส์ซึ่งมีความไวมากอยู่แล้ว

- Read and Write Heads เป็นตัวเขียน-อ่าน ข้อมูล ที่ติดอยู่กับก้านยึดหัวอ่าน-เขียน ที่เรียกว่า Flexure หัวอ่านจะทำมาจากวัสดุที่สามารถกำหนดสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าได้ มีขนาดเล็กและมีคอยล์ (Coil) เพื่อเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กตรงปลายหัว เมื่อทำงานจะแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นสนามแม่เหล็กเพื่อที่จะเขียนลงไปบนจานแม่เหล็ก และในขณะอ่านสัญญาณกลับ หัวอ่านจะวิ่งผ่านตำแหน่งที่บันทึกข้อมูลบนแผ่นจานแม่เหล็กเพื่ออ่านสัญญาณแม่เหล็กบนแผ่น Disc กลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง

- Head Positioning หรือที่เรียกในวงการอุตสาหกรรมว่า HGSA (Head Gimbal Stack Assembly) เป็นขั้นตอนที่นำ HGA มาประกอบบนตัว ARM เพื่อให้มี HGA หลาย ๆ ตัวทำหน้าที่เคลื่อนที่เพื่ออ่านและเขียนข้อมูลได้พร้อม ๆ กัน เนื่องจากในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะประกอบด้วยดิสก์หลายแผ่น โดยมีคอยล์และขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ช่วยในการควบคุมการเคลื่อนที่และมี PCC เป็นตัวเชื่อมสัญญาน จากหัวอ่าน เขียนที่ทำหน้าที่เป็น TRANSDUCER ไปยัง Print Circuit Board (PCB)

- Disc Drive Controller การทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะถูกส่งงานโดยส่วนควบคุม CPU จาก Computer โดยผ่านทางอุปกรณ์อิเลคโทรนิคส์ที่เรียกว่า Interface เพื่อจะติดต่อกับระบบควบคุม (Drive Controller) ซึ่งมีหน้าที่ทำการควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและเป็นตัวติดต่อกับ CPU เพื่อส่งข้อมูลเขียนหรืออ่านตามตำแหน่งที่ต้องการ (Track/Sector) บนแผ่นดิสก์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

- Disc Drive Interface เนื่องจากการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะอยู่ภายใต้การควบคุมของ Controller ฉะนั้นคำสั่งต่าง ๆ จาก CPU จะถูกส่งผ่าน Interface Card เพื่อเป็นตัวกลางในการติดต่อกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ระบบการติดต่อที่ใช้อยู่ในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรุ่นใหม่ๆ ได้แก่ AT, IDE, ESDI, SCEI, PCMCIA/ATA

จากส่วนประกอบที่กล่าวมาข้างต้นเทคโนโลยีที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟก็คือหัวอ่านและบันทึกข้อมูล และแผ่นมีเดีย

2.1.5 การนำเอาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟไปใช้งาน

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จำเป็นจะต้องมีข้อมูลการนำไปใช้งานของผลิตภัณฑ์ว่าประเภทใดเป็นที่นิยมมากที่สุด เพื่อทำการพัฒนาและปรับปรุงเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดให้ได้มากที่สุด ในปัจจุบัน ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้มีการพัฒนาด้วยเทคโนโลยีขั้นสูงให้มีขนาดเล็กลงแต่ในขณะเดียวกันก็มีความสามารถมากขึ้น มีหน่วยความจำมากขึ้นและถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆหลายอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมเหล่านั้นได้แก่

1. โทรคมนาคม

ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟถูกใช้เพื่อเป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์สื่อสารประเภทโทรคมนาคมประมาณ 3% ของปริมาณฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ผลิตออกสู่ตลาด ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟถูกนำไปใช้ในเครื่องอุปกรณ์สื่อสารต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ Fax Servers, Wireless LANs, Text Messaging, Computer-Aided Dispatch, Frame Relay, Network Monitoring, Management Systems, Video Servers, Telecomputing, Cooperative Work Groupware และ Cellular CDPD

2. ผู้ประกอบการทางด้านอิเลคโทรนิคส์

ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟถูกใช้เพื่อเป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์อิเลคโทรนิคส์ประมาณ 7% ของปริมาณฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ผลิตออกสู่ตลาด อุปกรณ์อิเลคโทรนิคส์ที่ใช้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นชิ้นส่วนสำคัญได้แก่

- Wireless PCS and Home Fax
- Broadband Applications (Fiber-in-the-loop)
- Non-Video Cable TV Services
- Subscanber Alert Paging
- Videophones
- Wireless Vehicle Location and Monitoring

3. คอมพิวเตอร์

ส่วนใหญ่ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ผลิตได้ประมาณ 90% ถูกใช้เพื่อเป็นส่วนประกอบในคอมพิวเตอร์ ในปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์จะมีราคาอยู่ประมาณ 40,000 บาท โดยเครื่องคอมพิวเตอร์นี้จะมีส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟซึ่งมีราคาประมาณ 6,000 ถึง 10,000 บาท ประกอบอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง สามารถกล่าวได้ว่าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟดังกล่าวมีมูลค่าคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 15-20% ของราคาเครื่องคอมพิวเตอร์

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟนับเป็นอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะในตลาดล่างประเภทที่เป็นฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีความจุของข้อมูลน้อยกว่า 1 กิกะไบท์

2.1.6 คุณสมบัติของแม่เหล็ก

คุณสมบัติของแม่เหล็กได้ถูกค้นพบในครั้งแรกเป็นคุณสมบัติของแม่เหล็กธรรมชาติ ซึ่งถูกค้นพบใน

แร่ชนิดหนึ่งเรียกว่า "แมกนีเซีย" (Magnesia) ซึ่งในแมกนีเซียจะมีแร่เหล็กออกไซด์สีดำที่เป็นแร่เหล็กที่สำคัญซึ่งเรียกว่า "แมกนิไทซ์" (Magnetite) โดยมีสูตรในทางธาตุ เรียกว่า Fe304 โดยทั่วไปแร่แมกนีเซียจะถูกเรียกว่า Loadstone หรือ Waystone

แร่แมกนีเซียจะมีคุณสมบัติของแม่เหล็กธรรมชาติคือ มีแรงดึงดูดที่มีทิศทางโดยทิศทางแรงดึงดูดนี้จะมีอยู่สองทิศทางคือจากขั้วเหนือไปขั้วใต้และจากขั้วใต้ไปขั้วเหนือซึ่งในความเป็นจริงแรงดึงดูดเช่นนี้ก็มีในโลกของเราด้วยซึ่งเรียกว่าสนามแม่เหล็กโลก อนุภาคเล็ก ๆ เช่น อะตอม ก็จะมีการเคลื่อนไหวของแม่เหล็ก ซึ่งมนุษย์ได้พัฒนาจากแม่เหล็กธรรมชาติมาเป็นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นทฤษฎีและที่มาของการผลิตหัวอ่านและบันทึกของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

2.1.7 สนามแม่เหล็กและความเข้มของสนามแม่เหล็ก

การค้นพบความสัมพันธ์ของผลกระทบของแม่เหล็กกับกระแสไฟฟ้า โดย D. Oersted เมื่อ ปี ค.ศ. 1775-1851 และเป็นที่รู้จักกันในนามของกฎมือขวา

ในปี ค.ศ. 1791-1867 M. Faraday ได้อธิบายสนามแม่เหล็กด้วยเส้นของแรง (Line of force) และได้พบว่าการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าในเส้นลวดจะมีผลกระทบทำให้ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเรียกว่า Oersted และความเข้มของสนามแม่เหล็กจะเรียกว่า Gauss โดยความสัมพันธ์ของสนามแม่เหล็กกับความเข้มข้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

1 Oersted = 1 line of force /cm

= 1 Mzxwell / cm

= 1 Gauss (Gs)

2.1.8 การเกิดของสนามแม่เหล็ก

สนามแม่เหล็กโดยทั่วไปจะเกิดได้โดยแท่งโซลีนอย (Solenoid) ที่สม่ำเสมอมีเส้นลวด N รอบพันอยู่ โดยมีความยาวแท่ง L เมตรแบะเส้นผ่าศูนย์กลาง D เมตร เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้า I แอมแปร์ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กตรงกลางแท่ง ซึ่งทำให้สนามแม่เหล็กดังสมการต่อไปนี้

$$H = \frac{0.4\ Ni}{(D + L)} \qquad \text{เมื่อ } L > D$$

$$H = \frac{0.4\ Ni}{L}$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หรือสามารถอธิบายการเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้อีกรูปแบบหนึ่งคือการพันเส้นลวดรอบวงแหวนเหล็กและปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไป I แอมแปร์เข้าไปในเส้นลวดซึ่งพันวงแหวนเหล็กอยู่จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กดังสมการข้างล่างนี้ คือ

$$H = \frac{0.4\,Ni}{l}$$

เมื่อ l คือ ความยาวของแม่เหล็กตรงศูนย์กลางของวงแหวน

2.1.9 พื้นฐานกระบวนการอ่านและเขียนข้อมูลของหัวอ่านและบันทึก

ในกระบวนการบันทึกข้อมูลของหัวอ่านและบันทึกลงบนแผ่นบันทึกข้อมูลหรือที่เรียกว่า Media นั้น มีอยู่สองกระบวนการ คือกระบวนการเขียนซึ่งเรียกว่า Write และกระบวนการอ่านซึ่งเรียกว่า Reading หรือ Reproducing โดยทั้งสองกระบวนการนั้นได้อาศัยทฤษฎีของการกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

กระบวนการเขียนนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ ในขั้นตอนการเขียนข้อมูลนั้นจะทำการป้อนกระแสไฟฟ้าชนิดสลับเข้าไปยังตัวหัวอ่านและบันทึก ซึ่งมีส่วนของเส้นลวดที่พันอยู่รอบแกนโลหะอยู่จะสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น และสนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะสร้างเส้นแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตรงช่องว่างเล็ก ๆ ระหว่างแกนของขดลวดซึ่งในทางทฤษฎีนั้น สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อสนามแม่เหล็กเกิดรอยรั่วขึ้นหรือวงจรสนามแม่เหล็กเปิดเส้นแรงของแม่เหล็กจะพยายามที่จะผ่านช่องว่างของรอยรั่วนั้นไปเพื่อพยายามให้เกิดวงจรปิดซึ่งจะทำให้เกิดสนามเหล็กรอบ ๆ ช่องว่างนั้นขึ้นและส่งผลให้เกิดมีเส้นแรงของแม่เหล็กขึ้นในบริเวณช่องว่างนั้น หรือที่เรียกว่า Line of force โดยที่หลักการเขียนของหัวอ่านและบันทึกก็ได้อาศัยการเกิดสนามแม่เหล็กและเส้นแรงแม่เหล็กในบริเวณรอยรั่วนี้มาบันทึกข้อมูลเป็นสนามแม่เหล็กลงบนแผ่นข้อมูลซึ่งเคลือบสารแม่เหล็กไว้โดยที่แผ่นข้อมูลหรือแผ่นดิสก์จะหมุนด้วยความเร็วรอบประมาณ 7500-10000 รอบต่อนาที และการบันทึกข้อมูลของตัวหัวอ่านและบันทึกจะบันทึกข้อมูลเป็นระบบตัวเลขฐานสองดังได้แสดงในรายละเอียดไว้ข้างต้น โดยการเกิดเลขฐานสองขึ้นในการบันทึกข้อมูลนั้นได้เกิดจากการป้อนกระแสไฟฟ้าสลับนั่นเอง โดยเมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าบวกตัวหัวอ่านและบันทึกจะทำการบันทึกเป็น " 1 " หรือเรียกว่า Data bit "1" และเมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าเป็นลบ HGA ก็จะบันทึกข้อมูลเป็น " 0 " หรือเรียกว่า Data bit "0"

การอ่านข้อมูล (Reading and Reproducing) จะใช้หลักการเดียวกันกับการเขียนข้อมูลแต่ต่างกันตรงที่การอ่านข้อมูลนั้นจะไม่มีการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ตัวหัวอ่านและบันทึกเหมือนกับการเขียนข้อมูล การอ่านข้อมูลจะทำโดยใช้แผ่นข้อมูลหรือแผ่นดิสก์หมุนด้วยความเร็วสูงโดยหมุนผ่านตัวหัวอ่านและบันทึกที่อยู่กับที่โดยไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวหัวอ่านและบันทึก ซึ่งมีระยะห่างระหว่างตัวหัวอ่านและ

บันทึกและแผ่นดิสก์ที่เล็กมาก ๆ ประมาณ 0.001-0.002 นิ้ว จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กขึ้น การอ่านข้อมูลจะใช้สนามแม่เหล็กที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นนี้ทำการอ่านข้อมูลบนแผ่นดิสก์ซึ่งข้อมูลจะถูกบันทึกไว้ในรูปของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าและแปลงสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ามาเป็นค่าความต่างศักย์ซึ่งวัดออกมาเป็นหน่วยของโวล์ตเทจ (Voltage) ค่าความต่างศักย์ที่วัดออกมาได้เป็นบวกจะหมายถึงข้อมูลที่เห็นเลขฐานสอง คือ "1 " หรือเรียกว่า bit "1" และค่าความต่างศักย์ที่วัดออกมาได้เป็นลบจะหมายถึงข้อมูลที่เห็นเลขฐานสอง คือ "0 " หรือเรียกว่า bit "0"

2.1.10 ความจุของการบันทึกข้อมูล

ความจุของการบันทึกข้อมูลหรือสามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่าความสามารถในการบันทึกข้อมูลของหัวอ่านและบันทึก ซึ่งจะวัดความจะออกมาเป็นความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูล (Areal Density) โดยมีหน่วยวัดเป็นบิทต่อนิ้ว (Bit /inch : BPI) และแทคต่อนิ้ว (Track / inch :TPI) โดย BPI คือการนับจำนวนของบิทที่มีอยู่ในระยะความยาวหนึ่งนิ้วว่ามีจำนวนกี่บิท และ TPI คือการนับจำนวยแทค (Track) ที่มีอยู่ในระยะความยาวหนึ่งนิ้วว่ามีจำนวนเท่าไหร่ ถ้ามีจำนวนของ BPI และ TPI สูงก็จะหมายถึงมีความหนาแน่นหรือความจุของการบันทึกข้อมูลสูง ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความจุหรือความหนาแน่นในการบันทึกข้อมูลก็คือ ความกว้างของช่องว่างระหว่างแกนของขดลวดซึ่งเรียกว่า Gap หรือขนาดของ Pole Tip ซึ่งเป็นภาษาในวงการอุตสาหกรรมการผลิตหัวอ่านและบันทึก และความยาวของ Gap ซึ่งในวงการของอุตสาหกรรมผลิตหัวอ่านและบันทึกเรียกว่า Top Pole Width (TPW)

2.1.11 ตลาดของหัวอ่านและบันทึก

การวิเคราะห์แนวโน้มของตลาดมีความสำคัญอย่างมากในการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์ เพื่อตอบสนองความสามารถในการครอบครองตลาด และสามารถแข่งขันกับคู่ต่อสู้ได้ เทคโนโลยีของฮาร์ดดิสก์พยายามคิดค้นและออกแบบเพื่อที่จะสร้างฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีความจุที่เพิ่มขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานที่รวดเร็ว ทำให้บริษัทผู้ผลิตต้องประสบปัญหาอื่น ๆ ตามมา กล่าว คือ เทคโนโลยีของ MR และ GMR ประสบความสำเร็จอย่างสูงในการเพิ่มความจุ แต่ในขณะเดียวกันก็มีความไวต่อไฟฟ้ากระแสสถิตย์อย่างยิ่ง

เราสามารถแบ่งตลาดของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟตามขนาดความจุของหน่วยความจำได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. High End Market

เป็นตลาดของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีความจุของข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีความเชื่อถือสูง นำไปใช้ในเครื่อง Mini Computer และ Sever ทั่วไปในปัจจุบัน เนื่องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการใช้งานปัจจุบันเป็นโปรแกรมที่สร้างให้คนสามารถใช้งานได้ง่าย นอกจากนั้นยังต้องต่อเชื่อมเข้ากับระบบการติดต่อสื่อสาร ดังนั้นตัวโปรแกรมจึงมีความสลับซับซ้อนสูงมากและต้องการหน่วยความจำ มากเพื่อรองรับการทำงานกับโปรแกรมนั้น ๆ และเนื่องจากในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลแทบทุกเครื่องทั้งที่ใช้ในบ้านและที่ทำงานจะเป็นแบบสารพัดประโยชน์ ซึ่งจะสามารถใช้ให้เป็นประโยชน์ได้หลายอย่างจากคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียว เช่น ใช้ดูหนัง ฟังเพลง ใช้เป็นเครื่องโทรศัพท์ ,โทรสาร ใช้เป็นเครื่องถ่ายเอกสาร หรือแม้กระทั่งใช้ต่อกับกล้องถ่ายภาพและพิมพ์ภาพถ่ายที่ถ่ายเก็บไว้ในหน่วยความจำออกมา ซึ่งจากการที่เราใช้คอมพิวเตอร์ให้เป็นอุปกรณ์สารพัดประโยชน์ดังกล่าวทำให้หน่วยความจำที่จำเป็นต้องใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์จำเป็นต้องมีความจุสูงขึ้นเป็นเงาตามตัว ดังนั้นตลาดของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟตลาดบนจึงมีการขยายตัวเป็นอย่างมากและมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงมาก

2. Desktop Market

เป็นตลาดของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีความจุขนาดปานกลาง และมีขนาดของแผ่น Media ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ ประมาณ 3.25 นิ้ว ส่วนใหญ่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟพวกนี้จะใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ใช้กับโปรแกรมง่าย ๆ ที่ไม่มีความสลับซับซ้อนมาก ไม่ต้องต่อเข้ากับระบบการติดต่อสื่อสารจึงไม่ต้องการหน่วยความจำมากหรือใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต่อเป็นระบบ LAN ซึ่งเมื่ออยู่ในระบบ LAN แล้ว เครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะใช้หน่วยความจำของเครื่องแม่ข่ายหรือที่เราเรียกว่า SERVER ดังนั้นเครื่องลูกข่าย จึงไม่จำเป็นต้องมีหน่วยความจำมาก ๆ ก็สามารถทำงานได้

แนวโน้มทางการตลาดสามารถวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

- Desktop ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมีอัตราการเติบโตลดต่ำลงทุกปี
- ราคาของ Desktop ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจะลดต่ำลงทุกปี
- เพิ่มกลยุทธ์การตลาดของ Desktop ที่ใช้ใน Personal Computer มีมากขึ้น
- Desktop มีการนำไปใช้งานประเภทอื่นอีกหลายประเภทไม่หมดไปจากตลาด
- การตอบสนองต่อการแข่งขัน
- เน้นการลดต้นทุนเพื่อให้มีกำไร
- ผู้ผลิตบางรายมีเป้าหมายที่จะเลือกหลายตลาดไม่เฉพาะเจาะตรงตลาดใดตลาดหนึ่ง
- ผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีการเพิ่มทางเลือกสำหรับลูกค้าเพิ่มขึ้น

- ผู้ผลิตจะพยายามรักษาความเป็นผู้นำทางเทคโนโลยี

อัตราการขยายการเติบโตของ Desktop แต่ละปีที่ผ่านมาและในอนาคต

- 1991 อัตราการเติบโตเป็น 5 %
- 1992 อัตราการเติบโตเป็น 17 %
- 1993 อัตราการเติบโตเป็น 25 %
- 1994 อัตราการเติบโตเป็น 20 %
- 1995 อัตราการเติบโตเป็น 26 %
- 1996 อัตราการเติบโตเป็น 16 %
- 1997 อัตราการเติบโตเป็น 13.5 %
- 1998 อัตราการเติบโตเป็น 13 %
- 1999 อัตราการเติบโตเป็น 12.5 %
- 2000 อัตราการเติบโตเป็น 11 %
- 2001 อัตราการเติบโตเป็น 10 %

3. Mobile Market

เป็นตลาดของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีความจุของหน่วยความจำใกล้เคียงกับประเภทของ Desktop แต่ว่ามีขนาดของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเล็กกว่า โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่น Media อยู่ที่ประมาณ 2 นิ้วครึ่ง ซึ่งฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟพวกนี้จะใช้ในคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็กและใช้พกพา มีน้ำหนักเบา ซึ่งจะทำให้ขนย้ายได้ง่าย แต่ในขณะเดียวกันก็จะมีราคาแพงเนื่องจากการผลิตซับซ้อนและยุ่งยากกว่า

จากการคาดการณ์ในอนาคตถึงอัตราการเจริญเติบโตของอุปกรณ์ Mobile ตั้งแต่ปี 1994-2000 (Mobile Hard Dive Forecast) จะเห็นว่าปริมาณความต้องการของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในอนาคตจะเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับความต้องการใช้คอมพิวเตอร์ในอนาคตจะมีมากขึ้นตามสภาวะการณ์การเจริญเติบโตของโลกและการพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์มีแนวโน้มไปในทางที่จะมีประสิทธิภาพและศักยภาพการใช้งานสูงขึ้น ความต้องการอุปกรณ์ในส่วนนี้คาดว่าจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่มีขนาดบางเหมาะกับการเคลื่อนย้าย มีแนวโน้มในลักษณะที่มีความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น เพราะระบบของ Notebook ในอนาคตจะมีราคาที่ถูกลง ขนาดของอุปกรณ์จะสะดวกในการนำติดตัวหรือเคลื่อนย้ายได้ง่าย อุปกรณ์ที่มีขนาดความหนา 3.0 นิ้ว จะมีความต้องการใช้น้อยลง สำหรับความต้องการอุปกรณ์ที่มีความจุมากขึ้นหรือประสิทธิภาพสูงขึ้น ในอนาคตจะยังคงเป็นที่ต้องการของตลาด

ตลอดไป สภาพการแข่งขันในอนาคตคาดว่าราคาของอุปกรณ์ Mobile นี้จะเป็นปัจจัยสำคัญในการแข่งขันทางการตลาดที่รุนแรง จะมีการนำอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาดความหนา 10 mm. เข้าสู่การแนะนำตลาดมากขึ้น นอกจากนี้อุปกรณ์ที่มีความจุมาก ๆ จะได้รับการนิยมและเร่งให้มีการเติบโตทางตลาดมากขึ้น

ตลาดส่วนใหญ่ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะอยู่ในเขตประเทศที่พัฒนาแล้วมากกว่า 84% โดยจะอยู่ในสหรัฐอเมริกา 57%, ยุโรป 27% และอยู่ในเอเชียเพียง 16% ถ้าประเทศที่กำลังพัฒนาได้รับความรู้และรับเทคโนโลยีมากขึ้น ตลาดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟก็จะเพิ่มมากขึ้น ทำให้แนวโน้มการขยายตัวของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟก็จะมากขึ้นด้วย ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีขนาดความจุของหน่วยความจำมากกว่า 2 กิกะไบท์เป็นสัดส่วนมากถึง 56% โดยเน้นหนักตลาดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ประเภท Graphic Workstation ซึ่งในขณะเดียวกันฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ประเภทนี้ก็สามารถนำมาใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ด้วย แต่อย่างไรก็ตามวงจรผลิตภัณฑ์ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีอายุค่อนข้างสั้นเพียงประมาณ 12-15 เดือนเท่านั้น นั่นก็คือหลังจากที่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในแต่ละรุ่นเริ่มวางตลาดได้ประมาณ 12-15 เดือน ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรุ่นดังกล่าวก็จะล้าสมัยและจะมีการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรุ่นใหม่ขึ้นมาทดแทน ความแตกต่างระหว่างฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรุ่นเก่าและรุ่นใหม่จะอยู่ที่ความจุของหน่วยความจำ โดยความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรุ่นใหม่จะมีความจุเพิ่มขึ้นประมาณ 60% ทุก ๆ ปี หรืออาจจะกล่าวได้ว่าปริมาณความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะถูกพัฒนาให้มีขนาดของหน่วยความจำเพิ่มขึ้นเป็น 10 เท่า ทุกๆ เวลา 5 ปี

2.2 เทคโนโลยีของหัวอ่านและบันทึก

เทคโนโลยีของหัวอ่านและบันทึกได้มีการพัฒนาปรับปรุงมาโดยตลอดจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงความเป็นมาของเทคโนโลยีของหัวอ่านและบันทึกในอดีตและปัจจุบันรวมทั้งในอนาคต

2.2.1 Magneto-Resistive (MR) Head เทคโนโลยี

Magneto-Resistive (MR) Head เทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนที่เทคโนโลยีแบบเก่าโดยการแก้ไขข้อจำกัดแบบเดิมและปรับปรุงเทคโนโลยีใหม่เข้าไปอีกเพื่อเพิ่มศักยภาพและประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูล โดยที่ MR Head เทคโนโลยีได้เริ่มเข้ามาใช้ในการผลิตหัวอ่านและบันทึกข้อมูลครั้งแรกในราวปี 1991 โดยฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟตัวแรกที่ผลิตด้วยหัวอ่านและบันทึกที่ใช้ MR เทคโนโลยีได้ถูกผลิตขึ้นที่บริษัท IBM แต่ในช่วงเวลานั้นยังคงเป็นเพียงแค่การผลิตกึ่งการทดลองซึ่งยังคงไม่ใช่ผลิตเพื่อการตลาด

MR เทคโนโลยีที่เริ่มเข้ามาใช้ผลิตในอุตสาหกรรมเพื่อการตลาดจะอยู่ในราวปี 1996 หลังจากที่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟตัวแรกที่ผลิตด้วยหัวอ่านและบันทึกแบบ MR ได้ถูกผลิตขึ้นโดย IBM แล้วนั้นทุกบริษัทได้ตื่นตัวและทำการพัฒนาเทคโนโลยีนี้อย่างจริงจังซึ่งจะเห็นได้ว่านับจากปี 1991 ความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูล (Areal Density) ของดิสก์ไดร์ฟที่ผลิตด้วยหัวอ่านและบันทึกประเภท MR จะมีความหนาแน่นของการบันทึกมากกว่าเทคโนโลยีแบบเดิม ๆ มาก

MR เทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในวงการอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์และทดแทนเทคโนโลยีเดิม ๆ ด้วยความสามารถของความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูลที่มากกว่าเทคโนโลยีเดิม ๆ หลายเท่าตัว เทคโนโลยีของ MR จะใช้ระบบการเขียนข้อมูลโดยอาศัยหัว Pole tip และใช้ทฤษฎีการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ระบบการเขียนข้อมูลได้ใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณสนามแม่เหล็กให้มาเป็นความต่างศักย์ โดยอาศัยหลักการของความต้านทานในการแปลงสัญญาณจากสนามแม่เหล็กมาเป็นค่าความต่างศักย์ ซึ่งจะใช้ MR Element ในการแปลงสัญญาณ โดยหลักการแล้ว MR Element จะประกอบไปด้วยชั้นของสารอยู่ 3 ชั้น ซึ่งมีความบางมากและทำหน้าที่แตกต่างกันไป ซึ่งชั้นสารเหล่านั้นประกอบไปด้วย Lead , MnFe และ NiFe ตามลำดับชั้น แต่สัดส่วนการผสมความหนาบางและการวางเรียงตัวจะเป็นความลับของแต่ละผู้ผลิต

ข้อดีของ MR Element คือการแยกระบบการอ่านของข้อมูลจากระบบการเขียนข้อมูลจะทำให้เพิ่มศักยภาพในระบบการเขียนข้อมูล และระบบการอ่านได้ทำการแปลงสัญญานแม่เหล็กเป็นสัญญาณความต่างศักย์โดยอาศัยความต้านทานช่วยนั้นจะสามารถทำ าให้การกำจัดปัญหาข้อจำกัดในเรื่องของความเร็วรอบของแผ่นข้อมูล ความสามารถในการเพิ่มความเร็วรอบของแผ่นข้อมูลจะมีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการเขียนและอ่านข้อมูลสามารถทำได้อย่างรวดเร็วขึ้น

2.2.2 Giant Magneto-Resistive Head or Spin Value head

Giant Magneto-Resistive Head หรือถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Spin Valve Head แต่ในที่นี้จะขอใช้ชื่อว่า GMR เทคโนโลยี ซึ่งเป็นชื่อเรียกและเป็นที่รู้จักกันในวงการอุตสาหกรรม GMR เป็นเทคโนโลยีที่เพิ่มขีดความสามารถในด้านการบันทึกโดยจะเพิ่มความจุของข้อมูลสูงถึง 20-70 กิกะบิทต่อตารางนิ้ว (Gbit/ in) ซึ่งนับว่าเป็นความจุที่สูงมากและสามารถที่จะตอบสนองความต้องการของตลาด

GMR เทคโนโลยี จะถูกพัฒนามาจาก MR เทคโนโลยีโดยที่ GMR นั้นจะทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องและขีดจำกัดของ MR เทคโนโลยี ดังนั้น GMR จะยังคงใช้ระบบการเขียนข้อมูลและระบบการอ่านข้อมูลเหมือนกับ MR เทคโนโลยีทุกประการโดยระบบการเขียนข้อมูลยังคงอาศัยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยอาศัยหัว Pole tip ในการเขียนข้อมูล ส่วนระบบการอ่านข้อมูลนี้ยังคงใช้ MR element ในการแปลงสัญญาณสนามแม่เหล็กมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยวัดหน่วยเป็นโวลต์ โดยแผ่น MR

Element ในการแปลงสัญญาณสนามแม่เหล็กมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าโดยวัดหน่วยเป็นโวลต์ โดยแผ่น MR Element จะเป็นเหมือนความต้านทานตัวหนึ่งที่มีความไวต่อสนามแม่เหล็กสูงมาก ๆ แต่ทว่า MR Element ยังมีข้อบกพร่องหรือขีดจำกัดก็คือ ประสิทธิภาพการแปลงสัญญาณจากสนามแม่เหล็กมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้านั้นยังมีประสิทธิภาพต่ำอยู่คือ ประมาณ 2-10% ดังนั้นสิ่งที่ GMR เทคโนโลยีได้ปรับปรุงแก้ไขคือ การเพิ่มประสิทธิภาพการแปลงสัญญาณของ MR Element นั่นเอง โดย GMR เทคโนโลยีสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแปลงสัญญาณของแผ่น MR Element ขึ้นมาเป็น 40-50% ซึ่งมากกว่า MR เทคโนโลยี 5-20 เท่าตัว ซึ่งการเพิ่มขึ้นของขีดความสามารถของแผ่น MR Element ในการแปลงสัญญาณจะส่งผลทำให้ระบบการเขียนข้อมูลสามารถที่จะเพิ่มขีดความสามารถในการบันทึกได้มากขึ้น โดยสามารถที่จะลดขนาดของบิท (Bit) ให้เล็กลงถึง 10-20% ซึ่งการที่ขนาดของบิทมีขนาดเล็กลงก็หมายความถึงความหนาแน่นของข้อมูล (Areal Density) ที่สูงขึ้น หรือบิทต่อนิ้ว จะมีจำนวนมากขึ้น และนั่นก็หมายถึงความจุของข้อมูลที่มากขึ้นนั่นเอง

สิ่งที่ MR Element เทคโนโลยีถูกพัฒนาขึ้นมาให้มีประสิทธิภาพและขีดความสามารถสูงขึ้นดังได้กล่าวมาแล้วนั่นคือ MR Element ของ GMR จะมีความสลับซับซ้อนมากกว่า MR Element ของ MR โดยที่จะมีจำนวนชั้น (Layer) ของ MR Element ของ GMR จะมีมากขึ้นถึง 5 ชั้น ในขณะที่ MR Element ของ MR จะมีจำนวนชั้น (Layer) อยู่เพียง 3 ชั้น โดยที่ MR Element ของ GMR ในแต่ละชั้นประกอบไปด้วย Lead, MnFe, NiFe, Cu และ NiFe ตามลำดับ

จำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่ใช่ปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ MR Element ของ GMR มีประสิทธิภาพสูงและขึ้นความสามารถสูงขึ้น แต่ว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้ MR Element ของ GMR มีประสิทธิภาพสูงขึ้นคือความสลับซับซ้อนในการวางเรียงชั้นของ MR Element และส่วนผสมของสารในแต่ละชั้นซึ่งเป็นความลับทางเทคโนโลยีของแต่ละบริษัท นอกจากนั้นความหนาของแผ่น MR Element ของ GMR จะมีความหนาเพียง 20 อังสตอม (1 อังสตอมมีค่าเท่ากับ 1 x 10 เมตร) ในขณะที่ความหนาของ MR Element ของ MR จะอยู่ที่ 200 อังสตอม ซึ่งไม่ว่าจะเป็นของ MR หรือ GMR ก็นับว่าความหนาของ MR Element มีความบางมาก ๆ ซึ่งต้องอาศัยเทคโนโลยีชั้นสูงในการผลิต และเชื่อว่าเทคโนโลยีของ Magneto-resistive Head คงจะไม่หยุดยั้งอยู่ที่ GMR เทคโนโลยีแต่เพียงเท่านี้เพราะว่าเทคโนโลยีนี้ยังมีโอกาสที่จะพัฒนาปรับปรุงเพิ่มเติมขึ้นไปได้อีกโดยจะดูได้จากประสิทธิภาพการแปลงสัญญาณของ MR Element ที่ได้ปรับปรุงพัฒนามาจาก 2-10% จาก MR มาเป็น 40-50% ของ GMR ซึ่งคาดว่าเทคโนโลยีที่จะถูกพัฒนามาแทนที่ GMR จะต้องปรับปรุงพัฒนาประสิทธิภาพการแปลงสัญญาณของ MR Element ให้ได้สมบูรณ์แบบหรือเกือบ 100% มากที่สุด

ตารางที่ 2.1 แสดงตารางเปรียบเทียบเทคโนโลยีระหว่าง GMR และ MR

รายละเอียด	MR	GMR
ความจุ	3-10 Gbit / in	20-70 Gbit / in
ความเร็วต่อเนื่องสูงสุด	> 100 Mb / s (> 14 MB / s)	400 Mb / s (50 MB / s)
เวลาเฉลี่ยในการหาข้อมูล	30 ms	10 ms
ความเร็วรอบ	> 7000 Rpm	10,000 Rpm
Data Interface	80 MB / s	> 100 MB / s
ราคา	0.2 $ / MB	0.05 $/ MB
อายุการใช้งานโดยประมาณ	600,000 Hr.	1,000,000 Hr.

2.2.3 เทคโนโลยีของ Slider

Slider คือส่วนประกอบของหัวอ่านและบันทึก ซึ่งเป็นส่วนประกอบของหัวอ่านและบันทึก ทำมาจาก Titanium Carbide โดยขั้นตอนการทำ Slider นั้นสลับซับซ้อนมากโดยกระบวนการผลิต Slider หนึ่งตัวจะใช้เวลาการผลิตถึง 24 ชั่วโมง ซึ่งนับว่าเป็นเวลาที่ยาวนานมากสำหรับการผลิตเพื่ออุตสาหกรรม แต่ว่า Slider มีขนาดที่เล็กมากโดยมีขนาดกว้างประมาณ 1-5-1.6 มิลลิเมตร ความยาวเท่ากับ 1.9-2.0 มิลลิเมตร และส่วนสูงเท่ากับ 0.45 มิลลิเมตร (สำหรับ Slider ขนาด 50%) แต่ทว่าในการผลิต Slider ในอุตสาหกรรมนั้นจะผลิตเป็นแผ่น ๆ ซึ่งจะเรียกว่า Wafer โดยที่ Wafer หนึ่งหน่วยจะสามารถผลิตเป็น Slider 1200 ตัว

Slider จะมี Pole tip ซึ่งเป็นหัวใจของการอ่านและบันทึกข้อมูลขณะที่อยู่เหนือแผ่นข้อมูลซึ่งหัวของ Pole tip จะทำหน้าที่อ่านและบันทึกข้อมูลขณะที่อยู่เหนือแผ่นข้อมูลซึ่งจะมีระยะห่างที่น้อยมาก ๆ โดย Slider ก็จะทำหน้าที่คล้าย ๆ กับเครื่องบินทำการบินอยู่เหนือข้อมูลโดยพยายามให้มีระยะการบินหรือระยะห่างที่น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้การเกิดสนามแม่เหล็กสมบูรณ์แบบมากที่สุด

จะเห็นว่าเทคโนโลยีของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้ก้าวไปไกลมากและมีการพัฒนาปรับปรุงอยู่ตลอดเวลาทั้งในด้านศักยภาพและประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูล ความจุ ความเร็ว ราคา อายุการใช้งาน หรือแม้แต่รูปแบบใหม่ของสินค้าที่มาจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เช่น ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแบบถอดได้ พจนานุกรมที่สามารถพูดได้ เป็นต้น และอีกสิ่งหนึ่งที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้มีการพัฒนาปรับปรุงมาโดยตลอดโดยได้กล่าวไว้เบื้องต้น นั่นคือขนาดของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยจะเห็นได้ว่านับวันขนาดของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้มีการพัฒนาปรับปรุงให้มีขนาดเล็กลงเรื่อย ๆ โดยขนาดของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ได้มีการพัฒนามาตั้งแต่ต้นจนถึงปัจจุบันจะเห็นได้ว่าขนาดของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้มีแนวโน้มที่เล็กลงเรื่อย ๆ ปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีขนาดเล็กลงได้นั้น ก็คือ ขนาดของหัวอ่านและบันทึกที่เล็กลง โดยที่ปัจจัยสำคัญที่มีผลทำให้ขนาดของหัว

อ่านและบันทึกมีขนาดเล็กลงนั้นมีอยู่ 3 ประการ คือ เทคโนโลยีของหัวอ่านและบันทึก ขนาดของ Flexure และขนาดของ Slider ขนาดของ Flexure นั้นเป็นสิ่งที่ไม่ใช่เรื่องยากอะไรในการที่จะพัฒนาให้ Flexure มีขนาดเล็กลงเพราะว่ากระบวนการผลิตที่ไม่สลับซับซ้อนมากมายนัก สามารถที่จะทำขนาดให้เล็กลงได้โดยไม่มีปัญหาอะไรมากมายนัก แต่สิ่งที่มีกระบวนการผลิตที่สลับซับซ้อนมากและยากในการที่จะลดขนาดให้เล็กลงก็คือ Slider

การพัฒนาด้านขนาดของ Slider ซึ่งขนาดของ Slider ได้มีการพัฒนาอยู่ตลอดโดยได้พัฒนาควบคู่ไปกับเทคโนโลยีของหัวอ่านและบันทึกและการพัฒนาของ ABS ขนาดของ Slider ได้มีการพัฒนาให้มีขนาดที่เล็กลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งขนาดของ Slider ทั้งหมดจะมีอยู่ด้วยกัน 4 ขนาดโดยนับจากขนาดรุ่นแรกของสไลเดอร์ที่ทำการผลิต ซึ่งการวัดขนาดของสไลเดอร์นั้นจะวัดกันเป็นเปอร์เซนต์และขนาดของสไลเดอร์มีอยู่ด้วยกันดังนี้คือ

1. ขนาด 100 % หรือเรียกว่า Full size Slider
2. ขนาด 70% หรือเรียกว่า Micro Slider
3. ขนาด 50% หรือเรียกว่า Nano Slider
4. ขนาด 30% หรือเรียกว่า Pico Slider

จากขนาดของสไลเดอร์ที่ลดลงจะสังเกตุเห็นได้ว่าในแต่ละขั้นของการลดขนาดจะมีการลดขนาดลงโดยประมาณ30% ของขนาดเดิมอันเนื่องมาจากข้อจำกัดในเรื่องของเทคโนโลยีของหัวอ่านและบันทึกและเทคโนโลยีการผลิตสไลเดอร์ ในปัจจุบันขนาดของสไลเดอร์ที่ใช้ในการผลิตหัวอ่านและการบันทึกเกือบทั้งหมดจะเป็นขนาด 30% (Pico Slider)

2.2.4 เทคโนโลยีหน้าสัมผัส (ABS) ของ Slider

ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วนั้นว่า Slider จะทำหน้าที่ในการบินอยู่เหนือแผ่นข้อมูลซึ่งหมุนด้วยความเร็วรอบสูงมากประมาณกว่า 7000 รอบต่อนาที โดยที่ตัวมันเองจะถูกประกอบด้วย Pole tip ไว้ตรงส่วนหัวเพื่อทำหน้าที่อ่านและบันทึกข้อมูล ดังนั้นจะดูเหมือนว่า Slider จะทำหน้าที่คล้ายเครื่องบินซึ่งขณะที่ทำการบินอยู่นั้นผิวหน้าของ Slider หรือที่เรียกว่า Air Bearing Surface (ABS) ซึ่งในวงการอุตสาหกรรมนี้คุ้นเคยในชื่อของ ABS ซึ่ง ABS จะต้องปะทะกับแรงของลมซึ่งเกิดจากการหมุนของแผ่นข้อมูลนั่นเอง ดังนั้นการออกแบบ ABS จะต้องคำนึงถึงหลักการลู่ลมหรือแอร์โรไดนามิกส์ด้วยเพื่อทำให้ Slider สามารถบินใกล้กับแผ่นข้อมูลมากที่สุดหรือมีระยะห่างน้อยที่สุดนั่นเอง โดยที่ชนิดของการออกแบบ ABS แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- แบบ Catamaran
- แบบ Advanced Air Bearing Surface (AAB)

- แบบ Proximity หรือที่เรียกว่า Tri Pad

ABS แบบ Catamaran นั้นเป็นแบบแรกของ ABS ที่ใช้ในการทำ Slider โดยลักษณะของ ABS นั้นจะเหมือนกับสกีหรือเรือใบชนิดหนึ่งมีชื่อที่เรียกว่า Catamaran ซึ่งเป็นที่มาของแบบ ABS นี้นั่นเอง ABS แบบ Catamaran นี้เป็นแบบที่ง่ายที่สุดในบรรดาแบบของ ABS ทั้ง 3 แบบเพราะว่ามีรูปร่างที่เรียบง่ายและมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนมากมายนัก เมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 แบบ และนั่นก็คือข้อดีของ Catamaran แต่แน่นอน Catamaran ย่อมจะต้องมีข้อเสีย และข้อเสียของ Catamaran นั้นก็คือ ระยะการบินจะขึ้นอยู่กับรัศมีของแผ่นข้อมูลซึ่งเป็นวงกลม กล่าวคือ ระยะการบินจะน้อยหรือต่ำเมื่อบินอยู่ใกล้จุดศูนย์กลางของแผ่นข้อมูล (ระยะรัศมีจากศูนย์กลางของแผ่นข้อมูลไม่มาก) แต่ระยะการบินจะสูงขึ้นเมื่อระยะห่างออกไปจากจุดศูนย์กลางของแผ่นข้อมูลซึ่งเมื่อระยะการบินไม่สม่ำเสมอคงที่แต่แปรผันตามระยะจากจุดศูนย์กลางของแผ่นข้อมูลก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบการบันทึกข้อมูลไม่มีประสิทธิภาพที่ดีกล่าวคือ เมื่อระยะการบินสูงขึ้น เมื่อระยะห่างออกไปจากจุดศูนย์กลางของแผ่นข้อมูลการอ่านและการเขียนก็จะทำได้ไม่ดีเพราะว่าการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กจะไม่สมบูรณ์เนื่องมาจากระยะของการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กนั้นเป็นระยะสั้น ๆ เท่านั้นเอง ABS แบบ Catamaran จะถูกผลิตมาใช้กับ Slider ขนาด 100% และ 70% ซึ่งเป็น Slider ขนาดใหญ่และเป็นระยะแรก ๆ ของ Slider

ABS แบบ Advanced Air Bearing Surface (AAB) ABS แบบนี้จะถูกออกแบบมาเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของแบบ Catamaran ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยที่ AAB จะมีระยะการบินที่สม่ำเสมอโดยไม่ขึ้นอยู่กับระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแผ่นข้อมูล โดยไม่ว่าระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของแผ่นข้อมูลจะเป็นเท่าไหร่จะห่างมากหรือห่างน้อยก็ตามระยะการบินของ Slider ที่มี ABS แบบ AAB ก็ยังคงรักษาระยะการบินไว้ได้อย่างคงที่ซึ่งจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการบันทึกข้อมูลมีประสิทธิภาพสูง และข้อดีอีกข้อหนึ่งของ AAB ก็คือสามารถทำให้ระยะการบินของ Slider มีระยะการบินที่ต่ำมาก (ประมาณ 1.0 ไมโครนิ้ว) เมื่อเทียบกับแบบของ Catamaran (ประมาณ 3.0-4.0 ไมโครนิ้ว) โดยไม่ทำให้เกิดการกระแทกหรือการขนกันระหว่าง Slider กับแผ่นข้อมูล ขณะทำการบิน ซึ่งจะพบปัญหานี้กับแบบ Catamran แบบ AAB จะถูกผลิตมาใช้กับ Slider ขนาด 50% และ 30% ซึ่งเป็น Slider ที่ถูกใช้ในปัจจุบันและในอนาคต

ABS แบบ Proximity หรือถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Tri Pad อันเนื่องมาจากรูปร่างลักษณะของ ABS ซึ่งมีจำนวน Pad หรือพื้นผิวสัมผัสขณะทำการบินอยู่ 3 ส่วนพื้นผิวสัมผัส ในขณะที่ แบบ Catamran และแบบ AAB จะมีอยู่เพียง 2 พื้นผิวสัมผัส ABS แบบ Proximity จะมีคุณสมบัติเหมือนกับแบบของ AAB แต่ต่างกันตรงที่แบบ Proximity จะมี Pole tip อยู่เพียงหัวเดียว ซึ่งอยู่ตรงกลางอันเนื่องมาจากการออกแบบของ ABS ซึ่งมีพื้นผิวสัมผัสอยู่ 3 ส่วน โดยการที่มีสามพื้นผิวสัมผัสนี้จะช่วยในการทรงตัวขณะทำการบินและปัญหาเรื่องการบินเอียงทำมุมซ้ายหรือขวาของ Slider ซึ่งจะเป็นข้อดีของแบบ Proximity แต่ว่าก็เป็นข้อเสียด้วยเหมือนกันเพราะว่าในเชิงเศรษฐศาสตร์แล้วนั้นการผลิตแบบอุตสาหกรรมจำเป็นจะต้องผลิต Slider ที่มีหัว Pole tip ที่มีสองหัวเพราะว่าในขั้นตอนการทำหัว Pole tip นั้นยุ่งยากสลับซับซ้อนมาก รวม

ถึงการใช้เวลาในการผลิตนานและมีโอกาสในการเสียหายหลังจากการผลิตซึ่งจะไม่สามารถทราบได้ในขั้นตอนนั้นจนกระทั่งได้ผลิตเป็นตัวหัวอ่านและบันทึก และทำการตรวจสอบว่า Pole tip นั้นเสียหายหรือไม่ ดังนั้นการที่ Proximity มีหัว Pole tip เพียงหัวเดียวนั้นเมื่อเกิดการเสียหรือใช้งานไม่ได้ของ Pole tip หัวหนึ่งใช้ไม่ได้หรือเสียหายก็ยังสามารถที่จะเลือกใช้อีกตัวหนึ่งได้ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วเกือบทั้งหมดของผู้ผลิตได้เลือกการผลิต ABS แบบ AAB มากกว่า อันเนื่องมาจากเหตุผลเชิงเศรษฐศาสตร์ดังได้กล่าวมาแล้วแต่ว่าการผลิต ABS แบบ Proximity ก็เหมือนกันแต่ว่าเป็นจำนวนน้อยและจะถูกใช้กับ HGA บางรุ่นเท่านั้นซึ่งถูกออกแบบมาสำหรับ Proximity

2.3 การเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์

การผลิตหัวอ่านและบันทึกนั้นสิ่งที่เป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งที่มีผลทำให้ตัวงานเสียหาย และเป็นสิ่งที่ต้องควบคุมในการผลิต คือ กระแสไฟฟ้าสถิตย์ (Electro Static) และนับวันกระแสไฟฟ้าสถิตย์ยิ่งจะมีบทบาทและความสำคัญมากยิ่งขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการป้องกันและควบคุมมากขึ้นด้วย สาเหตุที่ทำให้กระแสไฟฟ้าสถิตย์เข้ามามีบทบาทและความสำคัญมากยิ่งขึ้นในการผลิตหัวอ่านและบันทึกเพราะว่าเทคโนโลยีของหัวอ่านและบันทึกนั้นได้มีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลาและการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ย่อมจะมีผลกระทบตามมานั้นคือเทคโนโลยีของหัวอ่านและบันทึกที่สูงขึ้น ความทนทานต่อกระแสไฟฟ้าสถิตย์ก็จะลดลง

การเกิดไฟฟ้ากระแสสถิตย์ (Electro Static) คือประจุไฟฟ้าที่เป็นบวกหรือลบที่มีอยู่ตามธรรมชาติ โดยไฟฟ้าสถิตย์นี้จะมีจำนวนของประจุไฟฟ้าบวกและลบที่เท่า ๆ กัน และจะไม่มีการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าเพราะว่ามีประจุไฟฟ้าบวกและลบที่เท่า ๆ กัน แต่ไฟฟ้าสถิตย์ก็พร้อมที่จะเคลื่อนที่และถ่ายเทประจุไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลาถ้าหากมีวัตถุอื่นที่มีประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบที่ไม่เท่ากันมาสัมผัส ประจุไฟฟ้าก็จะทำการถ่ายเททันทีเพื่อรักษาสมดุลย์ของมันเอาไว้โดยที่พยายามให้ประจุบวกและลบมีปริมาณเท่า ๆ กัน ดังนั้นเมื่อมีวัตถุสองชนิดสัมผัสกันโดยที่วัตถุอีกอันหนึ่งมีปริมาณประจุบวกและลบไม่เท่ากันหรือทั้งคู่มีปริมาณประจุบวกและลบไม่เท่ากัน หรืออันใดอันหนึ่งไม่มีประจุเลยก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทของประจุไฟฟ้าสถิตย์ได้ซึ่งเหตุการณ์นี้จะเรียกว่าการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ (Electrol Static Discharge) ซึ่งคำว่า Electro Static จะหมายถึง ไฟฟ้าสถิตย์ ส่วนคำว่า Discharge หมายถึงการเคลื่อนที่ของประจุหรือการไหลของกระแสไฟฟ้าดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าสถิตย์หรือการไหลของกระแสไฟฟ้า

สาเหตุของการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์มีอยู่ 2 สาเหตุที่สำคัญ คือ การเคลื่อนที่ (Movement) และการแยกของจากกัน (Separation) ตัวอย่างของการเคลื่อนที่ได้แก่ การเคลื่อนไหวของร่างกายขณะทำงานบนโต๊ะทำงานหรือบนพื้นผิวของสายการผลิต ซึ่งสามารถวัดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ของการเคลื่อนไหวได้ถึง

500 ถึง 800 โวลต์ ส่วนตัวอย่างของแยกจากกันของวัสดุได้แก่ การหยิบถุงบรรจุ จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ได้ถึง 12000 โวล์ต ซึ่งนับว่าเป็นปริมาณของกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่สูงมากและสามารถทำลายหัวอ่านและบันทึกได้เพราะว่าหัวอ่านและบันทึกสามารถทนต่อกระแสไฟฟ้าสถิตย์ได้เพียง 20 โวลต์เท่านั้นเอง

2.3.1 ความไวของความกระแสไฟฟ้าสถิตย์ (ESD) ต่อเทคโนโลยีหัวอ่านและบันทึก

ความไวของกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่มีต่อหัวอ่านและบันทึก ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีของหัวอ่านและบันทึกได้มีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลาและสิ่งที่ตามมาพร้อมกับเทคโนโลยีที่ทันสมัยก็คือ ความไวต่อกระแสไฟฟ้าสถิตย์มากขึ้น หัวอ่านและบันทึกที่ผลิตรุ่นแรก ๆ นั้นจะมีความไวต่อกระแสไฟฟ้าสถิตย์น้อยมากกล่าวคือ ระดับกระแสไฟฟ้าสถิตย์ประมาณมากกว่า 100,000 โวล์ต โดยที่ระดับความไวความขนาดนี้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องมีระบบการควบคุมการทำลายชิ้นงาน เนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าสถิตย์ในขบวนการผลิตหัวอ่านและบันทึกเลย และจากการผลิตหัวอ่านและบันทึกข้อมูลด้วยเทคโนโลยีรุ่นแรก ๆ ยังไม่ปรากฏว่ามีหัวอ่านและบันทึกเสียหายเพราะกระไฟฟ้าสถิตย์เลย หลังจากนั้นก็มีเทคโนโลยีรุ่นต่อ ๆ มาแต่ก็ยังมีความทนทานและความไวต่อไฟฟ้ากระแสสถิตย์อยู่ที่ค่าประมาณ 50,000 โวล์ต ซึ่งด้วยระดับความไวกระแสไฟฟ้าสถิตย์ระดับนี้จำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์การทำลายกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดขึ้นมาเพื่อช่วยป้องกันระดับหนึ่งแต่ก็ยังนับว่าไม่ใช่ระดับที่อันตรายหรือรุนแรงมากนัก โดยอุปกรณ์การทำลายกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดขึ้นนี้จะเรียกว่า Larminar Hood โดยอุปกรณ์นี้จะถูกติดตั้งไว้เหนือสายการผลิตประมาณ 1-2 เมตร อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่ปล่อยประจุไฟฟ้าที่เป็นประจุไฟฟ้าค่ากลางคือ มีประจุไฟฟ้าบวกและลบเท่า ๆ กัน ออกมาครอบคลุมบริเวณการผลิตหัวอ่านและบันทึก แต่ระดับความไวของกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่มีต่อเทคโนโลยีของ MR นั้นมีความไวสูงมากและเป็นระดับที่เป็นอันตราย โดยมีความจำเป็นจะต้องมีระบบควบคุมที่ดีมากจึงจะทำการผลิตหัวอ่านและบันทึกข้อมูลได้ อาทิเช่น ต้องมี Larminar Hood หรือ Ionizer (พัดลมสลายประจุไฟฟ้า) ที่มีประสิทธิภาพสูงมากโดยที่ระยะทางของการปล่อยประจุค่ากลางจะไกลกว่าเดิมโดยประมาณ 2 เท่า และมีปริมาณความหนาแน่นของประจุมากกว่าเดิมโดยประมาณ 1-2 เท่าเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีรุ่นก่อน อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในสายการผลิตจะต้องเป็นวัสดุที่ปราศจากกระแสไฟฟ้าสถิตย์และมีโอกาสการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่ต่ำที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ วัสดุที่ปราศจากกระแสไฟฟ้าสถิตย์หรือมีโอกาสการเกิดที่ต่ำจะมีราคาแพงมาก วัสดุประเภทพลาสติกจะถูกจำกัดอย่างสิ้นเชิงในสายการผลิตเพราะว่าพลาสติกเป็นวัสดุที่ก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์มากที่สุด ยกเว้นพลาสติกชนิดที่ปราศจากกระแสไฟฟ้าสถิตย์ซึ่งจะมีราคาแพงมาก การควบคุมและลดโอกาสการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตต้องเข้มงวดอย่างมากโดยต้องควบคุมทุกชิ้นทุกอย่าง แม้แต่ปากกาและกระดาษที่ใช้เขียนหรือบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ในสายการผลิตก็ยังจำเป็นที่จะต้อง

ปราศจากกระแสไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งอุปกรณ์พวกนี้จะมีราคาแพงกว่าอุปกรณ์ธรรมดามาก ๆ เช่น กระดาษที่ใช้ซึ่งเรียกว่า Clean room Paper จะมีราคาแพงมากกว่ากระดาษธรรมดา รวมทั้งปากกาที่ใช้ในสายการผลิตจะต้องมีการทดสอบว่าระดับความไวของกระแสไฟฟ้าสถิตย์จะต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด คือ 10-20 โวล์ต ซึ่งจะมีราคาแพงมากกว่าปากกาธรรมดาถึง 10 เท่าตัว ด้วยระดับความไวที่ขนาดนี้ถึงแม้ว่าจะมีการควบคุมและลดโอกาสการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ของวัสดุของเครื่องมือและอุปกรณ์ดีเพียงใดก็ไม่สามารถที่จะควบคุมการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ เพราะว่าแม้แต่การดึงพลาสติกออกจากกันก็สามารถที่จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ได้ถึง 12,000 โวล์ต ดังนั้นการควบคุมและลดโอกาสการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์นั้นไม่สามารถที่จะป้องกันการทำลายชิ้นงานของกระแสไฟฟ้าสถิตย์ได้ แต่จะต้องทำควบคู่ไปกับอีกระบบหนึ่งคือระบบที่ป้องกันการทำลายชิ้นงานของกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดขึ้นมาโดยการต่ออุปกรณ์และเครื่องมือทุกอย่างรวมถึงคนลงสู่ดิน หรือที่เรียกว่าการต่อลงพื้นดิน ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีระบบการป้องกันกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดขึ้นไม่ให้ทำลายชิ้นงานจึงจะสามารถที่จะควบคุมการทำลายชิ้นงานของกระแสไฟฟ้าสถิตย์

ปัญหาในเรื่องของความไวของกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่มีต่อหัวอ่านและบันทึกไม่ได้จบอยู่เพียงเท่านี้ เพราะว่าในอนาคตอันใกล้ปัญหานี้จะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้นเพราะว่าความไวของกระแกไฟฟ้าสถิตย์ที่มีต่อเทคโนโลยี GMR จะอยู่ที่ระดับกระแสไฟฟ้าสถิตย์เพียงแค่ 13 โวล์ต เท่านั้นเองซึ่งน้อยมาก นั่นหมายถึงกระแสไฟฟ้าสถิตย์เพียงแค่ 13 โวล์ต ก็สามารถที่จะทำลายหัวอ่านและบันทึกได้ สาเหตุที่ทำให้กระไฟฟ้าสถิตย์มีความไวต่อ GMR มากกว่า MR เพราะว่า GMR มี MR Element ที่สลับซับซ้อนมากกว่าและมีความบางกว่าของ MR เพราะว่า GMR มี MR Element ของ GMR จะมีความบางถึง 20 อังสตอม ซึ่งเมื่อเทียบกับของ MR ซึ่งมีความบอบบางอยู่ที่ 200 อังสตอม ดังนั้นระบบการป้องกันกระแสไฟฟ้าสถิตย์จะต้องมีประสิทธิภาพเพื่อไม่ให้ทำลายชิ้นงาน รวมทั้งการศึกษาเพื่อสร้างระบบการควบคุมและลดโอกาสของการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ให้น้อยที่สุด จะต้องมีประสิทธิภาพมากกว่าของ MR และเพียงพอสำหรับความไวของกระแสไฟฟ้าสถิตย์ให้น้อยกว่า 5 โวล์ต ได้จึงจะสามารถผลิตหัวอ่านและบันทึกได้ด้วยเทคโนโลยี GMR แต่การที่จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากจะต้องใช้เงินลงทุนอย่างมาก

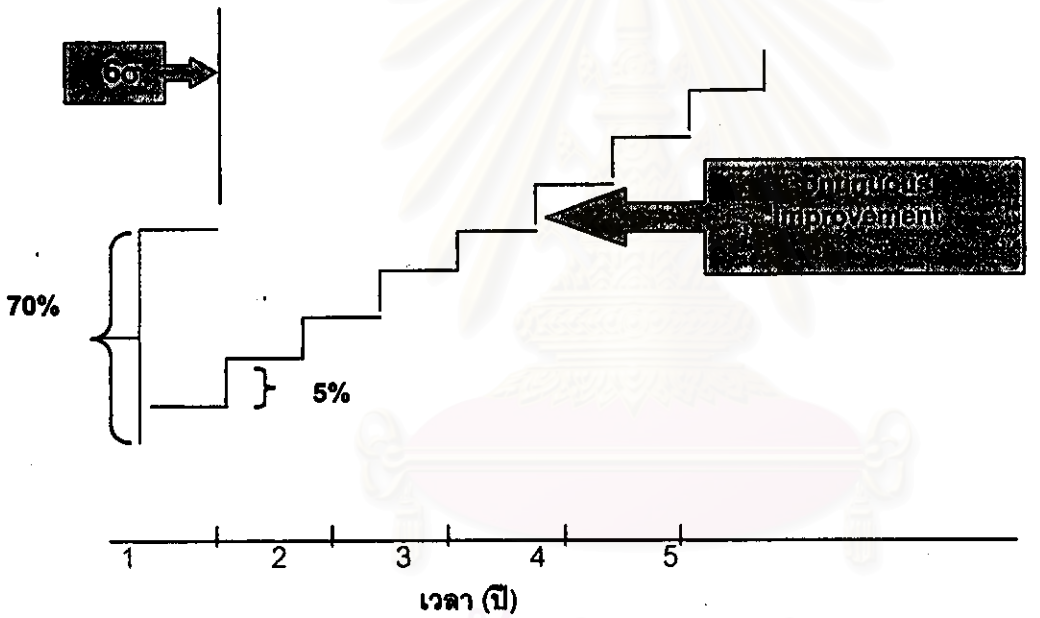
2.4 แนวคิดของการดำเนินวิธีการควบคุมคุณภาพแบบซิกซ์ซิกมา

ในอุตสาหกรรมทุก ๆ ประเภท ณ ปัจจุบันมีการแข่งขันกันอย่างมาก โดยเฉพาะอุตสาหกรรมด้านดิสก์ไดร์ฟ สิ่งที่จะทำให้ยอดขายของบริษัทเพิ่มขึ้นจะต้องขึ้นกับจุดประสงค์ของลูกค้าเป็นหลัก ดังนั้นการที่จะได้มาซึ่งความได้เปรียบของบริษัทคือการสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้กับลูกค้า และกลยุทธ์ที่สำคัญ

คือการควบคุมคุณภาพในระดับซิกซ์ซิกมา ซึ่งเป็นวิธีการดำเนินงานที่ทำให้หลายบริษัทสามารถประสบความสำเร็จในการปฏิบัติงานด้านคุณภาพเพื่อมุ่งสู่ผลลัพธ์ คือ ความสามารถในการทำกำไรของบริษัท

การควบคุมคุณภาพในระดับซิกซ์ซิกมาคือ มาตรการซึ่งใช้วัดคุณภาพการดำเนินงาน ในขั้นตอนต่าง ๆ ของซิกซ์ซิกมา คือการควบคุมกระบวนผลิตด้วยระดับ σ สูง คือ ความต้องการในการลดค่าความแปรปรวนในกระบวนการผลิตให้น้อยลง เพื่อผลการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ขั้นตอนทุกขั้นตอนของการทำงานทุกประเภทจะถูกควบคุมอย่างมีระบบโดยที่พนักงานจะต้องรู้สึกว่ามิใช่การทำงานหนักยิ่งขึ้น

ส่วนหนึ่งของงานวิจัยนี้ต้องการใช้แนวทางทางด้านการควบคุมคุณภาพในระดับซิกซ์ซิกมาเป็นมาตรฐานหรือแนวทางในการวิเคราะห์แก้ไขปัญหาขององค์กรอย่างเป็นรูปแบบ การปรับปรุงโดยใช้แนวคิดของซิกซ์ซิกมาจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน ดังภาพข้างล่างนี้



รูปที่ 2.1 แสดงความแตกต่างระหว่างแนวคิด
SIX SIGMA vs CONTINUOUS IMPROVEMENT

จากรูปข้างบนอธิบายถึงแนวคิดและเป้าหมายของโครงการซิกซ์ซิกมานี้จะดำเนินการพัฒนาได้เร็วกว่าการทำ Continuous improvement คือการพัฒนา การทำตามขั้นตอน (step by step) ซึ่งมีข้อจำกัดด้านเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง

Robert S. ,SIX SIGMA QUALITY, 1998 ได้กล่าวถึงหลักการบริหารธุรกิจ ของ General Electric (GE) ที่ประสบความสำเร็จโดยใช้ SIX SIGMA QUALITY ดังต่อไปนี้

เริ่มต้นคำถามว่าเราไม่เคยทำสิ่งเหล่านี้

- พยายามผลักดันให้ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเกินกว่าขอบเขตที่ได้ตั้งเอาไว้
- ยอมรับด้วยเหตุและผลกับลูกค้าถึงความถูกต้อง
- คัดเลือกชิ้นส่วนที่ได้มาตรฐาน
- มีของเสียมากมาย, มีงานที่ต้องซ่อมแซม และชิ้นส่วนที่ต้องทำการตรวจสอบ
- ถูกตำหนิในการชำระ, ผิดพลาดทางบัญชีรายการ, การขนส่งไม่ตรงตามเวลา, ผลิตผลิตภัณฑ์น้อยหรือมากเกินไป
- ประสบปัญหาว่าการทำการลดต้นทุนในการผลิตไม่เคยประสบความสำเร็จ

สิ่งที่ลูกค้าจะได้รับจากการควบคุมในระดับซิกซ์ซิกมามีดังต่อไปนี้

- ลูกค้ามีส่วนร่วม
- มีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบตัวผลิตภัณฑ์
- มีการเปลี่ยนแปลงในด้านการจัดซื้อชิ้นส่วนที่ใช้ในการผลิต
- มีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการผลิตภายในโรงงาน
- มีการเปลี่ยนแปลงทุก ๆ ด้านที่สนับสนุนการผลิต
- มีการเปลี่ยนแปลงการฝึกอบรมในด้านธุรกิจภายในองค์การ

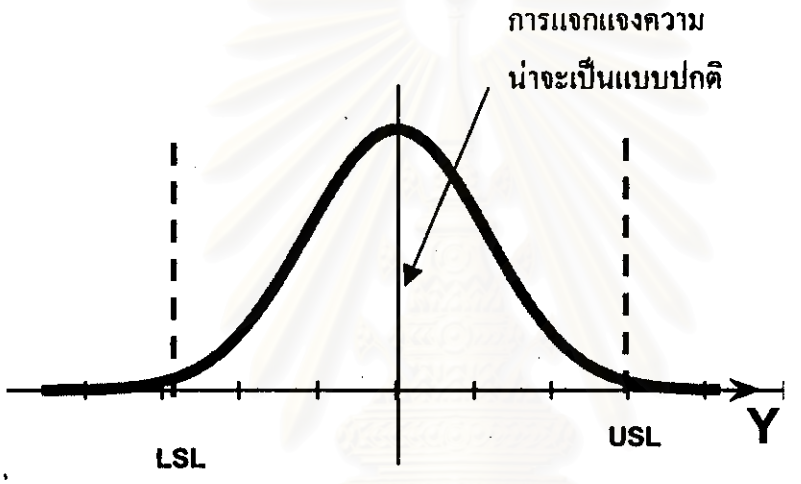
การเปลี่ยนแปลงระดับของ σ สามารถกำหนดเป้าหมายของประสิทธิผลการผลิตได้ดังต่อไปนี้

σ	YIELD
1	68.26%
2	95.45%
3	99.73%
4	99.993642%
5	99.999943%
6	99.9999998%

ที่มา : จากตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ (ภาคผนวก)

ในอุตสาหกรรมทั่วไปกระบวนการในการผลิตจะมีแนวคิดโดยรวมดังต่อไปนี้

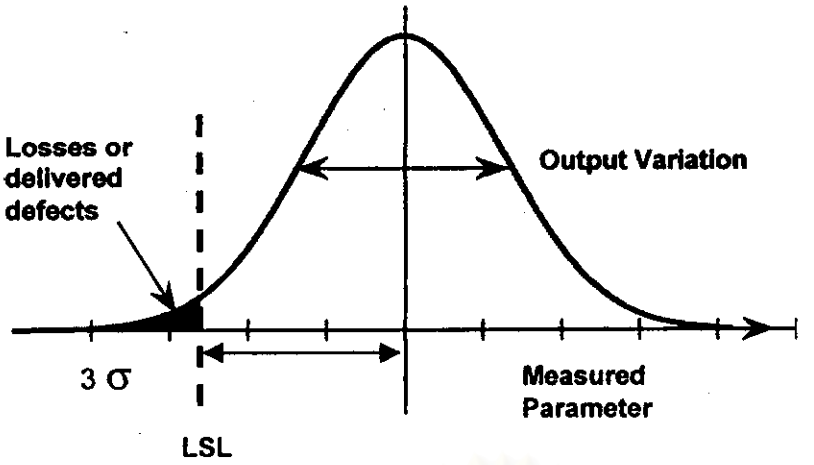
รูปที่ 2.2 แสดงแนวคิดพื้นฐานของกระบวนการผลิต



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการกระจายของข้อมูลทั่วไป

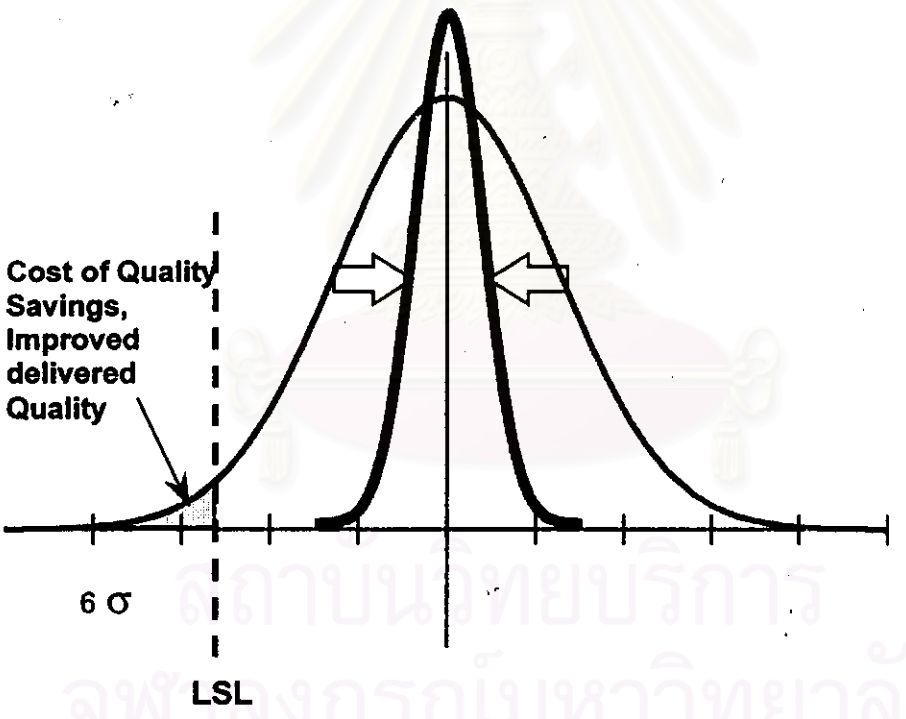
LSL	=	Lower Spec.limit	คือ	ค่าต่ำสุดของ Spec.
USL	=	Upper Spec. limit	คือ	ค่าสูงสุดของ Spec.

จากรูปดังกล่าวสรุปได้ว่า ข้อมูลทั่วไปที่มีการกระจายแบบปกติ จะมีบางครั้งที่ผลิตออกมาจะอยู่นอกเหนือจาก Spec. ที่กำหนดไว้ ไม่ว่าจะเป็นด้านที่มีค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุด หลักการของซิกซ์ซิกมาก็คือ การควบคุมคุณภาพของตัวผลิตภัณฑ์ หรือการบริการให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยทั่ว ๆ ไป อุตสาหกรรมจะควบคุมคุณภาพในการผลิต เพื่อให้ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์และบริการในระดับ 3σ ซึ่งพบว่ามีของเสียอยู่ 67,000 ชิ้นในการผลิต 1 ล้านชิ้น ซึ่งได้อธิบายไว้ในภาพข้างล่างนี้



รูปที่ 2.4 แสดงแนวคิดการควบคุมคุณภาพ 3σ

พื้นที่ที่แรเงาจะบอกถึงการสูญเสียหรือการขนส่งผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีคุณภาพ ออกสู่ลูกค้าในระดับ 3σ ซึ่งอุตสาหกรรมทั่วไปใช้อยู่ ถ้าเปรียบเทียบกับการใช้ซิกซ์ซิกมา (6σ) มาเป็นตัวลดความผันแปรในการผลิตเพื่อที่จะควบคุมของที่จะเสียในการผลิต และยังช่วยพัฒนาคุณภาพในการผลิตอีกด้วย ซึ่งได้อธิบายไว้ในรูป



รูปที่ 2.5 แสดงแนวคิดของ การควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตแบบ 6σ

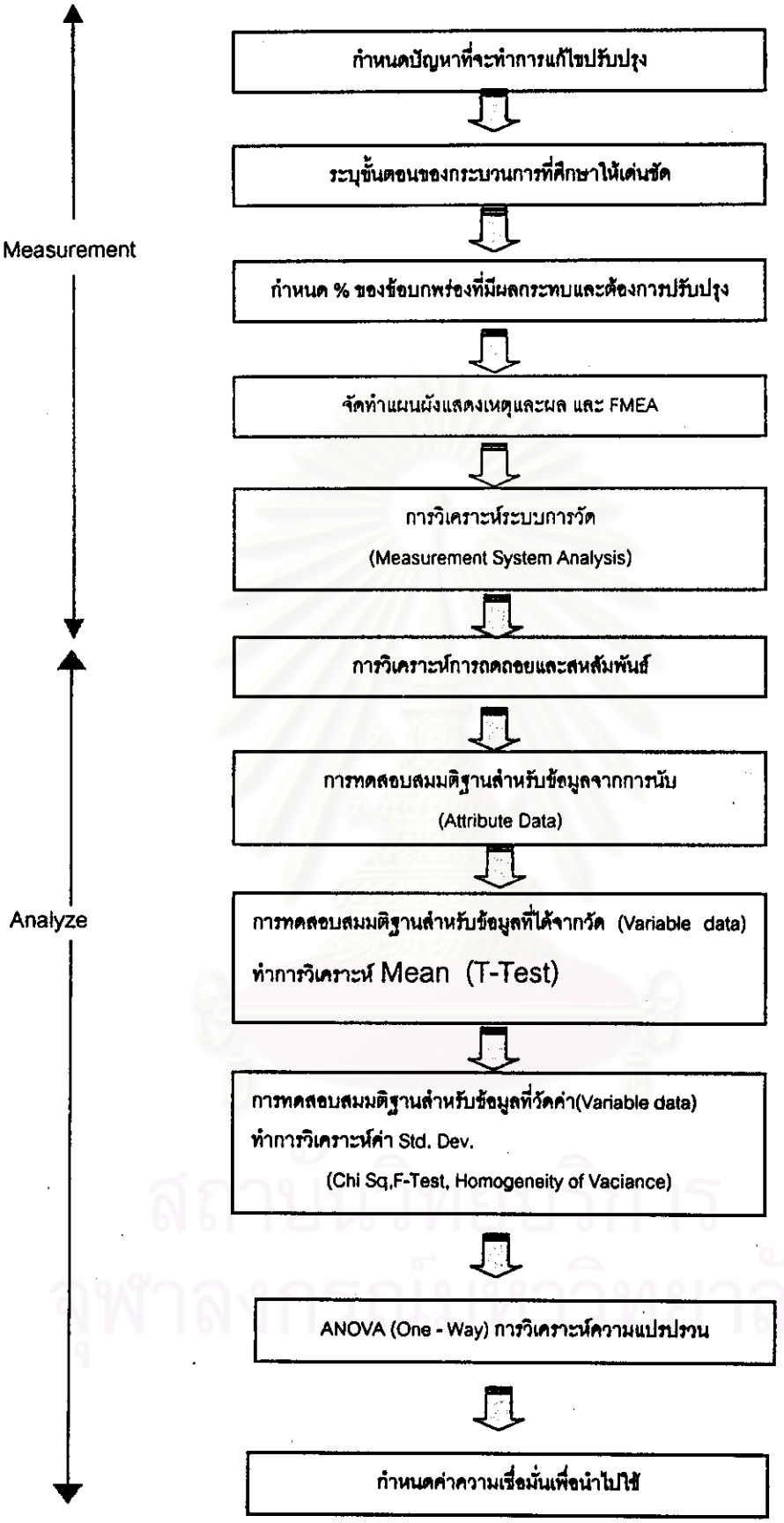
เส้นทึบด้านในจะอธิบายถึงความผันแปรในกระบวนการผลิตที่ใช้หลักการของ 6σ จะมีความผันแปรน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพในระดับ 3σ

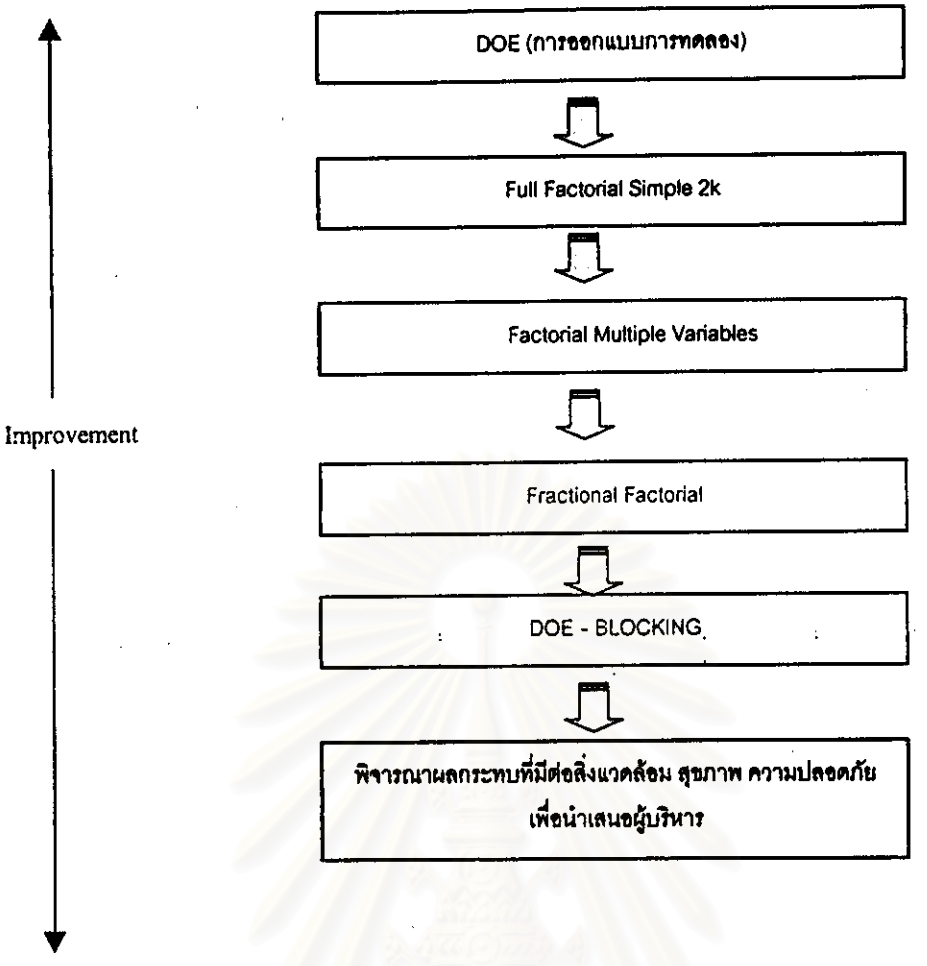
จากการศึกษาพบว่าแนวทางการปฏิบัติด้านแนวคิดการควบคุมคุณภาพในระดับ 6σ จะใช้หลักการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติที่บริษัทดำเนินการอยู่แต่จะมีการควบคุมและดำเนินการเป็นขั้นตอนจะมีขั้นตอนหลัก ๆ 5 ประการ ที่ใช้เป็นหลักฐานในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา คือ

1. การกำหนดปัญหา (Problem statement)
2. มีการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure)
3. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze)
4. การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve)
5. การควบคุมตัวแปรต่าง ๆ (Control)

ซึ่งรายละเอียดและลักษณะของขั้นตอนจะอธิบายตามแผนภาพดังต่อไปนี้

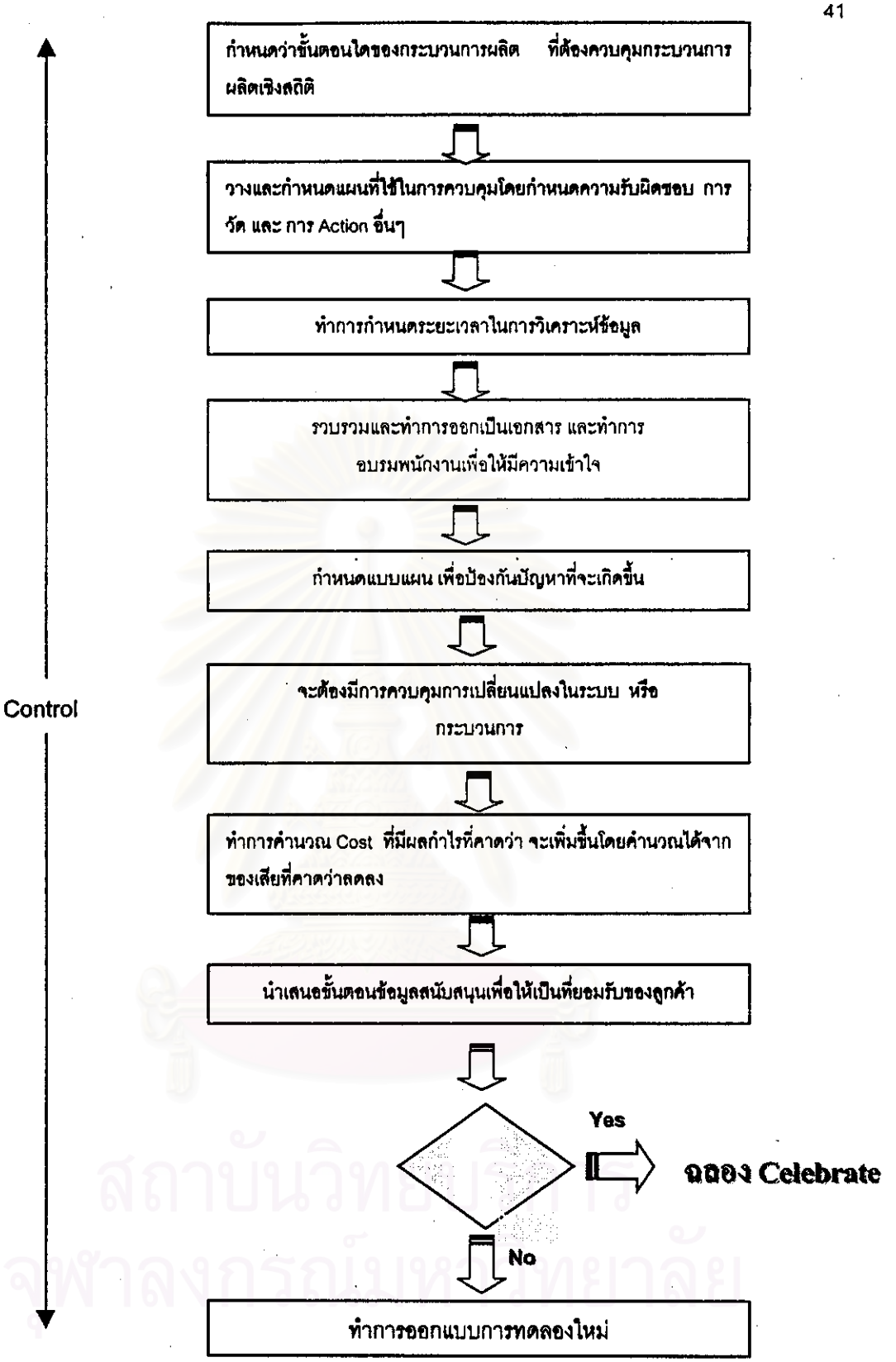
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


Measurement
Analyze
กำหนดปัญหาที่จะทำการแก้ไขปรับปรุง
ระบุขั้นตอนของกระบวนการที่ศึกษาให้เด่นชัด
กำหนด % ของข้อบกพร่องที่มีผลกระทบและต้องการปรับปรุง
จัดทำแผนผังแสดงเหตุและผล และ FMEA
การวิเคราะห์ระบบการวัด
(Measurement System Analysis)
การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์
การทดสอบสมมติฐานสำหรับข้อมูลจากการนับ
(Attribute Data)
การทดสอบสมมติฐานสำหรับข้อมูลที่ได้จากวัด (Variable data)
ทำการวิเคราะห์ Mean (T-Test)
การทดสอบสมมติฐานสำหรับข้อมูลที่วัดค่า(Variable data)
ทำการวิเคราะห์ค่า Std. Dev.
(Chi Sq,F-Test, Homogeneity of Vaciance)
ANOVA (One - Way) การวิเคราะห์ความแปรปรวน
กำหนดค่าความเชื่อมั่นเพื่อนำไปใช้



Note : ขั้นตอนนี้จากการวิเคราะห์ค่าแปรปรวนของปัจจัย(Input Variables)มีผลโดยตรง กับผลผลิต(Output Variables) หลังจากวิเคราะห์ว่า ค่าความแปรรวนรวนของปัจจัยการผลิตมีผลโดยตรงกับผลผลิตให้ทำการกำหนดวิธีการ Setting

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.6 แสดงขั้นตอนตามแนวคิด SIX SIGMA

ที่มา : เอกสารการอบรม Black belt ของ SIX SIGMA academic, 1998

2.4.1 ผลประโยชน์ที่จะได้รับในการควบคุมคุณภาพด้วยระบบซิกซ์ซิกมา

ผลิตภัณฑ์

- ลดระยะเวลาในการเสนอผลิตภัณฑ์ใหม่เข้าสู่ตลาดการแข่งขัน
- เป็นผู้นำทางเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์

กระบวนการผลิต

- สร้างกระบวนการผลิตที่ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ
- พัฒนากลยุทธ์ต่อบริษัทคู่ค้า

ลูกค้า

- คุณภาพของผลิตภัณฑ์และการบริการเป็นที่พึงพอใจแก่ลูกค้า
- พัฒนากลยุทธ์ต่อลูกค้า

ดังนั้นปรัชญาของการควบคุมคุณภาพแบบซิกซ์ซิกมา คือ การประยุกต์ใช้วิธีการอย่างมีโครงสร้างและระบบเพื่อที่จะประสบความสำเร็จในการแก้ไขปัญหาขององค์กร

2.4.2 แนวคิดและกลยุทธ์ของซิกซ์ซิกมา

- รู้ว่าอะไรคือสิ่งที่สำคัญสำหรับลูกค้า หรือลูกค้าต้องการอะไร (CTQ's : Critical to Quality)
- ลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต
- ลดความแปรปรวนในกระบวนการผลิต

2.4.3 หลักการสำคัญและขั้นตอนการควบคุมคุณภาพ

เพื่อให้บรรลุผลสำเร็จ สิ่งที่เราจะต้องให้ความสำคัญคือ กระบวนการผลิต ไม่ใช่ผลลัพธ์จากกระบวนการผลิต ถ้ากระบวนการผลิตมีการควบคุมที่ดีแล้ว เราไม่จำเป็นเลยที่จะต้องตรวจสอบผลิตภัณฑ์ ความสำคัญของ 4 ขั้นตอนการควบคุมคุณภาพแบบซิกซ์มา

1. ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **การกำหนดปัญหา (Problem Statement)**

ระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาและแก้ไข ซึ่งปัญหานั้น ๆ จะต้องสัมพันธ์ในส่วนที่มีผลกระทบต่อลูกค้า หรือ ทางด้านคุณภาพ (CTQ' s : Critical to Quality)

- **แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Map)**

ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งการสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิต จะต้องทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอนในการประกอบผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะสามารถระบุตัวแปรสำคัญในกระบวนการผลิต (Process Input) และผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต (Process Output) ขั้นตอนนี้จึงเปรียบเสมือนเป็นการตรวจวิเคราะห์ของกระบวนการผลิต ซึ่งอาจจะทำให้เราทราบถึงสิ่งผิดปกติ หรือทราบสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหา โดยการทดลอง โดยการตั้งสมมติฐาน หรือโดยการใช้ข้อมูลทางด้านสถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธี

การสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์ต้องใช้การระดมสมอง และทีมงานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะได้รายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภาพการไหลนั้นจะต้องสามารถบอกถึงสาเหตุแห่งความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (Cause of Poor Quality : COPQ)

การสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์จำเป็นอย่างยิ่งในการระบุที่มาของข้อบกพร่องและ สิ่งที่ซ่อนในกระบวนการผลิต (Hidden Factory) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สูญเสียเวลา เงิน ทรัพยากร และพื้นที่ในการจัดเก็บ

- **ผลรวมของสัดส่วนของเสีย** (Rolled Throughput Yield)

ได้มาจากการคำนวณของสัดส่วนของเสียครั้งแรกและไม่รวมสัดส่วนของเสียที่ได้มาจากการซ่อมแซมการคำนวณสัดส่วนของเสียก็เพื่อเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการควบคุมกระบวนการผลิต

- **ผังแสดงเหตุและผล** (Cause and Effect Diagram)

(ฮิโตชิ คุเมะ, ผู้เขียน และ วีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์ , ผู้แปล , 2536)

ผังแสดงเหตุและผล คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่าง ๆ (ที่เกี่ยวข้อง) กล่าวคือ คุณลักษณะทางคุณภาพ คือ ผลที่เกิดขึ้นจากเหตุคือ ปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นต้นตอของคุณลักษณะอันนั้น

การสร้างผังแสดงเหตุและผลที่จะเอื้อประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาได้จริง ๆ ไม่ใช่เรื่องง่าย ผู้ที่สามารถสร้างผังก้างปลาได้ถูกต้อง คือ ผู้ที่มีโอกาสแก้ปัญหาทางคุณภาพได้ถูกต้องเช่นเดียวกัน ข้อสังเกตเกี่ยวกับกับผังแสดงเหตุและผลจะต้องทำการแยกแยะและเลือกสรรเพื่อหาปัจจัยอันเป็นสาเหตุแห่งปัญหานั้นควรใช้การปรึกษาหารือในกลุ่มคนหลาย ๆ ความคิดมาร่วมกัน เพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างไปจะก่อผลเสียภายหลังได้ (อาจทำให้การแก้ปัญหาผิดจุดได้) เลือกคุณลักษณะของปัญหาและปัจจัยสาเหตุในรูปของขนาดหรือปริมาณที่สามารถใส่หน่วยวัดลงไปได้ เพราะในที่สุดแล้วผลสรุปจากผัง

ก้างปลาจะต้องนำไปแก้ไขปรับปรุงตัวแปรต่าง ๆ ในการผลิต การนำผังแสดงเหตุและผลปใช้งานจะต้องก่อนสรุปปัญหาควรใส่น้ำหนักหรือคะแนนให้กับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัวเพื่อจะได้ใช้การจัดลำดับความสำคัญของปัญหา ซึ่งแนวทางเสนอแนะนี้จะนำไปผังแสดงเหตุและผลที่ได้ไปเชื่อมโยงกับ FMEA

- FMEA

การวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุความรุนแรงของปัญหาโดยวิธีการระดมสมองซึ่งขั้นตอนและแนวทางการให้คะแนนความรุนแรงจะระบุอยู่ในภาคผนวก

- **การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด**

(ดำรง ทวีแสงสกุลไทย , 2538) ได้นิยามคำว่า ความแม่นยำและความเที่ยงตรง ดังนี้

ความแม่นยำ (Precision) คือ ความสามารถในการวัดที่ให้ผลค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ค่าไม่กระจัดกระจาย และจะให้ความแม่นยำไม่เปลี่ยนค่ามาก ไม่มีการปรับวิธีการหรือปรับเครื่องมือวัด

ความเที่ยงตรง (Accuracy) คือ ความสามารถในการวัดที่ให้ค่าใกล้ความจริงมาก ผลต่างของค่าจริงและค่าวัดโดยเฉลี่ยน้อยมาก

(กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ , 2542) การวิเคราะห์ความแม่นยำ มุ่งพิจารณา 2 ประเด็นหลัก คือ คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัดหรืออุปกรณ์การวัดหรือไม่ และระบบการวัดที่พิจารณามีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่แสดงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่

คุณสมบัติด้านความแม่นยำนี้ ถ้าหากมีการจำแนกตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นแล้วจะได้รับการแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ความสามารถในการทำซ้ำ หรือ รีพีททะบิลิตี้ (repeatability) และความสามารถในการทำเหมือน หรือ รีโปรดิวซิบิลิตี้ (reproducibility) โดยที่รีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันและด้วยพนักงานคนเดียวกัน ซึ่งโดยปกติจะใช้ค่ารีพีททะบิลิตี้ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะสั้น (short – term measurement) ส่วนรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกัน แต่ต่างพนักงานกัน และโดยปกติจะใช้ค่าโปรดิวซิบิลิตี้ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะยาว (long – term measurement) นอกจากนี้ อาจจะกล่าวอย่างสั้น ๆ ได้ว่า รีพีททะบิลิตี้ คือ ความผันแปรภายในเงื่อนไขการวัดด้วยกัน ในขณะที่รีโปรดิวซิบิลิตี้ คือ ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของการวัด โดยเงื่อนไขที่กล่าวนี้ อาจจะหมายถึง พนักงานวัด กะวาน อุปกรณ์จับยึด (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์) และเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม เป็นต้น

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ และรีโปริวซิบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R - Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งแบบซ้ำ ๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขเดียวกัน

การวางแผนศึกษารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด

1. วิธีการและเวลาที่จะมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด การสอบเทียบเครื่องมือวัดถือเป็นการดำเนินการที่มีความสำคัญมากต่อการพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนด้านความถูกต้องในระบบการวัด โดยปกติแล้วจะต้องมีการสอบเทียบก่อนการศึกษารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้จะเริ่มต้นขึ้น และไม่ควรจะมีการสอบเทียบใหม่ถ้าหากการศึกษายังไม่สิ้นสุด เพราะถ้าหากมีการสอบเทียบใหม่ในระหว่างการศึกษา จะทำให้เกิดความผันแปรจากการสอบเทียบรวมอยู่กับค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัดด้วย

2. จำนวนพนักงานวัดที่ใช้สำหรับการศึกษา GR & R ในการกำหนดจำนวนพนักงานวัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาก่อนว่าในระบบการผลิตมีพนักงานวัด (คือผู้ใช้เครื่องมือวัดในการกำหนดค่าตัวเลขกับชิ้นงานเพื่อการตัดสินใจ) ในกรณีที่ระบบการวัดมีพนักงานวัดจำนวนหลายคน ให้ทำการสุ่มพนักงานวัดมาทำการศึกษาอย่างน้อย 2 คน โดยพนักงานวัดทุกคนต้องผ่านการฝึกอบรมและปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดในอุปกรณ์วัดที่ทำการศึกษาสำหรับงานประจำ

3. จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา GR & R จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษานั้น โดยปกติจะแนะนำไว้ที่ 10 สิ่งตัวอย่าง ซึ่งถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้ จะต้องพยายามให้ (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง) x (จำนวนของพนักงานวัด) มากกว่า 15 และถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้ให้เพิ่มจำนวนซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัวอย่าง และสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการวัดนี้ต้องเป็นสิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และในกรณีที่จะทำให้ระบบการวัดมีคุณภาพด้านความผันแปรเพียงพอต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการแล้ว จะต้องทำให้ข้อมูลแบ่งแยกได้ไม่ต่ำกว่า 5 กลุ่ม (ชิ้น)

4. จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น โดยปกติแล้วมักจะแนะนำให้ทำการวัดซ้ำที่แต่ละสิ่งตัวอย่างด้วยจำนวนซ้ำเท่า ๆ กัน (เรียกการทดลองแบบนี้ว่า balance design) ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดให้มีการวัดซ้ำสำหรับพนักงานวัดแต่ละคนด้วยจำนวน 2-3 ครั้งต่อชิ้นงานแต่ละชิ้น

5. วิธีการลดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างของการศึกษา GR & R ในการศึกษา GR & R บางกรณีนั้น จะไม่สามารถกำจัดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกจากการวัดซ้ำ (หรือการประเมินรีพีททะบิลิตี้ได้) จึงต้องมีความพยายามเลือกงานในล็อตให้มีความใกล้เคียงกันให้มากที่สุด

6. วิธีการประเมินผลรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ มีทั้งหมด 3 วิธี แต่ในที่นี้จะขออธิบายวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

- วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method)
- วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Method)
- วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) วิธีนี้เหมาะกับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้มาจากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าพนักงาน และชิ้นงาน เป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีการนี้จะสามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัด

ออกจากค่ารีพีททะบิลิตี้ได้ แต่อย่างไรก็ดี วิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่ยุ่งยากในการคำนวณ แต่ส่วนใหญ่วิธีการนี้จะใช้กับกรณีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการช่วยคำนวณ

ตารางที่ 2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความแม่นยำในการวัด

ปัจจัย	ตัวแปรสุ่ม	ตัวแบบผสม
พนักงานวัด	$F = MS_O/MS_{OP}$	$F = MS_O/MS_{OP}$
ชิ้นงานทดสอบ	$F = MS_P/MS_{OP}$	$F = MS_P/MS_E$
พนักงาน x ชิ้นงาน	$F = MS_{OP}/MS_E$	$F = MS_{OP}/MS_E$

ในการตีความหมายผลการวิเคราะห์จากตาราง ANOVA จะต้องเริ่มจากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วม (interaction effect) ระหว่างพนักงานและชิ้นงานก่อนเสมอ ซึ่งถ้าพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงานมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้พนักงานคนเดิมทำการวัดแล้วผลการวัดจะเปลี่ยนไป ซึ่งจะพบว่าอิทธิพลร่วมมีผลมาก และในกรณีที่อิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญนี้ก็ไม่มีความจำเป็นต้องตีความหมายจากอิทธิพลหลัก (main effect) ของพนักงานวัด หรือชิ้นงานอีก เพราะว่าแม้อิทธิพลหลักของพนักงานวัดจะดูเหมือนมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่แท้จริงแล้วมีอิทธิพลมาก

2. การวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา

- **สถิติและการควบคุมคุณภาพ**

(เจริญ สุนทรวาณิชย์, 2539) ได้ให้คำนิยามคำว่า สถิติไว้ดังนี้ สถิติ คือ ศาสตร์แขนงหนึ่งที่ใช้ตัดสินในเหตุการณ์ภายใต้ความผันแปร โดยการตัดสินใจประกอบด้วยการรวบรวม การวิเคราะห์ ตลอดจนการสรุปผลเพื่อดำเนินการจากข้อมูล

- **ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง (กานดา พูนลาภทวี, 2530)**

ประชากร (Population) หมายถึง จำนวนสมาชิกทุกหน่วยข้อมูลที่สนใจศึกษา สำหรับการแบ่งประเภทของประชากรสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก) ประชากรที่มีจำนวนจำกัดหรือนับถ้วน (Finite Population) เป็นประชากรที่มีสมาชิกจำนวนจำกัด และสามารถนับได้แน่นอน เช่น จำนวนโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

ข) ประชากรที่มีจำนวนไม่จำกัด (Infinite Population) เป็นประชากรที่มีจำนวนสมาชิกที่ไม่สามารถนับจำนวนที่แน่นอนได้ เช่น ปริมาณน้ำในมหาสมุทร

สิ่งตัวอย่าง (Sample) หมายถึง ส่วนหนึ่งของประชากรที่ถูกเลือกมาเพียงบางส่วนจากประชากรทั้งหมดเพื่อใช้เป็นตัวแทนในการศึกษา

- **ค่าพารามิเตอร์และค่าสถิติ**

ค่าพารามิเตอร์ (Parameter) หมายถึง ค่าที่แท้จริง ซึ่งใช้บรรยายลักษณะของประชากรคำนวณได้จากข้อมูลทั้งหมดของประชากร

ค่าสถิติ (Statistic) หมายถึง ค่าที่ใช้บรรยายลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นค่าที่คำนวณได้จากข้อมูลสิ่งตัวอย่าง โดยทั่วไปจะนำค่าสถิติไปใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์

- **ข้อมูล** (Data)

ข้อมูล หมายถึง ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับเรื่องที่สนใจศึกษา ซึ่งอาจอยู่ในรูปตัวเลข เช่น ความกว้าง ความยาว คะแนน น้ำหนัก ความสูง ระยะทาง หรืออาจเป็นข้อเท็จจริงที่อยู่ในรูปคุณลักษณะ หรือคุณสมบัติ เช่น ของดี ของเสีย เป็นต้น

การแบ่งประเภทของข้อมูล มีวิธีการแบ่งได้หลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา

1. จำแนกตามลักษณะการเก็บข้อมูลสามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก) ข้อมูลที่ได้จากการนับ (Counting Data) เป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้โดยใช้วิธีการนับ เช่น จำนวนชิ้นงานทั้งสิ้น 50 ชิ้น เป็นจำนวนชิ้นงานที่ได้มาตรฐาน 45 ชิ้น จำนวนชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐาน 5 ชิ้น ซึ่งจำนวนตัวเลข 45 และ 5 เป็นข้อมูลที่ได้จาการนับ ลักษณะของข้อมูลที่ได้จากการนับนี้โดยทั่วไปตัวเลขจะเป็นจำนวนเต็ม

ข) ข้อมูลที่ได้จากการวัด (Measurement Data) เป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้โดยใช้วิธีการวัด เช่นการวัดขนาดของชิ้นงาน การชั่งน้ำหนักปริมาณสินค้า จำนวนตัวเลขที่ได้จากวิธีการวัดจะเป็นตัวเลขต่อเนื่อง ซึ่งอาจจะเป็นตัวเลขทศนิยมหรือเศษส่วนก็ได้ เช่น ขนาดของชิ้นงานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.23 เซนติเมตร

2. จำแนกตามการจัดกระทำข้อมูล สามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก) ข้อมูลดิบ (Raw Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยยังไม่ได้นำข้อมูลเหล่านั้นมาจัดกระทำหรือจัดระเบียบ ข้อมูลเหล่านี้ยังคงปะปนกันอยู่ ไม่มีการจัดแบ่งเป็นประเภทหรือหมวดหมู่

ข) ข้อมูลที่จัดเป็นหมวดหมู่ (Group Data) เป็นข้อมูลที่มีการจัดกระทำให้เป็นหมวดหมู่อย่างเป็นระเบียบ มีการแจกแจงความถี่ ซึ่งจะช่วยให้ข้อมูลเหล่านี้ง่ายต่อการคำนวณ หรือการนำไปใช้

3. จำแนกตามลักษณะข้อมูล สามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก) **ข้อมูลเชิงปริมาณ** (Quantitative Data) **เป็นข้อมูลที่แสดงปริมาณหรือขนาด ในลักษณะตัวเลขโดยตรง เช่น ความกว้าง ความยาว อายุ น้ำหนัก**

ข) **ข้อมูลเชิงคุณภาพ** (Qualitative Data) **เป็นข้อมูลที่แสดงถึงคุณลักษณะไม่ได้อยู่ในรูปของตัวเลขโดยตรง เช่น ของดี ของเสีย**

- **ตัวแปร** (Variable)

ตัวแปร หมายถึง สิ่งที่มีความผันแปรซึ่งอาจจะเป็นทางด้านปริมาณ เช่น น้ำหนัก ความสูง อายุ ความเร็ว หรืออาจเป็นทางด้านคุณภาพ เช่น ของดี ของเสีย ตัวแปรเหล่านี้จะประกอบด้วยค่าต่าง ๆ กัน เช่น ในกลุ่มนักศึกษากลุ่มหนึ่ง นักศึกษาย่อมมีความสูงแตกต่างกัน ดังนั้นความสูงจึงถือว่าเป็นตัวแปร

การแบ่งประเภทของตัวแปร ถ้าพิจารณาตามคุณสมบัติของตัวแปรสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

ก) **ตัวแปรต่อเนื่อง** (Continuous Variable) หมายถึง ตัวแปรสามารถที่มีค่าต่อเนื่องกันระหว่างค่าสองค่าที่กำหนดให้ จะมีค่าอยู่ระหว่างค่าสองค่านั้นมากมาย เช่น ความสูง น้ำหนัก อายุ ระยะทาง ในด้านตัวแปรความสูง ช่วงความสูงระหว่าง 160-165 เซนติเมตร มีค่าความสูงที่เป็นไปได้มากมายนับไม่ถ้วน

ข) ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (Discrete Variable) หมายถึงตัวแปรที่มีค่าไม่ต่อเนื่องเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถกำหนดให้มีค่าย่อยระหว่างค่าสองค่าได้ เช่น จำนวนนักศึกษา จำนวนสมาชิก ค่าตัวเลขของตัวแปรเหล่านี้ไม่มีทศนิยม จะไม่มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือน 5.5 คน หรือจำนวนครัวเรือนที่ 1 และครัวเรือนที่ 2 จะไม่มีตัวเลขอยู่ระหว่าง 1 และ 2

- **สถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน**

ก) สถิติเชิงพรรณนา (Description Statistics) เป็นสถิติที่ศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลเพื่อบรรยายคุณลักษณะของสิ่งตัวอย่างหรือกลุ่มประชากรเฉพาะที่ใช้ในการศึกษาเท่านั้น โดยผลที่ได้จากการศึกษาเท่านั้น โดยผลที่ได้จากการศึกษาจะไม่นำไปสรุปอ้างอิงถึงสิ่งตัวอย่างหรือกลุ่มประชากรอื่น ๆ การศึกษาหาคำตอบจะบรรยายลักษณะหรือการแจกแจงของข้อมูลตามที่เก็บรวบรวมข้อมูลมาได้เท่านั้น ซึ่งอาจแสดงด้วยความถี่ของข้อมูล ร้อยละ สัดส่วน อัตราสัดส่วน การหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ข) สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) เป็นสถิติที่ศึกษาถึงข้อมูลจากสิ่งตัวอย่างแล้วนำข้อสรุปที่ได้ไปคาดคะเนหรือสรุปอ้างอิงถึงลักษณะประชากร โดยได้นำทฤษฎีความน่าจะเป็นมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากสิ่งตัวอย่าง เพื่อสรุปลักษณะของประชากร สถิติเชิงอนุมานจะเกี่ยวกับการประมาณค่า (Estimation) การทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis Testing)

ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ค่าสถิติและค่าพารามิเตอร์

ความหมาย	สัญลักษณ์	
	ค่าสถิติ	ค่าพารามิเตอร์
ค่าเฉลี่ย	$\bar{X}$	μ
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	S	σ
ความแปรปรวน	S^2	σ^2

- **การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง** (Central Tendency Measure)

(อดิศักดิ์ พงษ์พูลผลศักดิ์ ,2535) การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง ที่นิยมใช้โดยทั่วไปจะประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ฐานนิยม และมัธยฐาน ซึ่งการใช้ค่ากลางเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายของข้อมูลเป็นหลัก กล่าวคือ

ถ้าข้อมูลมีลักษณะการกระจายที่มีสมมาตรกันทั้งสองข้างของกราฟข้อมูล การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางก็จะวัดด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิต แต่ถ้ากราฟของข้อมูลมีลักษณะเบ้ไปทางใดทางหนึ่ง การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางจะวัดด้วยมัธยฐาน และถ้าข้อมูลมีค่าของจำนวนข้อมูลเกิดบ่อยที่สุด เราก็จะวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางด้วยฐานนิยม

จากการที่กล่าวมานี้ในการสร้างแผนภูมิเพื่อการควบคุมคุณภาพสินค้า มักจะวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางด้วย ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ทั้งนี้เนื่องจากการตรวจสอบคุณภาพของกระบวนการผลิตจะนิยมใช้ขนาดตัวอย่างมาก จะทำให้ข้อมูลมีลักษณะการกระจายสมมาตรกันทั้งสองข้าง ดังนั้นในการสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพของสินค้าจึงนิยมวัดค่ากลางของข้อมูลด้วย ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

ส่วนการวัดค่ากลางของข้อมูลด้วยมัธยฐานและฐานนิยม จะมีความสัมพันธ์กับแผนภูมิควบคุมคุณภาพสินค้าน้อยมาก ซึ่งถ้าจะใช้ค่ามัธยฐานและฐานนิยมในการสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพแล้ว จะต้องมีการปรับค่าความถี่ของข้อมูลก่อน จึงจะสามารถสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพสินค้าได้อย่างเหมาะสม

ก) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) คือผลรวมทั้งหมดของข้อมูลกลุ่มหนึ่งหารด้วยจำนวนทั้งหมดของข้อมูลกลุ่มนั้น เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\bar{X}$ การคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิตมีวิธีดังนี้ ถ้าให้ข้อมูลกลุ่มหนึ่งมีค่าสังเกตจำนวน n ข้อมูล และ $X_1, X_2, X_3, \ldots, X_n$ เป็นค่าสังเกตของข้อมูลขนาด n ข้อมูลดังนั้น

$$\bar{x} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \ldots\ldots + X_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i}^{n} X_i$$

เมื่อ $\bar{x}$ แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูล

n แทนจำนวนค่าสังเกต

ข) ค่ามัธยฐาน (Median) ในการวัดค่ากลางของข้อมูลในกรณีที่มีข้อมูลเบ้ไปทางใดทางหนึ่ง การวัดค่ากลางของข้อมูลจะวัดค่ามัธยฐาน ซึ่งการนิยามค่ามัธยฐานจะนิยามไว้ดังนี้

มัธยฐาน หมายถึง ข้อมูลที่อยู่ตรงกลางเมื่อเรียงข้อมูลจากน้อยไปหามาก หรือเรียงข้อมูลจากมากไปหาน้อย ซึ่งการพิจารณาค่าอยู่ตรงกลางนี้ จะพิจารณาจากจำนวนข้อมูล ดังนี้

$$Me = \frac{X_{n/2} + X_{(n/2+1)}}{2}$$ เมื่อ n เป็นจำนวนคู่

$$Me = X_{(n+1)/2}$$ เมื่อ n เป็นจำนวนคี่

เมื่อ Me แทนค่ามัธยฐานของข้อมูล

n แทนจำนวนข้อมูล

X_n แทนข้อมูลตัวที่ n

ค) ฐานนิยม (Mode) ฐานนิยมเป็นเซตของจำนวนข้อมูลที่มีค่าเกิดขึ้นมากที่สุด หรือเกิดบ่อยที่สุดการวัดค่ากลางในกรณีนี้จะไม่ค่อยเกิดขึ้นบ่อยครั้งนักกับวงการอุตสาหกรรม ฐานนิยมก็คือข้อมูลที่เกิดบ่อยที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบตัววัดแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง

(เจริญ สุนทรวาณิชย์, 2539)

	สัญลักษณ์	นิยาม	คำอธิบายเสริม
ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	$\bar{x}$	$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$	▪ คำนวณจากข้อมูลทุกตัว ▪ ใช้เป็นตัวกำหนดแนวโน้มศูนย์กลาง ▪ ไม่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีการกระจายผิดปกติ เช่น มีค่าสูงมาก หรือ ต่ำมาก ▪ มีความคลาดเคลื่อนในการชักตัวอย่างต่ำ
ค่ามัธยฐาน	Me	ค่ากลางของข้อมูลทั้งหมด	▪ แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน ▪ เหมาะสมกับข้อมูลที่มีการกระจายผิดปกติ ▪ มีความคลาดเคลื่อนในการชักตัวอย่างสูงเมื่อเทียบกับ $\bar{x}$
ค่าฐานนิยม	Mo	ค่าที่มีความถี่สูงสุด	▪ เป็นตัวกำหนดค่าแนวโน้มสู่ศูนย์กลาง ▪ ไม่ค่อยนิยมใช้ โดยเฉพาะข้อมูลต่อเนื่อง

- **การวัดการกระจายของข้อมูล** (Dispersion)

การสร้างแผนภูมิควบคุม นอกจากจะใช้ค่ากลางของข้อมูลแล้วยังต้องใช้ค่าที่ได้จากการวัดการกระจายของข้อมูล เพื่อพิจารณาถึงความกว้างของข้อมูลว่า มีลักษณะการกระจายไปมากน้อยเพียงใด และในการสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพก็จะใช้ค่าที่ได้จากการวัดการกระจายเพื่อดูลักษณะของข้อมูลว่าเบี่ยงเบนไปจากค่ากลางของข้อมูลมากน้อยเพียงใด ในการวัดการกระจายของข้อมูลมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะในส่วนของการวัดากรกระจายที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพ ดังนี้คือ (ก) การวัดการกระจายด้วยพิสัย (Range) (ข) การวัดการกระจายด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

(ก) พิสัย (Range) คือ การวัดการกระจายของข้อมูลด้วยค่าของผลต่างของข้อมูลสูงสุดกับข้อมูลต่ำสุดเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ R ซึ่งถ้าให้ X_n เป็นค่าของข้อมูลสูงสุด และ X_1 เป็นค่าของข้อมูลต่ำสุด ดังนั้น

$$R = X_n - X_1$$

(ข) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เป็นวิธีวัดการกระจายของข้อมูลรอบ ๆ ค่าเฉลี่ย กล่าวคือ ถ้าค่าของข้อมูลอยู่ห่างค่าเฉลี่ยมาก การกระจายของข้อมูลก็มีค่ามาก นิยามของส่วน

เบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ รากที่สองของส่วนเฉลี่ยเลขคณิตของผลต่างกำลังสองระหว่างข้อมูลแต่ละค่า กับส่วนเฉลี่ยเลขคณิต $\bar{x}$ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ σ

ซึ่งถ้าให้ $X_1, X_2, X_3, \ldots, X_n$ เป็นค่าของข้อมูลแต่ละค่า และ $\bar{x}$ เป็นส่วนเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลชุดนี้ ดังนั้น

$$\sigma = \sqrt{1/n \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\sigma = \sqrt{1/n \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \bar{x}^2}$$

- **การแจกแจงปกติ** (Normal Distribution)

เทคนิควิธีการต่าง ๆ ในหลายสาขาวิชา มักจะใช้การประยุกต์สถิติบนพื้นฐานของการแจกแจงปกติเพื่อการศึกษาถึงการกระจายของข้อมูล สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการแจกแจงปกติเพื่อใช้ประยุกต์กับการสร้างแผนภูมิ

ถ้า X เป็นตัวแปรเชิงสุ่ม เราจะกล่าวว่า X มีการแจกแจงปกติ

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

เมื่อ μ แทนค่าเฉลี่ยของประชากรและ σ แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร หรือพารามิเตอร์ (parameter) ซึ่งมีลักษณะทั่วไปของการแจกแจงปกติ คือ

1. เป็นโค้งรูประฆังคว่ำ สามารถกับแกนตั้งที่ลากเส้นผ่านค่าเฉลี่ย μ
2. ฐานนิยมเดียว มีจุดสูงสุด $x = \mu$
3. กราฟลดลงอย่างต่อเนื่องทั้งสองข้างมีจุดเปลี่ยนเว้าที่ $x = \mu \pm \sigma$ ปลายโค้งจะลดลงเข้าหาแกน x เมื่อ x ห่างจากค่าเฉลี่ย แต่จะไม่บรรจบกับแกน x
4. พื้นที่ภายใต้เส้นโค้งจะมีเท่ากับ 1 นั่นคือ

การแจกแจงปกติจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ และ ความแปรปรวน คือ σ ในการหาพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งแบบปกติในทางปฏิบัติจะเปลี่ยนการแจกแจงของตัวแปรเชิงสุ่ม x จากการแจกแจงปกติมีค่าเฉลี่ยเท่า

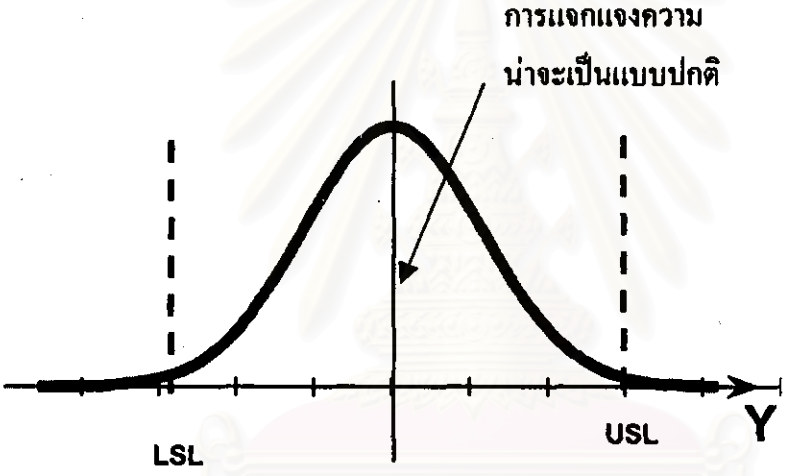
กับ μ และ ความแปรปรวน คือ σ ให้เป็นการแจกแจงปกติมาตรฐานที่มี ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และความแปรปรวนเป็น 1ด้วยตัวแปรเชิงสุ่ม Z โดยที่

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

มีฟังก์ชั่นการแจกแจงความน่าจะเป็นคือ

$$f(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-Z^2/2}$$

เรียก $f(z)$ นี้ว่าการแจกแจงปกติมาตรฐาน มีกราฟเป็นรูประฆังคว่ำที่สมมาตรกับแกนตั้งที่ลากผ่านค่าเฉลี่ย $\mu = 0$ และค่าความแปรปรวน $\sigma^2 = 1$ ดังรูปที่



รูปที่ 2.7 แสดงการแจกแจงแบบปกติ

ค่าพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งในตารางจะเป็นพื้นที่สะสมที่คำนวณจาก

$$P(Z \leq z) = F(z) = \int_{-\infty}^{z} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2t^2} \, dt$$

ซึ่งพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งของการแจกแจงแบบปกติภายใต้ขอบเขตต่าง ๆ จะกำหนดได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงขอบเขตของพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งแบบปกติ

ขอบเขต	พื้นที่ภายใต้เส้นโค้ง
$\mu \pm 0.6745\sigma$	50.00%
$\mu \pm \sigma$	68.26%
$\mu \pm 2\sigma$	95.46%
$\mu \pm 3\sigma$	99.73%

- การประมาณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร (σ)

ในการสุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบคุณภาพของสินค้า เราพยายามที่จะใช้ทุนการตรวจสอบน้อยที่สุด โดยให้มีประสิทธิภาพของการตรวจสอบมากที่สุด นั่นคือ ถ้าขนาดตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบมีขนาดใหญ่มาก ต้นทุนการตรวจสอบก็มีมาก ประสิทธิภาพของการตรวจสอบก็ดี ราคาสินค้าก็แพง แต่ถ้าต้องการลดขนาดของตัวอย่างให้น้อยลง ต้นทุนการตรวจสอบก็ลดลง ประสิทธิภาพการตรวจสอบก็ลดลง ราคาสินค้าก็ลดลงตามมาด้วย แต่ปัญหาอยู่ที่ว่าในการตรวจสอบคุณภาพของสินค้านั้นต้องการใช้ต้นทุนการตรวจสอบน้อย โดยให้มีประสิทธิภาพของการตรวจสอบมาก ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ในทางปฏิบัติจึงได้ทำการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาเพียงบางส่วน เพื่อใช้เป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจากกระบวนการผลิต ด้วยการสุ่มตัวอย่างมาจากแต่ละกลุ่มย่อย แล้วทำการตรวจสอบทุกหน่วยที่เลือกมา

ถ้าประชากรมีการแจกแจงแบบปกติแล้ว เลือกตัวอย่างจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติจากการสุ่มตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างก็ยังคงมีการแจกแจงเป็นแบบปกติด้วย

ในกรณีที่ประชากรไม่มีการแจกแจงแบบปกติ การแจกแจงค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ ก็จะไม่มีการแจกแจงเป็นแบบปกติ แต่ถ้าเลือกตัวอย่างขนาดใหญ่พอแล้ว การแจกแจงค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ ก็สามารถประมาณได้ด้วยการแจกแจงปกติด้วยทฤษฎีขอบเขตเข้าสู่ส่วนกลาง ดังนี้

ทฤษฎีขอบเขตเข้าสู่ส่วนกลาง (Central Limit Theorem) ถ้า $\bar{x}$ เป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่างสุ่มที่มีขนาด n จากประชากรที่มีค่าเฉลี่ย μ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ เมื่อ $n \rightarrow \infty$ การแจกแจง $Z = X - \mu$ จะประมาณได้ด้วยการแจกแจงปกติมาตรฐานที่มี $\mu = 0$ และ $\sigma = 1$

กรณีที่กล่าวว่า n มีขนาดใหญ่ในทางปฏิบัติจะกำหนดให้ $n \geq 30$ ไม่จำเป็นต้องสนใจถึงการแจกแจงของประชากร แต่ขอให้ทราบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรก็พอแล้ว การประมาณการแจกแจงค่าเฉลี่ยก็จะประมาณได้ด้วยการแจกแจงแบบปกติ และถ้า $n < 30$ บางครั้งอาจใช้

การแจกแจงแบบประมาณได้ ถ้าเลือกตัวอย่างจากประชากรที่มีการแตกแจงไม่แตกต่างจากการแจกแจงแบบปกติ กล่าวคือ ข้อมูลที่มีลักษณะสมมาตร การประมาณการแจกแจงค่าเฉลี่ยจะประมาณได้ด้วยการแตกแจงปกติมาตรฐาน

การแจกแจงการสุ่มตัวอย่างข้างต้น ในการควบคุมคุณภาพ จัดได้ทำการสุ่มตัวอย่างจากแต่ละกลุ่มย่อย ภายใต้ข้อสมมุติที่ว่าข้อมูลที่ได้จากกระบวนการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นการสุ่มตัวอย่างจากกลุ่มย่อยมากลุ่มละ 4 หรือมากกว่า 5 ตัวอย่าง จำนวน m กลุ่มย่อยภายใต้กฎเกณฑ์ที่ว่า ถ้าสุ่มตัวอย่างจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ การแจกแจงค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างก็จะมีการแจกแจงแบบปกติด้วย

สำหรับกรณีถ้าประชากรไม่มีการแจกแจงแบบปกติ แต่การแจกแจงของประชากรสมมาตร มีฐานนิยมเดียวและเป็นการแจกแจงของข้อมูลที่วัดด้วยตัวแปรเชิงสุ่มชนิดต่อเนื่องแล้ว การใช้ขนาดตัวอย่างขนาด 4 หรือ 5 ตัวอย่าง ก็เพียงพอในการประมาณค่าเฉลี่ยด้วยการแจกแจงแบบปกติ

ในทางปฏิบัติขนาดตัวอย่าง (n) ที่ใช้สำหรับการสุ่มตัวอย่างในแต่ละกลุ่มย่อยจะใช้อย่างน้อย 4 ตัวอย่าง แต่จะใช้มากกว่านี้ก็ได้ การประมาณค่าเฉลี่ยของตัวอย่างแต่ละกลุ่มย่อยจะประมาณด้วย $\bar{x}$ และวัดการกระจายของตัวอย่างแต่ละกลุ่มย่อยด้วย S และ R แต่ประเด็นสำคัญของการควบคุมคุณภาพการสร้างแผนภูมิควบคุมคุณภาพ ก็คือ การหาค่าประมาณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร (σ)

การประมาณค่า σ ได้เมื่อในการควบคุมคุณภานเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสุ่มตัวอย่างมากลุ่มย่อยละ 4 ตัวอย่างหรือมากกว่า แล้วทำการวัดการกระจายของข้อมูลในแต่ละกลุ่มย่อย จะใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง ($\bar{S}$) หรือค่าพิสัยเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง ($\bar{R}$) ในการประมาณค่า σ ได้ ซึ่งการประมาณค่า σ สามารถประมาณค่าได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง σ กับ $\bar{S}$ และจากความสัมพันธ์ระหว่าง σ กับ $\bar{R}$

(ก) การประมาณค่า σ จากความสัมพันธ์ระหว่าง σ กับ $\bar{S}$

σ' คือ ค่าประมาณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

n คือ ขนาดตัวอย่างในแต่ละกลุ่มย่อย

c_2 คือ ค่าที่กำหนดในตาราง ข ภาคผนวก ก

$\bar{S}$ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

ดังนั้นจะได้ค่าประมาณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร คือ

$$\sigma' = \bar{S}/c_2$$

(ข) การประมาณค่า σ จากความสัมพันธ์ระหว่าง σ กับ $\bar{R}$

σ' คือ ค่าประมาณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

n คือ ขนาดตัวอย่างในแต่ละกลุ่มย่อย

d_2 คือ ค่าที่กำหนดในตาราง ข ภาคผนวก ก

$\bar{R}$ คือ ค่าพิสัยเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

ดังนั้นจะได้ค่าประมาณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร คือ

$$\sigma' = \bar{R}/d_2$$

(ค) (ภรณี เจริญภักดร์ และคณะ ,2536) การประมาณค่า σ เมื่อสุ่มตัวอย่างจากประชากรที่ไม่มีลักษณะการแจกแจงปกติ หากไม่ทราบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรให้ใช้ขนาดตัวอย่าง $n \geq 30$ เมื่อใช้ขนาดตัวอย่างดังกล่าว สามารถใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง แทนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรได้ (แม้ไม่ทราบค่า σ ก็ให้ใช้ S แทน σ ได้)

- **การแจกแจงความน่าจะเป็นไม่ต่อเนื่อง**

การแจกแจงความน่าจะเป็นไม่ต่อเนื่อง คือ การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่มีค่าไม่ต่อเนื่องโดยการแจกแจงความน่าจะเป็นไม่ต่อเนื่องที่มักใช้มากในงานด้านคุณภาพ ได้แก่ การแจกแจงทวินาม (Binomial Distribution) การแจกแจงไฮเปอร์จีออเมตริก (Hypergeometric Distribution) และการแจกแจงปัวส์ซอง (Poisson Distribution)

ก) การแจกแจงทวินาม (Binomial Distribution)

การแจกแจงทวินามเป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นไม่ต่อเนื่องที่มีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในงานวิศวกรรม เนื่องจากการแจกแจงทวินามเป็นพื้นฐานของการประเมินผลตัวอย่างจากประชากรแบบคุณภาพ (Qualitative) ซึ่งผลการประเมินผลตัวอย่างจากประชากรแบบคุณภาพโดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ประเภท เช่น ดี เสีย พึงพอใจหรือไม่พอใจ สำเร็จหรือล้มเหลว ฯลฯ การแจกแจงทวินามเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ที่เกิดจากอนุกรมของการทดลองแบบสุ่มซึ่งการทดลองแบบสุ่มนี้เรียกว่า Bernoulli Process โดยมีสมมติฐาน ดังนี้

- การทดลองสุ่มแต่ละครั้งเป็นการลอง (Trial) ที่มีผลลัพธ์ 2 ประเภท เรียกว่า ความสำเร็จและความล้มเหลว
- ความน่าจะเป็นของความสำเร็จมีค่าคงที่ทุกครั้งที่ทดลอง
- การทดลองแต่ละครั้งเป็นอิสระต่อกัน

การแจกแจงทวินามทำให้เกิดความน่าจะเป็นสำหรับจำนวนของการสังเกตที่ตกลงไปอยู่ในประเภทใดประเภทหนึ่งของผลลัพธ์ เช่น ความน่าจะเป็นที่จะมีจำนวนความสำเร็จ X ครั้งที่เกิดขึ้นในการทดลองของ Bernoulli Process n ครั้ง หรือความน่าจะเป็นที่จะมีของดี x ชิ้น ในการสุ่ม n ชิ้น ความน่าจะเป็นของการแจกแจงทวินามคำนวณได้จาก

$$b\,(x;n,p) = \begin{pmatrix} n \\ p \end{pmatrix} p^{x}\,(1-p)^{n-x}$$

เมื่อ x แทนตัวแปรสุ่มทวินาม ซึ่งอาจจะเป็นจำนวนครั้งของความสำเร็จหรือความล้มเหลว

n แทนจำนวนครั้งของการกระทำ

p แทนความน่าจะเป็นของความสำเร็จที่เกิดขึ้นจากการกระทำแต่ละครั้ง

$b\,(x;n,p)$ แทนความน่าจะเป็นของการแจกแจงทวินามของตัวแปรสุ่ม x

นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณความน่าจะเป็นสะสมได้จาก

$$P\,(x \leq r) = B\,(r;\,n,p) = \sum_{x=0}^{r} b\,(x;n,p)$$

ข) การแจกแจงปัวส์ซอง (Poisson Distribution)

การแจกแจงปัวส์ซอง เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นไม่ต่อเนื่องที่เกี่ยวกับเหตุการณ์เพียงเหตุการณ์เดียวที่เกิดจากการทดลองโดยจำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะไม่แน่นอน แต่จะขึ้นกับอัตราการเกิดเหตุการณ์เฉลี่ยในบริเวณหนึ่ง ๆ จะลดลง เมื่อช่วงเวลาสั้นลงหรือบริเวณนั้น ๆ เล็กลง กล่าวคือโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์หนึ่งมากกว่า 1 ครั้งจะแปรผันตรงกับช่วงเวลาหรือขนาดของบริเวณ และเมื่อขนาดของช่วงเวลาสั้นมากหรือในบริเวณที่มีขนาดเล็กมาก ๆ จนเกือบเป็นศูนย์ โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์หนึ่งมากกว่า 1 ครั้ง สามารถประมาณให้มีค่าเป็นศูนย์ได้

การแจกแจงปัวส์ซองทำให้เกิดความน่าจะเป็นสำหรับจำนวนครั้งของเหตุการณ์ของเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง โดยค่าความน่าจะเป็นนี้ สามารถคำนวณได้จาก

$$p(x;\mu) = \frac{\mu^{x} e^{-\mu}}{x!}$$

เมื่อ x แทนตัวแปรสุ่มปัวส์ซอง

μ แทนค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหรือบริเวณหนึ่ง

$p(x;\mu)$ แทนความน่าจะเป็นปัวส์ซองของตัวแปรสุ่ม x

e = 2.71828....

นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณความน่าจะเป็นสะสมได้จาก

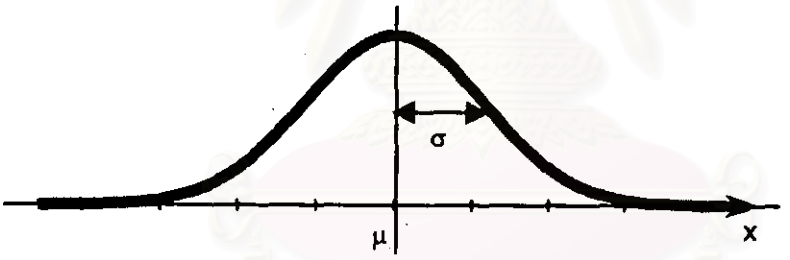
$$P(x \leq c) = \sum_{x=0}^{c} p(x;\mu)$$

ค) การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่อง

การแจกแจงความน่าจะเป็นต่อเนื่อง คือ การแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่มีค่าต่อเนื่อง โดยการแจกแจงความน่าจะเป็นต่อเนื่องที่มักใช้มาก ได้แก่ การแจกแจงปกติ การแจกแจงเอ็กซโปเนนเชียล และการแจกแจงแบบไคสแควร์

1. การแจกแจงปกติ

การแจกแจงปกติ เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มส่วนมากจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของตัวแปรเหล่านั้นแต่จะมีตัวแปรสุ่มเพียงส่วนน้อยที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปร ซึ่งทำให้การแจกแจงปกตินี้เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นต่อเนื่องที่ใช้มาก เนื่องจากค่าในการวัดทางด้านกายภาพส่วนมาก เช่น ความยาวของชิ้นงานที่ตัดจากเครื่องตัด จะมีการแจกแจงความถี่ที่ใกล้เคียงกับเส้นโค้งปกติซึ่งเป็นเส้นโค้งที่แสดงให้เห็นความถี่ของตัวแปรสุ่มแต่ละค่ามีรูปร่างเป็นรูปทรงระฆังคว่ำ (Bell Shape)



รูปที่ 2.8 แสดงเส้นโค้งปกติ

เส้นโค้งปกติมีคุณสมบัติดังนี้

1) ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน และ ฐานนิยม อยู่ที่ $x = \mu$
2) เส้นโค้งจะสมมาตรกับแกนที่ลากตั้งฉากผ่าน $x = \mu$
3) เส้นโค้งมีจุดเปลี่ยนเว้าที่ $x = \mu \pm \sigma$ โดยเส้นโค้งจะโค้งลงในช่วง $\mu - \sigma < x < \mu + \sigma$ แต่จะโค้งขึ้นในช่วงที่เหลือ
4) ปลายโค้งจะลู่เข้าหาแกนนอน เมื่อ x มีค่าห่างจาก μ มากขึ้นแต่จะไม่ตัดแกนนอน
5) พื้นที่ทั้งหมดที่อยู่ใต้เส้นโค้ง และอยู่เหนือแกนนอนมีค่าเท่ากับ 1

หากการแจกแจงปกติใดมีค่าเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 0 และมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 1 จะเรียกการแจก

แจงนั้นว่า การแจกแจงปกติมาตรฐาน (Standard Normal Distribution)

การแจกแจงปกติ ทำให้เกิดความน่าจะเป็นสำหรับตัวแปรสุ่มเป็นช่วง เช่น ความน่าจะเป็นที่ตัวแปรสุ่มมีค่าระหว่าง x_1 ถึง x_2 การคำนวณความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติสามารถคำนวณได้จากการหาพื้นที่ใต้เส้นโค้งปกติ และเพื่อความสะดวกในการหาค่าความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติ จึงได้มีการนำการแจกแจงปกติมาตรฐานมาช่วยในการคำนวณ โดยการปรับตัวแปรสุ่มของการแจกแจงปกติใด ๆ ให้สอดคล้องกับการแจกแจงปกติมาตรฐาน

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

โดยที่ z = ตัวแปรสุ่มของการแจกแจงปกติมาตรฐาน

x = ตัวแปรสุ่มของการแจกแจงปกติใด ๆ

μ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มของการแจกแจงปกติใด ๆ

σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงปกติใด ๆ

2. การแจกแจงเอ็กซโปเนนเชียล (Exponential distribution)

การแจกแจงเอ็กซโปเนนเชียล เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นที่มีการประยุกต์ในงานด้านวิศวกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น การประเมินความเชื่อถือได้ การประยุกต์ใช้ในทฤษฎีแถวคอย เป็นต้น การแจกแจงเอ็กซโปเนนเชียลมีลักษณะใกล้เคียงกับการแจกแจงปัวส์ซองจะแตกต่างกันตรงที่การแจกแจงปัวส์ซองเป็นการแจกแจงของตัวแปรสุ่มไม่ต่อเนื่อง แต่การแจกแจงเอ็กซโปเนนเชียลเป็นการแจกแจงของตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง ดังนั้นสมมุติฐานต่าง ๆ ที่ใช้กับการทดลองปัวส์ซองจึงถูกนำมาใช้กับการแจกแจงแบบเอ็กซโปเนนเชียลด้วย

การแจกแจงเอ็กซโปเนนเชียล ทำให้เกิดความน่าจะเป็นสำหรับจำนวนเวลาหรือขนาดของบริเวณระหว่างที่เหตุการณ์ที่สำเร็จเกิดขึ้นในการทดลองปัวส์ซองที่มีลักษณะการเกิดเป็นแบบสุ่มภายใต้สภาวะต่าง ๆ

3. การแจกแจงไคสแควร์ (Chi-Square Distribution)

การแจกแจงไคสแควร์ เป็นการแจกแจงที่ใช้มากในการทดสอบสมมุติฐาน โดยการแจกแจงแบบไคสแควร์จะเป็นการแจกแจงของตัวแปรสุ่มที่เป็นผลรวมของค่ากำลังสองของตัวแปรสุ่มปกติหลาย ๆ ตัว ดังนั้น การแจกแจงไคสแควร์จึงใช้แทนการแจกแจงของการสุ่มตัวอย่าง s^2 เมื่อตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ

- **กราฟที่ใช้ในการวิเคราะห์**

ก) ผังการกระจาย

(อิโตชิ คุเมะ , ผู้เขียน ,วีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์, ผู้แปล, 2541)

ในทางการควบคุมกระบวนการผลิต ปัญหาที่พบบ่อย คือ การปรับค่าตัวแปรแล้วส่งผลถึงความเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรอีกตัวหนึ่ง จึงจำเป็นต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 2 ตัวเพื่อจะใช้แนวทางในการควบคุมการผลิต ดังนั้นผังการกระจาย *(Scatter Diagram)* เป็นเครื่องมือหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงของตัวแปรทั้ง 2 ตัวได้

ผังการกระจาย จะมีลักษณะการเกาะกลุ่มและการกระจายของจุดแสดงข้อมูลที่แตกต่างกันออกไปจากกลุ่มของข้อมูลในผังการกระจายนี้ เราสามาระใช้เพื่อการอนุมานหาความสัมพันธ์ของข้อมูลแกน x และ y ซึ่งในทางสถิติเรียกความสัมพันธ์เช่นนี้ว่า สหสัมพันธ์ (Correlation)

ข) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

(อิโตชิ คุเมะ , ผู้เขียน ,วีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์, ผู้แปล, 2541)

หากวิเคราะห์เรื่องของปัญหาด้านคุณภาพ พบว่า จุดบกพร่องไม่กี่ชนิดทำให้เกิดความสูญเสียมากมาย ขณะที่ความสูญเสียเล็ก ๆ น้อย ๆ ที่เหลือนั้นมีสาเหตุจากจุดบกพร่องหลายชนิดมาก จึงมีคำกล่าวเรียกชนิดของจุดบกพร่อง 2 ประเภทนี้ว่า

1. ประเภทน้อยชนิดแต่มีผลมาก (The Vital Few)
2. ประเภทมากชนิดแต่มีผลน้อย (The Trivial Many)

แผนภูมิพาเรโต เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างมากในการหาปัญหาที่ก่อให้เกิดผลเสียอย่างมากมาย แผนภูมิพาเรโตมีลักษณะเป็นกราฟแท่งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของข้อมูลที่แสดงโดยใช้แกนตั้งกับประเภทของข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาซึ่งแสดงโดยใช้แกนนอนและเรียงลำดับตามข้อมูลที่รวบรวมมาจากมากไปน้อย

แผนภูมิพาเรโต เป็นการนำเนอข้อมูลโดยใช้กราฟแท่งแทนข้อมูลทำให้สามารถมองเห็นปัญหาได้อย่างชัดเจนกว่าการนำเสนอข้อมูลในรูปของตารางที่มีค่าเป็นตัวเลขเพียงอย่างเดียว

หลักการของแผนภูมิพาเรโต

แผนภูมิพาเรโต สามารถใช้ในการหาปัญหาที่มีความรุนแรงมากได้ เนื่องจากแผนภูมิพาเรโตจะแยกลำดับความสำคัญของปัญหาตามข้อมูลที่รวบรวมมา ซึ่งข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาอาจจะเป็นจำนวนของเสียแต่ละประเภท

การนำแผนภูมิพาเรโตมาช่วยในการหาปัญหานั้น ใช้หลักการที่ว่าร้อยละ 80 ของปัญหาที่เกิดขึ้นจะมาจากร้อยละ 20 ของส่งที่อาจทำให้เกิดปัญหา หรือกล่าวได้ว่า ปัญหาที่เกิดส่วนใหญ่จะมีสาเหตุมาจากสาเหตุเพียง 2-3 สาเหตุ ดังนั้น เมื่อนำแผนภูมิพาเรโตมาใช้จะทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ ซึ่งจะได้นำไปสู่การหาสาเหตุของปัญหา และกำหนดมาตรการในการแก้ไขสาเหตุของปัญหานั้น ๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว เมื่อกำจัดสาเหตุของปัญหาหนึ่งไปแล้ว จะทำให้ปัญหาอื่น ๆ มีแนวโน้มลดลงไปด้วย

ค) การแจกแจงและฮีสโตแกรม

(ฮิโตชิ คุเมะ , ผู้เขียน ,วีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์, ผู้แปล, 2541) กล่าวว่า ถ้าสามารถควบคุมให้ปัจจัยต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตให้คงที่สม่ำเสมอตลอดเวลา ข้อมูลที่เก็บได้จากกระบวนการผลิตอันนั้นก็จะมีค่าคงที่ แต่ในทางเป็นจริงแล้วเป็นไปไม่ได้ เพราะปัจจัยการผลิตแต่ละตัวจะมีความผันแปร (Variation) อยู่ตลอดเวลาแม้จะเพียงเล็กน้อยก็ตาม ผลก็คือข้อมูลจากการผลิตนั้นก็จะแปรผันหรือเกิดความผันแปรไปด้วยเสมอตลอดเวลา

ถึงแม้ว่าข้อมูลที่เก็บได้จริงจากกระบวนการผลิต จะต้องมีความแตกต่างกันตลอดเวลา แต่ก็ใช่ว่าจะไม่มีรูปแบบแห่งความผันแปรที่ไม่แน่นอนแต่ว่าความผันแปรของข้อมูลเหล่านั้น ได้เกิดขึ้นเป็นไปตามกฎเกณฑ์บางอย่างที่เรียกว่า มีการแจกแจง (Distirbution) ที่มีรูปแบบที่ศึกษาได้

ฮิสโตแกรมเป็นการนำเสนอข้อมูลโดยใช้กราฟแทนข้อมูลที่แสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของข้อมูลนอกเหนือจากที่จะสามารถสังเกตได้จากการแสดงในรูปตาราง ซึ่งฮิสโตแกรมจะถูกนำมาใช้เมื่อ

1) ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลมีความสำคัญในการวิเคราะห์
2) ค่าของข้อมูลมีความแปรผันหรือแตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างนี้ย่อมจะเกิดขึ้นได้กับกระบวนการทุกกระบวนการ เนื่องจากการรักษาไว้ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ให้คงที่ตลอดเวลาเป็นส่องที่เป็นไปไม่ได้
3) ความผันแปรของข้อมูลแสดงให้เห็นรูปแบบของข้อมูล ซึ่งเรียกว่าการแจกแจง (Distribution) เช่น ข้อมูลทุกข้อมูลอยู่ภายในข้อกำหนด ข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ใกล้ข้อกำหนดสูงสุด
4) รูปแบบของข้อมูลไม่สามารถสังเกตได้โดยใช้ตาราง
5) รูปแบบของข้อมูลจะสังเกตได้ง่ายเมื่อแสดงในฮิสโตแกรม

รูปแบบของฮิสโตแกรมที่สำคัญ มีรายละเอียดดังนี้

1) Bell- Shaped เป็นรูปร่างที่มีความสมมาตร โดยมีจุดกึ่งกลางของข้อมูลเป็นจุดสูงสุด และเป็นแกนสมมาตร ซึ่งเป็นรูปร่างแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลปกติ
2) Double- Peaked เป็นรูปร่างที่เกิดจาก 2 Bell-Shaped มาต่อกันแล้วทำให้จุดกึ่งกลางของข้อมูลเป็นจุดที่มีความถี่ต่ำสุดซึ่งเป็นความผิดปกติของข้อมูล ที่อาจเกิดจากการมีข้อมูล 2 ชุดที่เกิดจากวิธีการทำงานที่ต่างกัน
3) Plateau เป็นรูปร่างที่ไม่มียอดเด่นของข้อมูล ความถี่ของข้อมูบใกล้เคียงกันแต่ที่ขอบของข้อมูลมีความถี่ลดลงเล็กน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความแปรผันมากซึ่งอาจเกิดจากการทำงานโดยไม่มีการฝึกหรือกระบวนการผลิตมีความแปรปรวนมาก

4) Comb เป็นรูปร่างที่มียอดสูงต่ำสลับกันไป ซึ่งมักเกิดจากความผิดพลาดในการเก็บข้อมูล หรือการกำหนดชั้น

5) Skewed เป็นรูปร่างไม่สมมาตรโดยยอดที่สูงจะไม่อยู่กึ่งกลางของข้อมูล ถ้าหากข้อมูลที่มีความถี่มากอยู่ทางด้านขวาจะเรียกว่า ข้อมูลเบ้ซ้าย และถ้าหากข้อมูลที่มีความถี่มากอยู่ทางด้านซ้ายจะเรียกว่า ข้อมูลเบ้ขวา ซึ่งการที่ข้อมูลมีความเบ้อาจเกิดจากความผิดปกติของกระบวนการ

6) Truncated เป็นรูปร่างที่ไม่สมมาตรโดยมียอดของฮิสโตแกรมอยู่สูงที่ขอบด้านใดด้านหนึ่ง แล้วการกระจายของข้อมูลจะค่อย ๆ ลดลงอีกด้านหนึ่ง ซึ่งการที่ฮิสโตแกรมมีรูปแบบนี้อาจมีสาเหตุจาก มีปัจจัยภายนอกมากระทบกับกระบวนการผลิต เช่น การตรวจสอบ 100% การเปลี่ยนแปลงกระบวนการ

7) Isolated peaked เป็นรูปร่างคล้าย ๆ Double Peaked เพียงแต่มีกลุ่มข้อมูลกลุ่มหนึ่งใหญ่กว่าอีกกลุ่มหนึ่งมาก ซึ่งกลุ่มข้อมูลที่น้อย จะแสดงให้เห็นว่า มีความผิดปกติในกระบวนการ หรือ อาจจะมีผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม ในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล หรือ อาจเกิดจากการผิดพลาดในการวัด

8) Edge- Peaked เป็นรูปร่างการกระจายข้อมูลปกติเพียงแต่มีข้อมูลที่มีความถี่สูงอยู่ที่ขอบ

9) ด้านใดด้านหนึ่ง ซึ่งการที่ฮิสโตแกรมมีลักษณะเช่นนี้มักเกิดจาก การเก็บบันทึกข้อมูลไม่แม่นยำ

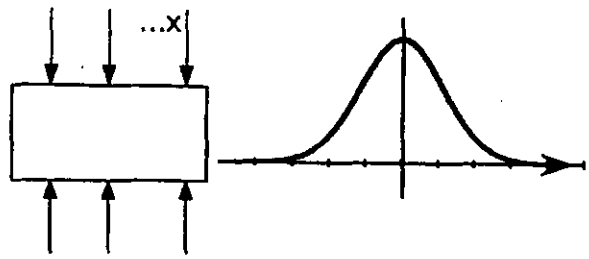
3. ทฤษฎีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเชิงสถิติ

การออกแบบการทดลอง (Design of experiments) การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจดูว่าปัจจัย (Factor) ใดหรือตัวแปร (Input Variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญ (หรือความสนใจ) ในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response)

ปัจจัย (Factor) ในการผลิตสามารถแบ่งได้เป็น

ก) ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต

ข) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต



...z

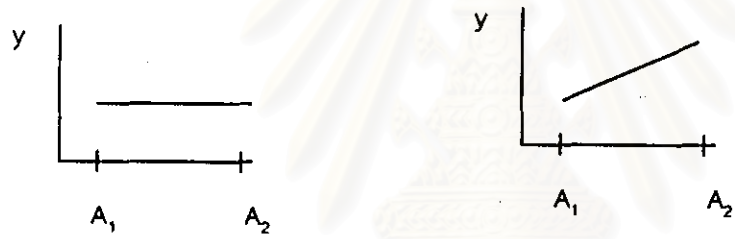
y คือ ตัวแปรตามหรือผลิตภัณฑ์

z,x คือ ตัวแปรอิสระ หรือปัจจัย

$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$

รูปที่ 2.9 แสดงปัจจัย และพารามิเตอร์ของกระบวนการ

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ต้องทำ การเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วทำการทดลอง จากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง ตัวอย่าง เช่น ให้ y เป็นค่าความขุ่น และ A หมายถึง ค่าความเข้มข้นของสี ซึ่งจะสรุปผลเมื่อได้กราฟตัวอย่างดังนี้



ปัจจัย A ไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ ปัจจัย A มีผลต่อผลิตภัณฑ์

รูปที่ 2.10 แสดงอิทธิพลของปัจจัยเดี่ยว

- **วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง**

ก) เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริง หรือ ความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

ค) เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

- **คำจำกัดความ (Definition)**

อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม

ปัจจัย (Factor) หมายถึง สิ่งที่คิดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์

ระดับของปัจจัย (Level of Factor) หมายถึง สภาวะต่าง ๆ ของปัจจัยหนึ่ง ๆ ที่ทำการกำหนดในการทดลอง

ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็ก ๆ น้อย ๆ และไม่สามารถควบคุมได้

- **หลักในการออกแบบการทดลอง**

1. การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวเท่า ๆ กันเพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่า ๆ กัน การทำแบบสุ่มยังสามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 3 วิธี คือ

   1.1 การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomization)

   1.2 การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple randomiztion)

   1.3 การทำแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete randomization within blocks)

2. การทำซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูล เพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออก

3. การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง เพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไป

- **ลำดับขั้นการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง**

1. การนิยามปัญหา เป็นการระบุว่า ความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้ จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2. การเลือกปัจจัยที่มีผล และระดับปัจจัย เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎี และประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่า มีปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้น ควรจะมีช่วงในการทดลองเป็นอย่างไร เพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลอง สุดท้ายคือ ระบุว่าระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed levels) , แบบสุ่ม (Random levels) หรือแบบผสม (Mixed levels)

3. แบบกำหนด (Fixed levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุม หรือกำหนดค่าได้แน่นอน

4. แบบสุ่ม (Random levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุม หรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน

5. แบบผสม (Mixed levels) หมายถึง การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดได้และแบบสุ่ม

6. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response variables) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตัวแปรที่สามรถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาและการวัดค่านั้นจะต้องแม่นยำ รวมทั้งความถูกต้องของเครื่องวัดด้วย

7. การเลือกแบบทดลอง จะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูลที่ทำซ้ำในการทดลอง ความเหมาะสม ข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomiztion) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยง และต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย

8. การทำการทดลอง ในขณะทำการทดลอง จะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ นั่นคือ ต้องมีการสุ่ม การทำซ้ำ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาด (Error) ที่ออกมามีน้อยที่สุด

9. การวิเคราะห์ข้อมูล ในการวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผล รวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้น ก่อนที่จะตีความข้อมูล วิธีทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผล (Effect) เท่าใดได้แน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นเปอร์เซนต์ในการสรุปผล

10. สรุปผลและข้อเสนอแนะ เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว จะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ ซึ่งอาจแสดงในรูปกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ

- **หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล**

การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลอง มีความเหมาะสมเพียงไร ซึ่งในการทดลองทุกครั้ง จะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained variable) หรือ ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดีจะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained variable) น้อยที่สุด

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) = $\frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \times 100\ \%$

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ต่ำ สามารถแก้ไขโดย

1. เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง
2. ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง แล้วออกแบบการทดลองใหม่
3. ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ยังต่ำอยู่ แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (noise factor) มีมาก ต้องทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน

- **การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model adequacy checking)**

จากสมการ ; $Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$

ซึ่ง μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ε คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักจะตั้งสมมุติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ y (ตัวแปร) มีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ดังนั้น y จะมีการกระจายแบบนี้ได้ต้องให้ ε มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ $\varepsilon_{ij} \sim NID\ (0, \sigma^2)$

การตรวจสอบ ε_{ij} มี 3 ขั้นตอน คือ

1. การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) หรือไม่
   - การทดสอบแบบไคร์สแควร์ (χ^2 -goodness of fit test)
   - การทดสอบแบบโคโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kolgomorov- Smirnov test)
   - การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOPP)
2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่
3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (residual) ในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (megaphone) แสดงว่า ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability)

- **การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ** (Hypothesis Testing)

จากที่กล่าวมาแล้วในลำดับขั้นตอนการออกแบบการทดลองว่า ในการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้วิธีทางสถิตินั้น จะมีความเสี่ยงเข้ามาเกี่ยวข้องอยู่เสมอ ดังนั้นการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจึงต้องอยู่ภายใต้ความเสี่ยงดังกล่าว

การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ จะตั้งสมมติฐานใน 2 ทางเลือก คือ

H_0 : ระดับของปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการผลิต

H_1 : ระดับของปัจจัยมีผลต่อกระบวนการผลิต

ทั้งนี้ภายใต้ความเสี่ยง 2 ตัวคือ α และ β

α หมายถึง ความเสี่ยงในการไม่ยอมรับสมมุติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่สมมติฐานหลักเป็นจริง

β หมายถึง ความเสี่ยงในการยอมรับสมมติฐานหลัก ทั้งที่สมมติฐานหลักไม่เป็นจริง

จากความเสี่ยงของทั้ง 2 แบบนี้เอง จึงต้องมีการกำหนดจำนวนซ้ำที่ใช้ในการทดลอง เพื่อให้มีความเชื่อมั่น หรือมีความเสี่ยงตามที่กำหนดไว้ และในการทำการวิเคราะห์ ก็มักจะให้ค่าของ α คงที่ และ ให้ค่า β น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

การตั้งสมมติฐาน แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี

1. กรณีรูปแบบกำหนด (Fixed Model) จะเป็นการตรวจสอบว่า ปัจจัยมีผลต่อกระบวนการผลิตหรือไม่ ดังนั้นสมมุติฐานที่ตั้ง คือ

H_o : ปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการผลิต

H_1 : ปัจจัยมีผลต่อกระบวนการผลิต

หรือเขียนในรูปของสัญลักษณ์ เมื่อ คือ τ อิทธิพลของปัจจัย คือ

$H_o : \tau_1 = \tau_2 = ... = \tau_a = 0$

$H_1 : \tau_i \neq 0$; อย่างน้อยที่สุดหนึ่ง

2. กรณีของรูปแบบสุ่ม (Random Model) จะเป็นการตรวจสอบว่า ความแปรปรวน (σ^2) จะมีค่าเท่ากับ 0 หรือไม่ เพราะไม่สามารถหาค่าของอิทธิพล (effect) ที่เกิดขึ้นแน่นอนได้ ดังนั้นสมมุติฐาน คือ

$H_o : \sigma^2 = 0$

$H_1 : \sigma^2 \neq 0$

- **การวิเคราะห์ความแปรปรวน** (Analysis of Variance)

ผู้ที่นำวิธีการนี้มาใช้คือ ฟิชเชอร์ (Fisher) ซึ่งใช้วิธีการนี้จากหลักการที่ว่า ในการหาว่าปัจจัยใดที่มีผล ให้วิเคราะห์ที่ความแตกต่าง โดยวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวน (Variance) แล้วแตกออกมาเป็นความแตกต่างย่อย แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างย่อยเหล่านั้น หากความแตกต่างนั้น มีผลต่อตัวที่ต้องการคุณสมบัติและตัวประมาณค่าความแปรปรวน (Variance) ที่ดีที่สุด คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสอบ (Mean Square : MS) ซึ่ง

$$MS = \frac{SS}{df}$$

เมื่อ SS คือ ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

และ df คือ ขั้นของความอิสระ (Degree of freedom) จากนั้นจะเปรียบเทียบค่าความแปรปรวน โดยที่

$$F = \frac{Var\ (tr)}{Var\ (E)}$$

และจากการต้องใช้การกระจายแบบแจกแจงเอฟ (F – distribution) เป็นตัวทดสอบ ดังนั้น ε_{ij} จึงต้องมีรูปแบบเป็น NID $(0,\sigma^2)$ เท่านั้น

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการวิเคราะห์ปัจจัย 2 ปัจจัย

ตัวแบบ : $y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$

โดยที่ i = 1,2,...,a (ระดับของปัจจัย A)

j = 1,2,...,b (ระดับของปัจจัย B)

k = 1,2,...,n (จำนวนซ้ำ)

และ y คือ ค่าของตัวแปรตอบสนอง

μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

β คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

$\tau\beta$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของ τ กับ β

ε คือ ความคลาดเคลื่อน

A คือ ปัจจัย A

B คือ ปัจจัย B

AB คือ ปฏิสัมพันธ์ของปัจจัย A กับ B

MS_A , MS_B ,MS_{AB} คือ กำลังสองเฉลี่ยของปัจจัย A, B และ AB ตามลำดับ

MS_E คือ กำลังสองเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน

SS_A , SS_B ,SS_{AB} คือ ผลรวมกำลังสองของ A, B และ AB ตามลำดับ

SS_E คือ ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน

สมมติให้ $\alpha = 0.05$ หากค่า F_0 ที่ได้ $\leq F_{0.05},\nu_1,\nu_2$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล คือ สามารถยอมรับสมมติฐาน แต่ถ้า ค่าของ $F_0 > F_{0.05},\nu_1,\nu_2$ ถือว่าไม่สามารถยอมรับสมมุติฐานหลักได้ (reject H_0) นั่นคือ ปัจจัยมีผล

- **การเลือกแบบการทดลอง**

ก) **แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์** (Complete Randomize Design)

- ใช้กับการทดลองปัจจัยเดี่ยว (Single factor experiment)
- ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีขนาดไม่โตนัก และไม่มีปัจจัยรบกวน

การทดลองจะทำโดยยึดหลักการทำแบบสุ่ม (Randomization) และ การทำซ้ำ (Replication)

ขั้นตอนในการทำการทดลอง

1. กำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response variable) และปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable factor) ที่สนใจ
2. ทำการทดลองโดยสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete random) ในการวัดค่า
3. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ข) **แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม** (Randomize Block Design)

ใช้กับการทดลองปัจจัยเดียวและมีปัจจัยรบกวน (Noise factor) หลักการของแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม คือ

1. ต้องทำการสุ่ม (Randomization) ทุกครั้ง
2. ต้องทำซ้ำทุกการทดลอง
3. ต้องทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน การบล็อก (Blocking) อาจจะทำมากกว่า 1 บล็อกก็ได้ซึ่งขึ้นกับจำนวนของปัจจัยรบกวน

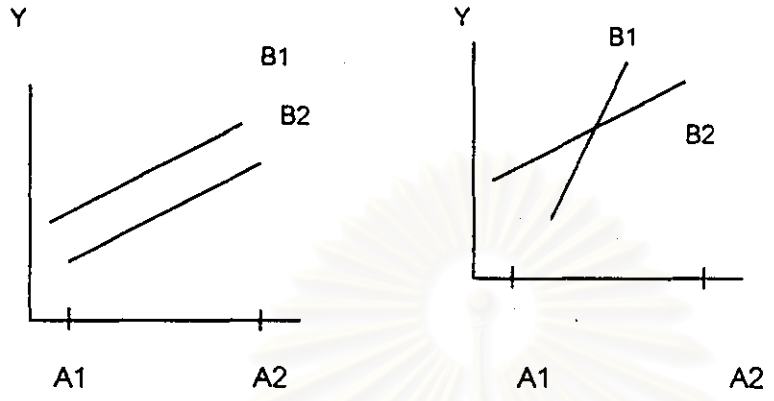
ขั้นตอนในการทำการทดลอง

1. ออกแบบและวางแผนการทดลอง
2. เก็บข้อมูล
3. วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA table) ซึ่งจะต้องมีผลของบล็อก (Block effect) ด้วย

ง) **แผนการทดลองแบบแฟคโทเรียล** (Factorial Design)

ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัย ซึ่งเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย (Multiple factor experiment) และเนื่องจากปัจจัย (factor) มากกว่า 1 ปัจจัย ดังนั้นนอกจากจะเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main effect) ที่สนใจแล้ว ยังอาจเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction effect) ได้ด้วย

อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction effect) คือ ผลที่เกิดขึ้นจากการที่ปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแล้วมีผลทำให้อิทธิพล (effect) ของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย ดังตัวอย่างการเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วมหรือปฏิสัมพันธ์ ซึ่งเมื่อไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วมแสดงดัง (1) และเมื่อมีอิทธิพลของปัจจัยร่วมแสดงดัง (2) โดย A และ B คือปัจจัย 2 ปัจจัย



รูปที่ 2.11 แสดงกราฟที่ไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วม(ขวา)
เปรียบเทียบกับกราฟที่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วม (ซ้าย)

แผนการทดลองแบบแฟคโทเรียลทั่วไป (Factorial Design) มีรูปแบบทั่ว ๆ ไปคือ A x B x C..... ! เช่น 3x2x2 ! รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟคโทเรียลที่สำคัญได้แก่

1. 2^k แฟคโทเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 3 ระดับใน k ปัจจัย เช่น 2^2 แฟคโทเรียล, 2^3 แฟคโทเรียล เป็นต้น
2. 3^k แฟคโทเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 3 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย เช่น 3^2 แฟคโทเรียล, 3^3 แฟคโทเรียล เป็นต้น

เหตุที่ใช้ เนื่องจากการออกแบบ 2^k แฟคโทเรียล นั้นเหมาะสมกับรูปแบบ (model) ที่มีความเป็นเส้นตรง (linearity) จึงจะมีความถูกต้องในการตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ดังนั้น หากว่าอิทธิพลของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองมีความเป็นเส้นตรง (linearity) ไม่ดีแล้ว จะหันมาใช้แบบ 3^k แฟคโทเรียล แทนจะเหมาะสมกว่า

แผนการทดลองแบบแฟรกชั่นนอลแฟคโทเรียล (Fractional Factorial Design) เป็นการประยุกต์

จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคโทเรียล (factorial design) โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟรกชั่นนอลแฟคโทเรียลจะใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่มีปัจจัยเป็นจำนวนมาก จึงต้องทำการตัดปัจจัยบางตัวออก โดยอาศัยหลักการคอนฟาวด์ (Confound)

การคอนฟาวด์ (Confound) เป็นเทคนิคที่ใช้ช่วยในการออกแบบ ทำให้ขนาดของบล็อกเล็กลงจากเดิม ซึ่งในการออกแบบนี้ จะเกิดผลทำให้สารสนเทศเกี่ยวกับอิทธิพลของทรีตเมนต์ (Treatment effect) รวมปะปนอยู่กับอิทธิพลของบล็อก (Block effect) เสมอ การเลือกอิทธิพลของทรีตเมนต์ที่จะทำการคอนฟาวด์ (Confound effect) จะเลือกจากความรู้ในกระบวนการผลิตเป็นตัวกำหนด โดยเลือกทรีตเมนต์ที่คาดว่าจะมีผลน้อยต่อตัวผลิตภัณฑ์

การประมาณการทดสอบเอฟ (Approximate F-test) ในการทดลองแบบแฟคโทเรียล ที่มีปัจจัย 3 ปัจจัยหรือมากกว่า ซึ่งจะเป็นรูปแบบกำหนด รูปแบบอื่น ๆ และการออกแบบที่ซับซ้อน บ่อยครั้งพบว่า ไม่สามารถที่จะทดสอบทางสถิติได้อย่างถูกต้องในบางอิทธิพลของทรีตเมนต์ ซึ่งการแก้ไขหนทางหนึ่งที่เป็นไปได้ คือ การตั้งสมมุติฐานว่าในบางปฏิสัมพันธ์บางอิทธิพลสามารถที่จะละเลยได้ แสดงได้ดังตัวอย่าง

ตัวอย่าง ในการทดลองแฟคโทเรียลของปัจจัน 3 ปัจจัย A B และ C โดยให้

โดยที่ $i = 1,2,...,a$ (ระดับของปัจจัย A)

$j = 1,2,...,b$ (ระดับของปัจจัย B)

$k = 1,2,...,c$ (ระดับของปัจจัย C)

$l = 1,2,...,n$ (จำนวนซ้ำ)

สมการตัวแบบของแหล่งความผันแปรต่อตัวแปรตอบสนอง คือ

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \gamma_k + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

และ y คือ ค่าของตัวแปรตอบสนอง

μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย A

β คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย B

γ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย C

$\tau\beta$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของ τ กับ β

$\tau\gamma$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของ τ กับ γ

$\beta\gamma$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของ β กับ γ

$\tau\beta\gamma$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของ τ กับ β กับ γ

ε คือ ความคลาดเคลื่อน

ค่าคาดหมายของกำลังสองเฉลี่ย (Expected Mean Square) ของรูปแบบอิทธิพลสุ่ม (Random Effects Model) ของ 3 ปัจจัยดังนี้

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าคาดหมายของรูปแบบอิทธิพลแบบสุ่ม

ปัจจัย	ค่าคาดหมายของค่าเฉลี่ยกำลังสอง
τ_i	$\sigma^2+cn\sigma^2_{\tau\beta}+bn\sigma^2_{\tau\beta\gamma}+bcn\sigma^2_{\tau}$
β_j	$\sigma^2+cn\sigma^2_{\tau\beta}+an\sigma^2_{\beta\gamma}+n\sigma^2_{\tau\beta\gamma}+acn\sigma^2_{\beta}$
γ_k	$\sigma^2+bn\sigma^2_{\tau\gamma}+an\sigma^2_{\beta\gamma}+n\sigma^2_{\tau\beta\gamma}+abn\sigma^2_{\gamma}$
$(\tau\beta)_{ij}$	$\sigma^2+n\sigma^2_{\tau\beta\gamma}+cn\sigma^2_{\tau\beta}$
$(\tau\gamma)_{ik}$	$\sigma^2+n\sigma^2_{\tau\beta\gamma}+bn\sigma^2_{\tau\gamma}$
$(\beta\gamma)_{jk}$	$\sigma^2+n\sigma^2_{\tau\beta\gamma}+an\sigma^2_{\beta\gamma}$
$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$	$\sigma^2+n\sigma^2_{\tau\beta\gamma}$
ε_{ijkl}	σ^2

จากการตรวจสอบค่าคาดหมายของค่าเฉลี่ยกำลังสอง พบว่า ในอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main effect) หรือ อิทธิพลของปัจจัย A ไม่สามารถที่จะทดสอบได้อย่างถูกต้องโดยที่ ถ้าต้องการที่จะทดสอบสมมุติฐาน $\sigma^2_{\tau}=0$ จะไม่สามารถสร้างเศษส่วนของค่าเฉลี่ยกำลังสอง 2 ค่าที่มีเพียงเทอม $bcn\sigma^2_{\tau}$ อยู่ในเทอมของเศษ นอกเหนือจากนั้นอยู่ในเทอมของส่วน ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเกิดขึ้นกับอิทธิพลปัจจัยหลัก B และ C ด้วย ซึ่งในการทดลองส่วนใหญ่ ผู้ทำการทดลองจะสนใจ และให้ความสำคัญกับอิทธิพลของปัจจัยหลัก ฉนั้นหากทำการละเลยอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ของ 2 ปัจจัย หรือกำหนดให้ $\sigma^2_{\tau\beta}=\sigma^2_{\beta\gamma}=\sigma^2_{\tau\gamma}=0$ ก็จะทำให้การทดสอบอิทธิพลของปัจจัยหลักมีความถูกต้องมากขึ้น

ถึงแม้ว่า การวิเคราะห์ในลักษณะนี้จะน่าสนใจและเป็นไปได้ แต่ในการที่จะละเลยอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์นั้น ต้องอาศัยความรู้และข้อมูลในอดีต อย่างมากพอ

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะทำการวิเคราะห์โดยทำการรวมค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS) และประมาณความคลาดเคลื่อนด้วยขั้นของความอิสระ (df) ที่มากขึ้น ดังในตัวอย่าง ถ้าหากตัวทดสอบ $F=MS_{ABC}/MS_E$ ไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงยอมรับสมมุติฐานหลัก $H_0:\sigma^2_{\tau\beta\gamma}=0$ จึงประมาณความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (σ^2) จากค่าเฉลี่ยกำลังสองของทรีตเมนต์ ABC (MS_{ABC}) และค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (MS_E) และการรวมกันของค่าเฉลี่ยกำลังสองเป็นค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนใหม่ (MS_E) ทำได้โดย

$$MS_E = \frac{[abc(n-1)MS_E + (a-1)(b-1)\,MS_{ABC}]}{abc(n-1) + (a-1)(b-1)(c-1)}$$

$E(MS_E) = \sigma^2$

$E(MS_E)$ คือ ค่าคาดหมายของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน

สังเกตได้ว่า ขั้นของความอิสระของค่าเฉลี่ยกำลังสองจะเพิ่มขึ้น ข้อควรระวัง คือ ถ้าหากทรีตเมนต์นั้นมีอิทธิพบกับคาความคลาดเคลื่อน ซึ่งจะทำให้ค่าเฉลี่ยกำลังสองที่ได้ใหม่มีขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำการตรวจพบอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ เป็นไปได้ยาก แต่ในอีกแง่หนึ่ง หากค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนแต่เดิมมีขั้นของความอิสระน้อย การเพิ่มเติมโดยการรวม จะสามารถช่วยเพิ่มความ

4. การควบคุมกระบวนการผลิต

แผนภูมิควบคุม

(ฮิโตชิ คุเมะ , ผู้เขียน ,วีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์, ผู้แปล, 2541) ได้อธิบายความหมายของแผนภูมิควบคุม(Control Chart) ดังนี้

แผนภูมิควบคุม คือ แผนภูมิหรือกราฟที่จัดทำขึ้นล่วงหน้า โดยอาศัยข้อมูลจากขอบเขตที่กำหนด (Specification) ที่ระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่ดำเนินการผลิต และต้องการจะควบคุม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขั้นตอนใดตอนหนึ่ง โดยการตรวจวัดคุณภาพของชิ้นงาน ซึ่งในการวัดข้อมูลอาจจะอยู่ในลักษณะ 2 แบบ คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัด (Variable Data) และข้อมูลที่ได้จากการนับ (Attribute Data) จากนั้นเขียนบันทึกลงในแผนภูมินั้น ๆ ซึ่งโดยปกติจะมีเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นขอบเขตกลาง คือ เส้นที่แสดงขนาดหรือจำนวนที่เป็นข้อกำหนดหรือเป้าหมายในการผลิต เส้นขอบเขตควบคุมบนและเส้นขอบเขตควบคุมล่างเป็นค่าที่อนุญาติให้มีความคลาดเคลื่อนในการผลิตเกิดขึ้นได้ และหากอยู่ในขอบเขตนี้ก็ถือว่า ผลการผลิตยอมรับได้ แต่หากว่าค่าที่ได้อยู่นอกเหนือขอบเขตควบคุม (ไม่ว่าในทางมากกว่าหรือต่ำกว่า) ถือว่า การผลิตในขณะนั้นยอมรับไม่ได้จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องโดยทันที

โดยธรรมชาติของกระบวนการผลิตทั้งหลายย่อมมีความผันแปร (Variation) เกิดขึ้นกับชิ้นงานหรือผลผลิตได้ โดยความผันแปรบางชนิดเป็นเรื่องปกติและอนุญาติหรือยอมให้เกิดขึ้นได้ในการผลิตโดยมไก่อความเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ความผันแปรบางชนิดมีผลกระทบมากและมีผลเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพราะทำให้ขนาดของชิ้นงาน หรือคุณสมบัติบางประการผิดไปจากมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นการเข้าใจในสาเหตุแห่งความผันแปรจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยสาเหตุความผันแปรต่าง ๆ มีผลมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ชนิดคือ

1. สาเหตุที่เป็นปกติวิสัย หรือเป็นธรรมชาติของการผลิต (Chance Cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่ไม่มีความรุนแรง และไม่มีผลต่อคุณภาพของสินค้าที่ผลิตได้ เกิดจากความผันแปรหรือความแตกต่างเล็ก ๆ น้อย ๆ ของวัตถุดิบและปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ซึ่งแน่นอนว่าไม่มีของสองสิ่งที่เหมือนกันทุกประการ วัตถุดิบ 100 ชิ้น ที่มีขนาดตรงกันตามข้อกำหนดทั้ง 100 ชิ้นก็จะมีขนาดแต่ละชิ้นที่แตกต่างกันออกไป เพียงแต่ว่าความแตกต่างเหล่านั้น อยู่ในพิกัดที่ขอบเขตข้อกำหนดได้อนุญาตเอาไว้แล้วในค่า พิกัดความเผื่อ (Tolerance) ของชิ้นงาน

ฉะนั้นความผันแปรในคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสาเหตุที่เป็นปกติวิสัยของการผลิต จึงเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ในการควบคุมคุณภาพด้วยแผนภูมินี้ นั่นคือ กระบวนการผลิตที่เขียนแสดงด้วยแผนภูมิควบคุมแล้วไม่มีจุดใดจุดหนึ่งอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม (The Process is in Control)

2. สาเหตุที่ระบุได้ หรือสาเหตุที่กำจัดได้ (Assignable Cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่เกิดจากความผิดพลาด ความผิดปกติ ความชำรุด ความไม่ได้เกณฑ์ ฯลฯ ของปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และไม่ใช่เป็นปกติวิสัย หรือธรรมชาติของการผลิตนั้น ๆ จำเป็นจะต้องได้รับการกำจัดหรือแก้ไขจึงจะทำให้คุณภาพของงานผลิตกลับเข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้งได้

3. ในแผนภูมิควบคุม เมื่อมีจุด (ซึ่งเขียนจากการเก็บข้อมูลและวัดค่าชิ้นงานตัวอย่างจากการผลิต) ปรากฏว่าอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม ย่อมแสดงได้ว่าเกิดมีสาเหตุที่ระบุได้เกิดขึ้นมาในกระบวนผลิตนั้นแล้ว และเรียกสภาวะการผลิตนั้นว่า กระบวนการผลิตอยู่นอกควบคุม (The process is Out of Control)

แผนภูมิควบคุมแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ โดยพิจารณาคุณลักษณะของตัวแปรที่ใช้เขียนแผนภูมิ คือ

ก) แผนภูมิควบคุมชนิดข้อมูลมีค่าต่อเนื่อง (Continuous Value) หรือเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด

ข) แผนภูมิควบคุมชนิดข้อมูลไม่ต่อเนื่อง ค่าที่นับได้ลงตัวแน่นอน (Discrete Value) หรือเป็นข้อมูลที่ได้จากการนับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 ชนิดของแผนภูมิควบคุม

ลักษณะจำเพาะของค่าที่ควบคุม	ชื่อแผนภูมิที่ใช้
1. ข้อมูลมีค่าต่อเนื่องหรือข้อมูลที่ได้จากการวัด	$\bar{x}$ – R chart (แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและพิสัย) x Chart (แผนภูมิควบคุมค่าวัด)
2. ข้อมูลแบบค่าไม่ต่อเนื่องหรือข้อมูลที่ได้จากการนับ	pn chart (แผนภูมิควบคุมจำนวนชิ้นงานที่เป็นของเสีย) p Chart (แผนภูมิสัดส่วนของเสีย) c Chart (แผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิ) u Chart (แผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิต่อชิ้นงาน)

(ดำรง ทวีแสงสกุลไทย , 2538) ได้อธิบายว่าแผนภูมิควบคุมคิวซีเป็นคิวซีเทคนิคอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ควบคุมการผลิตในระหว่างการผลิต เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการผลิตมีจุดใดเปลี่ยนแปลงหรือไม่ หรือการเปลี่ยนแปลงยั้น ๆ ยังอยู่ในพิกัดควบคุมหรือไม่ ปกติจะใช้แผนภูมิควบคุมกับระบบการผลิตสภาพปกติ หรือมีการผลิตสม่ำเสมอ จะไม่ใช้กับการผลิตเป็นแบบเลว ๆ หรือผิดปกติโดยเด็ดขาด จุดมุ่งหมายที่ใช้เทคนิคของแผนภูมิควบคุม มีดังนี้

1. เพื่อหาเป้าหมาย หรือมาตรฐานของการผลิต
2. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบว่า การผลิตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่
3. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือเพื่อให้ได้เป้าหมายที่วางแผนล่วงหน้าไว้แล้ว

การนำแผนภูมิควบคุมมาใช้งาน ก่อนอื่นจำเป็นต้องเข้าใจลักษณะของเส้นควบคุม ทั้ง 3 ประเภท เสียก่อนคือ เส้นควบคุมข้อกำหนด (Specification Limit) ,เส้นควบคุมขีดความสามารถ (Process Capability Limit) และเส้นขอบเขตควบคุม (Control Limit) ดังแสดงในรูปที่
สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับเส้นควบคุม 3 ประเภทดังต่อไปนี้

LSL แทน เส้นควบคุมข้อกำหนดบน (Upper Specification Limit)

USL แทน เส้นควบคุมข้อกำหนดล่าง (Lower Specification Limit)

LSL แทน เส้นควบคุมข้อกำหนดบน (Upper Specification Limit)

UPCL แทน เส้นควบคุมขีดความสามารถบน (Upper Process Capability Limit)

LPCL แทน เส้นควบคุมขีดความสามารถล่าง (Lower Process Capability Limit)

UCL แทน เส้นขอบเขตควบคุมบน (Upper Control Limit)

CL แทน เส้นขอบเขตควบคุมกลาง (Control Limit)

LCL แทน เส้นขอบเขตควบคุมล่าง (Lower Control Limit)

เส้นควบคุมข้อกำหนด (Specification Limit) หมายถึง ค่าขอบเขตข้อกำหนดของสินค้าหรือชิ้นงานที่โรงงานหรือรัฐบาลเป็นผู้กำหนดขึ้น ทั้งนี้เส้นควบคุมข้อกำหนดขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ออกแบบว่าต้องการเสี่ยงหรือความปลอดภัย (Safety Factor) ไว้ที่ระดับเท่าใด

เส้นควบคุมขีดความสามารถ (Process Capability Limit) หมายถึง ค่าขอบเขตความสามารถจริงของกระบวนการ โดยทั่วไปคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของประชากรหรือคำนวณจากกลุ่มตัวอย่างที่จำนวนมาก เส้นควบคุมขีดความสามารถมีขนาดความกว้างเท่ากับ ค่าห่างจากค่าเฉลี่ยของประชากร $\pm 3\sigma$ และกำหนดเส้นขอบเขตควบคุมสำหรับเป็นสัญญาณเตือนว่าการผลิตเริ่มออกจากการควบคุมหรือยังกำหนดในช่วง ค่าเฉลี่ย $\pm 2\sigma$

การใช้งานแผนภูมิควบคุม การใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิต ควรมีเทคนิคต่อไปนี้

เลือกบริเวณที่จะควบคุม ก่อนอื่นก็คือปัญหาอะไรที่จะต้องทำ และเรามีจุดมุ่งหมายอะไร จากการตัดสินใจในปัญหาทำให้ทราบทันทีอย่างชัดแจ้งว่าต้องการข้อมูลอะไร

พิจารณาการใช้แผนภูมิควบคุมแบบไหน อาจจะเป็นแผนภูมิ แบบ $\bar{x}-R$, x, pn, p, c หรือ u Chart ก็ได้ขึ้นอยู่กับโรงงานและผลิตภัณฑ์แต่ละแห่ง

ทำแผนภูมิควบคุมสำหรับการวิเคราะห์เก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่เหมาะสมแล้วใช้ข้อมูลที่ผ่านมาทำแผนภูมิ ถ้ามีจุดใด ๆ ผิดปกติต้องทำการค้นหาเหตุผลที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนไปทันที แล้วทำการแก้ไข

สร้างแผนภูมิควบคุมสำหรับการควบคุมในโรงงาน หากว่าต้นเหตุที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนได้ขจัดหมดสิ้นแล้วจากในข้อ 3 และกระบวนการผลิตก็คงที่ ให้พิจารณาดูอีกครั้งว่าผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้หรือไม่ หลังจากนั้นถ้าทุกอย่างเรียบร้อยก็ให้สรุปผลทั้งหมดเพื่อทำมาตรฐานวิธีการทำงาน (Standardize Working Procedure) หรืออาจจะมีการปรับปรุงให้ดีขึ้น ถ้าจำเป็นต่อเส้นควบคุมของแผนภูมิออกไป จากนั้นพลอตข้อมูลที่เก็บได้ในแต่ละวันต่อไป

ควบคุมกระบวนการผลิต ถ้าการทำงานของคนงานและวิธีการผลิตเป็นแบบมาตรฐานแล้ว แผนภูมิควบคุมจะชี้แสดงออกให้เห็นว่าสภาวะที่โรงงานอยู่ภายใต้การควบคุมที่ดีหรือไม่ แต่ถ้าปรากฏว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น ต้องการค้นหาสาเหตุทันที แล้วแก้ไขให้ถูกต้องเสีย

คำนวณเส้นควบคุมใหม่ ถ้าเครื่องจักรหรือมาตรฐานการทำงานเปลี่ยนแปลง เส้นควบคุมต้องนำมาคำนวณใหม่ ถ้าการควบคุมของกระบวนการผลิตในโรงงานยังดีตลอด ระดับคุณภาพที่แสดงบนแผนภูมิจะปรับดีเพิ่มด้วย ในกรณีเช่นนี้ให้สังเกตแผนภูมิควบคุมเป็นระยะ ในการคำนวณเส้นควบคุมให้สังเกตกฎต่อไปนี้

- ข้อมูลที่จุดผิดปกติ ซึ่งค้นพบสาเหตุ หรือไม่มีการแก้ไขควรจะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่
- ข้อมูลที่จุดผิดปกติ แต่ไม่พบสาเหตุ หรือไม่มีการแก้ไขควรจะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่

แผนภูมิควบคุมสร้างได้ง่ายมาก ทำให้มีการใช้แพร่หลาย แต่แผนภูมิที่ให้ประโยชน์จริง ๆ ถ้าพิจารณาดูให้ดีจะพบน้อยมาก

วิธีการอ่านแผนภูมิควบคุม

(วีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์ ,ผู้แปล,2537)

สิ่งที่สำคัญที่สุดของการควบคุมคุณภาพโดยใช้แผนภูมิ คือ การอ่านหรือตีความหมายจากภาพที่ปรากฏบนแผนภูมิ เพื่อโยงเหตุผลไปที่สภาวะของกระบวนการผลิตซึ่งได้ผลิตข้อมูลที่เราได้นำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมเพราะอาการผิดปกติต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตที่จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จะแสดงออกให้เป็นรูปธรรมที่แผนภูมิควบคุมนี้เอง และเมื่อเราตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการผลิตโดยอ่านจากแผนภูมิควบคุมนี้แล้ว เราจะได้ไปทำการแก้ไขที่สาเหตุของความผันแปรใด ๆ ในกระบวนการผลิตนั้นเพื่อปรับสภาวะการผลิตให้กลับสู่สภาวะที่อยู่ในควบคุม (In-Controlled) ได้ต่อไป

ต่อไปนี้ คือ ข้อแนะนำเกี่ยวกับ 6 ลักษณะอาการสำคัญ เพื่อการอ่านแผนภูมิควบคุม

1. อยู่นอกควบคุม

พบได้ชัดเจน คือ มีจุดในแผนภูมิกราฏอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม เรียกว่า จุดอยู่นอกควบคุม (Out of control) อาจอยู่นอกค่าสูงหรือค่าต่ำก็ได้

2. การการรัน (Run)

เมื่อปรากฏติดต่อกันบนซีกใดซีกหนึ่งของเส้นค่ากลาง เราเรียกว่า เกิดรัน ความยาวของรันแต่ละชุดนับจากจำนวนจุดในชุดนั้นและรันที่มีความยาวตั้งแต่ 7 จุดขึ้นไป เราตีความได้ว่า ได้เกิดความผิดปกติขึ้นแล้วในการผลิตช่วงที่เกิดรันนั้น

3. การเกิดแนวโน้ม

การมีจุดต่อเนื่องกันไปในทิศทางเดียวกันอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการสลับฟันปลาเลย มีผลทำให้เส้นต่อจุดเหล่านั้นคล้าย ๆ เส้นตรงพาดขึ้นหรือพาดลงเช่นนี้เราเรียกว่า มีการเกิดแนวโน้ม (Trend) ขึ้นในแผนภูมิควบคุม แนวโน้มที่ว่านี้คือแนวโน้มที่กำลังบอกเราว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดควบคุมที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตนั้นกำลังมีปัญหาหรือมีแนวโน้มจะเคลื่อนไปจากขนาดกำหนดที่ได้ตั้งเอาไว้แต่แรก

4. การเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม

หากเราแบ่งระยะ 3 ซิกมา (3σ) จากเสร้าค่ากลางออกเป็นเส้น 2σ แล้วพบว่ามี 2 จุด ใน 3 จุดที่ต่อเนื่องกันในแต่ละช่วงได้ตกไปอยู่ในพื้นที่ระหว่างเส้น 2σ กับเส้นขอบเขตควบคุม (3σ) ถือได้ว่าเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม (Approach to the control limits) แล้ว และเป็นการบอกว่ามีความผิดปกติขั้นในกระบวนการผลิตแล้ว

5. การเกิดการเข้าใกล้เส้นค่ากลาง

หากพบว่าเส้นกราฟทั้งหมดตกอยู่ในระหว่างเส้น 1.5σ นับจากเส้นค่ากลางขึ้นไปและลงมาแล้ว ไม่

ได้หมายความว่ากระบวนการผลิตนั้นอยู่ในควบคุม แต่กลับแสดงว่า คงจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการกำหนดขนาดของกลุ่มย่อย ข้อมูลอาจมีการปะปนกันของข้อมูลที่นำมาจากต่างประชากรกันและเกิดการปะปนกัน

6. การเกิดวัฏจักร

มีลักษณะ คือ ค่าในเส้นกราฟจะเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ มีลักษณะเป็นวงจรวงรอบ หรือวัฏจักรที่เกือบจะทำนายลักษณะเส้นกราฟในช่วงต่อ ๆ ไปได้ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เกิดวัฏจักร (Periodicity)

2.5 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Deming (1982)

ได้นำเสนอหลักการทางสถิติมาใช้ในการควบคุม คุณภาพโดยใช้เทคนิคของ Shewharts ในสมัยสงครามโลกครั้งที่สอง Deming เป็นอาจารย์ถ่ายทอดหลักสถิติกับกลุ่มวิศวกรในโรงงานผลิตอุปกรณ์เพื่อใช้ในการสงคราม อย่างไรก็ตามก็ไม่เป็นที่แพร่หลายในยุโรป แต่ประสบความสำเร็จอย่างมากใน ญี่ปุ่น แนวคิดของ Deming กล่าวถึงบทบาทของแต่ระดับการบริหารในองค์กร ซึ่งแต่ละฝ่ายจะมีบทบาทที่แตกต่างกันไป และเกื้อหนุนซึ่งกันและกัน

Groebner, D. F., และ Shannon, P. W. (1994)

กล่าวว่าไว้ใน หนังสือชื่อว่า "Essential of business statistics: A Decision making Approach" ว่าในโลกของ ธุรกิจ หลักการสถิติมีบทบาทสำคัญอย่างมาก ทำอย่างไรจะใช้หลักการสถิติอย่างมีระบบและประสิทธิภาพเพื่อเป็นเครื่องมือในการตัดสินใจ การเข้าใจความหมายของ การวัดในโลกธุรกิจ อย่างน้อยจะต้องรู้สองสิ่งต่อไปนี้ สิ่งแรกคือ ความสามารถในการวัดของกระบวนการที่เป็นอยู่ และสิ่งที่สองคือจะต้องสามารถเปรียบเทียบกับการวัดอื่นที่สามารถจะเปรียบเทียบกันได้

Robert Stecher (1999)

อ้างใน SIX SIGMA QUALITY กล่าวไว้ใน "How GE Manages it" โดยกล่าวถึงหลักการบริหารธุรกิจของ General Electric (GE) ที่ประสบความสำเร็จโดยใช้ SIX SIGMA QUALITY ดังต่อไปนี้

เริ่มต้นคำถามว่าเราไม่เคยทำสิ่งเหล่านี้ :

1. พยายามผลักดันให้ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเกินกว่าขอบเขตที่ได้ตั้งเอาไว้
2. ยอมรับด้วยเหตุและผลกับลูกค้าถึงความถูกต้อง
3. คัดเลือกชิ้นส่วนที่ได้มาตรฐาน
4. มีของเสียมากมาย, มีงานที่ต้องซ่อมแซม และชิ้นส่วนที่ต้องทำการตรวจสอ
5. ถูกตำหนิในการชำระ หรือผิดพลาดทางบัญชีรายการ หรือการขนส่งไม่ตรงตามเวลา รวมทั้งผลิตผลิตภัณฑ์น้อยหรือมากเกินไป
6. ประสบปัญหาว่าการทำการลดต้นทุนในการผลิตไม่เคยประสบความสำเร็จ

Forrest, W. B., และ John, W. and Son (1999)

ได้ยกตัวอย่างกรณีศึกษาในหนังสือชื่อว่า "Implementing Six Sigma Smarter Solutions Using Statistical Methods"

<u>ปัญหา</u> ระยะเวลาในการอบแห้งไม่แน่นอน ส่งผลให้สูญเสียพลังงาน

<u>การวัด</u> ระบบการวัดได้ทำการเก็บข้อมูลระยะเวลาทำให้แห้ง ระยะเวลาการทำงาน และปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อกระบวนการอบแห้ง

<u>การวิเคราะห์</u> ข้อมูลในอดีตได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการผลิต ระยะเวลาในการอบแห้งและระยะเวลาในการทำ างานถูกกำหนดให้ปัจจัยสำคัญในการวัดที่มีผลต่อกระบวนการผลิต จากการวิเคราะห์พบว่ามากกว่า 90% ของระยะเวลาของการอบแห้งมีผลสืบเนื่องมาจากความหนาของฉนวนของเครื่องจักร จากการวิเคราะห์นี้ บริษัทสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฉนวนกับระยะเวลาของการอบแห้ง เพื่อสามารถคาดเดาระยะเวลาของการอบแห้งได้

<u>การปรับปรุง</u> จากสมการความสัมพันธ์ตามที่ได้สร้างขึ้นมาในส่วนของการวิเคราะห์นั้น ฝ่ายวางแผนการผลิตสามารถที่จะจัดสรรวางแผนการผลิตได้มีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะเวลาการทำงานมีความแม่นยำมากขึ้นทำให้ระยะเวลาในการผลิตลดลง และลดจำนวนงานในขบวนการผลิตให้ลดลงเนื่องจากมีการวางแผนที่แม่นยำขึ้น

<u>ผลลัพธ์</u> บริษัทสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและค่าบำรุงรักษา 120,000 ดอลล่าร์สหรัฐ ต่อปี

<u>ปัญหา</u> สูญเสียเวลาในการตั้งเครื่องจักรสูง และปริมาณของเสียที่เสียไปในขณะที่ทดลองเครื่องจักรที่ตั้งใหม่ เนื่องจากเครื่องจักรจะต้องทำ าการปรับแต่งเครื่องใหม่ทุกครั้งเมื่อทำการตัดชิ้นงานที่มีความกว้างไม่เท่ากัน

การวัด ในการตัดชิ้นงานที่มีความกว้างไม่เท่ากันแต่ละครั้ง เครื่องจักรจะต้องทำการปรับแต่งเครื่องทุกครั้ง เครื่องจักรจะถูกตั้งเป็นโปรแกรมการทำงานและการทำงานแต่ละครั้งก็เป็นช่วงสั้น ๆ จำนวนของแผ่นเหล็กที่ถูกตัดและจำนวนครั้งในการปรับแต่งเครื่องจักร ซึ่งให้แผ่นเหล็กตามข้อกำหนดจะถูกกำหนดให้เป็นตัววัด

การวิเคราะห์ สมการเส้นถดถอยได้ถูกวิเคราะห์ขึ้นมา จากการผลการวิเคราะห์พบว่า 96 % ของความแปรปรวนขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าคงที่ของด้าน 3 ด้านของเครื่องจักร

การปรับปรุง ทำการทดลองกับชิ้นงานที่มีความแตกต่างของด้านกว้าง 10 ชิ้น ปรากฏว่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าความถูกต้องตามข้อกำหนด 94%

การควบคุม สมการเส้นถดถอยต้องทำการปรับเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา

ผลลัพธ์ ไม่เสียเวลาในการปรับแต่งเครื่องจักร และสามารถลดวัตถุดิบที่ใช้ทดลองหลังการปรับแต่งเครื่องจักร บริษัทสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 310,000 ดอลล่าร์สหรัฐต่อปี

ปัญหา กระบวนการผลิตยางของบริษัทแห่งหนึ่ง เครื่องผลิตยางผลิตยางที่มีลักษณะข้อบกพร่องซ้ำ ๆ เป็นจำนวนสูงและไม่สามารถที่จะแก้ปัญหาให้หายขาดได้

การวัด ระบบการวัดแบบใหม่ได้ถูกจัดตั้งขึ้นมาเพื่อทำการตรวจลักษณะข้อบกพร่องแต่ละชนิดที่ท้ายกระบวรการผลิต จากผลของการวัดพบว่าในส่วนของการวัดได้สามารถปรับปรุงและลดปัญหาข้อบกพร่องของยางได้ส่วนหนึ่ง

การวิเคราะห์ กระบวนการผลิตทั้งหมดได้ทำการศึกษาและจัดทำเป็นกระบวนการไหลของวัตถุดิบจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการ แต่ละขั้นตอนของกระบวนผลิตก็ได้ทำการตรวจวิเคราะห์ว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ และได้ข้อสังเกตว่า

- การตั้งข้อกำหนดไม่ถูกต้อง เนื่องจากว่าไม่มีการระบุข้อกำหนดของชิ้นส่วนย่อย ซึ่งข้อกำหนดนี้จะส่งผลต่อผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป
- ตรวจพบการทำงานที่ผิดวิธีของพนักงานบางกลุ่ม และส่งผลให้เกิดของเสียขึ้น

การปรับปรุง ข้อกำหนดได้มีการทบทวน ใหม่ ได้มีการฝึกอบรมและเขียนเป็นขั้นตอนการผลิตที่ถูกต้อง

การควบคุม จัดสร้างระบบการรวบรวมข้อมูลข้อบกพร่อง

ผลลัพธ์ บริษัทสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 96000 ดอลล่าร์สหรัฐต่อปี

บุญสม ประเสริฐอัครกุล (2539)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมในการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติของโรงงานตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่าบางจุดงานมีการใช้การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติอย่างไม่ถูกต้องและไม่เหมาะสมโดยวัดจากความสามารถของเครื่องจักร และได้ทำการวัดค่า C_p และวัดความสามารถของกระบวนการผลิต C_{pk} เพื่อออกแบบวิธีการควบคุมกระบวนการผลิตเชิงสถิติที่เหมาะสม

จากผลการวิจัยได้ปรับปรุงวิธีการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ 2 ลักษณะ คือ การใช้แผนภูมิควบคุมเฉลี่ยและพิสัย การใช้แผนการสุ่มตัวอย่างแบบต่อเนื่อง และได้ประเมินผลลัพธ์จาก ค่า C_p และ C_{pk} ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ค่าความเที่ยงตรง เปอร์เซนต์ของเสียของชิ้นงานที่เกิดขึ้น และจำนวนการผลิตที่เกิดขึ้น พบว่าปริมาณการผลิตลดลงก่อนที่มีการปรับปรุง และค่าความเที่ยงตรงในการตรวจสอบของจุดตรวจสอบเพิ่มขึ้นจากก่อนการปรับปรุง

อนันต์ชัย สกลรักษ์ (2538)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงระบบควบคุมคุณภาพที่เหมาะสม สำหรับการระบวนการผลิตเครื่องสุขภัณฑ์ การวิจัยได้นำเสนอวิธีการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในขบวนการผลิตโดยการใช้แผนการสุ่มตัวอย่าง เสนอวิธีการจัดทำมาตรฐานวัตถุดิบ เสอนวิธีการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตโดยกำหนดจุดตรวจสอบที่สำคัญ

ทศพล เกียรติเจริญผล (2537)

การวิจัยนี้ได้ใช้หลักการของการออกแบบการและวิเคราะห์การทดลอง มาทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงปัจจัย 4 ปัจจัย คือ ชนิดของแลกเกอร์ น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ อุณหภูมิบ่ม เวลาที่ใช้ในการบ่มที่มีผลต่อลักษณะของผิวเคลือบแลกเกอร์ โดยทำการทดสอบลักษณะของผิวเคลือบแลกเกอร์ 6 ลักษณะ คือ การทดสอบความหยุ่น การทดสอบการทนต่อการขีดข่วน การทดสอบการทนต่อการขัดถู การทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำ การทดสอบความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่างแลกเกอร์กับเนื้อเหล็ก และการทดสอบการหลุดลอกของแลกเกอร์จากการต้มฆ่าเชื้อ และจากการวิจัยพบว่า ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อผลการทดสอบความยืดหยุ่นและการทนทานต่อการขัดถูคือ ชนิดของแลกเกอร์ น้ำหนักของแลกเกอร์ต่อพื้นที่ และเวลาที่ใช้ในการบ่มที่มีผลต่อลักษณะของผิวเคลือบแลกเกอร์มีผลต่อ การทดสอบการทนต่อการขีดข่วนและการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำ

กฤษดา อัศวรุ่งแสงกุล (2542)

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวในกระบวนการตัดขั้นตอนสุดท้ายของการตัดหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ และหาเงื่อนไขหรือวิธีการปรับปรุงที่เหมาะสม งานวิจัยเริ่มต้นจากการพิจารณาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวของหัวอ่านเขียนข้อมูล โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล ทำให้สามารถเลือกปัจจัยทั้งหมด 5 ปัจจัย ประกอบด้วย ความเร็วในการตัด ความลึกของใบมีด อัตราการป้อนตัด จำนวนครั้งในการลับมีด และทิศทางในการตัด จากนั้นทำการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการตัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย