บทที่ 2

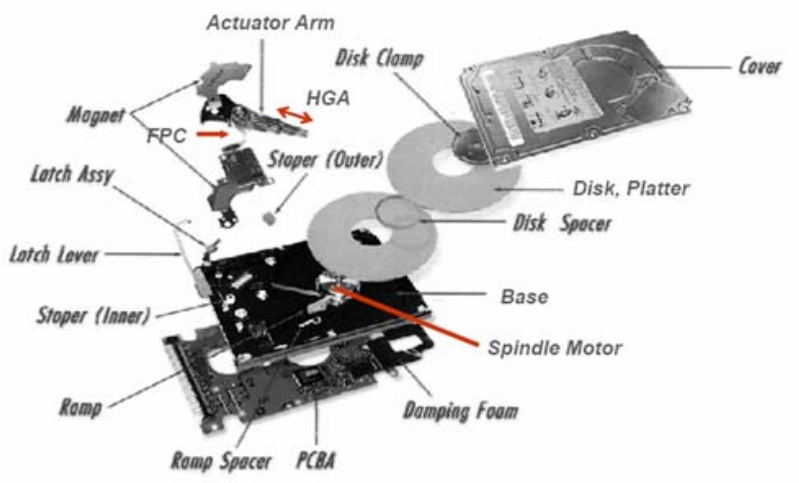
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ แหล่งที่มาของสารปนเปื้อนและผลของความเสียหายของสารปนเปื้อนในฮาร์ดดิสก์ หลักการทำงานของเครื่องทำความสะอาดฮาร์ดดิสก์ รวมถึงทฤษฎีการออกแบบการทดลองและการประยุกต์ใช้

2.1 ฮาร์ดดิสก์และกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์

2.1.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงาน

ฮาร์ดดิสก์ คือ หน่วยเก็บข้อมูลสำรองที่เอาไว้ใช้สำหรับเก็บข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นในการทำงานของคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะเป็น โปรแกรมระบบปฏิบัติการ (OS) โปรแกรมใช้งานต่างๆ รวมถึงข้อมูลส่วนตัวต่างๆ ของเรา โดยทั่วไปองค์ประกอบหลักของฮาร์ดดิสก์ประกอบไปด้วย จานฮาร์ดดิสก์ หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ มอเตอร์ที่ใช้หมุนจานฮาร์ดดิสก์ แผงวงจรควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ ส่วนที่ใช้กรองอากาศ และชุด Voice Coil



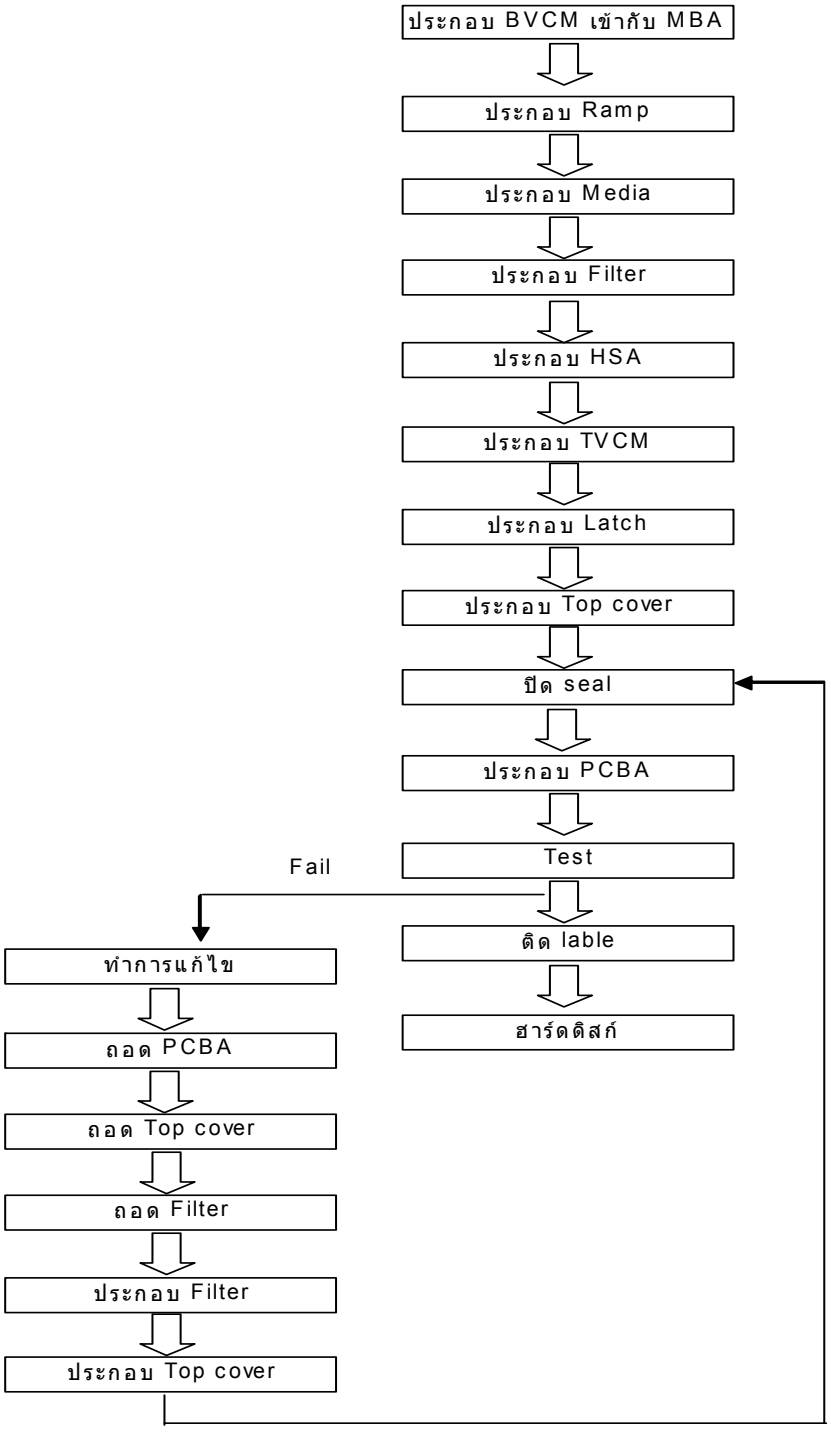
ภาพที่ 2.1

ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์

ที่มา: รายงานโครงการเสริมสร้างศักยภาพด้านการลงทุนของอุสาหกรรมสนับสนุน, BOI

โดยลักษณะทั่วไปของฮาร์ดดิสก์ที่เราเห็นนั้นก็จะเป็นสี่เหลี่ยมแล้วมีช่องสำหรับต่อสายไฟ และสายสำหรับโอนถ่ายข้อมูล ซึ่งภายในของฮาร์ดดิสก์นั้นจะมีจานโลหะวางซ้อนกันหลายชั้น และมีหัวอ่านที่มีขาสำหรับลากไปมาบนจานเพื่อทำการอ่านและเขียนข้อมูลลงบนจานโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า

2.1.2 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์

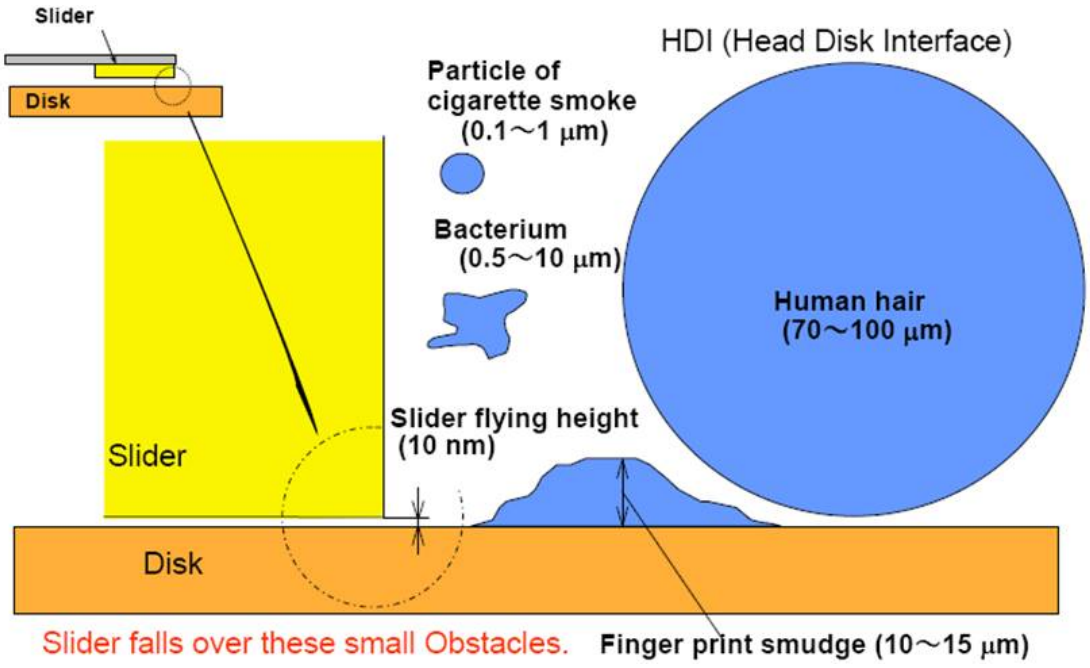


ภาพที่ 2.2

กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์

2.2 แหล่งที่มาของสารปนเปื้อนและผลความเสียหายของสารปนเปื้อนในฮาร์ดดิสก์

สิ่งปนเปื้อน คือ สิ่งแปลกปลอมที่เข้าไปอยู่ในกระบวนการผลิตหรือเข้าไปอยู่ในตัวฮาร์ดดิสก์แล้วส่งผลให้ฮาร์ดดิสก์เกิดความเสียหายคือไม่สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ โดยสิ่งปนเปื้อนนี้อาจเป็นอนุภาคแขวนลอยในอากาศ ฝุ่นละออง สารประกอบไอออนิก สารประกอบออแกนนิก เป็นต้น



ภาพที่ 2.3

การเปรียบเทียบระหว่างระยะห่างของหัวอ่านกับดิสก์กับขนาดของอนุภาคแขวนลอยต่างๆ

ที่มา: เอกสารประกอบการสอนภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากภาพที่ 2.3 จะเห็นว่าระยะห่างระหว่างหัวอ่านกับดิสก์มีขนาดน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดของแบคทีเรีย อนุภาคที่เกิดจากควันบุหรี่ คราบที่เกิดจากรอยนิ้วมือ หรือแม้แต่เส้นผมมนุษย์ ดังนั้น การควบคุมสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้มีความจำเป็นมากสำหรับการผลิตฮาร์ดดิสก์

2.2.1 แหล่งที่มาของสารปนเปื้อน

1. คน (Man)

สิ่งปนเปื้อนที่มาจากคน มาจากการหายใจ เหงื่อ เส้นผม ผิวหนัง เครื่องสำอาง เสื้อผ้าที่สวมใส่ รวมถึงการเคลื่อนไหวก็สามารถทำให้เกิดฝุ่นได้เช่นกัน

ตารางที่ 2.1

อัตราการเกิดฝุ่นละอองจากการเคลื่อนไหวของมนุษย์

ประเภทของการเคลื่อนไหว	จำนวนฝุ่นละออง/นาที
นั่งหรือยืน เฉยๆ	100,000
ขยับแขน ขา คอ หัว	500,000
การเคลื่อนไหวตั้งแต่เท้าขึ้นไป	1,000,000
การเปลี่ยนจากยืนเป็นนั่ง	2,500,000
เดินด้วยความเร็ว 3 กิโลเมตร/ชั่วโมง	5,000,000
เดินด้วยความเร็ว 8 กิโลเมตร/ชั่วโมง	10,000,000

ที่มา: เอกสารประกอบการสอนภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

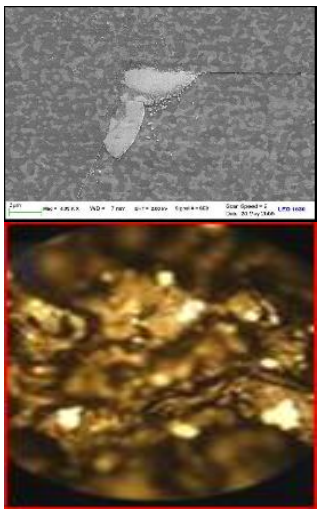
2. ชิ้นส่วนประกอบหรือวัสดุ (Materials)

สิ่งปนเปื้อนที่มาจากชิ้นส่วนประกอบหรือวัสดุ เช่น สิ่งปนเปื้อนที่ติดมากับชิ้นงาน สารเคมีจำพวกสารลดแรงตึงผิวที่ติดมากับชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการล้าง คราบสนิมที่เกิดขึ้นบนวัสดุที่ใช้กระบวนการผลิต ดังแสดงในภาพที่ 2.4 เช่นจากสกรู

ภาพที่ 2.4
งานที่เกิดปัญหาจากคราบสนิม

3. เครื่องจักรหรือกระบวนการ

สิ่งปนเปื้อนที่มาจากเครื่องจักรหรือกระบวนการ เช่น การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ไอร้อนจากเครื่องจักร กระบวนการที่เกิดการกระทบกันระหว่างโลหะกับโลหะ การขูดขีด การขัดสีซึ่งจะก่อให้เกิดอนุภาคหลุดออกมา เป็นต้น



ภาพที่ 2.5
อนุภาคที่หลุดออกมาจากการที่โลหะกับโลหะกระทบกัน

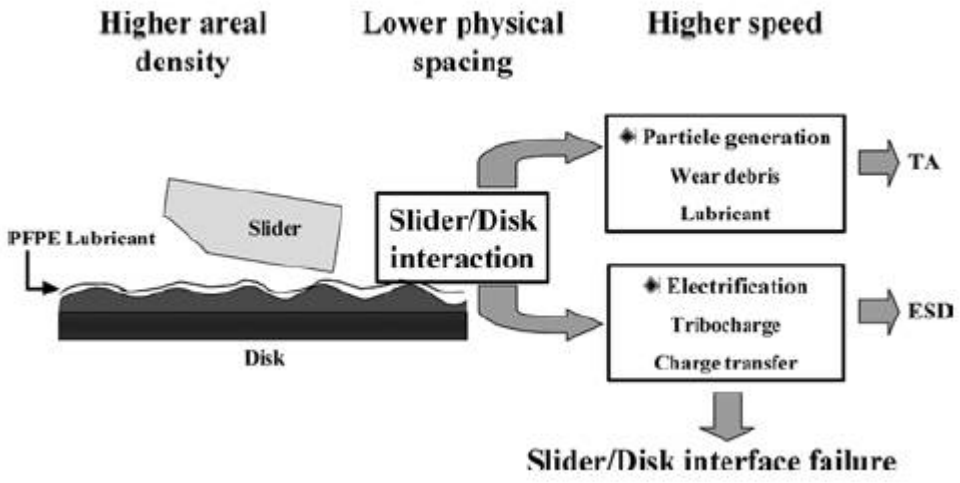
ตารางที่ 2.2
ชนิดและที่มาของสิ่งปนเปื้อน

Materials	Sources
Acrylates(เรซิ่นชนิดหนึ่ง)	กาว สารยึดเกาะ (Adhesives)
Silicone	เครื่องสำอาง (Lotion, lipstick)
DOP	สารเพิ่มความยืดหยุ่น(Plasticizers), plastic containers
Sulfur compound	Gloves, rubber, เหล็กที่ผ่านการพาสซิเวชั่น (passivate steels)
Chlorides	Human, bag
Sulfate	Fracture on suspension (FOS) cover coat
Silicon oxide, Silicon carbide	Sand, sand paper, cement
Aluminum oxide	วัสดุเคลือบเงา (Polishing material)
Titanium carbide	ปากคีบเซรามิกส์ (Ceramic tweezers)
Titanium nitride	หูหนีบ (Clip ring)
Sr, Nd	สารเคลือบ Voice coil motor (VCM), hand tools

ที่มา: เอกสารประกอบการสอนภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นอกจากแหล่งที่มาของสิ่งปนเปื้อนมาจากคน วัสดุ เครื่องจักร และกระบวนการแล้ว D.Y. Lee และคณะ (2004) ได้ทำการทดลองผลของความเร็วรอบในการหมุนของดิสก์กับปริมาณอนุภาคที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.7 พบว่า การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบในการหมุนของดิสก์มีผลโดยตรงอนุภาคที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานร่วมกันระหว่างหัวอ่านและดิสก์ที่จุดเริ่มต้นและจุดหยุดของหัวอ่าน ดังแสดงในภาพที่ 2.8 นอกจากนี้ยังพบอีกว่า อนุภาคที่เกิดขึ้นในช่วงของการเริ่มและหยุดทำงานของหัวอ่านกับดิสก์นั้นมาจากสารหล่อลื่นที่ใช้ในการเคลือบผิวดิสก์ และอนุภาคที่เกิดจากผิวของตัวหัวอ่านเอง

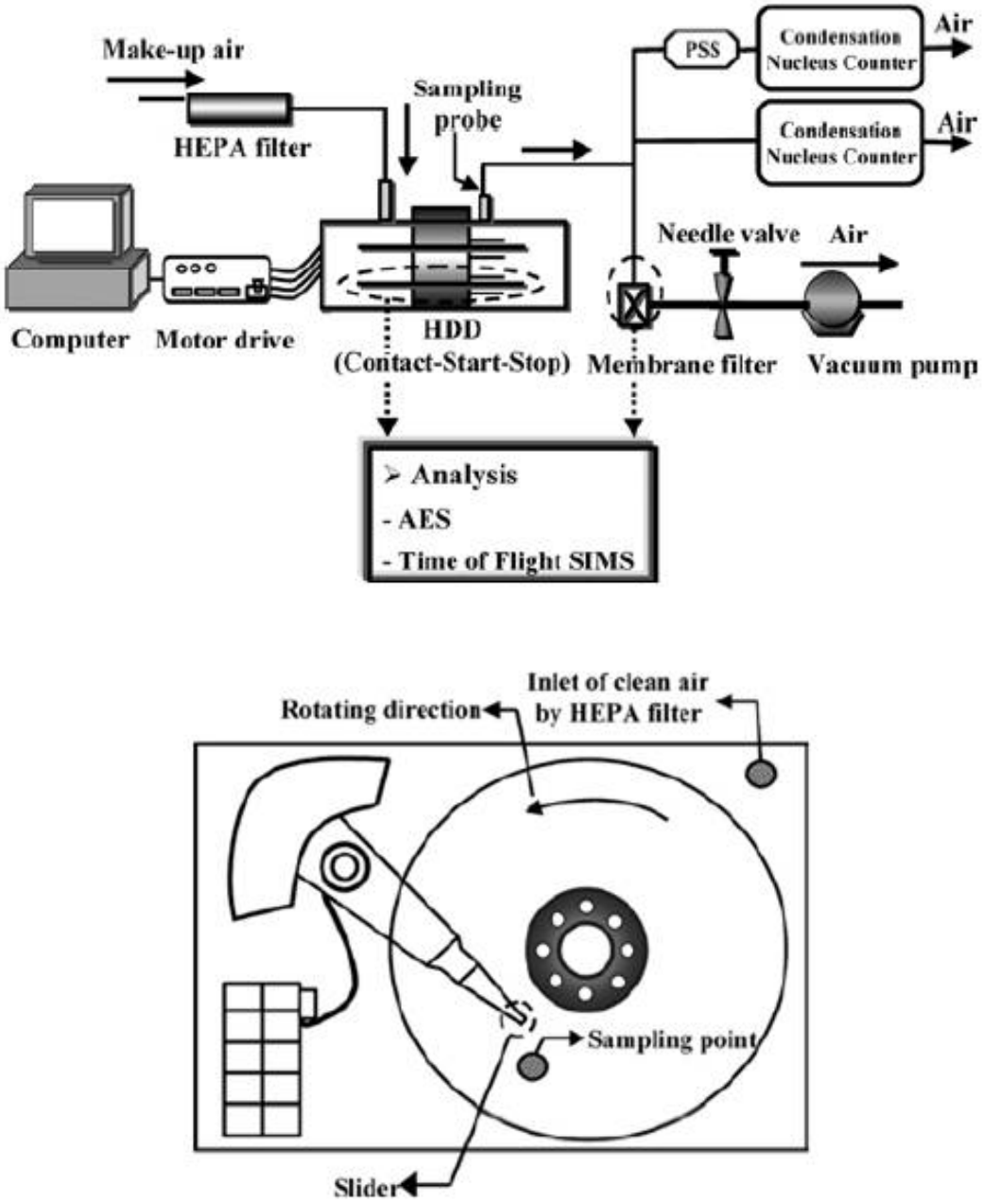
Park และคณะ (1999) ก็ได้ทำการศึกษาอนุภาคที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวานร่วมกันระหว่างหัวอ่านและดิสก์เช่นกัน และพวกเขาก็พบว่าอนุภาคจะเกิดขึ้นเมื่อไรก็ตามที่ฮาร์ดดิสก์มีการเริ่มและหยุดอ่านหรือเขียน ที่เป็นอย่างนี้อาจเนื่องมาจากการที่ระยะบินของหัวอ่านใกล้กับดิสก์มากๆเพื่อประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณ



ภาพที่ 2.6

การทำงานร่วมกันระหว่างหัวอ่านและดิสก์ในฮาร์ดดิสก์

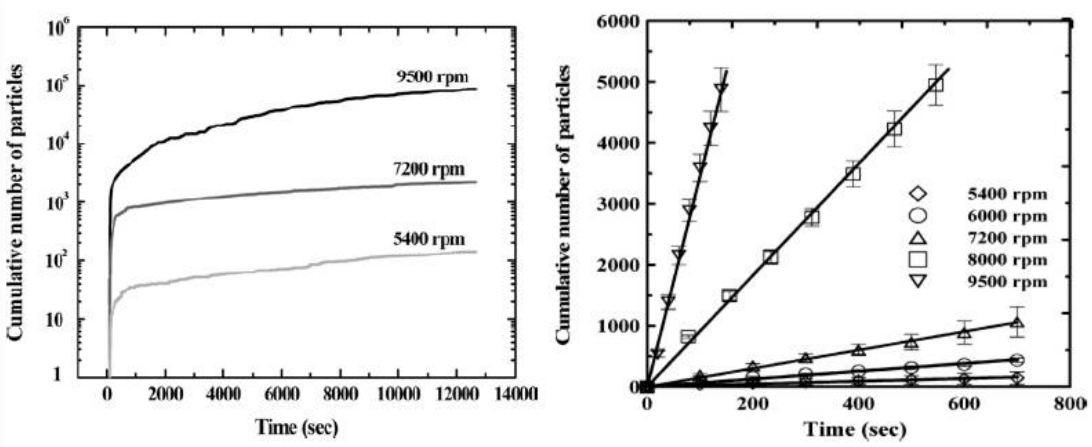
ที่มา: D.Y. Lee และคณะ (2004)



ภาพที่ 2.7

วิธีการทดลองและตำแหน่งในการวัดอนุภาค

ที่มา: D.Y. Lee และคณะ (2004)



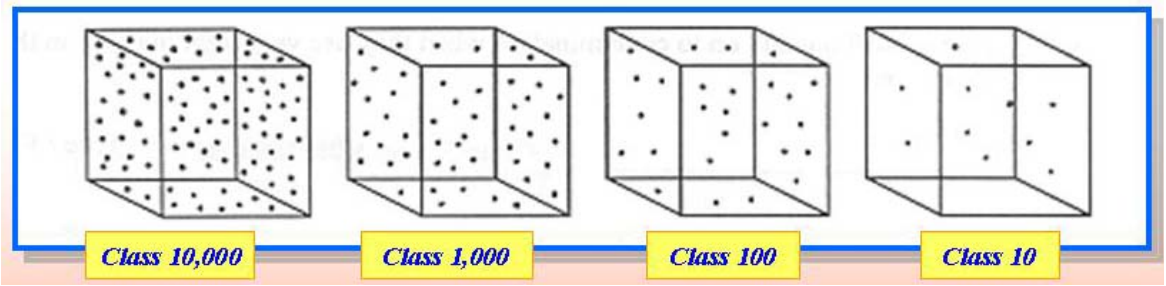
ภาพที่ 2.8

ผลของความเร็วรอบในการหมุนของฮาร์ดดิสก์กับจำนวนอนุภาคที่เกิดขึ้น

ที่มา: D.Y. Lee และคณะ (2004)

จากกราฟจะเห็นว่าเมื่อความเร็วรอบในการหมุนของฮาร์ดดิสก์เพิ่มขึ้น จำนวนอนุภาคภายในฮาร์ดดิสก์ที่วัดได้ก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยที่ความเร็วรอบ 9500 รอบต่อนาทีจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอนุภาคสูงที่สุด

สิ่งปนเปื้อนต่างๆ ที่ได้กล่าวมาเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ฮาร์ดดิสก์เกิดความเสียหาย ดังนั้นในการผลิตฮาร์ดดิสก์จะต้องทำการผลิตในห้องสะอาดที่ควบคุมปริมาณอนุภาคแขวนลอยในอากาศ โดยทั่วไปก็จะความคุมปริมาณอนุภาคแขวนลอยในอากาศที่ขนาด 0.5 ไมโครเมตร อยู่ที่ไม่เกิน 100 เม็ดในปริมาตร 1 ลูกบาศก์ฟุต ซึ่งจะเรียกว่าห้องสะอาดคลาส 100



ภาพที่ 2.9

ภาพจำลองของห้องสะอาดคลาสต่างๆ

2.3 เครื่องทำความสะอาดฮาร์ดดิสก์และหลักการทำงาน

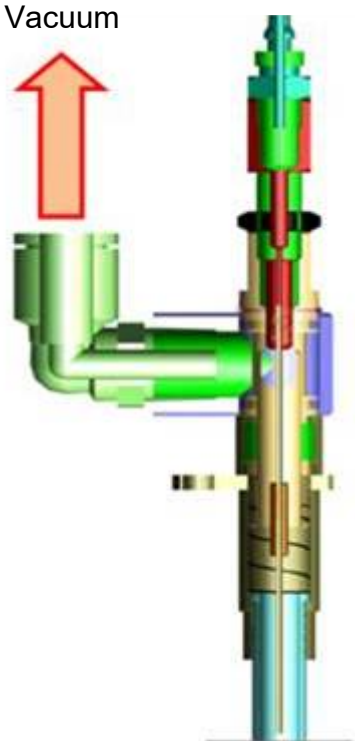
จากหัวข้อที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าสิ่งปนเปื้อนในฮาร์ดดิสก์เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อฮาร์ดดิสก์ ดังนั้นเพื่อเป็นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้เครื่องทำความสะอาดฮาร์ดดิสก์จึงได้ถูกประดิษฐ์ขึ้น

2.3.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่อง

เครื่องทำความสะอาดฮาร์ดดิสก์มี 3 ส่วนประกอบหลักและแต่ละส่วนประกอบก็มีหน้าที่การทำงานแตกต่างกันดังนี้

1. ส่วนทำความสะอาดรูสกรู

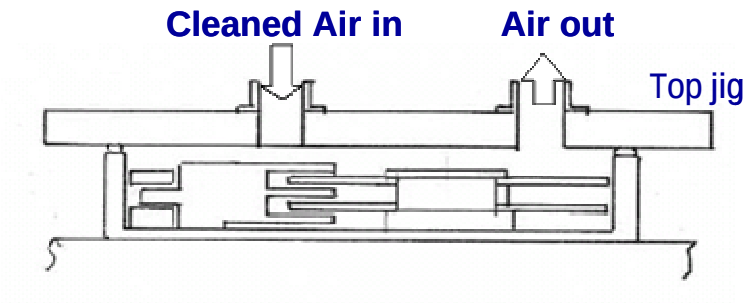
หน้าที่การทำงานของส่วนนี้ คือจะเอาสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในรูสกรูและที่หัวสกรูที่เกิดจากการขันหรือการถอดสกรูออก



ภาพที่ 2.10
หน่วยทำความสะอาดสกรู

2. ส่วนทำความสะอาดภายในฮาร์ดดิสก์

ส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการดูดสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในฮาร์ดดิสก์ออกโดยจะใส่อากาศสะอาดเข้าไปเพื่อปรับสมดุลของความดันในฮาร์ดดิสก์



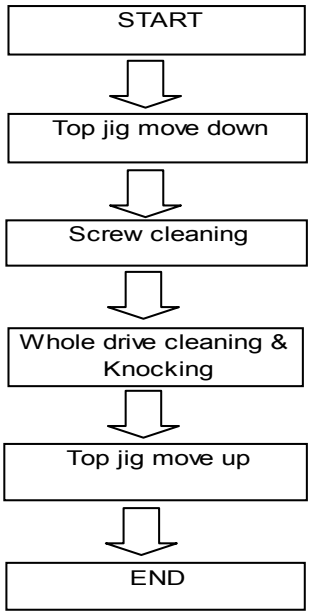
ภาพที่ 2.11

หน่วยทำความสะอาดภายในฮาร์ดดิสก์

3. ส่วนการเคาะฮาร์ดดิสก์

ส่วนนี้ทำหน้าที่เคาะฮาร์ดดิสก์เพื่อให้ฮาร์ดดิสก์เกิดการสั่นเพื่อที่จะทำให้อนุภาคที่อยู่ในฮาร์ดดิสก์หลุดออกมาได้ง่ายขึ้น

2.3.2 ขั้นตอนการทำงาน



ภาพที่ 2.12
ขั้นตอนการทำงานของเครื่องทำความสะอาดฮาร์ดดิสก์

2.4 ทฤษฎีการออกแบบการทดลองและการประยุกต์ใช้

2.4.1. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

การทดลอง (Experiment) คือ การจำลองสภาพความเป็นจริงให้มาอยู่ในสภาพที่เราสามารถควบคุมได้ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริงอันเป็นผลจากการทดลอง โดยจุดประสงค์สำคัญของการทดลองมี 2 ประการ คือ

1. การยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริง หรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต

2. การค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการผลิต

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้

ขั้นตอนในการออกแบบการทดลองโดยทั่วไปประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดปัญหา

เป็นการระบุว่าความต้องการในกระบวนการคืออะไร ต้องการรู้อะไรจากกระบวนการ เมื่อกำหนดปัญหาได้แล้วก็จะใช้เป็นวัตถุประสงค์การทดลอง การกำหนดปัญหาในการทดลองอาจกำหนดเป็นปัญหาเชิงการควบคุม หรือปัญหาเชิงการปรับปรุงก็ได้

2. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response-Y)

ในการเลือกตัวแปรตอบสนองควรเลือกจากตัวแปรที่มีประโยชน์ต่อกระบวนการที่สนใจหรือที่กำลังศึกษา ตัวแปรตอบสนองควรเป็นค่าที่วัดได้ ซึ่งอาจวัดได้ในรูปของค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบน หรือเป็นการวัดทั้ง 2 ค่า ปัจจัยสำคัญในการเลือกตัวแปรตอบสนองอีกประการหนึ่งคือ ระบบการวัด (Measuring system) ของตัวแปรตอบสนอง การวัดควรมีความสามารถในการวัดที่ดี หรือมีความผิดพลาดน้อย ในกรณีที่ระบบการวัดมีความสามารถต่ำ การทดลองจำเป็นต้องมีการทำซ้ำมากขึ้น หรือมีการใช้ค่าเฉลี่ยของการวัดเป็นค่าตอบสนองของการทดลอง

3. การเลือกปัจจัย (Factor-X)

ขั้นตอนการทดลองนี้จำเป็นต้องใช้หลักการทางทฤษฎี หรือประสบการณ์ และการทดลองในอดีตเพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดบ้างที่ควรนำมาพิจารณาว่าปัจจัยใดที่ควรใช้ในการทดลอง และควรมีช่วงในการทดลองเท่าไร ปัจจัยได้ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

3.1. ปัจจัยออกแบบ (Design Factor) เป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนค่าระหว่างการทดลองและสามารถควบคุมได้

3.2. ปัจจัยคงที่ (Constant Factor) เป็นปัจจัยที่ไม่มีการเปลี่ยนค่าระหว่างการทดลองและสามารถควบคุมได้

3.3. ปัจจัยบล็อกกิ้ง (Blocking Factor) เป็นปัจจัยในการทดลองที่ไม่สามารถควบคุมได้ แต่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองมาก นอกจากนี้ยังรวมถึงปัจจัยของสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย อาจมาจากระบบการวัดหรือเครื่องมือวัด ในการทดลองถ้ากำจัดปัจจัยนี้หรือทำให้คงที่ก็จะทำให้การทดลองสมบูรณ์ขึ้น

3.4. ปัจจัยสุ่ม (Random Factor) เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ และอาจจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

4. การกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment of Level)

ในการกำหนดระดับของปัจจัยจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์จากผลการทดลองที่ผ่านมา หรือขีดจำกัดช่วงของเครื่องมือ อย่างไรก็ตามในกรณีทดลองปัญหาเชิงควบคุมมักใช้ระดับปัจจัยที่ใช้อยู่ปัจจุบัน ในกรณีทดลองกับปัญหาเชิงปรับปรุงให้ใช้ระดับปัจจัยใหม่ ในการทดลองที่เป็นการกรองปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนองโดยทั่วไปจะนิยมกำหนดเป็นช่วงกว้างๆ ไว้ก่อน และกำหนดเป็นระดับต่ำ สูงในกรณีที่มีสองระดับ เป็นต้น

5. เลือกตัวแบบการทดลอง

การเลือกตัวแบบการทดลองจะรวมถึง จำนวนของตัวอย่าง (Sample Size) และการเลือกลำดับการทดลอง (Run Order) ที่เหมาะสมด้วย นอกจากนี้สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ค่าใช้จ่ายในการทดลอง รวมถึงผลกระทบต่อความเสี่ยงต่อกระบวนการปกติ

ปัจจุบันในการออกแบบการทดลองมักใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติเข้ามาช่วย ซึ่งผู้ทดลองจะต้องป้อนข้อมูลกับโปรแกรม เช่น จำนวนปัจจัย ระดับของปัจจัย จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณเลือกแบบการทดลองให้ รวมถึงลำดับการทดลองเพื่อให้ดำเนินการทดลอง

ในการเลือกแบบการทดลอง สิ่งสำคัญคือ การคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง ในการทดลองบางครั้งผู้ทดลองอาจรู้แล้วว่าปัจจัยใดมีผลต่อค่าตอบสนอง แต่สิ่งที่สนใจคือเพื่อรู้ว่าปัจจัยใดที่ทำให้เกิดความแตกต่างของค่าตอบสนองสูง

6. ดำเนินการทดลอง

ดำเนินการทดลองภายใต้เมตริกซ์ที่ออกแบบไว้ นอกจากนี้ข้อควรระวังในการทดลองคือความถูกต้องของกระบวนการวัดและความสม่ำเสมอในการทดลองเพื่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด เพราะความผิดพลาดในขั้นตอนนี้จะทำให้การทดลองล้มเหลวได้

7. การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ

โดยทั่วไปวิธีทางสถิติที่ถูกนำมาใช้ คือ การวิเคราะห์เรสซิดวล (Residual Analysis) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ซึ่งวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของข้อมูลที่เก็บจากการทดลองและจะสรุปผ่าน ANOVA และ Effect Plot

8. สรุปผล

จะทำการสรุปผลการวิเคราะห์ในเชิงกายภาพที่สามารถปฏิบัติได้ ซึ่งอาจแสดงในรูปแบบกราฟ ตาราง แผนภูมิ หรืออื่นๆ ตลอดจนให้คำแนะนำหรือข้อเสนอแนะจากการทดลอง นอกจากนั้นควรทำการยืนยันผลการทดลองอีกครั้งหนึ่ง

2.4.2 ประเภทของแบบการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะทำให้ทราบถึงทฤษฎีการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเชิงเดี่ยวและการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปซึ่งเป็นวิธีการออกแบบการทดลองที่จะถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

1. การออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเชิงเดียว (Single Factor Experiment)

เป็นการศึกษาหนึ่งปัจจัยที่ระดับการทดลองที่แตกต่างกันเพื่อดูว่าที่ระดับที่แตกต่างกันของปัจจัยกระทบต่อค่าเฉลี่ยของประชากรหรือค่าเฉลี่ยของค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบคือ

H0: $\mu_1 = \mu_2 = \ldots\ldots \mu_a$ (ปัจจัยที่ศึกษา a ระดับไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของการตอบสนอง)

H1: $\mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อยที่สุดหนึ่งระดับใดๆ (ปัจจัยที่ศึกษา a ระดับมีผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าตอบสนอง)

สมการตัวแบบข้อมูลทางสถิติของการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเชิงเดียว คือ

$Y_{ij} = \mu + £_i + €_{ij}$ โดยที่ i = 1, 2, … a (a คือ ระดับปัจจัย)

j = 1, 2, … n (n คือ จำนวนการทดลอง)

Y_{ij} แทนตัวแปรสุ่มหรือข้อมูลของผลการทดลอง ณ ปัจจัยระดับที่ i ในครั้งที่ j

μ คือ ค่าเฉลี่ยประชากร

$£_i$ คือ ผลกระทบเนื่องจากปัจจัยระดับที่ i

$€$ คือ ค่าความผิดพลาดของการทดลองที่เกิดขึ้น

ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติว่าที่ระดับที่แตกต่างกันของปัจจัยนั้นจะส่งผลต่อค่าตอบสนองหรือไม่นั้น ก่อนอื่นต้องทำการทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบจำลองก่อน โดยมีเงื่อนไขคือ ค่าความผิดพลาดหรือ Model Errors จะต้องมีค่าความผิดพลาดมีการกระจายตัวแบบปกติ และ ค่าความผิดพลาดมีความแปรปรวนคงที่ ซึ่งถ้าทุกอย่างเป็นไปตามเงื่อนไขก็สามารถใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในการทดสอบได้ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source of variation	Sum of Squares	Degree of freedom	Mean Squares	F_0
Treatment	$SS_{treatment}$	a-1	$MS_{treatment} = SS_{treatment}/a-1$	$f_0=MS_{treatment}/MS_E$
Error	SS_E	N-a	$MS_E=SS_E/N-a$	
Total	SS_T	N-1		

โดยที่ $SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n} y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$

$SS_{Treatment} = \sum_{i=1}^{a} \frac{y_{i.}^2}{n} - \frac{y_{..}^2}{N}$

$SS_E = SS_T - SS_{Treatment}$

จากตารางที่ 2.3 เราจะปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือยอมรับสมมติฐานหลักนั้นจะดูจากค่า F_0 โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลักถ้า $f_0 > f_{\alpha,(a-1),(N-a)}$

2. การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Experiment)

แบบการทดลองนี้ผู้ทดลองสามารถศึกษาผลกระทบของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปได้ทุกกรณีสามารถศึกษาผลกระทบหลัก (Main Effect) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้ (Interaction Factors)

การทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปนั้นจำนวนวิธีทดลองทั้งหมดที่เป็นไปได้จะเท่ากับจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยที่ศึกษา ยกกำลัง จำนวนปัจจัยที่ศึกษา เช่น จำนวนปัจจัยในกรณีศึกษา 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยศึกษาที่ 2 ระดับ จะได้จำนวนของวิธีทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2^3 ดังแสดงตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4

แผนการทดลองของ 2^3 แฟคทอเรียล

Run	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
5	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

ข้อดีของการทการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปคือ ไม่มีโครงสร้างที่ซ้ำซ้อนและสามารถสรุปผลด้านปัจจัยร่วมได้ ซึ่งการได้เปรียบในเรื่องปัจจัยร่วมทำให้เราหลีกเลี่ยงข้อสรุปที่ผิดพลาดได้

สมการตัวแบบข้อมูลทางสถิติของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป กรณี 2 ปัจจัย คือ

$Y_{ijk} = \mu + £_i + ß_j + (£ß_{ij}) + €_{ijk}$

โดยที่ μ แทนผลตอบสนองเฉลี่ย

$£_i$ แทนผลกระทบอันเกิดจากระดับที่ i ของปัจจัย A

$ß_j$ แทนผลกระทบอันเกิดจากระดับที่ j ของปัจจัย B

$£ß_{ij}$ แทนผลกระทบของความสัมพันธ์ระหว่าง £i และ ßj

$€_{ijk}$ แทนค่าความผิดพลาดจากการทดลอง

สมมติฐาน: กรณีผลกระทบเนื่องจากปัจจัย A

H_0: $£_1 = £_2 = \ldots £_a = 0$

H_1: $£_i \neq 0$ อย่างน้อยที่สุดหนึ่งระดับใดๆ

สมมติฐาน: กรณีผลกระทบเนื่องจากปัจจัย B

H_0: $ß_1 = ß_2 = \ldots ß_b = 0$

H_1: $ß_i \neq 0$ อย่างน้อยที่สุดหนึ่งระดับใดๆ

สมมติฐาน: กรณีผลกระทบเนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัย A และ B

H_0: $(£ß)_{ij} = 0$

H_1: $(£ß)_{ij} \neq 0$ อย่างน้อยที่สุดหนึ่งระดับใดๆ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติว่าแต่ละปัจจัยและอันตรกิริยาของปัจจัยนั้นจะส่งผลต่อค่าตอบสนองหรือไม่ ก่อนอื่นต้องทำการทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบจำลองก่อน โดยมีเงื่อนไขคือ ค่าความผิดพลาดหรือ Model Errors จะต้องมีค่าความผิดพลาดมีการกระจายตัวแบบปกติ และ ค่าความผิดพลาดมีความแปรปรวนคงที่ ซึ่งถ้าทุกอย่างเป็นไปตามเงื่อนไขก็สามารถใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในการทดสอบได้ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปกรณี 2 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปกรณี 2 ปัจจัย

Source of variation	Sum of Squares	Degree of freedom	Mean Squares	F_0
Treatment A	SS_A	a-1	SS_A / a-1	MS_A / MS_E
Treatment B	SS_B	b-1	SS_B / b-1	MS_B / MS_E
Interaction AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	SS_{AB}/(a-1)(b-1)	MS_{AB} / MS_E
Error	SS_E	ab(n-1)	SS_E/ab(n-1)	
Total	SS_T	abn-1		

โดยที่ $$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

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

$$SS_B = \sum_{j=1}^{b} \frac{y_{.j.}^2}{an} - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$SS_{AB} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} \frac{y_{ij.}^2}{n} - \frac{y_{...}^2}{abn} - SS_A - SS_B$$

$$SS_E = SST - SS_A - SS_B - SS_{AB}$$

จากตารางที่ 2.5 เราจะปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือยอมรับสมมติฐานหลักนั้นจะดูจากค่า F_0 โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลักถ้า $f_0 > f_{\alpha, v_1, v_2}$ (v_1 คือ องศาอิสระของปัจจัย และ v_2 คือ องศาอิสระของค่าผิดพลาด)