

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของการปรับค่าเซอร์โวมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องจักร CNC โดยการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเซอร์โวมอเตอร์ในการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในแนวแกน X และในแนวแกน Y โดยวิเคราะห์จากกราฟแสดงผลการทดสอบการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของแกน X และ แกน Y แล้วทำการทดลองซ้ำจนกว่ากราฟที่ได้จากการทดลองใกล้เคียงวงกลมทั้งสองแกน แสดงว่าค่าปัจจัยของเซอร์โวมอเตอร์นั้นเหมาะสมที่สุดในการทำ การตัดชิ้นงานให้ได้วงกลมทั้งแนวแกน X และแนวแกน Y จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซอร์โวมอเตอร์ของเครื่องจักร CNC มีดังนี้

เครื่องกัดซีเอ็นซี คือเครื่องกัดชิ้นงานที่ควบคุมระยะของแกนในการเคลื่อนที่ด้วยซีเอ็นซี (Computer Numerical Control, CNC) ซึ่งระยะในการเคลื่อนที่นั้นจะมีความถูกต้องและแม่นยำมาก ซึ่งเครื่องกัดซีเอ็นซีส่วนมากจะมีทั้งหมด 3 แกน คือแกน X , แกน Y และแกน Z ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะวิเคราะห์การเคลื่อนที่เป็นวงกลมของแกน X และแกน Y เท่านั้น เครื่องกัดซีเอ็นซีนั้นจะมีชิ้นงานถูกยึดอยู่บนโต๊ะวางชิ้นงานและตัดโดยเครื่องมือการหมุนที่มีการกดลงในชิ้นงาน สามารถทำการดำเนินการของเครื่องจักรได้หลายอย่าง เช่น การบด การเจาะ ขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ โดยมีภาพแบบพิเศษคือการเปลี่ยนเครื่องมือตัดชิ้นงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งเครื่องกัดซีเอ็นซีมี 2 แบบ คือแบบแนวตั้งและแบบแนวนอน

2.1 วิทยาการที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องกัดซีเอ็นซี ประกอบด้วย

1. ฐานเครื่องคือฐานที่รองรับคอลัมน์และแป้นรับเป็นรากฐานของโครงสร้างของเครื่องจักร ทำจากเหล็กหล่อสีเทา (เหล็กหล่อเกรดไฟต์แผ่น โดยทั่วไปเรียกว่า “เหล็กหล่อ”) ส่วนใหญ่ใช้ FC300 ถึง FC350 ตัวเลข 3 ตำแหน่งใน “FC***” แสดงความต้านแรงดึง เหล็กหล่อสีเทาจัด ภาพทรงได้ง่ายและมีราคาไม่แพง หลังจากที่กำหนดภาพทรงแล้ว ให้คาดการณ์ความคุ้มค่าของการผลิตปริมาณมาก เหล็กหล่อสีเทามีคุณสมบัติการหยุดการสั่นสะเทือนที่ดีมากและตัดได้ง่ายดังแสดงในภาพที่ 2.1

2. แกนเครื่อง คือ เป็นเสาที่ค้ำสปินเดิล แกนเครื่องอยู่กับที่โดยการยึดบนฐานเครื่องกัดซีเอ็นซีแนวตั้งดังแสดงในภาพที่ 2.2

3. แป้นรับ คือ แป้นรับเป็นฐานที่รองรับโต๊ะขึ้นงาน แป้นรับเคลื่อนที่ไปทางขวาและซ้าย และไปด้านหลังและด้านหน้าบนฐานเครื่อง ในเครื่องกีดแนวตั้งแกนเครื่องประกอบด้วยแกน X และแกน Y แป้นรับทำจากเหล็กหล่อสีเทา ดังแสดงในภาพที่ 2.3

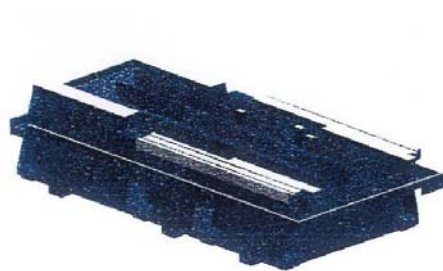
4. โต๊ะวางขึ้นงาน เป็นตำแหน่งที่จัดวางขึ้นงานและยึดให้แน่นด้วยอุปกรณ์จับยึด คีมจับ หรืออุปกรณ์อื่น ที่ด้านบนของโต๊ะ มีการจัดเตรียม T-slots และรูที่เจาะ เพื่อให้สามารถล็อกขึ้นงานไว้ บนโต๊ะได้ ในเครื่องกีดแนวตั้ง โต๊ะเคลื่อนที่ไปด้านขวาและด้านซ้าย เพื่อประกอบเป็นแกน X โต๊ะทำจากเหล็กหล่อสีเทา ดังแสดงในภาพที่ 2.4

5. หัวสปินเดิล มีหน้าที่ค้ำสปินเดิลไว้กับแบบริ่ง และส่งทอร์กของมอเตอร์สปินเดิลไปที่ สปินเดิล หัวสปินเดิลเคลื่อนที่ขึ้นและลงโดยเซอร์โวมอเตอร์ ในเครื่องกีดแนวตั้ง หัวสปินเดิลประกอบเป็นแกน Z หัวสปินเดิลทำจากเหล็กหล่อสีเทา ดังแสดงในภาพที่ 2.5

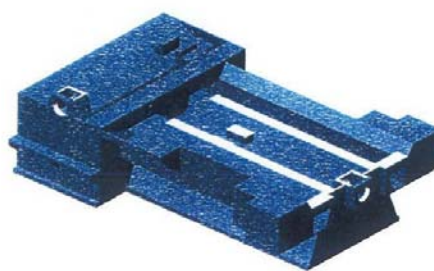
6. แกน X, แกน Y และแกน Z (กลไกการป้อน) เครื่องกีดซีเอ็นซีประกอบด้วยแกน 3 แกน (X, Y และ Z) ส่วนประกอบหลักหลักคือ เซอร์โวมอเตอร์ บอลสกรู และน็อตกลม แกนเหล่านี้เคลื่อนย้ายโต๊ะแท่นรับ และหัวกระสวยที่เคลื่อนที่อย่างรวดเร็วหรืออัตราป้อนการตัดสำหรับการจัดตำแหน่งหรือการดำเนินการของเครื่อง ตามคำสั่งที่ระบุจากหน่วย NC ทอร์กจากเซอร์โวมอเตอร์ถูกส่งไปที่บอลสกรู ซึ่งทำหน้าที่โดยตรงในการเคลื่อนย้ายโต๊ะ สปินเดิล หรือหัวกระสวยที่เชื่อมต่ออยู่กับน็อตกลมโดยตรงดังแสดงในภาพที่ 2.6

7. ตัวเปลี่ยนเครื่องมือตัดอัตโนมัติ Auto Tool Changer (ATC) และแมกกาซีนหน่วย ATC แลกเปลี่ยนเครื่องมือที่ติดตั้งอยู่ในกระสวยกับเครื่องมือที่จะใช้งานถัดไปหน่วย ATC ประกอบด้วยแขน ATC ที่ยึดเครื่องมือ (หรือหลายเครื่องมือ) และแมกกาซีนที่จัดเก็บเครื่องมือดังแสดงในภาพที่ 2.7

8. ตัวเปลี่ยนโต๊ะวางขึ้นงานอัตโนมัติ Auto Pallet Changer (APC) ในขณะที่ขึ้นงานถูกตัดอยู่ในเครื่อง สามารถวางขึ้นงานอีกชิ้นหนึ่งบนโต๊ะวางขึ้นงานอีกโต๊ะหนึ่งนอกเครื่องจักรได้ เมื่อการดำเนินการในเครื่องจักรเสร็จสมบูรณ์ มีการเปลี่ยนโต๊ะวางขึ้นงานโดยอัตโนมัติและเครื่องจักรดำเนินการกับขึ้นงานถัดไป ลักษณะนี้ช่วยเพิ่มอัตราการทำงานของเครื่องจักรได้เป็นอย่างมากดังแสดงในภาพที่ 2.8



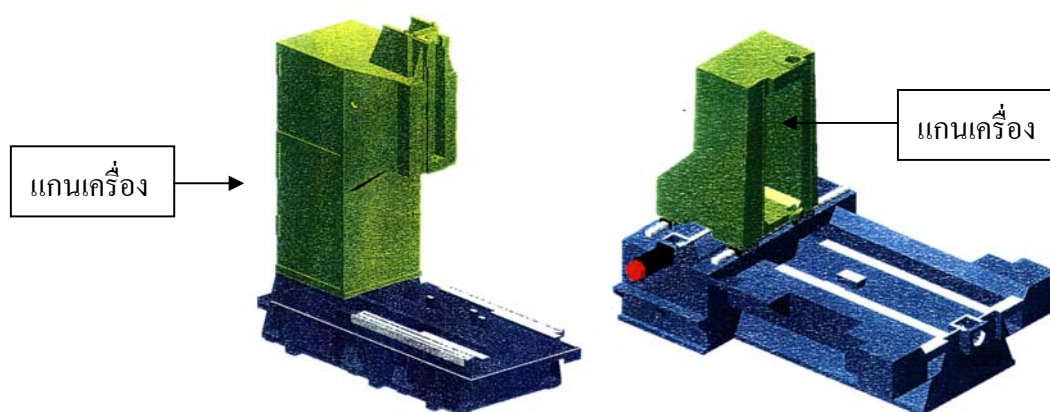
(ก) ฐานเครื่องแนวตั้ง



(ข) ฐานเครื่องแนวนอน

ภาพที่ 2.1

ฐานเครื่องจักรซีเอ็นซีทั้งแนวตั้งและแนวนอน [9]

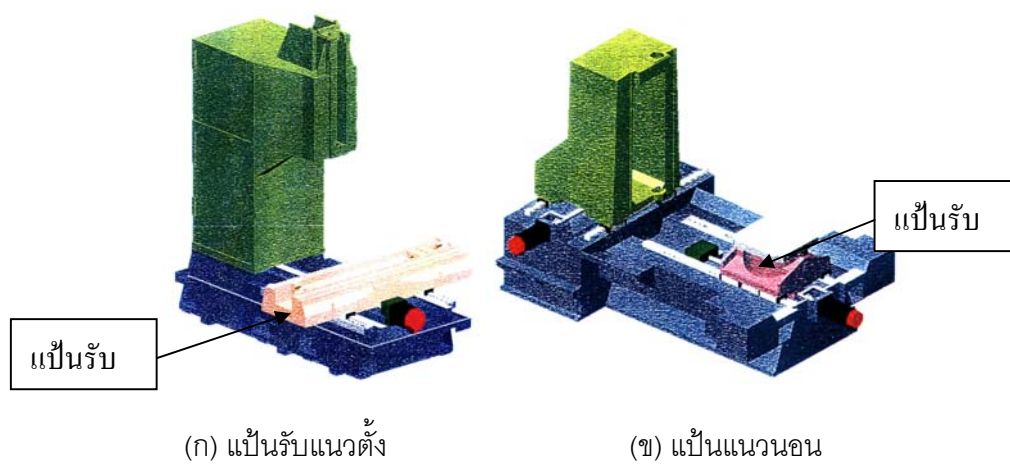


(ก) แกนเครื่องในแนวตั้ง

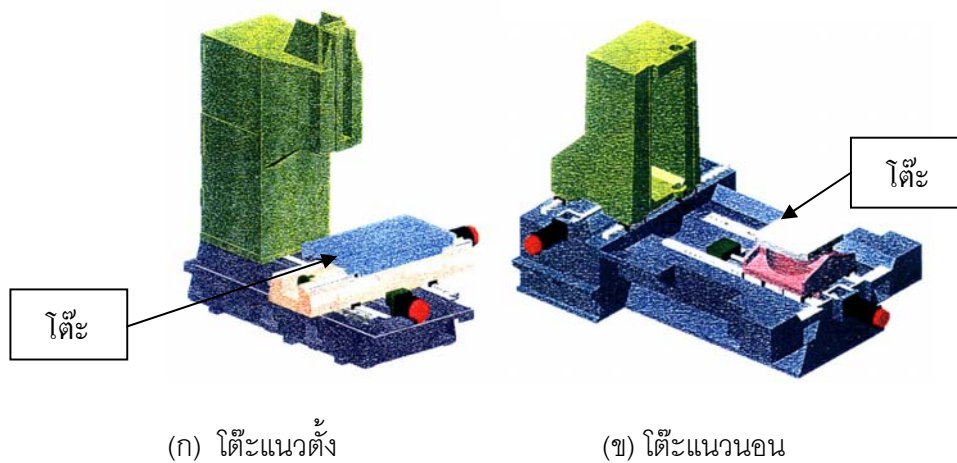
(ข) แกนเครื่องในแนวนอน

ภาพที่ 2.2

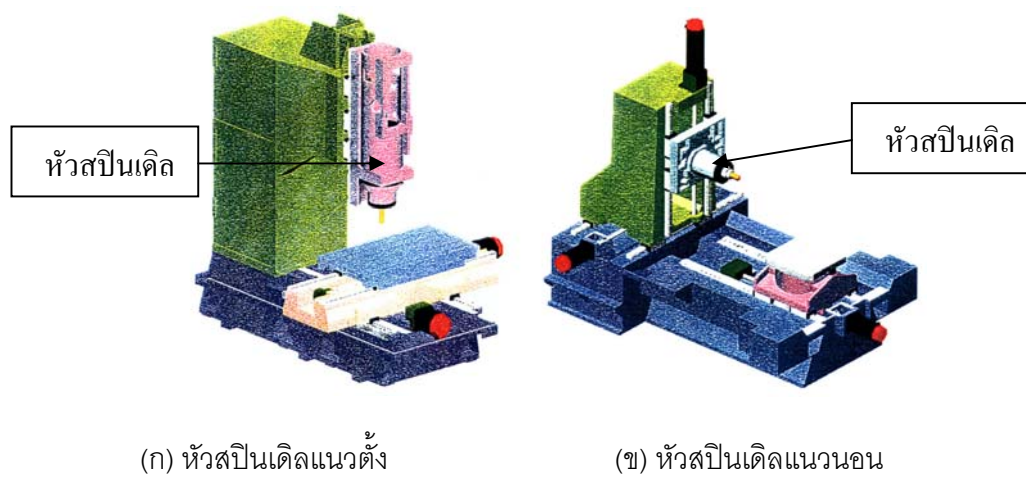
แกนเครื่องจักรซีเอ็นซีทั้งแนวตั้งและแนวนอน [9]



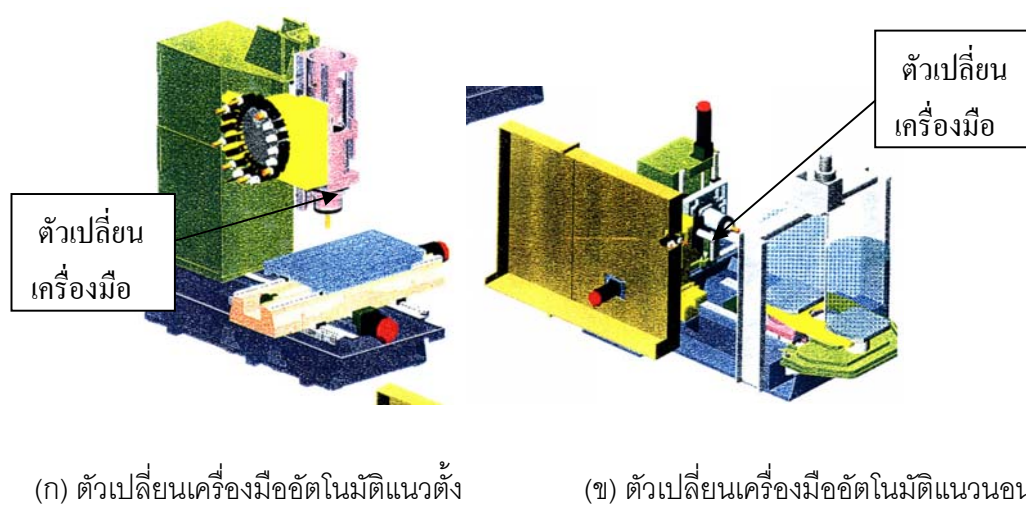
ภาพที่ 2.3
แป้นแนวตั้งและแนวนอนของเครื่องกัดซีเอ็นซี [9]



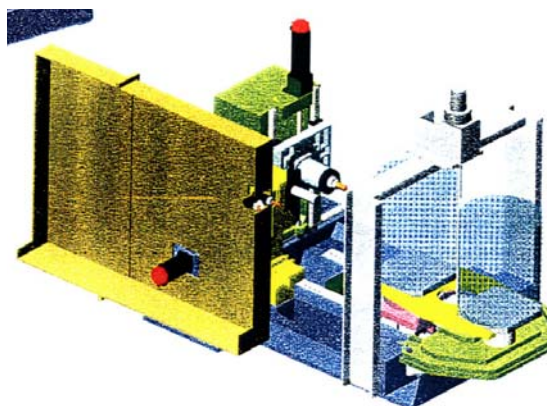
ภาพที่ 2.4
โต๊ะแนวตั้งและแนวนอน [9]



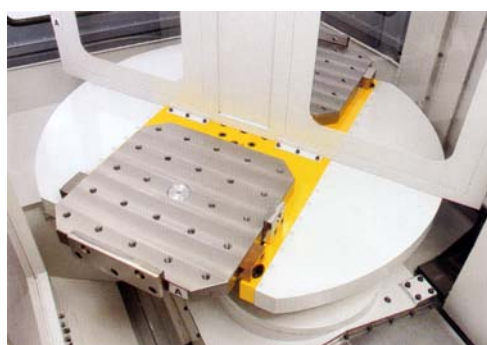
ภาพที่ 2.5
หัวสปินเดิลแนวตั้งและแนวนอน[9]



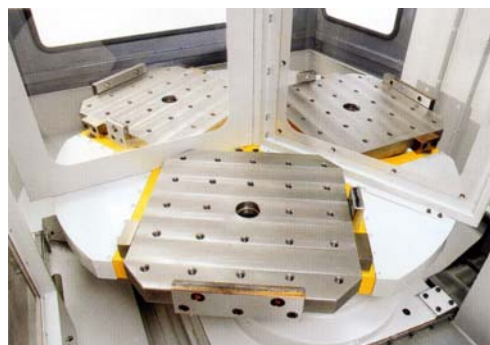
ภาพที่ 2.6
ตัวเปลี่ยนเครื่องมืออัตโนมัติแนวตั้งและแนวนอน [9]



ภาพที่ 2.7
เครื่องกัดซีเอ็นซีที่มีตัวเปลี่ยนโต๊ะวางชิ้นงานอัตโนมัติ [9]



(ก) APC หมุนแบบ 2 โต๊ะวางชิ้นงาน (มาตรฐาน)



(ข) APC หมุนแบบ 3 โต๊ะวางชิ้นงาน

ภาพที่ 2.8
APC หมุนแบบ 2 โต๊ะวางชิ้นงานและ 3 โต๊ะวางชิ้นงาน [9]



ภาพที่ 2.9

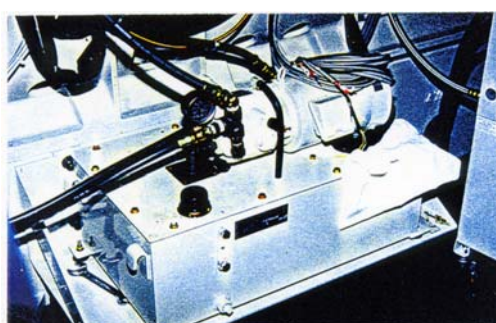
ตัวอย่างของการเชื่อมต่อระบบโต๊ะวางชิ้นงานเชิงเส้น [9]

9. ชิ้นส่วนไฟฟ้ามีการจัดประเภทกว้างๆ เป็นหน่วยควบคุมเอ็นซี และตู้ไฟฟ้าหน่วยควบคุมด้วยคำสั่งเชิงตัวเลขเรียกอีกอย่างว่า “หน่วยเอ็นซี” พื้นที่การประมวลผลกลางที่ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ โดยใช้คำสั่งเชิงตัวเลขประกอบด้วยแผงควบคุมการดำเนินการ พื้นที่ควบคุมคอมพิวเตอร์ และพื้นที่ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์แผงควบคุมการดำเนินการประกอบด้วยจอภาพ CRT และแผงควบคุมการดำเนินการสิ่งนี้ยังเรียกอีกอย่างว่า “ตู้ควบคุม” พื้นที่ที่ควบคุมการดำเนินการอัตโนมัติ ของส่วนประกอบและ เครื่องมือรอบข้างแต่ละตัวแผงควบคุมการดำเนินการควบคุมชิ้นส่วนที่ควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ดังแสดงในภาพที่ 2.13 เช่น สวิตช์ขีดจำกัด, สวิตช์ proximity, โซเลนอยด์วาล์วไฮดรอลิก/อัดลม และไฟทำงาน เมื่อมีการสั่งงานจากตู้ควบคุม CNC ไปยังสปินเดิล แอมพลิฟายเออร์ (Spindle Amplifier) และเซอร์โว แอมพลิฟายเออร์ (Servo Amplifier) โดยทั้งสองตัวจะส่งคำสั่งไปยังเอซี สปินเดิลมอเตอร์ (AC Spindle Motor) และ เอซี เซอร์โวมอเตอร์ (AC Servo Motor) ตามลำดับ ซึ่งสามารถรับคำสั่งและทำงานตามคำสั่งที่ได้รับอย่างมีประสิทธิภาพ

10. ระบบไฮดรอลิก/อัดลม หน่วยไฮดรอลิกใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการดำเนินการยึดโต๊ะ การดำเนินการยึดพาเลต และการดำเนินการเปลี่ยนเครื่องมือ ATC หน่วยอัดลมใช้เป็นแหล่งจ่ายลมสำหรับการป้องกันไม่ให้เศษโลหะหรือสารหล่อเย็นเข้าไปในส่วนประกอบของเครื่องจักร การทำความสะอาดสเปรตสปินเดิลและก้านเครื่องมือในเวลาเปลี่ยนเครื่องมือ การผลิตละอองสารหล่อเย็นโดยการผสมสารหล่อเย็นเข้ากับอากาศ และอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.10

11. สารหล่อเย็นและน้ำมันหล่อลื่น หน่วยจ่ายสารหล่อเย็นจ่ายสารหล่อเย็นไปที่เครื่องมือหรือชิ้นงาน และรวบรวมสารหล่อเย็นจากเครื่องมือใช้สารหล่อเย็นที่ละลายน้ำได้หรือสารหล่อเย็นที่ไม่ละลายน้ำ สารหล่อเย็นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการหล่อลื่นและการหล่อเย็นจุดการตัด ซึ่งเครื่องมือและชิ้นงานสัมผัสกัน การจ่ายสารหล่อเย็นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้หัวฉีดสารหล่อเย็น จ่ายผ่าน สปินเดิล และฉีดในลักษณะละอองสารหล่อเย็น เป็นต้น สำหรับการจ่ายน้ำมันหล่อลื่นจะทำการจ่ายเพื่อหล่อลื่นทางเลื้อน และสปินเดิล ดังแสดงในภาพที่ 2.11

12. โครงภายนอกเครื่องกัดซีเอ็นซี หมายถึงโครงภายนอกเครื่องกัดที่ป้องกันไม่ให้น้ำหล่อเย็นกระเด็นและกระจัดกระจายไปรอบๆ โครงภายนอกเครื่องกัดหมายถึงฝาปิดที่กั้นพื้นที่การดำเนินการของเครื่องจักรฝาปิดที่ครอบเครื่องจักรทั้งเครื่องเรียกว่า "ฝาปิดเครื่อง" โดยแสดงดังภาพที่ 2.12



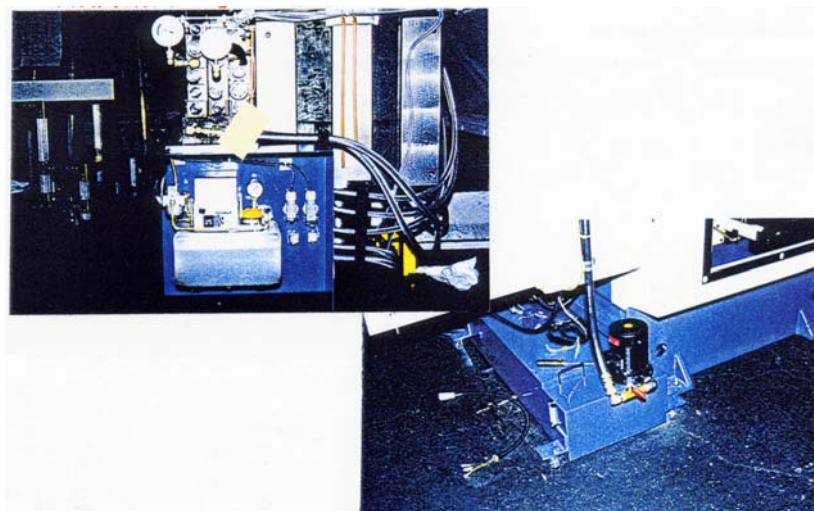
(ก) ระบบไฮดรอลิกต่อหลังเครื่องกัดซีเอ็นซี



(ข) ระบบไฮดรอลิกต่อเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆ

ภาพที่ 2.10

ระบบไฮดรอลิกต่อกับเครื่องกัดซีเอ็นซี [9]



ภาพที่ 2.11

สารหล่อเย็นในถังที่ติดอยู่ด้านหลังเครื่องกัดซีเอ็นซี [9]

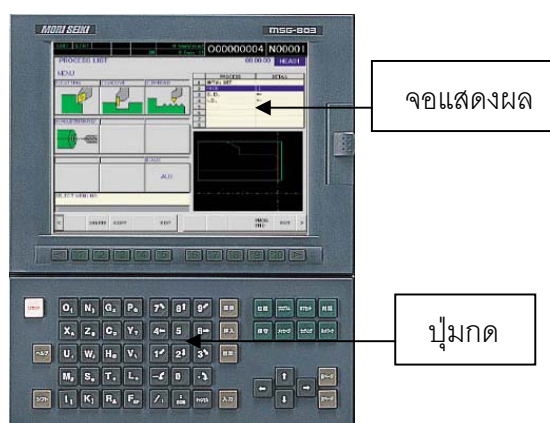


ภาพที่ 2.12

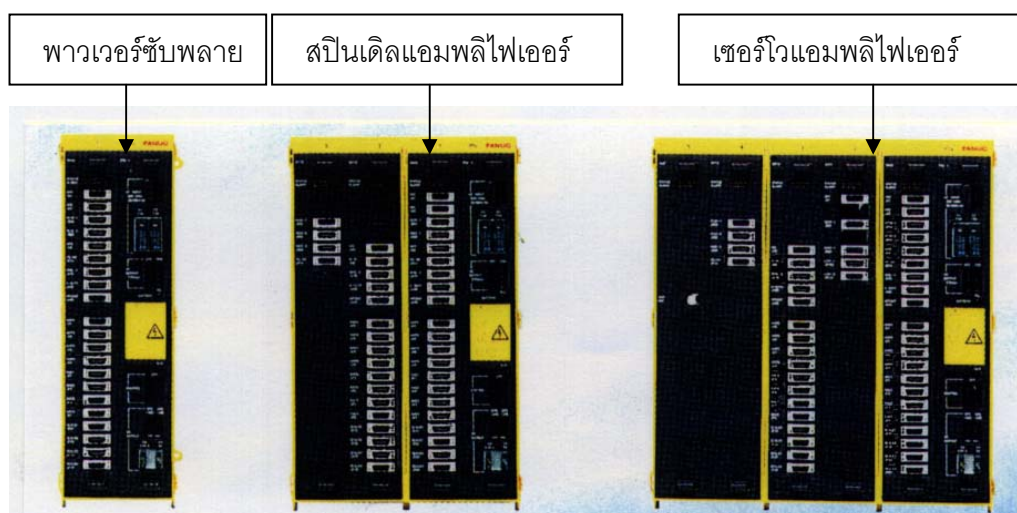
โครงสร้างภายนอกเครื่องกัดซีเอ็นซี [9]

2.1.2 หน่วยควบคุม

หน่วยควบคุมเป็นหน่วยที่ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์โดยใช้คำสั่งเชิงตัวเลขประกอบด้วยแผงควบคุมการดำเนินการ พื้นที่ควบคุมคอมพิวเตอร์ และพื้นที่ควบคุมเซอร์โวมอเตอร์แผงควบคุมการดำเนินการประกอบด้วยจอภาพ และแผงควบคุมการดำเนินการสิ่งนี้ยังเรียกอีกอย่างว่า "ตู้ควบคุม" ซึ่งติดตั้งอยู่ด้านหลังเครื่องกัดซีเอ็นซี



(ก) จอแสดงผลและแป้นพิมพ์

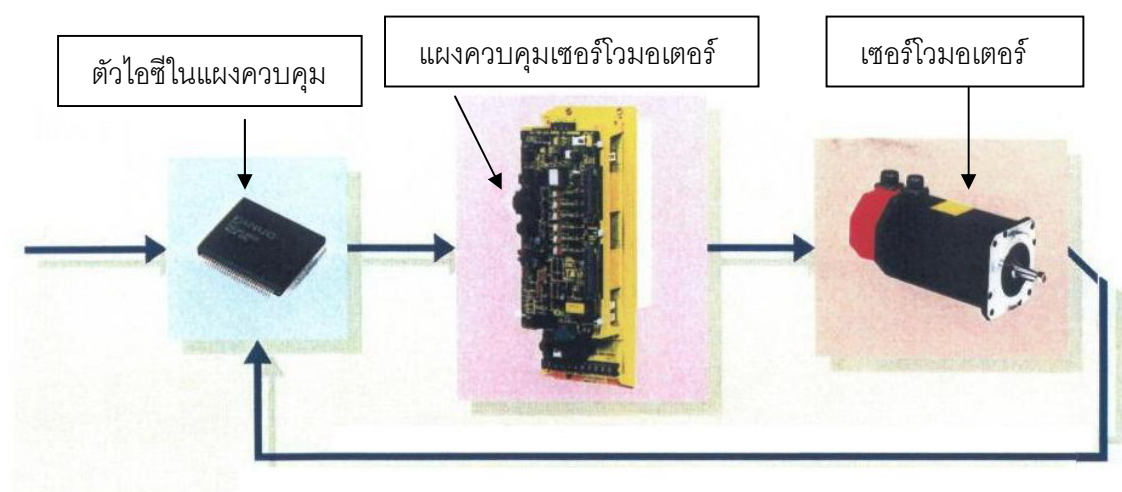


(ข) พื้นที่ควบคุมซีเอ็นซี

ภาพที่ 2.13

หน่วยควบคุม [9]

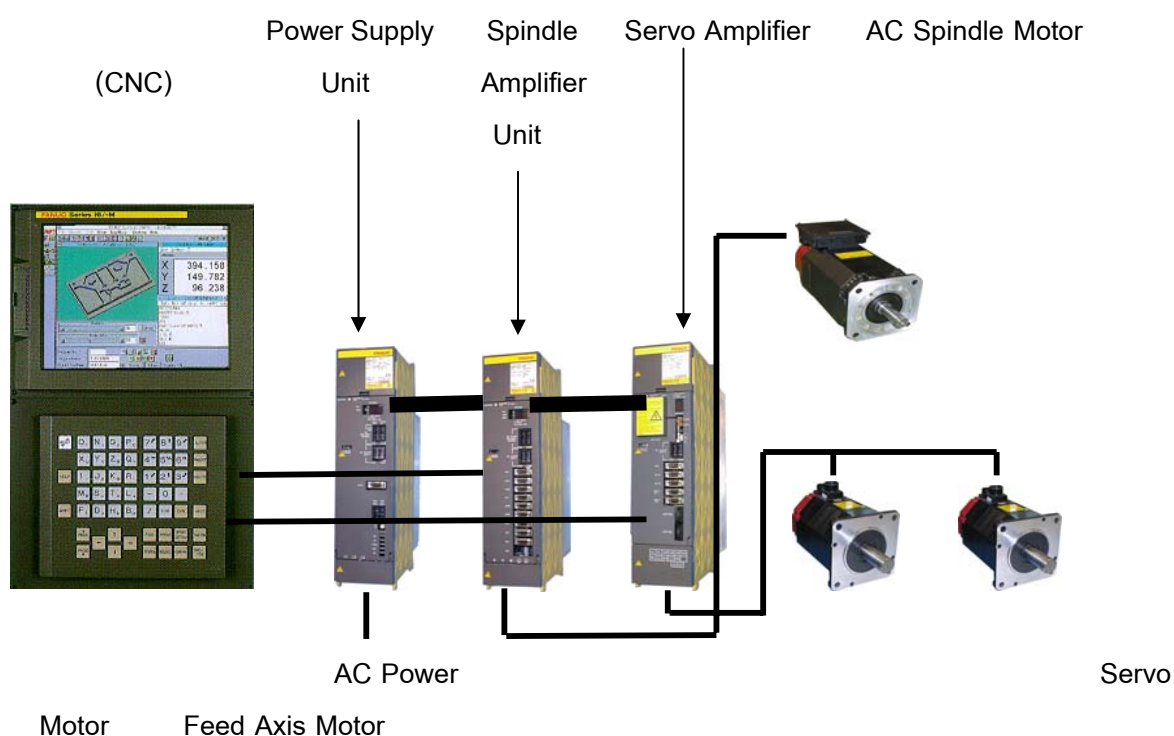
ระบบเซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วยแผงควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งมีหน้าที่รับคำสั่งและส่งคำสั่งในการสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปในทิศทางที่สั่งไปดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14

ระบบเซอร์โวมอเตอร์ [9]

หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ จะรับคำสั่งมาจากเซอร์โวแอมพลิฟายเออร์ในแกนนั้นๆ เมื่อควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนในแกนนั้นๆ เช่น เซอร์โวแอมพลิฟายเออร์ของแกน X จะส่งสัญญาณมาควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ในแกน X เป็นต้น ส่วนสปีนเดิลแอมพลิฟายเออร์นั้นจะควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ของสปีนเดิลหมุนด้วยความเร็วรอบต่างๆ อย่างถูกต้องและแม่นยำ ส่วนพาวเวอร์ซัพพลายนั่นจะมีหน้าที่ส่งไฟไปเลี้ยงสปีนเดิลแอมพลิฟายเออร์และเซอร์โวแอมพลิฟายเออร์ให้ทำงาน และแผงควบคุมจะทำหน้าที่รับคำสั่งจากภายนอกเข้าไปให้เซอร์โวมอเตอร์ทำงานนั่นเองแสดงในภาพที่ 2.15

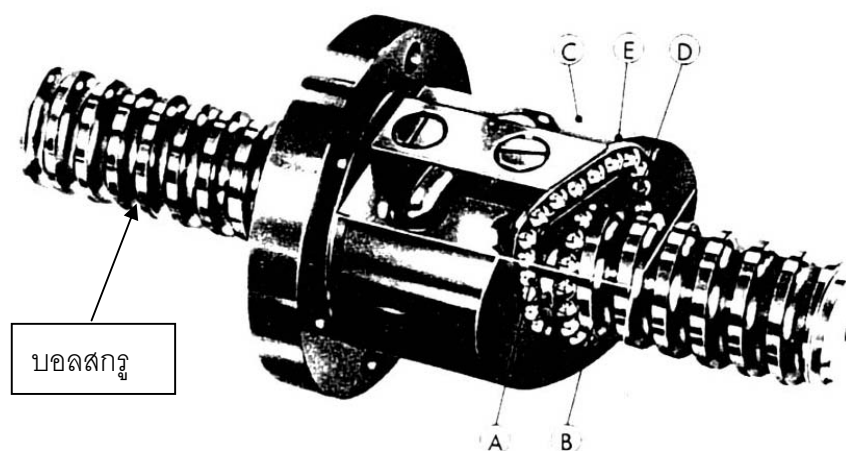


ภาพที่ 2.15

การส่งงานจาก CNC ไปยังเซอร์โวมอเตอร์ และสปีนเดิลมอเตอร์ [9]

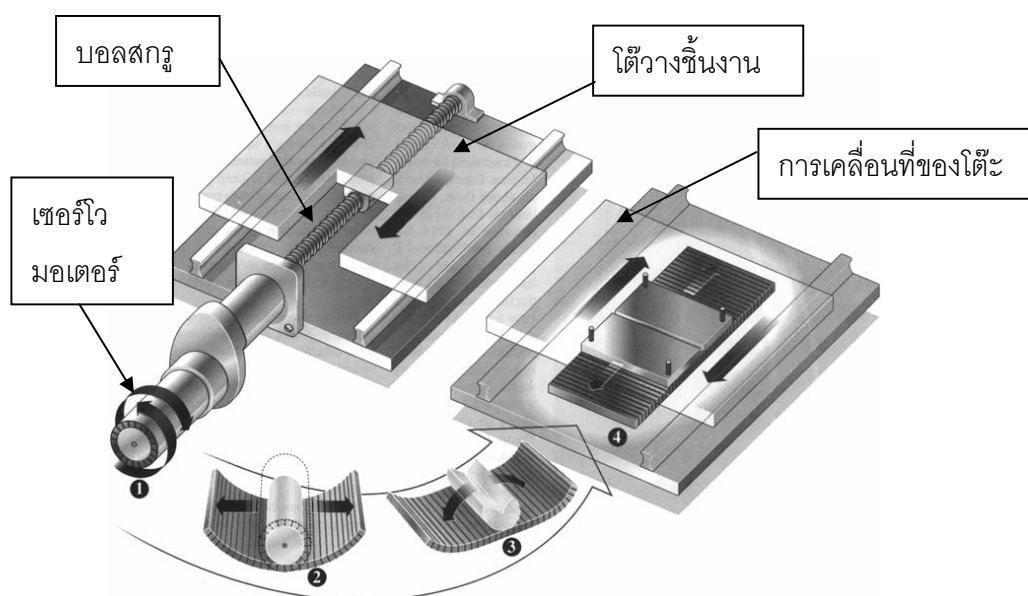
2.1.3 โครงสร้างของบอลสกรู

บอลสกรู คือ แท่งโลหะเกลียวประกอบด้วยลูกบอลเหล็กหมุนและเลื่อนจากจุด (A) ผ่านช่องว่างระหว่างเพลากลียว (B) และน็อต (C) จนกว่าจะครบหนึ่งรอบครึ่งหรือสามรอบครึ่ง จากนั้นลูกบอลมีการดิ่งขึ้นที่จุด (D) ที่ปลายท่อ (E) ลูกบอลเคลื่อนผ่านท่อ แล้วกลับคืนไปที่จุด (A) บอลสกรูต่อเข้ากับเซอร์โวมอเตอร์และโต๊ะวางชิ้นงาน หน้าที่หลักของบอลสกรูคือรับคำสั่งในการหมุนโดยตรงมาจากแกนของเซอร์โวมอเตอร์ ทำให้นำมาโต๊ะวางชิ้นงาน ซึ่งต่อเข้ากับบอลสกรูอีกทีหนึ่ง ทำให้เกิดการพาโต๊ะวางชิ้นงานเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ ที่เซอร์โวมอเตอร์สั่งให้หมุนไป ดังแสดงในภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16

ส่วนประกอบของบอลสกรู [9]



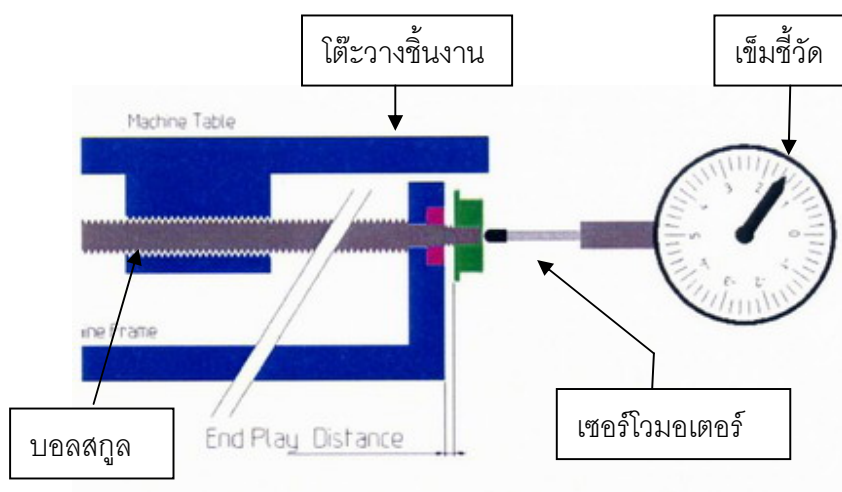
ภาพที่ 2.17

การต่อเซอริโวมอเตอร์เข้ากับบอลสกรูและแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ [9]

บอลสกรูเป็นส่วนที่ประกอบกับเซอร์โวมอเตอร์ โดยมีลูกปืน (Bearing) ประกอบที่ปลายของแกนบอลสกรูทั้งสองข้าง ที่ส่วนกลางของบอลสกรูจะมีปล้องลักษณะกลมภายในมีเม็ดลูกปืนจำนวนมากไว้สำหรับสนับสนุนให้ปล้องกลมนี้อเคลื่อนที่ไปได้ตลอดแกนของบอลสกรู ซึ่งปล้องลักษณะกลมนี้อจะยึดกับฐานของโต๊ะงาน ทำให้โต๊ะงานสามารถเคลื่อนที่ไปได้ตามคำสั่งของเซอร์โวมอเตอร์ที่สั่งไปให้บอลสกรูหมุนตามที่ตั้งได้ ลักษณะของบอลสกรู

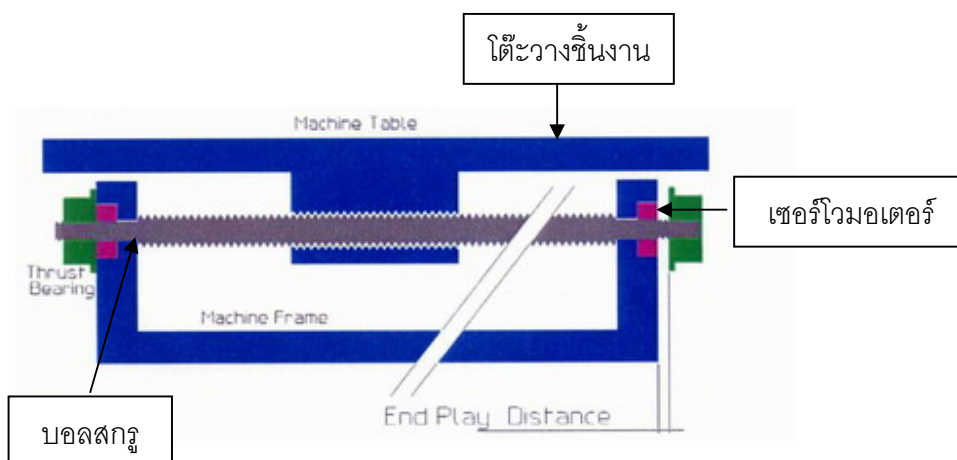
2.4 กลไกการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงาน

บอลสกรูต่อเข้ากับแกนเซอร์โวมอเตอร์และโต๊ะวางชิ้นงาน เมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนไปจะขับให้บอลสกรูหมุนไปตามที่เซอร์โวมอเตอร์สั่งงานไป จึงถือว่าทั้งเซอร์โวมอเตอร์และบอลสกรูเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน ดังแสดงดังภาพที่ 18 ซึ่งก็คือส่วนประกอบของเครื่องจักรที่นำเซอร์โวมอเตอร์ประกอบเข้ากับบอลสกรู แล้วนำมาประกอบเข้ากับโต๊ะวางชิ้นงานนั่นเอง เมื่อประกอบแล้วจะทำการใช้เข็มชี้วัดมาแตะที่โต๊ะวางชิ้นงาน เพื่อที่จะวัดค่าความถูกต้องและแม่นยำของการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงานว่าเคลื่อนที่ได้ถูกต้องแม่นยำขนาดไหน



ภาพที่ 2.18

การใช้ตัววัดค่าในขณะที่เซอร์โวมอเตอร์ขับบอลสกรูให้เคลื่อนที่ [13]

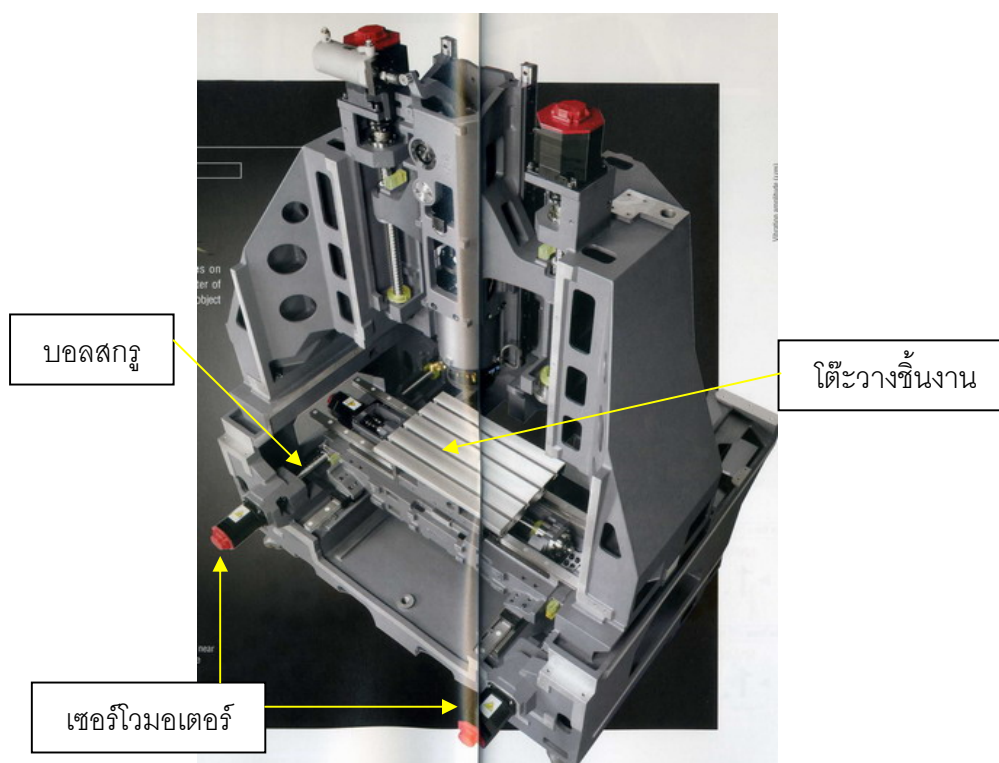


ภาพที่ 2.19

การขับเคลื่อนของโต๊ะวางชิ้นงานบนบอลสกรูที่ขับเคลื่อนด้วยเซอร์โวมอเตอร์ [13]

ที่มาของภาพ : Fred Smith What makes a CNC-ready milling machine? IMService

<http://www.imsrv.com>



ภาพที่ 2.20

เซอร์โวมอเตอร์ที่ต่อกับบอลสกรูแล้วนำมาประกอบกับโต๊ะวางชิ้นงานในเครื่องจักรซีเอ็นซี [9]

ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงานที่ทำให้ผิดพลาดจากมาตรฐาน ซึ่งจำเป็นที่จะต้องทำการวิเคราะห์ บอลสกรูต่อจากเซอร์โวมอเตอร์ ทางด้านบนจะติดกับโต๊ะวางชิ้นงาน เมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนจะขับให้บอลสกรูหมุนตามไป เมื่อบอลสกรูหมุนไปจะส่งผลให้โต๊ะวางชิ้นงานหมุนไปด้วย ทำให้โต๊ะวางชิ้นงานเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งต่างๆ ตามที่เซอร์โวมอเตอร์และบอลสกรูที่หมุนไป ดังนั้น เซอร์โวมอเตอร์เมื่อต่อเข้ากับบอลสกรู (ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางกล โดยที่เป็นตัวรับคำสั่งในการหมุนพาโต๊ะวางชิ้นงานให้เคลื่อนที่ไป) เมื่อเซอร์โวมอเตอร์หมุนไปที่ระยะพิกัดที่ต้องการอย่างถูกต้องและแม่นยำแล้ว แต่พบว่าบอลสกรูหมุนไปอยู่ในตำแหน่งของระยะช่องว่างของบอลสกรูพอดี ทำให้พาโต๊ะวางชิ้นงานไปในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง นั่นคือสาเหตุของการเคลื่อนที่ของโต๊ะวางชิ้นงานที่ผิดพลาด ซึ่งความผิดพลาดนี้เกิดจากบอลสกรูมีระยะช่องว่างในการเคลื่อนที่ดังแสดงในภาพที่ 2.16 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าบอลสกรูมีระยะช่องว่าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับเซอร์โวมอเตอร์ให้หมุนในระยะมากขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย หรือน้อยกว่าเดิมเล็กน้อย เพื่อที่บอลสกรูจะได้หมุนพาโต๊ะวางชิ้นงานไปในตำแหน่งที่ต้องการได้ ข้อผิดพลาดนี้เป็นข้อผิดพลาดของกลไกการเคลื่อนที่ (Mechanism Error) ของบอลสกรู ทำให้เกิดคำว่า แบคแลช ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในบทต่อไป

2.15 การออกแบบการทดลอง (Design of experiment)

เป็นระบบการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมโดยใช้หลักการคำนวณและเทคนิคการรวบรวมข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลมีความสมบูรณ์ และสามารถแก้ไขปัญหาได้ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดการใช้ค่าใช้จ่ายและเวลาให้น้อยลง

องค์ประกอบที่สำคัญของการออกแบบการทดลอง

การวางแผนการออกแบบการทดลองโดยทั่วไปต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 แผนการดำเนินงาน ประกอบด้วยเป้าหมาย ขอบเขต กิจกรรมขั้นตอนในการดำเนินการออกแบบ

ส่วนที่ 2 โครงสร้าง เป็นภาพแบบ หรือเค้าโครงอันเป็นแกนหลักสำหรับการออกแบบการทดลอง จะมีความเจาะจงโดยสามารถปัจจัยต่างๆ ที่จะศึกษาในงาน ได้อย่างชัดเจน

ส่วนที่ 3 การทดลอง เป็นวิธีการที่จะทำให้แผนและโครงสร้างของการทดลองดำเนิน ไปสู่เป้าหมายของการทดลองอย่างถูกต้องสมบูรณ์ หมายถึง ระเบียบวิธีที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล

หลักการออกแบบการทดลอง

1. การเปรียบเทียบ (Comparative) คือ การประเมินและการเปรียบเทียบ การเปลี่ยนแปลงของปัจจัย ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการทั้งหมด
2. การเข้าใจในลักษณะพิเศษ (Screening Characterization) คือ การทำความเข้าใจกระบวนการการทำงานทั้งหมด (หลังจากการออกแบบ และการวิเคราะห์) เพื่อจับประเด็นความสำคัญของปัจจัย และตัดปัจจัยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการออก
3. การจำลอง (Modeling) คือ การจำลองกระบวนการการทำงานของปัจจัย เพื่อให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่เหมาะสม โดยอาศัยฟังก์ชันเกี่ยวกับคณิตศาสตร์และการประมาณค่าทางสถิติ
4. การทำให้เหมาะสม (Optimizing) คือ การกำหนดระดับและความสำคัญของปัจจัย ที่ทำให้กระบวนการมีความเหมาะสม

จุดประสงค์การออกแบบการทดลอง

จุดประสงค์การออกแบบการทดลองคือการกำหนดเป้าหมายของการออกแบบเพื่อให้ผลการทดลองที่ออกมาตรงกับความต้องการ

1. การเปรียบเทียบ

ถ้าปัจจัยที่กำหนด มีหนึ่งปัจจัย หรือหลายปัจจัยในการพิจารณา อันดับแรกของการทดลอง จะต้องทำบทสรุปเกี่ยวกับความสำคัญของปัจจัย และพิจารณาว่าปัจจัยนั้นเป็นปัจจัยที่สนใจ หรือปัจจัยที่มีความสำคัญ ต่อมาจึงจะทำการเปรียบเทียบปัญหา และ ทำการออกแบบวิธีการเปรียบเทียบปัญหา และขอบเขตที่เหมาะสมสำหรับการเปรียบเทียบ

2. การครอบคลุม

อันดับแรกของการทดลองจะต้องระบุปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อกระบวนการ และจึงเลือกตัดปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยออก จากจำนวนปัจจัยหลักที่มีทั้งหมด และจึงทำการออกแบบการทดลองให้ครอบคลุมปัจจัยทั้งหมด

3. การตอบสนองของผลลัพธ์

การทดลองถูกออกแบบเพื่อยอมการประเมินการกระทำของกระบวนการกับผลที่เกิดขึ้น ซึ่งผลเบื้องต้นที่ออกมาจะต้องอยู่ในกรอบของขอบเขตแนวความคิดที่ทำการพิจารณาซึ่งสามารถออกแบบได้ด้วยวิธีการดังนี้

1. ปรับปรุง และ ควบคุมกระบวนการให้ดีที่สุด
2. แก้ปัญหา และจุดอ่อน ของกระบวนการ

3. ป้องกันผลกระทบจากภายนอกที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการ

ในการออกแบบการทดลองโดยทั่วไป การมีระดับพิจารณาในการทดลองเพียงระดับเดียวเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบนั้น ไม่มีความเพียงพอ เพราะจะทำให้ผลการทดลองออกมามีความแม่นยำไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดระดับของการออกแบบการทดลองเพื่อใช้ผลการทดลองออกมามีความแม่นยำที่เพียงพอ

ระดับของการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองส่วนมากจะนิยมใช้ระดับการออกแบบสองระดับเหตุผลเพราะว่าทำให้การออกแบบการทดลองครอบคลุมอีกทั้งยังง่ายและประหยัดทั้งทำผลการทดลองออกมาตอบสนองต่อความต้องการ การออกแบบสองระดับ จะแบ่งระดับที่ใช้ในการศึกษา 2 ระดับ คือ +1 จะแทน "ระดับสูง" และ -1 จะแทน "ระดับต่ำ" เป็นต้น

ตารางที่ 2.1

ตัวอย่างการกำหนดระดับ

	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2
การทดลองที่ 1	-1	-1
การทดลองที่ 2	+1	-1
การทดลองที่ 3	-1	+1
การทดลองที่ 4	+1	+1

การเลือกระดับของกระบวนการเลือกของตัวแปรที่ดีควรพิจารณาดังนี้

1. ความสำคัญทั้งหมดของปัจจัย
2. การเลือกระดับของระดับปัจจัยต่ำ และระดับปัจจัยสูง
3. ตรวจสอบความเป็นไปได้ของปัจจัยที่กำหนด
4. ความสัมพันธ์ของผลลัพธ์ที่ได้มา
5. หลีกเลี่ยงการใช้ตัวแปรเดียวในกระบวนการการวัดสอง หรือมากกว่าของกระบวนการ

2.1.6 ประเภทของการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง สามารถแบ่งได้หลายประเภท

2.1.6.1 การออกแบบการทดลองแบบการสุ่มเปรียบเทียบ (Completely randomized designs)

การออกแบบการสุ่มอย่างสมบูรณ์แบบ นั้นจะอาศัยปัจจัยเพียงหนึ่งปัจจัย และจะทำการทดลองเปรียบเทียบค่าโดยอาศัยระดับความแตกต่างของปัจจัยนั้น สำหรับทำการออกแบบการสุ่มอย่างสมบูรณ์ ระดับของปัจจัยจะถูกกำหนดจากการสุ่มจากผลการทดลอง โดยการสุ่ม ซึ่งหมายความว่า การไล่ตามลำดับของผลการทดลองแล้วตัดสินใจสุ่ม เป็นต้นว่า ถ้ามีปัจจัย 3 ระดับ และแต่ละระดับทำการทดลอง 2 ครั้ง ดังนั้น จึงมีภาพแบบที่เป็นไปได้มี 6 factorial ที่เรียงลำดับต่อกัน หรือ 6 แนวทางในการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีจำนวนคำตอบ คือ 90 ($90 = 6!/(2!*2!*2!)$) เพราะว่าตัวอย่างของการออกแบบ ไม่ได้เป็นแบบสุ่ม ซึ่งเป็นการทดลอง 2 การทดลองที่เรียงต่อกัน เริ่มจากการทดลองระดับแรก 2 ครั้ง แล้วจึงเป็นการทดลองระดับที่ 2 อีก 2 ครั้ง และสุดท้ายตอนท้ายระดับที่สามอีก 2 ครั้ง เป็น เพื่อทำการเรียงสุ่ม การออกแบบการสุ่มอย่างสมบูรณ์ ด้วยหนึ่งปัจจัย จะได้ขนาดตัวอย่างทั้งหมด (จำนวนลำดับ, N)

$$N = k \times L \times n$$

เมื่อ k = จำนวนปัจจัย (โดยการออกแบบทั่วไป จะเท่ากับ 1)

L = จำนวนระดับ

n = จำนวนคำตอบ

2.1.6.2 การออกแบบการทดลองแบบการสุ่มบล็อก (Randomized block designs)

สำหรับการออกแบบการสุ่มบล็อก จะมีปัจจัยหรือตัวแปรเพียงหนึ่งตัวนั้นคือ สิ่งที่น่าสนใจอันดับแรก แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีปัจจัยรบกวนอย่างอื่นด้วย ซึ่งปัจจัยการรบกวนนั้นอาจจะส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ของเครื่องมือวัด แต่ไม่ใช่สิ่งที่เป็นปัจจัยสำคัญ เป็นต้นว่าในการปฏิบัติการ ปัจจัยรบกวนอาจจะเกิดจากผู้ปฏิบัติการ อย่างเช่น การผู้เตรียมตัวของผู้ปฏิบัติการ วันเวลาในการทดลอง และอุณหภูมิห้อง ทั้งหมดเป็นปัจจัยรบกวนในการทดลอง ผู้ปฏิบัติการจะต้องควบคุมระบบการปฏิบัติการเพื่อป้องกันปัจจัยรบกวนที่จะเกิดขึ้น ระหว่างการทดลองเมื่อเราสามารถควบคุมปัจจัยรบกวนได้ ก็จะสามารถช่วยลด หรือกำจัดข้อผิดพลาดในการทดลอง ที่ทำให้เกิดปัจจัยรบกวน พื้นฐานของการออกแบบบล็อก สิ่งซึ่งเป็นปัจจัยรบกวน จะถูกควบคุมให้มีค่าคงที่ และปัจจัยที่สนใจจะถูกยอมรับภายในบล็อก มันเป็นไปได้ที่จะประเมินผลกระทบของระดับแตกต่างของปัจจัยที่สนใจโดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยบล็อก

สิ่งซึ่งอธิบายในการวิเคราะห์ ปัจจัยรอบกวนถูกใช้เป็นปัจจัยป้องกัน ถ้าทุกระดับของปัจจัยที่สนใจมีจำนวนเท่ากับระดับของปัจจัยรอบกวน การวิเคราะห์การทดลองจะให้ความสำคัญผลกระทบกับระดับของปัจจัยที่สนใจภายในบล็อกแต่ละอันของการทดลอง

2.1.6.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (Two-level full factorial designs)

โดยทั่วไปการออกแบบทดลอง คือการพิจารณาปัจจัยสำคัญเพียงหนึ่งปัจจัยและกำหนดระดับที่พิจารณา 2 ระดับ ซึ่งจะแยกเป็นระดับสูง และ ระดับต่ำ หรือ +1 และ -1 ตามลำดับการออกแบบกับการรวมเอาความไปได้ทั้งหมดของระดับสูงและระดับต่ำ ซึ่งจะถูกเรียกว่า การออกแบบ full factorial แบบสองระดับการพิจารณา

ตารางที่ 2.2

ระดับการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^2

ลำดับการทดลองที่	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1

จากตารางที่ 2.2 พิจารณาการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบ 2 ระดับเมื่อปัจจัยที่พิจารณามี 2 ปัจจัยกล่าวได้คือ การออกแบบ การทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบ 2^2 ซึ่งมีระดับการทดลองดังตัวอย่าง เช่น การทดลองที่ 1 มีระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ 1 คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ 2 คือ ระดับต่ำ (-1) หรือการทดลองที่ 2 ระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ 1 คือ ระดับสูง (+1) ระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ 2 คือ ระดับต่ำ (-1) เป็นต้น

จากตารางที่ 2.3 พิจารณาการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบ 2 ระดับเมื่อปัจจัยที่พิจารณามี 3 ปัจจัยกล่าวได้คือ การออกแบบ การทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบ 2^3 เช่น การทดลองที่ 1 มีระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ 1 คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ 2 คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ 3 คือ ระดับต่ำ (-1) หรือการทดลองที่ 2 ระดับการ

พิจารณาของปัจจัยที่ 1 คือ ระดับสูง (+1) ระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ 2 คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ 3 คือ ระดับต่ำ (-1) เป็นต้น

ตารางที่ 2.3

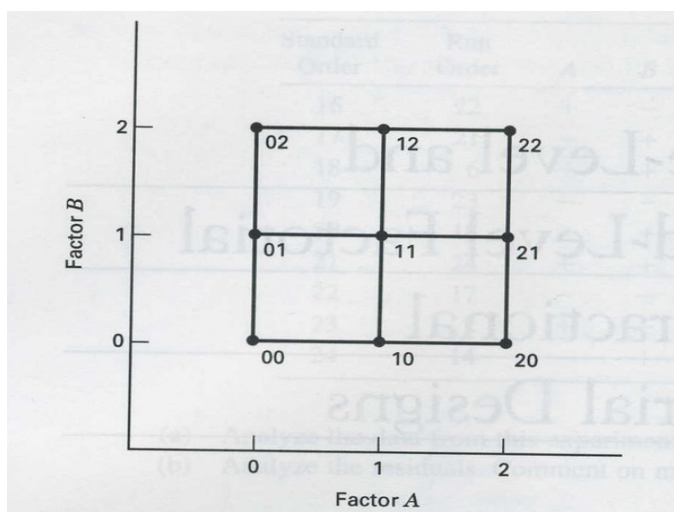
ระดับการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^3

ลำดับการทดลองที่	ปัจจัยที่ 1	ปัจจัยที่ 2	ปัจจัยที่ 3
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1

2.1.6.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (Three-level full factorial designs)

2.1.6.4.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 3^k หมายถึง การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ กำหนดให้สัญลักษณ์ของปัจจัยและอัตราากิริยาแทนตัวอักษรใหญ่ และระดับทั้งสามของแต่ละปัจจัยมีค่าเป็น ต่ำ กลาง และสูง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามอาจจะเป็นตัวเลข 0 (ต่ำ) 1 (ปานกลาง) 2 (สูง) การทดลองร่วมปัจจัยในการออกแบบ 3^k จะแทนด้วยตัวเลข k ตัวโดยที่ตัวเลขตัวแรกแทนระดับของปัจจัย A ส่วนตัวเลขตัวที่สองแทนระดับของปัจจัย B และตัวเลขตัวที่ K แทนระดับของปัจจัย K ตัวอย่างเช่น ในการออกแบบ 3^2 ตัวเลข 00 หมายถึง การทดลองร่วมปัจจัยซึ่งทั้ง A และ B อยู่ในระดับต่ำ ส่วน 01 หมายถึงการทดลองร่วมปัจจัยที่ A อยู่ในระดับต่ำ และ B อยู่ในระดับปานกลาง



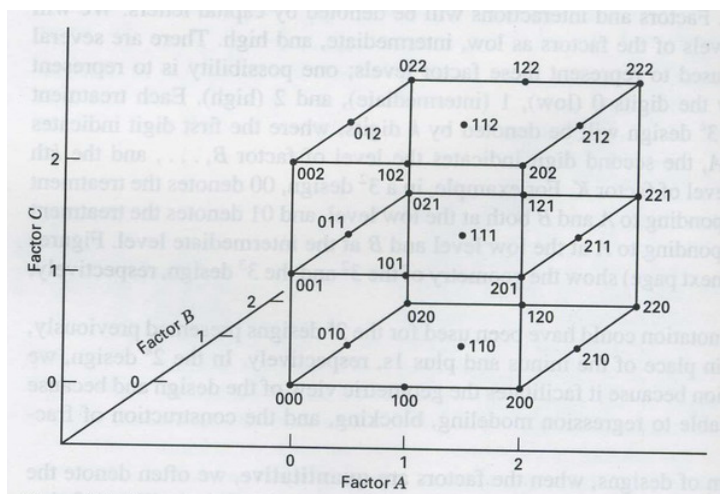
ภาพที่ 2.21

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^2 [3]

จากภาพที่ 2.21 พิจารณาการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบ 3 ระดับเมื่อปัจจัยที่พิจารณามี 2 ปัจจัยกล่าวได้คือ การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบ 3^2 ซึ่งแกนในแนวนอนคือระดับการพิจารณาของปัจจัย A ซึ่งประกอบด้วยระดับตัวเลข 0 (ต่ำ) 1 (ปานกลาง) 2 (สูง) และแกนในแนวตั้งคือระดับการพิจารณาของปัจจัย B ซึ่งประกอบด้วยระดับตัวเลข 0 (ต่ำ) 1 (ปานกลาง) 2 (สูง) เช่น การทดลองที่ 1 (ตำแหน่งที่ 00) มีระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ A คือ ระดับต่ำ (0) ระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ B คือ ระดับต่ำ (0) หรือการทดลองที่ 2 (ตำแหน่ง 10) ระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ A คือ ระดับปานกลาง (1) และ ระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ B คือ ระดับต่ำ (0) เป็นต้น

จากภาพที่ 2.22 พิจารณาการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบ 3 ระดับเมื่อปัจจัยที่พิจารณามี 3 ปัจจัยกล่าวได้คือ การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบ 3^3 ซึ่งแกนในแนวนอนคือระดับการพิจารณาของปัจจัย A ซึ่งประกอบด้วยระดับตัวเลข 0 (ต่ำ) 1 (ปานกลาง) 2 (สูง) และแกนในแนวนอนที่เฉียงไปด้านหลัง คือ ระดับการพิจารณาของปัจจัย B ซึ่งประกอบด้วยระดับตัวเลข 0 (ต่ำ) 1 (ปานกลาง) 2 (สูง) และแกนในแนวตั้งคือระดับการพิจารณาของปัจจัย C ซึ่งประกอบด้วยระดับตัวเลข 0 (ต่ำ) 1 (ปานกลาง) 2 (สูง) เช่น การทดลองที่ 1 (ตำแหน่งที่ 000) มีระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ A คือ ระดับต่ำ (0) ระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ B คือ ระดับต่ำ (0) และระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ C คือ ระดับต่ำ (0) หรือการทดลองที่ 2 (ตำแหน่ง 100) ระดับการพิจารณาของ

ปัจจัยที่ A คือ ระดับปานกลาง (+1) ระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ B คือ ระดับต่ำ (0) และระดับการพิจารณาของปัจจัยที่ C คือ ระดับต่ำ (0) เป็นต้น



ภาพที่ 2.22

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^3 [3]

2.1.6.4.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^2

การออกแบบที่ง่ายที่สุดในระบบ 3^k คือการออกแบบ 3^2 ซึ่งประกอบด้วย 2 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ การทดลองรวมปัจจัยสำหรับการออกแบบนี้แสดงในภาพที่ 2.21 ซึ่งประกอบด้วยสองปัจจัยคือ ปัจจัย A และ ปัจจัย B เนื่องจากการออกแบบการทดลองนี้มีการทดลองรวมปัจจัย $3^2 = 9$ การทดลอง ดังนั้นระดับขั้นเสรีของการทดลองรวมปัจจัยจะมีค่าเท่ากับ 8 ผลหลัก A และ B จะมีระดับขั้นเสรีเท่ากับ 2 และอันตรกิริยา AB จะมีระดับขั้นเสรีเท่ากับ 4 ถ้าจำนวนของการเรพลิเคตเท่ากับ n ค่าของระดับขั้นเสรีทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ $n3^2 - 1$ และค่าผิดพลาดของระดับขั้นเสรีเท่ากับ $3^2 (n-1)$

ค่าผลรวมของกำลังสองสำหรับ A, B และ AB สามารถหาได้จากวิธีปกติเหมือนการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล ค่าผลรวมของกำลังสองสำหรับผลหลักอาจจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนเชิงเส้นและส่วนควอดราติก ซึ่งแต่ละส่วนมีระดับขั้นเสรีเท่ากับ 1 โดยใช้ค่าคงตัวคอนแทรสต์เชิงตั้งฉาก ซึ่งวิธีนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อปัจจัยทั้งหมดเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ และระดับทั้งสามของแต่ละปัจจัยมีระยะห่างเท่ากัน

2.1.6.4.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^3

สมมติว่ามีปัจจัยอยู่ 3 ปัจจัย (A, B และ C) อยู่ในใจความสนใจ แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ ซึ่งจัดอยู่ในภาพแบบการทดลองทางแฟคทอเรียล การออกแบบในกรณีนี้เรียกว่า การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล แบบ 3^3 โครงสร้าง ของการทดลองและสัญลักษณ์ของการทดลองรวม ปัจจัยต่างๆ แสดงไว้แล้วใน 2.2 ในการทดลองนี้จะประกอบด้วยการทดลองรวม 27 การทดลอง ดังนั้น จะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 26 ผลหลักแต่ละตัวจะมีระดับขั้นเสรีเท่ากับ 2 อันตรกิริยา แบบสองปัจจัย แต่ละตัวจะมีระดับขั้นเสรีเท่ากับ 4 และอันตรกิริยาแบบสามปัจจัยจะมีระดับขั้นเสรีเท่ากับ 8 ถ้าทำการทดลองทั้งสิ้น n เพลทเคต จะมีระดับขั้นเสรีผลรวมเท่ากับ $n3^3 - 1$ และมีค่าผิดพลาดของระดับขั้นเสรีเท่ากับ $3^2(n-1)$ c และความผิดพลาดของระดับขั้นเสรีเท่ากับ $3^3(n-1)$

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^k

แนวความคิดของการออกแบบ 3^2 และ 3^3 สามารถขยายไปสู่กรณีของปัจจัย k ตัว แต่ละตัวประกอบด้วย 3 ระดับ นั่นคือ การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^k สัญลักษณ์แบบดิจิทัลถูกนำมาใช้ แทนการทดลองรวมปัจจัยที่เกิดขึ้น เช่น 0120 หมายถึงการทดลองรวมปัจจัยในการออกแบบ 3^4 ที่มี A และ D อยู่ในระดับต่ำ B อยู่ในระดับกลาง และ C อยู่ในระดับสูง การออกแบบ 3^k นี้จะประกอบด้วยการทดลองรวมปัจจัยทั้งสิ้น 3^k การทดลอง และมีระดับขั้นเสรีเท่ากับ $3^k - 1$ จากการทดลองรวมปัจจัยเหล่านี้จะทำให้เกิดผลรวมของกำลังสองของผลหลัก k ตัว ที่แต่ละตัวมีระดับขั้นเสรีเท่ากับ 2 และ อันตรกิริยาแบบสองปัจจัยจำนวน C_2^k ซึ่งมีระดับขั้นเสรีเท่ากับ 4 และ อันตรกิริยาแบบ k ปัจจัยซึ่งมีระดับขั้นเสรีเท่ากับ 2^k ถ้ามีการทดลองทั้งสิ้น m เพลทเคต จะทำให้เกิดระดับขั้นเสรีทั้งหมดเท่ากับ $n3^k - 1$ และค่าผิดพลาดของระดับขั้นเสรีเท่ากับ $3^k(n-1)$

2.1.6.5 แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design)

แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) ทั่วไปมีภาพแบบ คือ แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไปมีภาพแบบคือ $A \times B \times C \dots$ แฟคทอเรียล เช่น แฟคทอเรียล $3 \times 2 \times 3$ ภาพแบบของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่สำคัญ ได้แก่

- (a) 2^k แฟคทอเรียลใช้กับการทดลองหลายปัจจัยที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 2 ระดับในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย
- (b) 3^k แฟคทอเรียลใช้กับการทดลองหลายปัจจัยที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 3 ระดับในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

2^k แฟคทอเรียลเหมาะสมกับภาพแบบที่เป็นเส้นตรง ซึ่งจะทำให้สามารถตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง แต่ถ้าหากว่าอิทธิพลของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองมีความเป็นเส้นตรงไม่ดีแล้ว ใช้แบบ 3^k แฟคทอเรียลแทนจะเหมาะสมกว่า

การพิจารณาแบบจำลองการวิเคราะห์ความแปรปรวน 3 ปัจจัย และกำหนดให้ A, B และ C มีลำดับลักษณะแบบกำหนดโดยมีจำนวนระดับเท่ากัน (Fixed Effect) โดย a, b และ c ตามลำดับ ตารางสำหรับวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงตารางที่ 2.4 โดยค่าของ F-Test ของผลหลักและอันตรกิริยาหาได้โดยตรงจากค่ากำลังสองเฉลี่ยคาดหวังที่ได้คือ MS_A

ตารางที่ 2.4
วิเคราะห์ความแปรปรวน [3]

Source of Variation	Sum of Square (SS)	Degree of Freedom (DF)	Mean Square (MS)	Expected Mean Square	F_0
A	SS_A	a-1	MS_A	$\sigma^2 + \frac{bcn \sum \tau_i^2}{a-1}$	$= \frac{MS_A}{MS_E}$
B	SS_B	b-1	MS_B	$\sigma^2 + \frac{acn \sum \beta_j^2}{b-1}$	$= \frac{MS_B}{MS_E}$
C	SS_C	c-1	MS_C	$\sigma^2 + \frac{abn \sum \gamma_k^2}{c-1}$	$= \frac{MS_C}{MS_E}$
AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	MS_{AB}	$\sigma^2 + \frac{cn \sum \sum (\tau\beta)_{ij}^2}{(a-1)(b-1)}$	$= \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
AC	SS_{AC}	(a-1)(c-1)	MS_{AC}	$\sigma^2 + \frac{bn \sum \sum (\tau\gamma)_{ik}^2}{(a-1)(c-1)}$	$= \frac{MS_{AC}}{MS_E}$

ตารางที่ 2.4
วิเคราะห์ความแปรปรวน [3] (ต่อ)

Source of Variation	Sum of Square (SS)	Degree of Freedom (DF)	Mean Square (MS)	Expected Mean Square	F_0
BC	SS_{BC}	$(b-1)(c-1)$	MS_{BC}	$\sigma^2 + \frac{an \sum \sum (\beta\gamma)_{jk}^2}{(b-1)(c-1)}$	$= \frac{MS_{BC}}{MS_E}$
ABC	SS_{ABC}	$(a-1)(b-1)(c-1)$	MS_{ABC}	$\sigma^2 + \frac{cn \sum \sum \sum (\tau\beta\gamma)_{ijk}^2}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	$= \frac{MS_{ABC}}{MS_E}$
Error	SS_E	$abc(n-1)$	MS_E	σ^2	
Total	SS_T	$abcn(n-1)$			

การคำนวณสำหรับค่าผลรวมทั้งหมดของกำลังสองจากตารางมีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{y^2 \dots}{abcn}$$

โดยที่ y_{ijkl} คือ ความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า, ปัจจัยค่าความเร่งแบบแลช และปัจจัยค่ารัศมีของการเคลื่อนที่เป็นวงกลม และปัจจัยอื่นๆ ถ้ามี

y^2 คือ ความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ กำลังสอง

a คือ ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า

b คือ ปัจจัยค่าความเร่งแบบแลช

c คือ ปัจจัยรัศมีของการเคลื่อนที่เป็นวงกลม

n คือ ปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อความผิดพลาดของการเคลื่อนที่เป็นวงกลม

ค่าผลรวมของกำลังสองของผลหลักหาได้จากสูตร

$$SS_A = \frac{1}{bcn} \sum_{i=1}^a y_{i...}^2 - \frac{y_{...}^2}{abcn}$$

$$SS_B = \frac{1}{acn} \sum_{i=1}^b y_{i...}^2 - \frac{y_{...}^2}{abcn}$$

$$SS_C = \frac{1}{abn} \sum_{i=1}^c y_{i...}^2 - \frac{y_{...}^2}{abcn}$$

เพื่อที่จะคำนวณค่าผลรวมของกำลังสองแบบ 2 ปัจจัยของอันตรกิริยา ซึ่งประกอบด้วย AxB, AxC และ BxC ค่าผลรวมกำลังสอง คือ

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abcn} - SS_A - SS_B = SS_{Subtotal(AB)} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c y_{ik..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abcn} - SS_A - SS_C = SS_{Subtotal(AC)} - SS_A - SS_C$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{jk..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abcn} - SS_B - SS_C = SS_{Subtotal(BC)} - SS_B - SS_C$$

ค่าผลรวมของกำลังสองอันตรกิริยาแบบ 3 ปัจจัย คือ

$$SS_{ABC} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

$$= SS_{Subtotal(ABC)} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

ค่าผลรวมของกำลังสองของความผิดพลาด คือ

$$SS_E = SS_T - SS_{Subtotal(ABC)}$$

2.1.6.6 ความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression)

ในการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ระหว่างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลตอบแทน หรือการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น บางครั้งอาจพบว่า ปัญหาที่สนใจประกอบไปด้วยปัจจัยที่เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องจำนวนมากกว่าหนึ่งปัจจัยขึ้นไป ตัวแบบความสัมพันธ์ หรือตัวแบบถดถอยสำหรับกรณีปัญหาดังกล่าวจึงถูกเรียกว่า “ตัวแบบความสัมพันธ์พหุคูณ หรือการออกแบบการถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Model)”

ตัวแบบสมการดังกล่าวอาจนำเสนอในภาพ

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + e$$

โดย y คือ ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการเคลื่อนที่เป็นวงกลม โดยแทนค่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่างๆ ลงไปในสมการ

β_k ($j=0,1,2,\dots,k$) เรียกว่า สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์หรือความถดถอย

แสดงถึงสัมประสิทธิ์ความชันหรือค่าของการเปลี่ยนแปลงผลตอบแทนเฉลี่ยของ

(y) ต่อหน่วยของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นสำหรับปัจจัย x_k

(โดยปัจจัยอื่นๆ หรือ x_k ถูกกำหนดให้มีค่าคงที่)

x_k คือ ปัจจัยตัวที่มีผลกระทบต่อค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่เป็นวงกลม โดยที่

$k = 1, 2, 3, \dots, k$

e คือ ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุคูณ

ความสัมพันธ์ที่ได้รับจากตัวแบบสามารถใช้ในประมาณค่าของตัวแปรตามหรือผลตอบแทนได้ภายใต้ช่วงของตัวแปรอิสระที่ถูกใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

2.1.6.7 การประมาณค่าพารามิเตอร์ตัวแบบด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

วิธีกำลังสองน้อยที่สุด เป็นวิธีที่ใช้ในการประมาณค่าของสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ หรือความถดถอยในตัวแบบความสัมพันธ์พหุคูณจำนวน k ปัจจัย ในกรณีปัญหาซึ่งสามารถรวบรวมจำนวนข้อมูลได้มากกว่า n (k) ข้อมูล และกำหนดให้ x_{ij} แทนข้อมูลครั้งที่ i ของปัจจัย x_j เขียนแทนด้วย $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, y_i)$ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถแสดงแทนด้วยตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5

การประมาณค่าของสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด [3]

x_1	x_2	...	x_k	Y
X_{11}	x_{12}	...	x_{1k}	y_1
X_{21}	x_{22}	...	x_{2k}	y_2
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
x_{n1}	x_{n2}	...	x_{nk}	y_n

ข้อมูลข้างต้น $(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1k}, y_1)$ สามารถเขียนแทนด้วยตัวแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุคูณได้ ดังนี้

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_{ik} + e_i$$

$$= \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + e_i ; i = 1, 2, \dots, n$$

สมการกำลังสองน้อยที่สุดของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากข้อมูลจริง และข้อมูลที่เกิดขึ้นจากตัวแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุคูณ สามารถแสดงได้ ดังนี้

$$L = \sum_{i=1}^n e_{.i}^2$$

$$= \sum_{i=1}^n \left(y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} \right)^2$$

เพื่อที่จะทราบความสัมพันธ์เชิงเส้นที่มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดที่ประกอบด้วยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เป็นวงกลม ทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดมีปัจจัยใดบ้าง

2.1.6.8 การทดสอบสมมติฐานในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ หรือความถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

ในการวิเคราะห์หาตัวแบบความสัมพันธ์ของปัจจัยและผลตอบสนองเชิงพหุคูณค่าประมาณสัมประสิทธิ์ควรได้รับการทดสอบสมมติฐานเพื่อวัดความเหมาะสมของตัวแบบโดยหลักการในการทดสอบสามารถปรับปรุงได้จากกรณีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงเดียว โดยมีข้อสมมติฐานคือ ค่าความ

ผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการสังเกตและตัวแบบความสัมพันธ์มีการแจกแจงแบบปกติ ค่าความผิดพลาดมีความเป็นอิสระต่อกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และมีความแปรปรวนคงที่

การถดถอยนัยสำคัญทางสถิติของความสัมพันธ์ที่ได้รับจากตัวแบบเมื่อทำการเปรียบเทียบกับลักษณะของความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นจริงระหว่างผลตอบสนอง (y) และปัจจัยความสัมพันธ์ ($x_1, x_2, \dots, x_k, y_i$) ซึ่งสมมติฐานที่เกี่ยวข้องดังนี้

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0 \text{ อย่างน้อยหนึ่งค่า}$$

การปฏิเสธสมมติฐานหลักบ่งชี้ว่าอย่างน้อยมีปัจจัยหนึ่งตัวจากปัจจัยทั้งหมดที่ถูกรวบรวมมา มีอิทธิพลต่อตัวแบบที่ได้รับจากการประมาณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ดังนั้นในการทดสอบนัยสำคัญที่เกิดขึ้นสำหรับความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุคูณสามารถพิจารณาได้จากวิธีที่ใช้ในการทดสอบนัยสำคัญสำหรับความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงเดียว

ดังนั้น ผลรวมของกำลังสองผิดพลาดของข้อมูล (Total Sum of Square, SS_T) ที่ได้รับจากผลต่างของค่าสังเกตและค่าพยากรณ์จากตัวแบบความสัมพันธ์ (ความถดถอย) สามารถจำแนกออกเป็นผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดจากความสัมพันธ์ (ความถดถอย) และผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดสุ่ม

$$SS_T = \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})^2$$

$$\text{สามารถ Derive ออกได้เป็น } \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_{..})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{..})^2$$

กำหนดให้พจน์แรก แทนด้วยสัญลักษณ์ $SS_{\text{Regression}}$

กำหนดพจน์หลัง แทนด้วยสัญลักษณ์ SS_E

$$\text{จะได้ } SST = SS_{\text{Regression}} + SS_E$$

$$\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_{..})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{..})^2$$

หากทดสอบสมมติฐานหลักเป็นจริง อัตราส่วนระหว่างกำลังสองของความผิดพลาดจากความสัมพันธ์และความแปรปรวน ($SS_{\text{Regression}} / \sigma^2$) มีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มชนิดไคสแควร์ ซึ่งมีองศาเสรีเท่ากับ k หรือมีค่าเท่ากับจำนวนตัวแปรในตัวแบบความสัมพันธ์นั่นเอง นอกจากนี้อัตราส่วนระหว่างกำลังสองของความผิดพลาดสุ่มและตัวแปรปรวน (SS_E / σ^2) มีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มชนิดไคสแควร์เช่นกันและมีองศาเสรีเท่ากับ $n-p$ (จำนวนของพารามิเตอร์ของตัวแบบความสัมพันธ์ความถดถอยเชิง

เส้น) นอกจากนี้ตัวแปรสุ่มไคสแควร์ทั้งสองที่กล่าวมายังมีคุณสมบัติเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นค่าทางสถิติที่เหมาะสมที่สุดในการทดสอบคือ F_0

$$f_0 = \frac{SS_{\text{Regression}}/k}{SS_E/(n-p)} \quad \text{หรือ} \quad \frac{MS_{\text{Regression}}}{MS_E}$$

การตัดสินใจ : ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) ถ้า $f_0 > f_{\alpha, k, (n-p)}$

จากทฤษฎีต่างๆ ที่ได้กล่าวมาสามารถทดสอบปัญหากรณีตัวแบบผลกระทบคงที่ (Fixed Effect Model) ได้โดยใช้ตาราง ANOVA ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6

วิเคราะห์ความแปรปรวนของความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุคูณ [3]

แหล่งที่มา (source of variation)	ผลรวมกำลังสอง (sum of squares)	องศาเสรี (d.f.)	ผลเฉลี่ยกำลังสอง (mean squares)	ค่าสถิติ F_0
ตัวแบบ Regression	$SS_{\text{Regression}}$	K	$MS_{\text{Regression}}$	$\frac{MS_{\text{Regression}}}{MS_E}$
ค่าความ ผิดพลาด(error)	SS_E	n-p	MS_E	
Total Adj	SS_T	n-1		

2.1.6.9 การทดสอบสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในแต่ละค่า

ในการทดสอบบางครั้งอาจมีความสนใจในการทดสอบสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในแต่ละค่าเพียงอย่างเดียวซึ่งแตกต่างจากหัวข้อที่ผ่านมาเนื่องจากการทดสอบสมมติฐานของทุกๆ สัมประสิทธิ์ที่มีในตัวแบบความสัมพันธ์ โดยที่การทดสอบชนิดนี้ต้องการตรวจสอบเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์ที่มีการคาดการณ์ว่า อาจจะมีอิทธิพลต่อตัวแบบความสัมพันธ์ (ความถดถอย) หากสัมประสิทธิ์นั้นถูกแสดงหรือถูกถอดถอนออกจากตัวแบบความสัมพันธ์เดิมที่มีอยู่

การตรวจสอบความสำคัญของสัมประสิทธิ์ในตัวแบบความสัมพันธ์แต่ละตัว สามารถเขียนสมมติฐานเพื่อการทดสอบได้เช่นเดียวกับตัวแบบความสัมพันธ์เชิงเดี่ยว กล่าวคือ

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0$$

หากสมมติฐานหลักไม่สามารถปฏิเสธได้ หรือเป็นจริงสามารถบ่งชี้ได้ว่า สัมประสิทธิ์ของตัวแปรนั้นๆ สามารถตัดทิ้งได้จากตัวแบบความสัมพันธ์ที่ได้รับก่อนหน้านี้ โดยมีข้อสมมติของความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตและค่าพยากรณ์จากตัวแบบ หรือค่าความผิดพลาด (e_i) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการทดลองเหมือนเช่นเดิมหรือกล่าวคือ ข้อมูลความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบปกติ และเป็นอิสระต่อกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนคงที่เท่ากับ σ^2 (Normally and Independently Distributed Random Variables) หรือเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ NID ($0, \sigma^2$) โดยที่ตัวแปรสุ่มซึ่งใช้ในการวิเคราะห์สมมติฐานนี้คือ t_0 ซึ่งมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบที่

$$\begin{aligned} \text{โดย } t_0 &= \frac{\hat{\beta}_j}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{jj}}} \\ &= \frac{\hat{\beta}_j}{se(\hat{\beta}_j)} \end{aligned}$$

โดยที่ C_{jj} คือ ข้อมูลแนวเส้นทแยงมุม $(X^T X)^{-1}$ ในแต่ละค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ ($\hat{\beta}_j$) เงื่อนไขการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) $t_0 > t_{\frac{\alpha}{2}, n-p}$ หรือ $t_0 < -t_{\frac{\alpha}{2}, n-p}$ สำหรับการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวในบางครั้งอาจเรียกว่าการทดสอบบางส่วนหรือการทดสอบมาร์จินัล (Partial or Margin Test) เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ที่กำลังใช้ในการวิเคราะห์ความสำคัญในขณะนั้นขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์อื่นๆ ที่เหลืออยู่ในตัวแบบความสัมพันธ์

โดยที่ทำการทดสอบสมมติฐานแล้ววิเคราะห์จากค่า t_0 ในการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) ซึ่งถ้าค่า t_0 ของค่าปัจจัยใดมีค่ามากกว่าค่า $t_{\frac{\alpha}{2}, n-p}$ แสดงว่าปัจจัยนั้นไม่มีผลต่อค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่เป็นวงกลม หมายความว่าค่าสัมประสิทธิ์ ($\hat{\beta}_j$) นั้นไม่มีผลกระทบต่อความสัมพันธ์เชิงพหุคูณของค่าความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เป็นวงกลม

ดังนั้น การทดสอบสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในแต่ละปัจจัยจะสามารถทราบถึงว่าปัจจัยใดที่มีผลกระทบต่อความผิดพลาดในการเคลื่อนที่เป็นวงกลม โดยแทนค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละปัจจัยลงในสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุคูณ ซึ่งก็ทำให้ทราบว่าค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น จากการแทนค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละปัจจัยลงในสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุคูณ ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในแต่ละปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่เป็น

วงกลม นั่นก็คือ ปัจจัยค่าสัมประสิทธิ์การป้อนล่วงหน้า, ปัจจัยค่าความเร่งแบบแลช และปัจจัยค่ารัศมีของการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของโต๊ะวางชิ้นงาน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในเครื่องกัดซีเอ็นซีพบว่ายังมีความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง การเคลื่อนที่เป็นวงกลม และการเคลื่อนที่แบบตัดมุม [13] การเคลื่อนที่ในแต่ละแกนของเครื่องกัดซีเอ็นซีจะเกิดขึ้นจากการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ไปทำให้บอลสกรูเกิดการหมุนมีผลทำให้แต่ละแกนเกิดการเคลื่อนที่ ปัจจุบันมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของเซอร์โวมอเตอร์โดยพิจารณาถึงการกัดด้วยความเร็วสูง (High speed machining) ในการกัดผิวโค้งพบว่าระดับของเซอร์โวมอเตอร์เมื่ออยู่ที่สัญญาณต่ำและมีการเคลื่อนที่ในแนวโค้งอย่างรวดเร็วมีผลกระทบต่อความผิดพลาดของผิวของส่วนโค้งขณะเข้าโค้ง ณ ตำแหน่งนั้น ดังนั้น ในการกัดด้วยความเร็วสูงต้องกำหนดอัตราการป้อน (Feed Rate) ให้เข้ากับสภาพของส่วนโค้งที่จะทำการกัด เพื่อที่จะลดการผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น รวมทั้งต้องมีการคำนวณถึงแรงที่จะมากกระทำกับมีดกัดด้วย [6-7][11][15] นอกจากนี้ในงานวิจัยจะทำการศึกษาระบบควบคุมและตรวจสอบการส่งสัญญาณของเซอร์โวมอเตอร์ [5][8][10] รวมถึงการพัฒนาระบบโปรแกรมซึ่งสามารถตรวจสอบและแก้ไขผ่านตัวแปรต่างๆ เพื่อควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ [8]

งานวิจัยนี้จะศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของโต๊ะของเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบสามแกน โดยจะเน้นการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการความผิดพลาดของการควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์และบอลสกรู กำหนดให้อัตราการป้อน (Feed Rate) มีค่าเท่ากันทุกค่าเพื่อที่จะวิเคราะห์หาค่าที่มีผลกระทบต่อการเกิดความผิดพลาดจากการสั่งการของเซอร์โวมอเตอร์เท่านั้น ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองของการเคลื่อนที่เป็นวงกลมโดยไม่มีการตัดชิ้นงานจริง จึงไม่นำแรงเสียดทานมาพิจารณา