

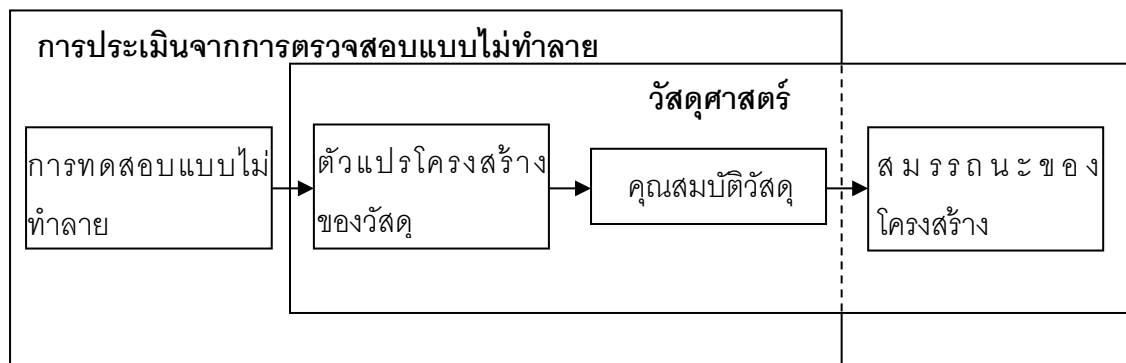
## การรู้สภาวะวัสดุ (Material state awareness)

วีระชัย ลามอ

นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ

**คำสำคัญ :** การรู้สภาวะวัสดุ (Material state awareness) การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive evaluation) การวัดทางอัลตราโซนิก (Ultrasonic measurement)

การรู้สภาวะวัสดุทำให้สามารถประมาณอายุงานของโครงสร้างหรือส่วนประกอบได้ และทำให้แน่ใจในความแข็งแรงของโครงสร้างหรือส่วนประกอบนั้น โดยหลักการแล้ว ต้องรู้สภาวะวัสดุเริ่มต้น กระบวนการความเสียหาย สภาวะแวดล้อมใช้งาน และการประเมินสภาวะวัสดุในช่วงอายุงานต่าง ๆ ดังนั้น จำเป็นต้องประสานข้อมูลต่าง ๆ เช่น วัสดุศาสตร์ คุณสมบัติทางกล และการทดสอบแบบไม่ทำลาย ไว้ด้วยกัน วิธีการตรวจสอบการรู้สภาวะวัสดุจะต้องอยู่บนกระบวนการเฝ้าดูที่น่าเชื่อถือที่สามารถปรับสู่การใช้งานจริงได้ง่าย และความเข้าใจการเสื่อมสภาพของวัสดุในสภาวะแวดล้อมใช้งาน



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ข้อมูลสหศาสตร์

ที่มา : Thompson (1996)

ทราบกันดีว่าคลื่นอัลตราโซนิกได้รับผลกระทบจากวัสดุที่เคลื่อนที่ผ่าน คุณลักษณะคลื่นอัลตราโซนิกจึงมีความเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางกลหรือโครงสร้างของวัสดุนั้น ดังนั้น การเข้าใจการวัดทางอัลตราโซนิกต่าง ๆ ที่ใช้ตรวจสอบการรู้สภาวะวัสดุ จึงเป็นสิ่งสำคัญ

1. การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความเสียหายโดยการวัดทางอัลตราโซนิก การเพิ่มขึ้นของความเสียหายเป็นสาเหตุทำให้วัสดุเสื่อมสภาพ ส่งผลให้คุณสมบัติทางกล เช่น ความแข็งแรง ความเค้น ความแข็ง และอื่น ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง วัสดุที่เสียหายจะมีคุณสมบัติทางกลที่ต่ำกว่าวัสดุที่ไม่เสียหาย การศึกษาทดลองต่าง ๆ ได้แสดงให้เห็นว่าการเสื่อมสภาพของคุณสมบัติทางกล ซึ่งเกี่ยวข้องกับความ

เสียหายของโครงสร้าง กระทบอย่างมากกับการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะคลื่นอัลตราโซนิก เช่น ความเร็ว และการลดลงของสัญญาณ นอกจากนี้ ความไวในการประเมินการเปลี่ยนแปลงความเสียหายที่ระดับต่าง ๆ มีความแตกต่าง ขึ้นอยู่กับประเภทของคลื่นและพารามิเตอร์ของคลื่นที่ใช้ กล่าวได้ว่า การวัดทางอัลตราโซนิกสามารถใช้ประเมินความเสียหายและทำนายความเสียหายที่เพิ่มขึ้นได้ โดยอาศัยความเข้าใจความสัมพันธ์ของค่าความเสียหาย การเสียรูปแบบยืดหยุ่น การลดลงของคุณสมบัติทางกล และคลื่นอัลตราโซนิก

2. การตรวจสอบองค์ประกอบวัสดุโดยการวัดทางอัลตราโซนิก คุณสมบัติทางกลเกี่ยวข้องอย่างมีนัยสำคัญกับองค์ประกอบวัสดุ เช่น ขนาดเกรน รูปร่างและทิศทางเรียงตัวของเกรน เฟส การตกผลึก และการบิดตัวภายในโครงสร้างเมตริกซ์ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบวัสดุทำให้คุณสมบัติทางกล เช่น โมดูลัสยืดหยุ่น การแตกหัก และความแข็ง เป็นต้น เปลี่ยนแปลงด้วย กล่าวได้ว่า วัสดุที่แตกต่างกันจะมีสภาพองค์ประกอบวัสดุที่แตกต่างกัน ดังนั้น คุณลักษณะคลื่นอัลตราโซนิกจึงเปลี่ยนแปลงตามสภาพองค์ประกอบวัสดุที่เปลี่ยนแปลง

การศึกษาทดลองต่าง ๆ ได้แสดงให้เห็นว่าคุณลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะองค์ประกอบวัสดุ เช่น โมดูลัสยืดหยุ่นที่ต่างกันตามแนวแกนที่ต่างกันทำให้คลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ เนื่องจากการสะท้อน การหักเห และการเลี้ยวเบน เป็นสาเหตุให้คลื่นเดินทางเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเร็วคลื่นลดลง และความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เช่น รอยแตกขนาดเล็ก และเกรน เป็นต้น เป็นสาเหตุการกระจายและการดูดซับคลื่น ส่งผลให้เกิดการลดลงของสัญญาณ นอกจากนี้ ประเภทของคลื่นและพารามิเตอร์ของคลื่น มีความไวการตอบสนองกับองค์ประกอบวัสดุที่ต่างกัน ควรเลือกใช้ประเภทของคลื่นและพารามิเตอร์ของคลื่นให้เหมาะสม เพื่อการประเมินองค์ประกอบของวัสดุได้ถูกต้องมากขึ้น ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบวัสดุซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกล สามารถเฝ้าดูได้จากการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะคลื่นอัลตราโซนิก โดยอาศัยความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบวัสดุ คุณลักษณะทางกล และคลื่นอัลตราโซนิก

3. การตรวจสอบสภาวะความเค้น-ความเครียดและคุณสมบัติทางกลโดยการวัดทางอัลตราโซนิก การเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกขึ้นอยู่กับสภาวะความเค้น-ความเครียด และคุณสมบัติทางกลของวัสดุอย่างมีนัยสำคัญ ความเค้นที่เปลี่ยนแปลงภายในวัสดุสามารถวัดได้จากคุณลักษณะคลื่นที่เปลี่ยนแปลงจากการขึ้นระหว่งกันของความเค้นกับการเคลื่อนที่ของคลื่น นอกจากนี้ คุณลักษณะโครงสร้าง เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางเกรน ขนาดของเฟส โครงสร้างผลึก และอื่น ๆ ซึ่งเป็นตัวแปรหลักกำหนดคุณสมบัติทางกล เช่น ความเค้นคราก ความแข็งแรง โมดูลัสยืดหยุ่น ความแข็ง และอื่น ๆ มีความเกี่ยวข้องกันกับกลไกการกระจายและการซึมซับคลื่น ทำให้เกิดการลดลงของสัญญาณ การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเสื่อมสภาพ

ของโครงสร้างมีผลกระทบต่อคุณลักษณะคลื่นเช่นกัน จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมสภาพของโครงสร้างส่งผลให้มอดุลัสยืดหยุ่นและความหนาแน่นลดลง และการเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อวัสดุทำให้มอดุลัสยืดหยุ่นมีความต่างกันตามแนวแกนที่ต่างกัน เป็นสาเหตุการลดลงของความเร็วคลื่น ยิ่งกว่านั้น การเปลี่ยนแปลงของเกรนมีผลกระทบต่อกลไกการกระจายของคลื่น เป็นสาเหตุการลดลงของสัญญาณ

ดังนั้น การวัดทางอัลตราโซนิกสามารถใช้ตรวจสอบสภาพความเค้น-ความเครียด และคุณสมบัติทางกลของวัสดุได้ โดยอยู่บนพื้นฐานความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง หากสามารถวัดความเร็วคลื่นและการลดลงของสัญญาณ และพารามิเตอร์อื่น ๆ ก็จะทำให้ทราบคุณลักษณะวัสดุนั้น โดยการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร นอกจากนี้ ควรเลือกประเภทของคลื่นและพารามิเตอร์ของคลื่นอย่างเหมาะสม เพื่อการตรวจสอบคุณลักษณะวัสดุที่เปลี่ยนแปลงที่น่าเชื่อถือมากขึ้น

4. การวัดทางอัลตราโซนิกสำหรับวัสดุซีเมนต์และวัสดุรูปหล่อ คลื่นอัลตราโซนิกสามารถใช้วัดคุณสมบัติทางกลของวัสดุได้ โดยการแปรความหมายของสัญญาณที่ได้รับ อย่างไรก็ตาม ยังมีการวัดทางอัลตราโซนิกที่สลับซับซ้อนอีกมากมายที่ยังไม่ได้กล่าวถึง ซึ่งรวมถึงการวัดทางอัลตราโซนิกเพื่อตรวจสอบคุณลักษณะวัสดุอื่น ๆ เช่น วัสดุซีเมนต์และวัสดุรูปหล่อ ในการวัดทางอัลตราโซนิกนี้ ดำเนินการโดยการบันทึกสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิกที่เคลื่อนที่ผ่านวัสดุที่อยู่ภายใต้ความเค้น แล้วใช้สัญญาณที่บันทึกได้ในการประเมินคุณสมบัติทางกลและสภาพความเค้น-ความเครียด ความเค้นที่เพิ่มขึ้นก่อให้เกิดจุดบกพร่องขนาดเล็กและการบีบตัวของรูปพัฒนาขึ้นภายในวัสดุ ส่งผลให้คุณลักษณะวัสดุเปลี่ยนแปลง เช่น ความหนาแน่น มอดุลัสยืดหยุ่น และอื่น ๆ เป็นต้น ความหนาแน่นและมอดุลัสยืดหยุ่นมีความเกี่ยวข้องกับความเร็วคลื่น

โดยสรุปแล้ว คุณสมบัติทางกลของวัสดุซีเมนต์และวัสดุรูปหล่อที่เปลี่ยนแปลงสามารถตรวจสอบได้ เช่นเดียวกับกับวัสดุโลหะ แม้ว่าจะมีพฤติกรรมเสียหายที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน คลื่นอัลตราโซนิกยังคงสามารถค้นหาข้อมูลสำคัญของพฤติกรรมการเสียหายได้ อย่างไรก็ตาม ควรระมัดระวังในการแปลความหมายผลการวัดทางอัลตราโซนิกที่ได้ เนื่องจากกลไกความเสียหายที่แตกต่างกัน ดังนั้น ความเข้าใจในความสัมพันธ์วัสดุ-คลื่น เปิดโอกาสในการพัฒนาการใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการตรวจสอบวัสดุซีเมนต์และวัสดุรูปหล่อ

#### เอกสารอ้างอิง

Badidi Bouda, A., Lebailli, S. & Benchaala, A. 2003. Grain size influence on ultrasonic velocities and attenuation. *NDT & E International*, vol.36, issue 1, p.1-5.

- Collins, D. N. & Alcheikh, W. 1995. Ultrasonic non-destructive evaluation of the matrix structure and the graphite shape in cast iron. **Journal of Materials Processing Technology**, vol.55, issue 2, p.85-90.
- Jhang, K. Y., Quan, H. H., Ha, J. & Klim, N. Y. 2006. Estimation of clamping force in high-tension bolts through ultrasonic velocity measurement. **Ultrasonics**, vol.44, p.1339-1342.
- Kenderian, S., Berndt, T. P., Green, R. E. & Djordjevic, B. B. 2003. Ultrasonic monitoring of dislocations during fatigue of pearlitic rail steel. **Materials Science and Engineering: A**, vol.348, issues 1-2, p.90-99.
- Kumar, A., Jayakumar, T., Raj, B. & Ray, K. K. 2003. Correlation between ultrasonic shear wave velocity and Poisson's ratio for isotropic solid materials. **Acta Materialia**, vol.51, issue 8, p.2417-2426.
- Martin, L. P., Lindgren, E. A., Rosen, M. & Sidhu, H. 2000. Ultrasonic determination of elastic moduli in cement during hydrostatic loading to 1 GPa. **Materials Science and Engineering: A**, vol.279, issues 1-2, p.87-94.
- Orlowicz, W. & Opiekun, Z. 1995. Ultrasonic detection of microstructure changes in cast iron. **Theoretical and Applied Fracture Mechanics**, vol.22, issue 1, p.9-16.
- Popovics, S. & Popovics, J. S. 1991. Effect of stresses on the ultrasonic pulse velocity in concrete. **Materials and Structures**, vol.24, issue 1, p.15-23.
- Seok, C.-S. & Koo, J. M. 2005. Evaluation of material degradation of 1Cr-1Mo-0.25V steel by non-destructive method. **Materials Science and Engineering: A**, vol.395, issues 1-2, p.141-147.
- Tang, S. H., Hao, J. W. & Pan, H. L. 2007. Material microstructure effects on ultrasonic waves under simple shear and pure shear. **NDT & E International**, vol.40, issue 6, p.486-495.
- Yeh, H.-Y. & Cheng, J.-H. 2003. NDE of metal damage: ultrasonics with a damage mechanics model. **International Journal of Solids and Structures**, vol.40, issue 26, p.7285-729.

กองวัสดุวิศวกรรม

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

โทร 0 2201 7358

E-mail : [werachai@dss.go.th](mailto:werachai@dss.go.th)

มกราคม 2562