# บทที่ 2

# ทฤษฎี

## 2.1 การทดสอบอะคูสติกอีมิสชัน

### 2.1.1 ปรากฏการณ์อะคูสติกอีมิสชัน

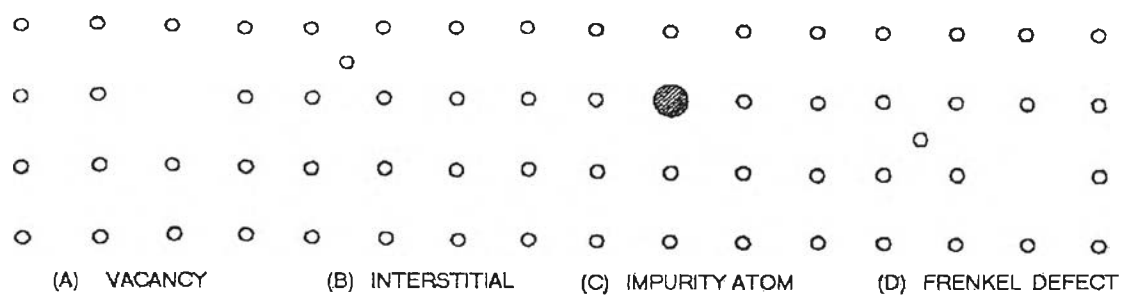
อะคูสติกอีมิสชัน Acoustic Emission (AE) หรือการปล่อยคลื่นความเค้น Stress Wave Emission (SWE) หมายถึง การปลดปล่อยคลื่นความยืดหยุ่น (Elastic wave) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากวัสดุปลดปล่อยพลังงานภายในที่อยู่ในโครงสร้างออกมา ขณะที่วัสดุเกิดการเสียรูป การฉีกขาดของพันธะระหว่างเนื้อวัสดุ การคราก การขยายตัวของรอยร้าว เป็นต้น เมื่อวัสดุได้รับความเค้นและเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในจากการเสียรูปโดยความเค้น โดยที่ความเค้นดังกล่าวอาจจะได้รับจากภายนอกหรือมีตกค้างอยู่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งล้วนแล้วแต่สามารถทำให้วัสดุปล่อยคลื่นออกมาได้ทั้งสิ้น

ปรากฏการณ์อะคูสติกอีมิสชันที่สัมผัสได้โดยตรง เช่น ปรากฏการณ์แผ่นดินไหว เมื่อเปลือกโลกขยับตัวจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวแผ่ออกไปจากจุดกำเนิด ทำให้พื้นดินในส่วนต่างๆ ของโลกสั่นไหวได้

### 2.1.2 แหล่งกำเนิดคลื่นอะคูสติก

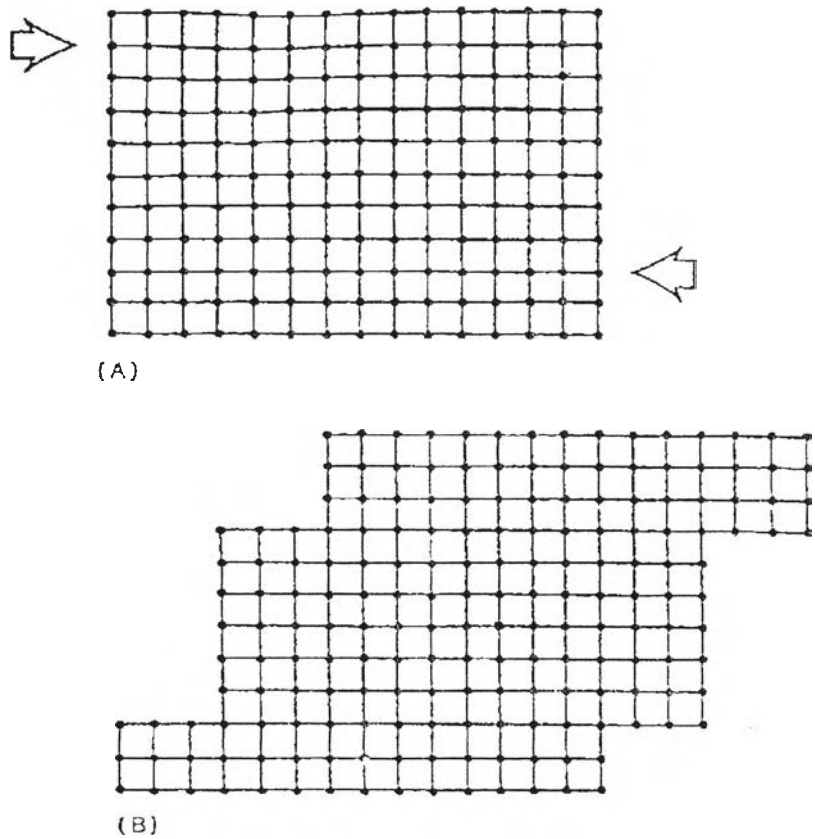
ปรากฏการณ์และคุณสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดคลื่นอะคูสติกอาจพิจารณาได้ทั้งระดับมหภาคและจุลภาค ได้แก่

1) แหล่งกำเนิดจุลภาค หมายถึงแหล่งกำเนิดที่เกิดจากคุณสมบัติของเนื้อวัสดุเมื่อพิจารณาถึงระดับอะตอม โมเลกุลและโครงสร้างของผลึกอะตอมซึ่งไม่สมบูรณ์ เช่น โครงสร้างมีอะตอมขาดหายไป (Vacancy) หรือโครงสร้างมีอะตอมเกิน (Interstitial) หรือโครงสร้างมีอะตอมผิดตำแหน่ง (Frenkel defect) หรือโครงสร้างมีอะตอมแปลกปลอม(Impurity) ดังภาพในรูปที่ 2.1



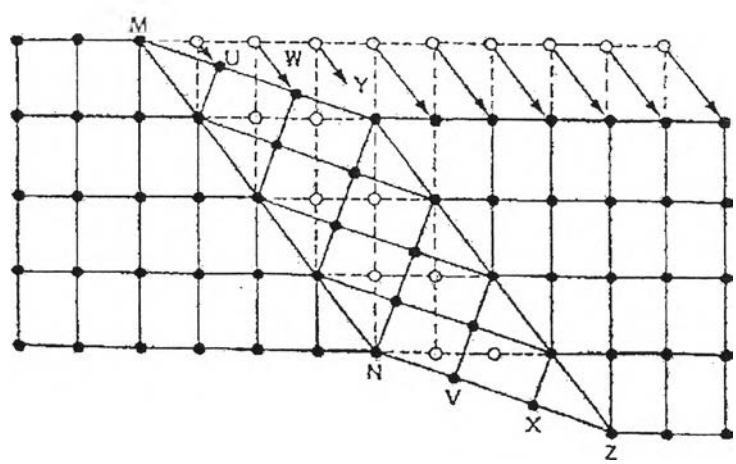

รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของอะตอมและผลึกที่ไม่สมบูรณ์

โครงสร้างดังกล่าวเมื่อได้รับความเค้นสูงถึงระดับหนึ่งที่ชนะความต้านทานของชั้นอะตอม (Lattice) ก็จะเกิดการขยับตัวของอะตอม (Dislocation) จำนวนมากปล่อยคลื่นความยืดหยุ่นออกมา เมื่อขอบเขตการขยับตัวมีขนาดใหญ่ก็จะปรากฏเห็นที่ผิววัสดุในลักษณะของการไถลระหว่างระนาบของชั้นของอะตอม (Slip line) ดังภาพในรูปที่ 2.2




รูปที่ 2.2 ลักษณะการเกิดการไถล

นอกจากการเลื่อนตัวทั้งบล็อคของอะตอมอย่างในการไถลก็อาจจะเกิดการเสียรูปแบบที่เรียกว่า การบิด (Twinning) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่ไม่เท่ากันของอะตอม ดังภาพในรูปที่ 2.3




รูปที่ 2.3 ลักษณะการเกิดการบิด

2) แหล่งกำเนิดมหภาค หมายถึงแหล่งกำเนิดที่เกิดจากส่วนต่างๆ ที่ค่อนข้างใหญ่ของวัสดุทั้งภายในและที่ผิวซึ่งปล่อยคลื่นอะคูสติกออกมา เช่น แหล่งกำเนิดจากการเสียรูปแบบพลาสติกซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของการปล่อยคลื่นอะคูสติก โดยเฉพาะที่หรือใกล้ๆกับจุดคราก (Yield point) จะมีระดับการปล่อยคลื่นสูงสุด แหล่งกำเนิดจากการขยายตัวของรอยร้าวซึ่งสัมพันธ์กับความยาวของรอยร้าว ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้น K (Stress intensity factor) และสถานภาพของความเค้นที่ปลายยอดรอยร้าว ซึ่งมักจะพบว่าเมื่อรอยร้าวขยายขึ้นอย่างไม่เสถียรจะมีแอมพลิจูดของการปล่อยคลื่นอะคูสติกอย่างมาก

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบที่มีผลต่อแอมพลิจูดของคลื่นอะคูสติก [10]

| ปัจจัยที่มีแนวโน้มทำให้แอมพลิจูดสูงขึ้น | ปัจจัยที่มีแนวโน้มทำให้แอมพลิจูดลดลง |
|---|---|
| High strength | Low strength |
| High strain rate | Low strain rate |
| Low temperature | High temperature |
| Anisotropy | Isotropy |
| Nonhomogeneity | Homogeneity |
| Thick sections | Thin sections |
| Brittle failure (Cleavage) | Ductile failure (Shear) |
| Material containing discontinuities | Material without discontinuities |
| Martensitic phase transformation | Diffusion controlled phase transformation |
| Crack propagation | Plastic propagation |
| Cast materials | Wrought materials |
| Large grain size | Small grain size |
| Mechanically induced twinning | Thermally induced twinning |

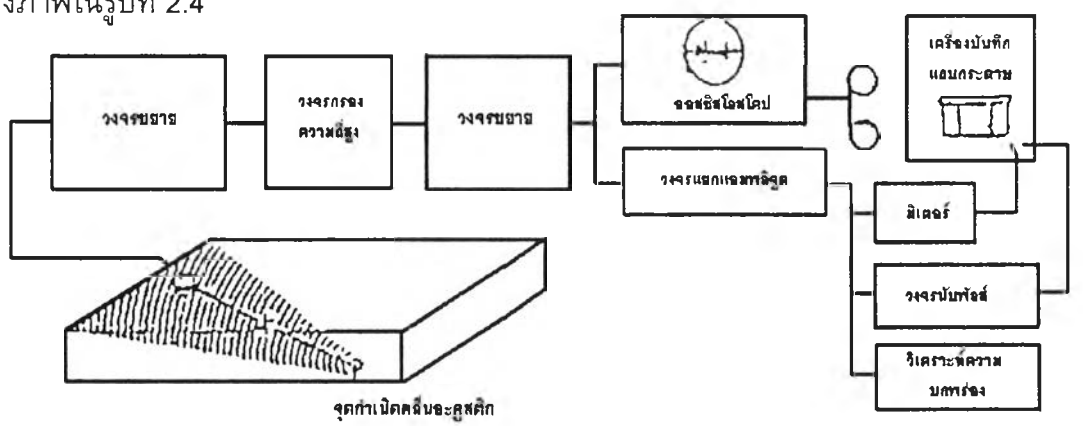
### 2.1.3 ระบบที่ใช้ในการตรวจสอบอะคูสติกอีมิสชัน

เนื่องจากคลื่นอะคูสติกเป็นคลื่นแบบพลวัตที่เกิดขึ้นแล้วหายไป ถ้าไม่ได้ตรวจวัดสัญญาณในขณะที่มีการปล่อยคลื่นอะคูสติกก็จะไม่ทราบอะไรเลย ดังนั้นระบบตรวจสอบด้วยคลื่นอะคูสติกจึงต้องติดตั้งบนชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบและเปิดทำงานตลอดช่วงเวลาที่ทำการตรวจสอบ ระบบตรวจสอบจะประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนคือ

1) หัวรับสัญญาณ (Transducer) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงคลื่นความยืดหยุ่นเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยทั่วไปจะใช้ตัวตรวจรู้แบบ Piezoelectric Transducer ซึ่งใช้วัสดุ PZT (Lead Zirconate Titanate Ceramics) เป็นวัสดุที่เปลี่ยนพลังงานกลคลื่นความยืดหยุ่นเป็นพลังงานไฟฟ้า (ประจุไฟฟ้า) เนื่องจากทนทานมีประสิทธิภาพดีราคาถูก และเพื่อให้การส่งผ่านคลื่นเป็นไปอย่างสมบูรณ์ในการใช้งานก็ต้องใช้สาร Couplant (ของเหลวที่ช่วยในการส่งผ่านคลื่น) ทาเคลือบระหว่างพื้นผิวกับตัวตรวจรู้ด้วย ในลักษณะเดียวกับโพรบรับสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบแบบอัลตราโซนิก

2) อุปกรณ์ขยาย กรอง และเลือกความถี่ของสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากตัวตรวจรู้มีค่าต่ำมาก จึงต้องมีการขยายสัญญาณโดยตัวขยายชั้นต้น (Preamplifier) เพื่อทำให้ส่งสัญญาณได้เป็นระยะทางไกลๆและมีเสถียรภาพ จากนั้นสัญญาณจะผ่านเข้าตัวกรองสัญญาณ (Filter) เพื่อลดสัญญาณรบกวนทางกลและสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า (สำหรับสัญญาณอะคูสติกช่วงที่ใช้งานได้นั้น โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 10 กิโลเฮิรตซ์ ถึงระดับหลายเมกกะเฮิรตซ์) แล้วจึงผ่านเข้าสู่อุปกรณ์ขยายสัญญาณหลัก (Amplifier)

3) อุปกรณ์วิเคราะห์และประเมินผล เป็นอุปกรณ์สำหรับแยกแยะและประมวลผลคุณลักษณะต่างๆ ของสัญญาณที่มีหลากหลายตามความต้องการ ซึ่งอาจประกอบด้วย ออสซิโลสโคป (Oscilloscope) เพื่อแสดงสัญญาณในเวลาจริง วงจรจำแนกแอมพลิจูด (Amplitude Discriminator) ซึ่งจะแปลงสัญญาณจากอนาล็อกไปเป็นดิจิตอลแล้วผ่านเข้าสู่ตัวจัดการสัญญาณอุปกรณ์นับ (Counter) เพื่อส่งไปประมวลผลโดยซอฟต์แวร์ต่อไปแล้วแสดงผลลัพธ์ที่ต้องการ ดังภาพในรูปที่ 2.4

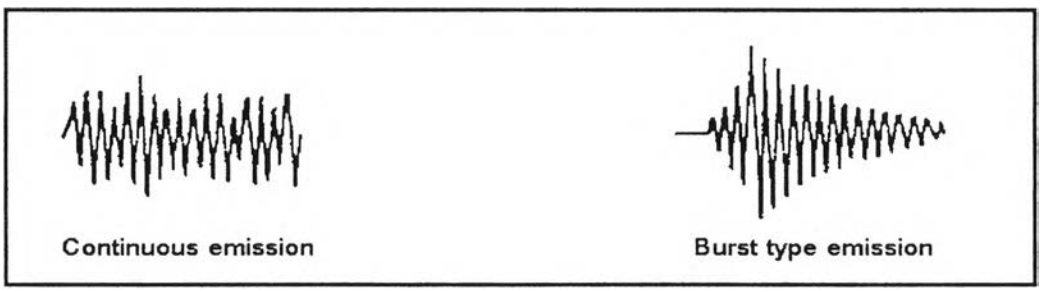



รูปที่ 2.4 ระบบที่ใช้ในการตรวจสอบอะคูสติกอีมิสชัน

### 2.1.4 คุณลักษณะของสัญญาณ

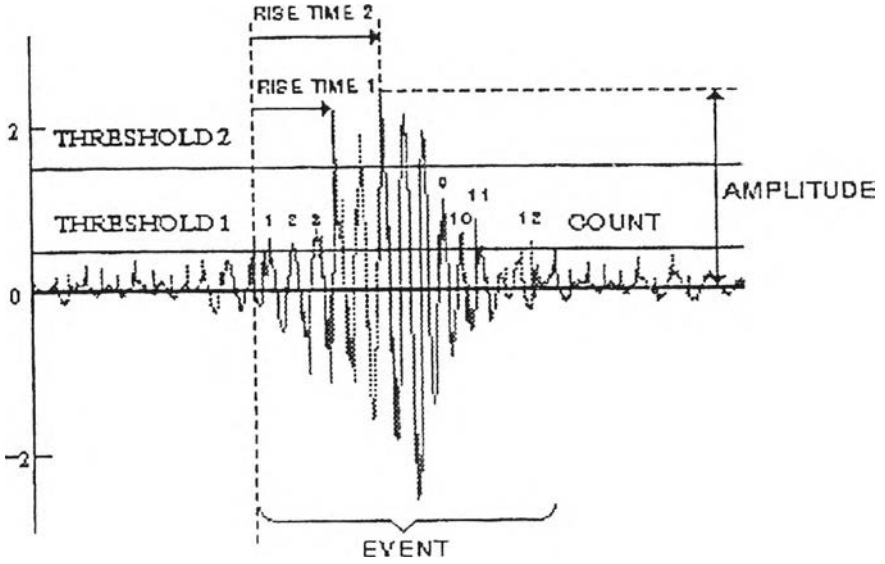
ลักษณะทั่วไปของสัญญาณอะคูสติกที่เปล่งออกมา แบ่งออกได้ 2 ชนิดคือ 1) สัญญาณแบบต่อเนื่อง (Continuous emission) มีลักษณะแอมพลิจูดสูงๆ ต่ำๆ สลับต่อเนื่องไปตลอดเวลาคล้ายกับสัญญาณของคลื่นรบกวน (Noise) โดยสัญญาณของคลื่นรบกวนจะเกิดจากสาเหตุต่างๆที่อยู่นอกเหนือจากการควบคุม เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แรงดัน ความต้านกระแสของวงจรไฟฟ้า สัญญาณของคลื่นรบกวนจะเปลี่ยนขึ้นลงโดยไม่มีรูปแบบที่แน่นอนแต่โดยทั่วไปมีแอมพลิจูดต่ำ ส่วนสัญญาณอะคูสติกแบบต่อเนื่องจะมีรูปแบบที่แน่นอน เช่น มีช่วงความถี่หนึ่งๆเฉพาะ เป็นต้น แม้ว่าอาจมีแอมพลิจูเปลี่ยนแปลงขึ้นลงไม่สูงและไม่แตกต่างกันมากนักตลอดช่วงเวลาทำให้ดูคล้ายคลื่นรบกวน สัญญาณอะคูสติกชนิดนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของดิสโลเคชั่นเดี่ยวภายในโครงสร้างของวัสดุ ซึ่งจะมีพลังงานที่เปล่งออกมาค่อนข้างต่ำ (ระดับ Microscopic) จนในบางครั้งไม่สามารถตรวจจับได้ แต่ถ้ามีดิสโลเคชั่นหลายๆ กลุ่มรวมกันและเคลื่อนที่ไปด้วยกันจะเกิดสัญญาณมากพอจนสามารถตรวจจับได้ด้วยเครื่องอะคูสติกอีมิสชัน

2) สัญญาณแบบปะทุ (Burst type emission) มีลักษณะคล้ายกับฟังก์ชัน Sinusoids ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแล้วค่อยๆ ลดลง เหมือนลักษณะการสั่นของกลองเมื่อถูกตี มีสาเหตุมาจากการเกิดเรโซแนนซ์ในโครงสร้างของวัสดุและตัวตรวจรู้หรือมีการแผ่ขยายตัวของรอยร้าว มักจะเกิดขึ้นบริเวณผิวของรอยบากหรือจุดภายในเนื้อวัสดุที่มีความเค้นสูงกว่า Fracture stress ของวัสดุ สัญญาณอะคูสติกชนิดนี้จะมีพลังงานที่ค่อนข้างสูง (ระดับ Macroscopic) และมีประโยชน์ต่อการค้นหารอยแตกร้าวอย่างมาก สัญญาณจะมีแอมพลิจูดสูงเป็นช่วงๆ ต่างไปจากสัญญาณแบบต่อเนื่อง ลักษณะสัญญาณอะคูสติกแบบต่อเนื่องและแบบปะทุ ดังแสดงในรูปที่ 2.5




รูปที่ 2.5 สัญญาณอะคูสติกแบบต่อเนื่องและแบบปะทุ

เมื่อตัวรับสัญญาณแปลงคลื่นความยืดหยุ่นเป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณจะถูกขยายและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวงจรอิเล็คทรอนิกส์และอุปกรณ์ประมวลผล ลักษณะรูปคลื่นอะคูสติกทั่วๆ ไป ดังแสดงด้วยภาพในรูปที่ 2.6 การปล่อยคลื่นอะคูสติกอาจเป็นไปอย่างต่อเนื่อง (Continuous emission) หรือเป็นการปล่อยคลื่นอย่างเป็นช่วงๆ หรือแบบปะทุ (Burst type emission) ก็ได้




รูปที่ 2.6 ลักษณะรูปคลื่นอะคูสติกและคุณลักษณะต่างๆ ของสัญญาณ

ลักษณะของสัญญาณอะคูสติกโดยทั่วไปจะเหมือนกับสัญญาณของแผ่นดินไหวคือมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเทียบกับเวลา เริ่มต้นจากแอมพลิจูดของสัญญาณน้อยๆ แล้วเพิ่มมากขึ้นจนถึงค่าสูงสุดแล้วกลับลดลงอีก สัญญาณอะคูสติกจะมีแอมพลิจูดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการเสียหายของวัสดุหรือปริมาณพลังงานที่วัสดุปลดปล่อยออกมา แต่เนื่องจากสัญญาณที่ได้มาอาจมีคลื่นรบกวน (Noise) การวิเคราะห์และประเมินผลสัญญาณก็จะมีการกำหนดขีดเริ่มเปลี่ยน1 (Threshold1) หรือเกณฑ์ขั้นต่ำเพื่อเป็นการคัดเลือกวิเคราะห์เฉพาะสัญญาณที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 ทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากขึ้น โดยพิจารณาว่าสัญญาณที่มีแอมพลิจูดต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 จะถือว่าเป็นคลื่นรบกวน คุณลักษณะของสัญญาณที่ใช้วิเคราะห์และประเมินผลด้วยเทคนิคอะคูสติกมีหลายพารามิเตอร์ ได้แก่

**Count** คือจำนวนครั้งที่สัญญาณอะคูสติกมีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 (Threshold1) และเมื่อสัญญาณเริ่มมีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 เพิ่มต่อเนื่องไปเรื่อยๆ แล้วค่อยๆ ลดลงจนมีแอมพลิจูดต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 อีกครั้ง ตามรูปที่ 2.6 คลื่นอะคูสติกช่วงนี้มีจำนวน Count เท่ากับ 12 ทั้งนี้คลื่นอะคูสติกกลุ่มนี้เรียกว่า Event หรือ Hit

**Event หรือ Hit** คือกลุ่มของสัญญาณที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหนึ่งแสดงถึงการปลดปล่อยพลังงานอย่างกระทันหันจากเนื้อวัสดุเป็นช่วงๆ ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นความยืดหยุ่นแผ่กระจายออกไปเป็นระยะเวลาหนึ่ง ลักษณะของ Event จะเป็นกลุ่มใหญ่กลุ่มเล็ก หรือต่อเนื่องนานๆ ก็ขึ้นกับประเภทของการปลดปล่อยพลังงาน เช่น เมื่อเนื้อวัสดุมีความเสียหายรุนแรงจาก การครากการร้าว จะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมามากในแต่ละ Event ดังนั้นในสภาพนี้แต่ละ Event จะกินระยะเวลานานกว่าเมื่อมีการปลดปล่อยพลังงานน้อย

และโดยทั่วไปก็จะมีแอมพลิจูดสูงด้วย จึงทำให้มีจำนวน Count มากตามไปด้วย นอกจากนี้รูปแบบของการเพิ่มขึ้นของสัญญาณที่วัดโดย Rise time ก็จะแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของสัญญาณว่าเร็วช้าแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะการปลดปล่อยพลังงานด้วย

**Rise time** คือช่วงเวลาระหว่างที่สัญญาณเริ่มมีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน 1 (Threshold1) ครั้งแรกกับสัญญาณที่มีค่าแอมพลิจูดสูงกว่าหรือเท่ากับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน 2 (Threshold2) จะได้ Rise time1 หรือช่วงเวลาระหว่างที่สัญญาณเริ่มมีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 (threshold1) ครั้งแรกกับสัญญาณที่มีค่าแอมพลิจูดสูงสุดจะได้ Rise time2 โดยที่ Rise time จะแสดงถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของสัญญาณ เช่น วัสดุที่เปราะเมื่อแตกหักก็จะแตกหักกระทันหัน การเพิ่มขึ้นของสัญญาณก็จะเกิดอย่างรวดเร็ว ขณะที่วัสดุเหนียวจะมีการยืดตัวได้มากกว่า การเพิ่มขึ้นของสัญญาณจะมีลักษณะค่อยเป็นค่อยไปทำให้มีค่า Rise time ต่ำกว่า

**Amplitude** คือค่าสูงสุดของสัญญาณอะคูสติกในแต่ละ Event ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จะเห็นว่า Count ที่ 6 จะมีแอมพลิจูดสูงที่สุดเมื่อเทียบกับ Count อื่นๆ ใน Event เดียวกัน ดังนั้นความสูงของแอมพลิจูดของ Count ที่ 6 ถือว่าเป็นแอมพลิจูดของ Event นั้น ซึ่งสามารถบอกถึงความแรงของแหล่งกำเนิดคลื่น ทำให้สามารถแยกแยะขนาด ชนิด และระยะทางจากแหล่งกำเนิด รวมทั้งยังอาจใช้การกระจายของแอมพลิจูดที่พบว่ามีความสัมพันธ์กับกลไกการเสียรูปของวัสดุบางชนิด

**Energy** คือพลังงานของคลื่นอะคูสติกที่เทียบได้จากการอินทิเกรตแรงดันไฟฟ้ากำลังสองเทียบกับเวลาแล้วหารด้วยความต้านทานไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจวัด ดังสมการ

$$U = \frac{1}{R}\int_0^t V^2(t)dt \qquad (2.1)$$

โดยที่ U คือ ค่าพลังงาน มีหน่วยเป็นหน่วยพลังงาน

R คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของอุปกรณ์

T คือ เวลา

V(t) คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าจากอุปกรณ์ตรวจวัด ที่เวลา t ซึ่งเป็นสัดส่วนกับแอมพลิจูดของสัญญาณอะคูสติกดังนั้นค่าพลังงานของคลื่นอะคูสติกอาจใช้เป็นตัวแปรบ่งบอกถึงปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเนื้อวัสดุ

**Cumulative count** คือจำนวนครั้งรวมที่นับเมื่อสัญญาณมีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 ในช่วงเวลาที่ตรวจวัดคลื่นอะคูสติก จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าสัญญาณช่วงแรกและช่วงหลังมีแอมพลิจูดต่ำที่คาดว่าเป็นสัญญาณของคลื่นรบกวน เพื่อหลีกเลี่ยงจึงต้องตั้งค่าขีดเริ่มเปลี่ยนให้สูงกว่านั้นและจะเริ่มนับเมื่อสัญญาณมีแอมพลิจูดสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าใน Event นี้มี จำนวน Count เท่ากับ 12 แต่ถ้าในช่วงเวลาที่วัดมี Event เกิดขึ้นหลายๆ Event ก็จะนำจำนวน Count ทั้งหมดมารวมกันเป็น Cumulative Count

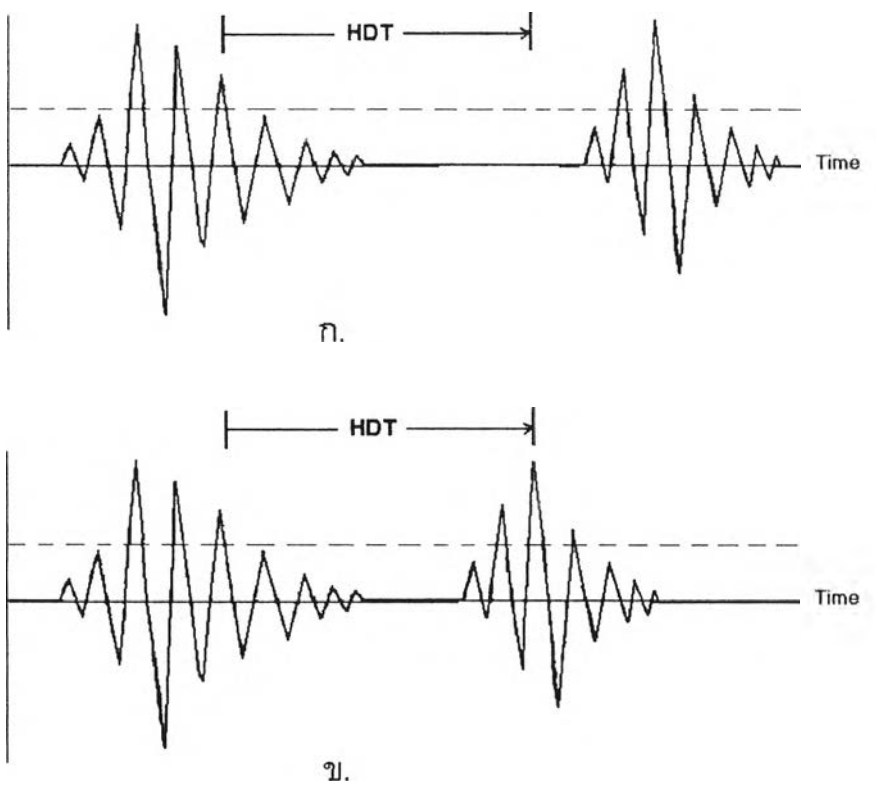
**Cumulative event** คือจำนวนกลุ่มของสัญญาณที่เกิดจากการปล่อยคลื่นอะคูสติก จากรูปที่ 2.6 แสดงกลุ่มของสัญญาณ 1 กลุ่ม คือจะเริ่มเมื่อสัญญาณสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 และสิ้นสุดเมื่อ

สัญญาณสุดท้ายต่ำกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 โดยจะมีค่าระยะเวลาที่กำหนดไว้ช่วงหนึ่ง (HDT) เป็นตัวแบ่งแยกแต่ละ Event คือถ้าสัญญาณ Count สุดท้ายเริ่มต่ำกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 และสัญญาณชุดใหม่ที่เริ่มมีแอมพลิจูดสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 อยู่ห่างกันน้อยกว่า HDT จะถือว่าอยู่ Event เดียวกัน แต่ถ้าสัญญาณ Count สุดท้ายเริ่มต่ำกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 และสัญญาณชุดใหม่ที่เริ่มมีแอมพลิจูดสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 อยู่ห่างกันมากกว่า HDT จะถือว่าสัญญาณถัดไปนั้นเป็น Event ใหม่ (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่ HDT)

**Duration time** คือระยะเวลาจากสัญญาณที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 จนถึงสัญญาณสุดท้ายที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 ซึ่งก็คือระยะเวลาของการเกิดแต่ละ Event ว่ามีช่วงเวลายาวนานมากน้อยแตกต่างกันอย่างไร

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดคุณลักษณะของสัญญาณอะคูสติกที่กล่าวมาแล้วยังขึ้นกับค่าตัวแปรที่ใช้ประกอบในการวัดและวิเคราะห์สัญญาณ ได้แก่

**HDT (Hit Definition Time)** คือระยะเวลาที่ตั้งขึ้นเพื่อช่วยในการนับ Event หรือ Hit ที่เหมาะสม เริ่มนับจากสัญญาณ Count สุดท้ายที่สูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 โดยในช่วงเวลา HDT ที่ตั้งไว้ถ้าในระหว่างช่วงเวลานี้ไม่มีสัญญาณที่มีค่าแอมพลิจูดมากกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 จะถือว่า Hit ที่ผ่านมานั้นได้สิ้นสุดลง หลังจากนั้นถ้าเริ่มมีสัญญาณที่มีค่าแอมพลิจูดมากกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนอีกครั้ง ก็จะเริ่มนับเป็น Hit ใหม่โดยมีเงื่อนไขร่วมกับช่วงเวลา HLT ดังแสดงด้วยภาพในรูปที่ 2.7 (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่ HLT)

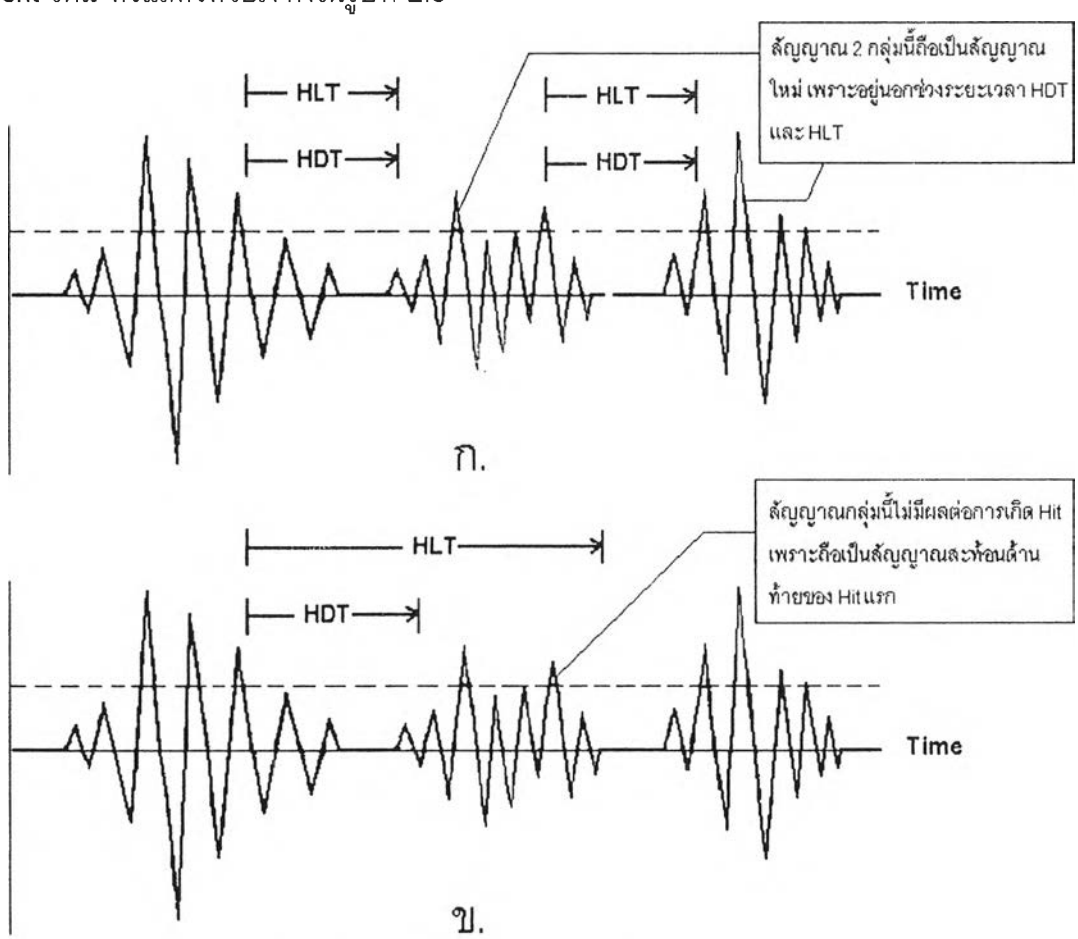



รูปที่ 2.7 รายละเอียดการนับ Event หรือ Hit เทียบกับ HDT

รูปที่ 2.7ก จะเห็นว่าในระหว่างช่วงเวลา HDT ไม่มีสัญญาณใดเลยที่มีค่าสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 ดังนั้นในกรณีนี้ถือว่าสัญญาณใน Hit แรกได้สิ้นสุดลงแล้ว และนับสัญญาณใหม่ถัดมาเป็น Hit ที่สอง สรุปได้ว่ารูปนี้มี 2 Hit

รูปที่ 2.7ข จะเห็นว่าในระหว่างช่วงเวลา HDT มีสัญญาณบางตัวที่มีค่าสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 ดังนั้นในกรณีนี้จะถือว่าสัญญาณใน Hit แรกยังไม่หมด และสรุปได้ว่ารูปนี้มี 1 Hit

**HLT (Hit Lockout Time)** คือระยะเวลาที่ตั้งขึ้นเพื่อลดผลของสัญญาณสะท้อนด้านท้าย (Tail end echoes) ของแต่ละ Hit เริ่มนับเวลาตั้งแต่สิ้นสุด Hit ซึ่งในช่วงเวลานี้จะไม่มีการนับสัญญาณที่สูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 เพราะถือว่าเป็นสัญญาณสะท้อนด้านท้ายของแต่ละ Hit และหลังจากผ่านช่วงเวลา HLT ไปแล้ว สัญญาณแรกที่สูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะถือเป็น Hit หรือ Event ใหม่ ดังแสดงด้วยภาพในรูปที่ 2.8

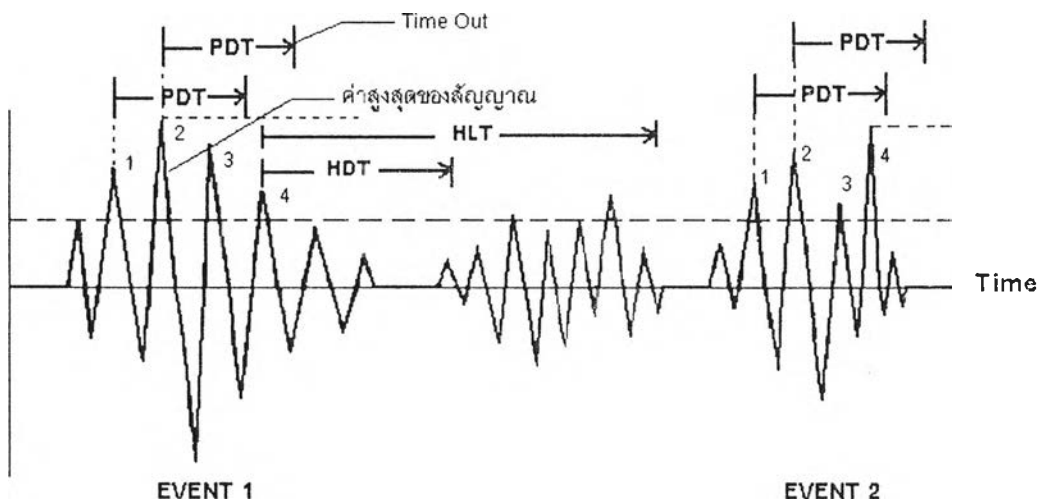



รูปที่ 2.8 รายละเอียดการนับ Event หรือ Hit เทียบกับ HLT

รูปที่ 2.8ก จะเห็นว่าในระหว่างช่วงเวลา HDT และ HLT ไม่มีสัญญาณใดเลยที่มีค่าสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 ดังนั้นในกรณีนี้ถือว่าสัญญาณใน Hit แรกได้สิ้นสุดลงแล้วและไม่มีสัญญาณสะท้อนด้านท้ายของ Hit แรกเกิดขึ้น ดังนั้นจึงนับสัญญาณถัดมาที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 เป็น Hit ใหม่และสรุปได้ว่ารูปนี้มี 3 Hit

รูปที่ 2.8ข จะเห็นว่าในระหว่างช่วงเวลา HLT มีสัญญาณบางตัวที่มีค่าสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 ดังนั้นในกรณีนี้จะถือว่าสัญญาณในกรณีนี้เป็นสัญญาณสะท้อนด้านท้ายของ Hit แรกและสรุปได้ว่ารูปนี้มี 2 Hit

**PDT (Peak Definition Time)** คือระยะเวลาที่ตั้งขึ้นเพื่อช่วยในการเปรียบเทียบค่าแอมพลิจูดสูงสุด (Peak) ของสัญญาณในแต่ละ Event ถ้าในช่วงเวลา PDT มีสัญญาณซึ่งมีค่าแอมพลิจูดสูงกว่าค่าสูงสุดเดิมที่บันทึกไว้ ค่า Peak ก็จะถูกกำหนดให้เป็นค่าใหม่ที่สูงกว่าแทน แต่ถ้าในช่วงเวลา PDT ไม่มีสัญญาณใดที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าสูงสุดเดิมก็จะถือว่าแอมพลิจูดสูงสุดเท่ากับค่านั้นๆสำหรับ Event ดังแสดงด้วยภาพในรูปที่ 2.9 เมื่อเริ่ม Event ที่ 1 แอมพลิจูด1 คือค่าสูงสุด ต่อมาวัดได้แอมพลิจูด2ซึ่งมีค่ามากกว่าแอมพลิจูด1และอยู่ในช่วง PDT ก็จะนับแอมพลิจูด2 เป็นค่าสูงสุด เมื่อวัดแอมพลิจูด3, 4 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแอมพลิจูด2 ค่า Peak ก็ยังคงเท่ากับแอมพลิจูด2 สำหรับ Event ที่ 2 จะได้ค่า Peak เท่ากับแอมพลิจูด4

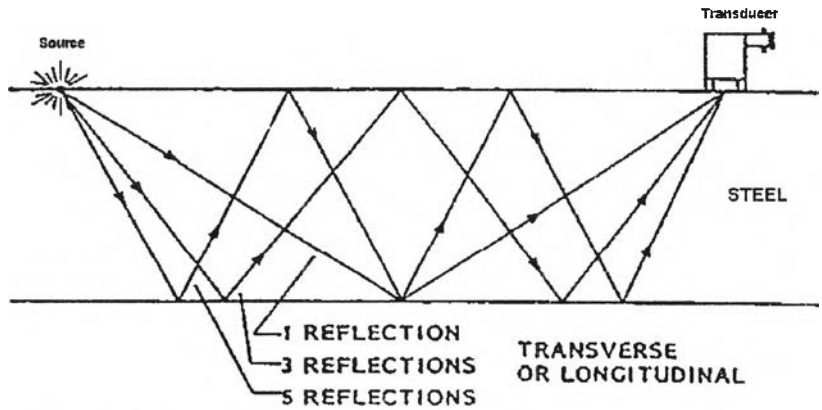



รูปที่ 2.9 รายละเอียดการนับ Peak เทียบกับ PDT

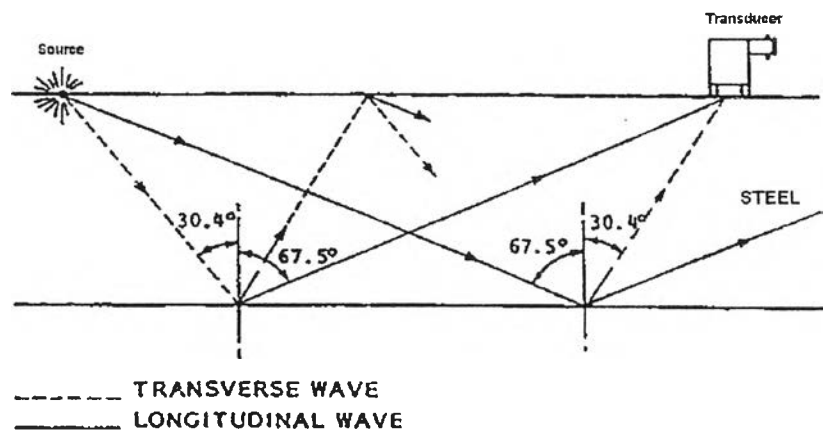
### 2.1.5 การเคลื่อนที่ของคลื่นอะคูสติก

จากแหล่งกำเนิดคลื่นอะคูสติกจะแพร่กระจายออกไปทุกทิศทาง เมื่อพบรอยต่อของพื้นผิวก็จะมีการหักเหและการสะท้อนกลับของคลื่นซึ่งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลื่นได้อีกด้วย ดังนั้นคลื่นที่เดินทางจากแหล่งกำเนิดไปถึงหัวรับสัญญาณ (Transducer) จึงมีได้หลายชนิดทั้ง คลื่นตามยาว คลื่นตามขวางและคลื่นพื้นผิว ซึ่งคลื่นแต่ละชนิดมีความเร็วในการเคลื่อนที่ต่างกันตลอดจนมีการเดินแตกต่างกัน ดังแสดงด้วยภาพในรูปที่ 2.10 ซึ่งมีทั้งการสะท้อนของคลื่นไปสู่หัวรับสัญญาณโดยไม่มีการเปลี่ยนชนิดของคลื่นในรูป ก. และมีการเปลี่ยนชนิดของคลื่นในรูป ข. ทำให้ลักษณะสัญญาณที่ตรวจจับได้โดยตัวรับสัญญาณจะซับซ้อนและ

พบว่าสัญญาณมีกำลังค่อนข้างต่ำเนื่องจากการสูญเสียในการส่งผ่านและการกระจายของคลื่น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อปรับขยายและทำการวิเคราะห์สัญญาณ




ก. การเคลื่อนที่ของคลื่นโดยไม่มีการเปลี่ยนชนิดของคลื่น




ข. การเคลื่อนที่ของคลื่นโดยมีการเปลี่ยนชนิดของคลื่น

รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่ของคลื่นอะคูสติกไปยังหัวรับสัญญาณ

## 2.2 การวัดกำลังงานของระบบไฟฟ้าสามเฟส

การวัดกำลังงานของระบบไฟฟ้าสามเฟส ทำได้โดยการต่อวัตต์มิเตอร์เข้าไปในแต่ละเฟส ค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์คือกำลังงานของแต่ละเฟส ดังนั้นกำลังงานทั้งหมดระบบไฟฟ้าสามเฟสจะได้จากการบวกค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ในแต่ละเฟส ดังแสดงด้วยภาพในรูปที่ 2.11 และหากโหลดสมดุล ซึ่งหมายถึง ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) เท่ากันทั้งสามเฟสทุกประการ นั่นคือเท่ากันทั้งขนาดและตัวประกอบกำลัง (Power factor) พบว่าไม่ว่าจะเป็นการต่อโหลดแบบวาย (Y) หรือ แบบเดลต้า ($\Delta$) การวัดกำลังงานสามารถใช้วัตต์มิเตอร์เพียงเครื่องเดียววัดกำลังที่เกิดขึ้นในเฟสใดเฟสหนึ่ง ค่าที่อ่านได้คูณด้วย 3 คือค่ากำลังงานทั้งหมด [4] ดังนั้นจะได้

กำลังงานในหนึ่งเฟส $$p = V_{ph} \times I_{ph} \cos\theta = \frac{1}{\sqrt{3}} V_{line} \times I_{line} \times \cos\theta \qquad (2.2)$$

กำลังงานในสามเฟส $$p = 3V_{ph} \times I_{ph} \cos\theta = \sqrt{3} V_{line} \times I_{line} \times \cos\theta \qquad (2.3)$$

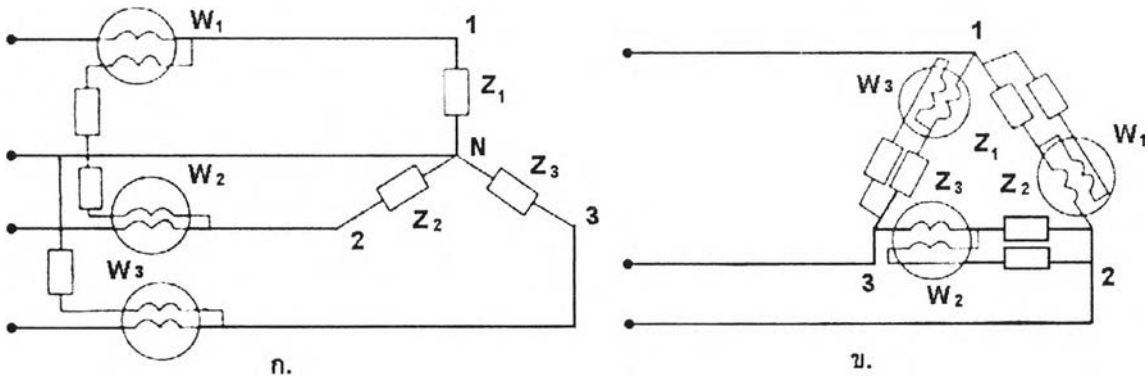
โดยที่

$V_L$ คือ แรงดันระหว่างสายคู่ใดคู่หนึ่งที่ไม่ใช่สายนิวตรอล

$V_{ph}$ คือ แรงดันเฟสหรือแรงดันระหว่างสายใดสายหนึ่งกับสายนิวตรอล

$I_L$ คือ กระแสในสาย

$I_{ph}$ คือ กระแสในเฟส




รูปที่ 2.11 การวัดกำลังงานของระบบไฟฟ้าสามเฟส
ก.) การวัดกำลังงานในโหลดที่ต่อแบบวาย (Y) ข.) การวัดกำลังงานในโหลดที่ต่อแบบเดลต้า ($\Delta$)

ในงานวิจัยฉบับนี้ใช้เครื่องเจาะที่ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟสชนิดต่อโหลดสมดุลแบบวาย (Y) กำลังขับ 1.5 กิโลวัตต์

## 2.3 ดอกสว่าน (Drill)

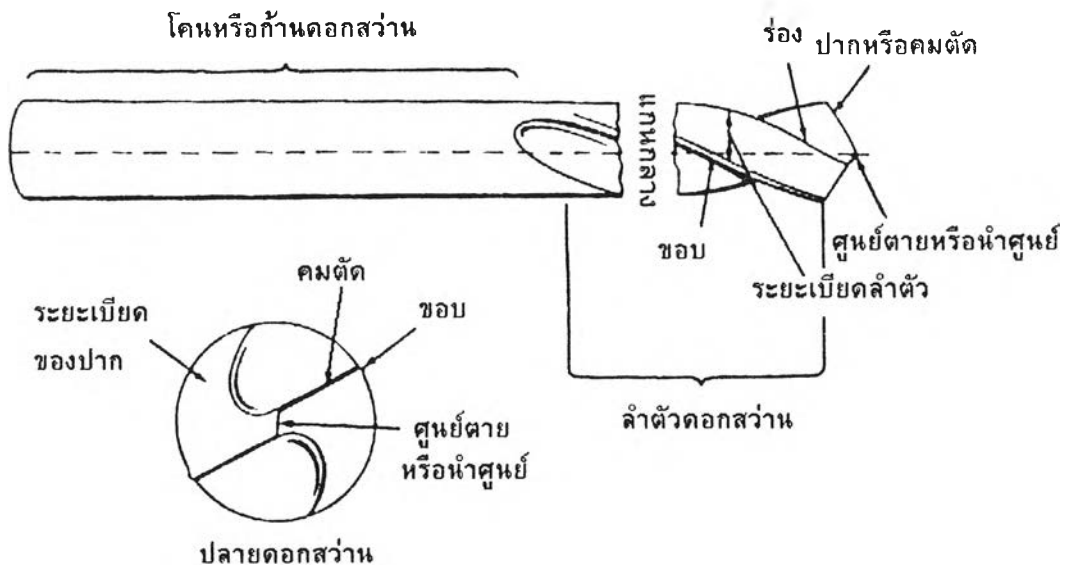
ดอกสว่าน (Drill) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นเกลียวบิด ดังรูปที่ 2.12 ผลิตด้วยกรรมวิธีการตีขึ้นรูป (Forging) หรือใช้เครื่องกัด (Milling) เสร็จแล้วนำไปอบชุบแข็ง (Heat treatment) วัสดุที่ใช้ทำส่วนมากจะเป็นพวกเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าไฮสปีด

1) ดอกสว่านที่ทำด้วยเหล็กกล้าคาร์บอน มีราคาถูกและหักได้ง่ายกว่าดอกสว่านที่ทำด้วยเหล็กกล้าไฮสปีด ต้องใช้ความเร็วตัดเจาะน้อยกว่าดอกสว่านที่ทำด้วยเหล็กกล้าไฮสปีดและทนอุณหภูมิได้ไม่เกิน 400 องศาฟาเรนไฮต์

2) ดอกสว่านที่ทำด้วยเหล็กกล้าไฮสปีด นิยมใช้กันมากสำหรับเจาะชิ้นงานทั่วๆไป เพราะมีความแข็งแรงทนทานต่อแรงเจาะตัดและความร้อนได้ดี ทนอุณหภูมิได้ไม่เกิน 1,000 องศาฟาเรนไฮต์

ส่วนดอกสว่านที่ทำด้วยโลหะชนิดใดนั้น จะมีเครื่องหมายตัวอักษรบอกไว้ที่ด้ามดอกสว่าน เช่น “CS” คือเหล็กกล้าคาร์บอน และ “HS” คือเหล็กกล้าไฮสปีด เป็นต้น

การเจาะชิ้นงานโดยใช้ดอกสว่านให้ได้ขนาดและความลึกตามความต้องการนั้น ต้องเลือกแบบ ชนิด ขนาดของดอกสว่าน มุมที่ปลายดอกสว่าน มุมหลบคมดอกสว่าน มุมตัดที่ปลายศูนย์ดอกสว่าน มุมเกลียวดอกสว่าน ความเร็วตัด อัตราเร็วรอบและอัตราการป้อนของดอกสว่านให้ถูกต้องเหมาะสม




รูปที่ 2.12 ลักษณะทั่วไปของดอกสว่านแบบเกลียวบิด (Twist drill)

ส่วนประกอบต่างๆ ของดอกสว่าน ในรูปที่ 2.12 คือ

### 2.3.1 ปลายดอกสว่าน (Point)

คือส่วนปลายสุดของดอกสว่าน มีลักษณะเป็นรูปกรวยมีความคมเพื่อให้สามารถตัดเจาะเนื้อโลหะได้ ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆ คือ

1) ศูนย์ตายหรือนำศูนย์ (Dead center) คือจุดที่อยู่ปลายแหลมสุดของดอกสว่านที่ด้านข้างของรูปกรวยมาตัดหรือบรรจบกัน เป็นส่วนแรกที่จะสัมผัสกับชิ้นงาน จะต้องอยู่ในแนวแกนกลางของดอกสว่านพอดี

2) คมตัดหรือปาก (Cutting edge or Lip) คือส่วนที่เป็นคมตัดของดอกสว่านใช้เจาะตัดเนื้องานตามที่ต้องการ

3) ระยะเบียดของปาก (Lip clearance) คือช่วงมุมลาดของส่วนที่ลาดเอียงไปทางด้านหลังของคมตัด ถ้าลาดเอียงน้อยระยะเบียดจะน้อย แต่ถ้าลาดเอียงมากระยะเบียดก็มาก ขนาดของระยะเบียดของปากวัดเป็นองศา

### 2.3.2 ลำตัวดอกสว่าน (Body)

คือช่วงที่บิดเป็นเกลียวระหว่างปลายดอกสว่านถึงโคนหรือก้านดอกสว่าน ลำตัวดอกสว่านประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ

1) ร่องคายขี้เจาะ (Flutes) คือส่วนที่ทำเป็นร่องบิดเหมือนเกลียวที่ตัวดอกสว่าน ซึ่งอาจจะมี 2 ร่องหรือมากกว่า ร่องคายขี้เจาะมีหน้าที่คือ

1.1) ทำให้เกิดคมที่ปลายหรือปากดอกสว่าน

1.2) ช่วยให้เจาะงานได้ง่าย

1.3) เป็นช่องทางให้น้ำมันหล่อลื่นและน้ำระบายความร้อนผ่านไปที่คมสว่านได้

1.4) เนื่องจากร่องมีลักษณะเว้าโค้ง จึงทำให้เศษโลหะที่เจาะคายออกได้ง่าย

2) ขอบ (Margin) คือขอบหรือครีบเล็กๆ ที่บิดไปตามเกลียวดอกสว่าน เป็นส่วนที่โตสุดของดอกสว่านส่วนนี้จึงเป็นส่วนที่ใช้วัดขนาดความโตของดอกสว่าน ซึ่งจะเท่ากับขนาดความโตของรูเจาะ

3) ระยะเบียดลำตัวดอกสว่าน (Body clearance) ถัดจากขอบของดอกสว่านคือ เนื้อที่ส่วนที่เป็นตัวดอกสว่าน เนื้อที่ส่วนนี้จะต่ำกว่าขอบ จึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างตัวดอกสว่านกับผิว ภายในรูเจาะช่องว่างนี้คือระยะเบียดลำตัวดอกสว่าน ด้วยเหตุนี้การสัมผัสของผิวงานภายใน รูเจาะกับดอกสว่านจึงเกิดขึ้นเฉพาะผิวงานภายในกับขอบดอกสว่านแต่ตรงระยะเบียดลำตัวดอกสว่านไม่สัมผัส จึงช่วยลดความฝืดขณะเจาะ

### 2.3.3 โคนหรือก้านดอกสว่าน (Shank)

โคนหรือก้านดอกสว่านมี 2 ชนิดคือ ชนิดก้านตรงและชนิดก้านเรียว ดอกสว่านชนิดก้านตรงโดยทั่วๆ ไปจะเป็นดอกขนาดกลางลงไปถึงขนาดเล็ก เวลาใช้งานจะต้องใส่ยึดเข้ากับหัวจับ (Chuck) ส่วนดอกสว่านชนิดก้านเรียวส่วนมากจะเป็นดอกสว่านขนาดใหญ่ที่มีก้านโตเกินกว่าจะใช้จับด้วยหัวจับได้ แต่จะใช้วิธีถอดหัวจับออก แล้วเอาก้านดอกสว่านเสียบเข้าไปแทนในรูแกนหมุน (Spindle) ของเครื่องเจาะซึ่งมีขนาดเรียวที่สวมกันได้ ที่ปลายสุดของดอกสว่านชนิดก้านเรียวจะตีแบน (Tang) เพื่อให้ขัดกับร่องภายในรูแกนหมุนของเครื่องเจาะจึงขับดอกสว่านให้หมุนไปพร้อมกันได้

ในงานวิจัยฉบับนี้ใช้ดอกสว่านที่ทำด้วยเหล็กกล้าไฮสปีดแบบเกลียวบิด (Twist drill) ชนิดก้านตรง มีคมตัด 2 คม ขนาด 10 มิลลิเมตร

## 2.4 การสึกหรอ

### 2.4.1 การสึกหรอ

การสึกหรอ คือ การสูญเสียเนื้อวัสดุของชิ้นงานไป ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีของแข็ง 2 ชนิด เคลื่อนที่สัมผัสกันภายใต้ภาระค่าหนึ่งไม่ว่าการเคลื่อนที่จะเป็นทิศสวนทางกันหรือทิศทางเดียวกันแต่เกิดการลื่นไถล (Sliding) หรือการกลิ้งไถล (Rolling and sliding) ไปด้วยไม่ว่าพื้นผิวสัมผัสได้รับการหล่อลื่นหรือไม่ก็ตาม

การสึกหรอของมีดตัด (Cutting tool) สามารถแบ่งได้เป็น 3 สาเหตุใหญ่ๆ คือ Adhesive wear, Abrasive wear และ Diffusion wear

1) Adhesive wear เกิดจากการเคลื่อนที่ของเศษโลหะผ่านขอบการตัดอย่างไม่สม่ำเสมอ (Turbulent) มีอุณหภูมิสูงและความดันสูง เศษโลหะอาจจะมี Build up edge ก่อตัวขึ้นและเมื่อมีมากขึ้นมันจะไปยึดติดกับผิวของมีดตัด เมื่อ Build up edge เคลื่อนไปอาจจะไปดึงให้อนุภาคบางส่วนของผิวมีดตัดหลุดออกได้

2) Abrasive wear เกิดจากการที่ส่วนของชิ้นงานมีการไถลไปกับมีดตัด และเกิดการขัดถูหรือเสียดสีกันระหว่างผิวสัมผัสทำให้มีอนุภาคบางส่วนของมีดตัดหลุดออกมา โดยปกติแล้วการสึกหรอชนิดนี้จะเป็นสาเหตุเบื้องต้นสำหรับการเกิด Flank wear

3) Diffusion wear เกิดจากอะตอมภายในโครงสร้างเคลื่อนที่จากกลุ่มอะตอมที่มีความหนาแน่นสูงไปสู่กลุ่มที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งกระบวนการนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและ ความเร็วตัด เกิดในขณะมีดตัดกำลังทำงาน เมื่อชิ้นงานกับมีดตัดสัมผัสกันและเกิด อุณหภูมิสูง Diffusion wear จะเกิดขึ้นโดยอะตอมเคลื่อนที่จากมีดตัดไปยังชิ้นงาน ทำให้ผิวโครงสร้างมีดตัดเกิดความล้า

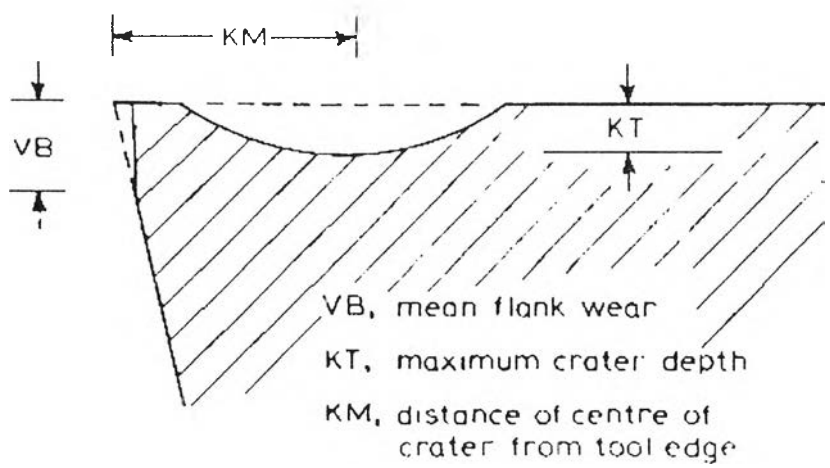
### 2.4.2 การวัดการสึกหรอ

การวัดการสึกหรอ คือ การวัดว่าผิวหน้าของมีดตัดถูกทำลายไปเท่าไร วัดได้ทั้ง ระยะ ปริมาตร และมวลที่เกิดการสึกหรอ การวัดปริมาตรเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดเพราะการวัดมวลนั้นเปรียบเทียบกับวัสดุที่มีความหนาแน่นที่ต่างกันไม่ได้และสำหรับวัสดุที่ได้รับการเคลือบผิว (Coating) ก็จะมีความยากในเรื่องของการหาความหนาแน่น หรือบางครั้งก็จะวัดในรูปอัตราการสึกหรอเทียบกับตัวแปรต่างๆ ลักษณะหรือรูปแบบการสึกหรอของมีดตัดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ Crater wear และ Flank wear

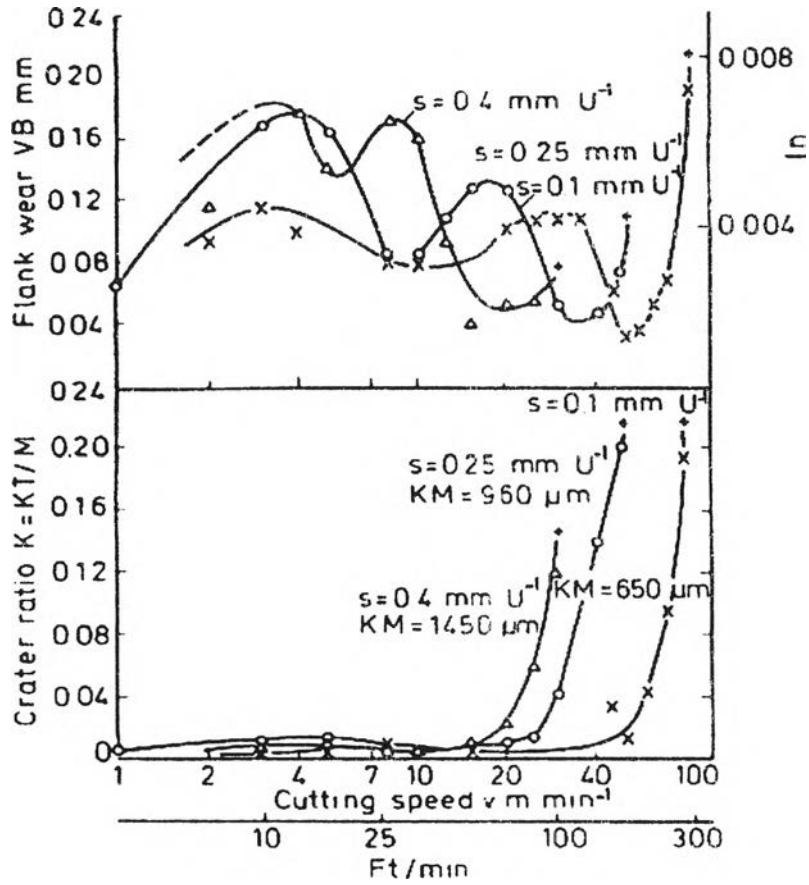
1) Crater wear เป็นการสึกหรอในส่วนที่มีดตัดสัมผัสกับเนื้อโลหะที่ถูกตัดออกไปแล้ว โดยปกติแล้วการสึกหรอชนิดนี้มีผลกระทบต่อการทำงานของมีดตัดน้อย แต่ก็ทำให้ความแข็งแรงมีดตัดลดลง

2) Flank wear เป็นการสึกหรอในส่วนที่มีดตัดสัมผัสกับชิ้นงาน ซึ่งมักใช้เป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของมีดตัด เนื่องจากมีผลทำให้ขนาดของชิ้นงานคลาดเคลื่อนได้เมื่อการสึกหรอของ Flank wear เกิดขึ้นสูง

การวัดการสึกหรอหรือทำนายอายุการใช้งานของมีดตัด สามารถทำได้โดยการทดสอบงานกลึงในเงื่อนไขการตัดอย่างต่อเนื่องกับชิ้นงานโลหะที่มีขนาดมาตราฐาน และเก็บข้อมูลส่วนที่สำคัญๆ ได้แก่ การวัดขนาดความกว้างของ Flank wear ขนาดความลึกของ Crater และระยะจากจุดศูนย์กลางของการเกิด Crater ถึงขอบของมีดตัด ดังแสดงในรูปที่ 2.13 และผลลัพธ์ที่ได้ส่วนหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.14




รูปที่ 2.13 การวัดการสึกหรอของมีดตัด




รูปที่ 2.14 อิทธิพลของความเร็วตัดและอัตราการป้อนที่มีผลต่อ Flank wear และ Crater wear ของมีดตัดเหล็กกล้าไฮสปีดภายหลังจากการกลึงวัสดุเหล็กกล้า $Ck_{55}N$ (AISI C 1055); การป้อนลึก (Depth of cut) 2 มิลลิเมตร, เวลาที่ใช้ตัด (Cutting time) 30 นาที [5]

### 2.4.3 การสึกหรอของดอกสว่าน

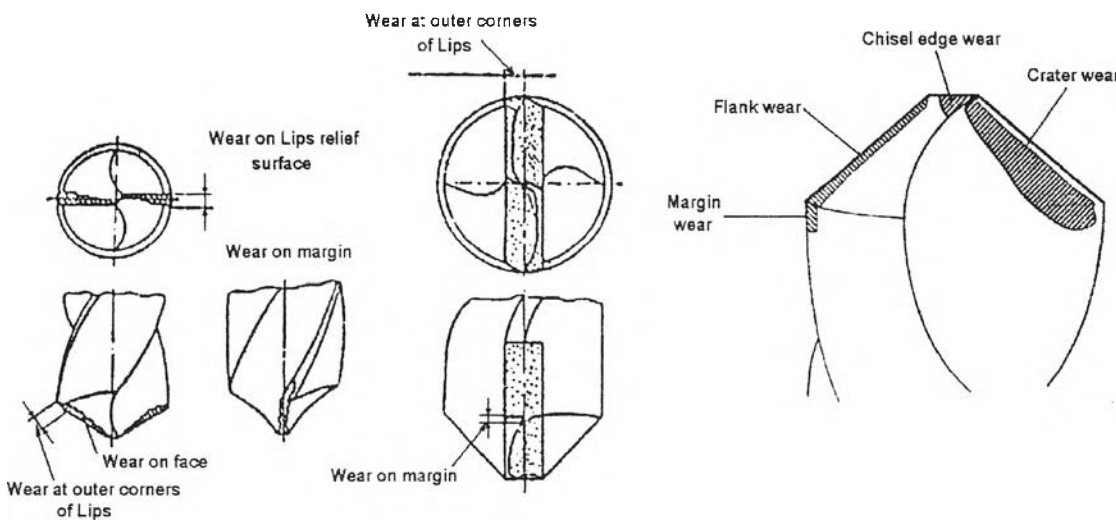
ลักษณะการตัดเนื้อของดอกสว่านจะมีอยู่ 2 ส่วนที่เกิดการสึกหรอคือ ส่วนที่ดอกสว่านสัมผัสกับแผ่นเหล็กและส่วนที่ดอกสว่านสัมผัสกับเนื้อโลหะที่ถูกตัดออกไปแล้ว รูปแบบการสึกหรอของดอกสว่านโดยทั่วไป สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆคือ Chisel edge wear, Lip wear, Margin wear และ Crater wear [6] ดังแสดงในรูปที่ 2.15

1) Chisel edge wear เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณศูนย์ตายหรือนำศูนย์ของดอกสว่าน เป็นผลมาจากการเสียดสี (Abrasion) หรือการเสียรูปแบบพลาสติก รูปแบบของการสึกหรออาจเกิดมาจากมีแรงกดมากระทำ 2 หรือ 3 แรง บนดอกสว่าน ซึ่งมีผลกระทบต่อความถูกต้องต่อการนำศูนย์การเจาะ

2) Lip wear หรือ Flank wear เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณคมตัดของดอกสว่าน ซึ่งเป็นผลมาจากการเสียดสี (Abrasion) การเสียรูปแบบพลาสติก หรือการลับคมตัดของดอกสว่านไม่เหมาะสม เมื่อ Lip wear มีขนาดสูงมากเกินไปดอกสว่านอาจจะหยุดหมุนในขณะที่ทำการเจาะหรือแตกหักได้

3) Margin wear เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณมุมของคมตัดหรือขอบของดอกสว่าน ซึ่งเป็นผลมาจากการเสียดสี (Abrasion) หรือ Diffusion wear เมื่อ Margin wear มีขนาดสูงเกินไปจะส่งผลให้รูเจาะไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการและผิวของรูเจาะไม่เรียบ โดยปกติแล้ว Margin wear จะทำให้รูเจาะที่ได้มีขนาดเล็กกว่ามาตราฐาน แต่ถ้าเกิด Build up edge หรือการนำศูนย์ผิดพลาดก็อาจจะทำให้รูเจาะที่ได้มีขนาดใหญ่เกินไป

4) Crater wear เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณผิวร่องคายขี้เจาะ (Flutes) ซึ่งเป็นผลมาจาก Diffusion wear ซึ่งหาก Crater wear มีขนาดสูงมากเกินไปอาจจะเป็นให้คมตัดนำไปสู่การแตกบิ่นได้




รูปที่ 2.15 ลักษณะการสึกหรอของดอกสว่าน

จะพบว่าการสึกหรอของดอกสว่านที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการเสียดสี (Abrasion) การทำนายจำนวนรูเจาะที่ทำให้ดอกสว่านเกิดความเสียหายนั้นจึงสามารถประมาณได้จาก Abrasive wear model และโดยทั่วไปพบว่าจำนวนรูเจาะที่ทำให้ดอกสว่านเกิดความเสียหายขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนและความเร็วตัด [7] ดังสมการ

$$N = \frac{C_1 VBf}{V^a} \qquad (2.4)$$

สำหรับระยะเวลาที่ทำให้ดอกสว่านเกิดความเสียหาย จะไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนแต่จะเป็นอัตราส่วนกลับกับความเร็วตัด [7] ดังสมการ

$$T = \frac{C_2 VB}{V^{a+1}} \tag{2.5}$$

โดยที่

N คือ จำนวนรูเจาะที่ทำให้ดอกสว่านเกิดความเสียหาย

T คือ ระยะเวลาที่ทำให้ดอกสว่านเกิดความเสียหาย

V คือ ความเร็วตัด

f คือ อัตราการป้อน

VB คือ ค่าความกว้างของ Flank wear (Value of flank land width)

$C_1$ , $C_2$ และ a คือ ค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง (Empirical constants) [7]

เนื่องจากลักษณะของดอกสว่านเป็น Complex and multi - point cutting tool ดังนั้นการวัดการสึกหรอของดอกสว่าน โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอและอายุการใช้งานของดอกสว่านจึงกระทำได้ลำบาก จึงมีความจำเป็นที่จะศึกษาความสัมพันธ์ของการสึกหรอของดอกสว่านด้วยวิธีการเชิงเอมพิริคัล โดยการเลือกใช้วิธีการอะคูสติกอีมิสชันและการวัดกำลังงานตรวจวัดในขณะที่ดอกสว่านกำลังทำงาน สภาวะการณ์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณอะคูสติกและกำลังงานเมื่อดอกสว่านไม่มีการสึกหรอและมีการสึกหรอน่าจะมีความแตกต่างกัน