

การหาตำแหน่งรอยแตกร้าวด้วยคลื่นอะคูสติกและระบบเครือข่ายประสาทเทียม

DETERMINATION OF CRACK LOCATIONS WITH
ACOUSTIC EMISSION AND NEURAL NETWORKศุภฤกษ์ วรพันธ์กิจ (Suppalerk Woraphankit)¹นเรศ ลิ้มสัมพันธเจริญ (Naret Limsamphancharoen)²

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

โทร. 0-2564-3001 ถึง 9 โทรสาร 0-2564-3010

Email: Suppalerksan@hotmail.com¹, lnaret@engr.tu.ac.th²

บทคัดย่อ

บทวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ระบบเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อเป็นระบบประมวลผลในกระบวนการตรวจสอบความเสียหายของโครงสร้างอย่างต่อเนื่องด้วยเทคโนโลยีทางด้านอะคูสติกอิมพัลส์ ผลการวิจัยบ่งชี้ว่ามีเพียงเฉพาะคุณลักษณะของความเร็วของคลื่นที่ได้การจำลองด้วย Hsu-Nielsen source ที่สามารถนำมาใช้เป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาระบบเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของคลื่นอะคูสติกและตำแหน่งของรอยแตกร้าว จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถวิเคราะห์หาตำแหน่งของรอยร้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่อ่อนไหวต่อความคลาดเคลื่อนและ noise ในข้อมูลตรวจวัด ทั้งในกรณีแผ่นเหล็กทดสอบแบบธรรมดาและแบบมีสิ่งกีดขวาง

Abstract

This article presents the application of Neural network in continuous structural monitoring with acoustic emission technology. The result indicates that it is only the velocity of the acoustic wave of Hsu-Nielsen source that can be used as data to train the neural network in learning the relationship between the characteristics of acoustic wave and the location of the crack. The experiments with plain steel plate and steel plate with stiffeners have shown that the proposed method is able to correctly identify the location of the crack and is insensitive to noise and error in measurement.

1. บทนำ

ความแข็งแรงของโครงสร้างนั้นแปรเปลี่ยนไปตามกาลเวลาและยากที่จะคาดการณ์ได้ การตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างอย่าง

ต่อเนื่อง (Continuous Structural Monitoring) จึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะประกันถึงความปลอดภัยในการใช้งานของโครงสร้างได้ตลอดเวลา การวิจัยและพัฒนาระบบสำหรับการตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างอย่างต่อเนื่องนั้นประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือการพัฒนาเทคโนโลยีในการตรวจวัดและการวิจัยและพัฒนาระบบการประมวลผลจากข้อมูลการตรวจวัด

เทคโนโลยีในการตรวจวัดที่น่าสนใจวิธีหนึ่งคือการตรวจวัดคลื่นอะคูสติก (Acoustic Emission, AE) ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดชนิดต่างๆ เช่นจากปลายของรอยร้าวในเนื้อวัสดุ หรือจากการเสียดสีกันของชิ้นส่วนวัสดุที่หลุดหลวม ในปัจจุบันการตรวจวัดคลื่นอะคูสติกสามารถนำไปประยุกต์ใช้ตรวจสอบสภาพความแข็งแรงของโครงสร้างได้หลากหลายวิธีโดยพิจารณาจากลักษณะของคลื่น AE (AE wave form) ซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะตัวสำหรับชนิดของแหล่งกำเนิดหนึ่งๆ [1,2] ในงานวิจัยนี้จะเน้นที่การตรวจวัดคลื่น AE ที่ปลดปล่อยออกมาจากปลายของรอยร้าว (crack tip) ที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนโครงสร้างที่ทำมาจากเหล็กเนื่องจากเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในงานวิศวกรรม

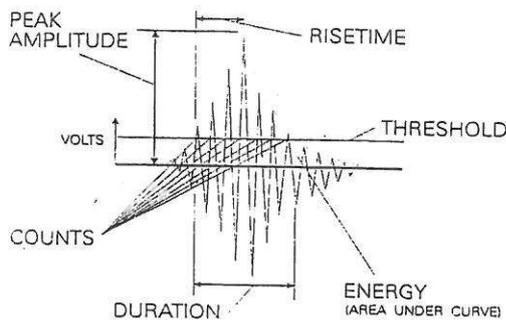
ระบบการประมวลผลเป็นการนำข้อมูลที่ได้ออกจากการตรวจวัดมาวิเคราะห์หาค่าความแข็งแรงหรือความเสียหายของโครงสร้างลักษณะของคลื่น AE นั้นมีด้วยกันหลายประการ หน้าที่ของระบบประมวลผลคือการวิเคราะห์ลักษณะของคลื่น AE ที่ตรวจวัดได้และใช้หลักการการแผ่กระจายของคลื่นผ่านเนื้อวัสดุในการคำนวณหาตำแหน่งและลักษณะของจุดกำเนิด (AE source) นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงสัญญาณรบกวน (noise) และความคลาดเคลื่อนที่ปะปนในข้อมูลตรวจวัดด้วย

บทความนี้เสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ระบบเครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network, NN) [3] เพื่อเป็นระบบประมวลผลในการวิเคราะห์หาตำแหน่งของรอยร้าวที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนเหล็กจากข้อมูลการตรวจวัดคลื่นอะคูสติก เริ่มจากการนำเสนอข้อดีและข้อด้อยของวิธีการประมวลผลที่ใช้ในปัจจุบัน จากนั้นจึงกล่าวถึงแนวคิดและ

กระบวนการพัฒนาระบบเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ประมวลผลในส่วนท้ายของบทความจะแสดงถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอโดยใช้ข้อมูลจริงที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

2. ลักษณะทั่วไปของคลื่นอะคูสติก

คลื่นอะคูสติก คือ คลื่นที่ปล่อยออกมาจากปลายของรอยร้าวหรือจากบริเวณที่เกิดการเสียดสีของชิ้นวัสดุ รูปที่ 1 แสดงคุณลักษณะทั่วไป (wave form) ของคลื่น AE คลื่นหนึ่ง [2] โดยความหมายของคำจำกัดความต่างๆ เป็นดังนี้



รูปที่ 1 ลักษณะของคลื่น AE

Threshold คือ ค่า amplitude อ่างอิงในการกำหนดจุดเริ่มต้นของคลื่น Peak Amplitude คือ ค่า amplitude ที่มากที่สุดในสัญญาณ มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dBae)

Rise time คือ ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มรับสัญญาณคลื่นจนสัญญาณคลื่นมีขนาดสูงสุด

Duration คือ ช่วงระยะเวลาที่สัญญาณคลื่นมี amplitude สูงกว่า threshold

Count คือ จำนวนคลื่นที่มีค่า amplitude สูงกว่า threshold

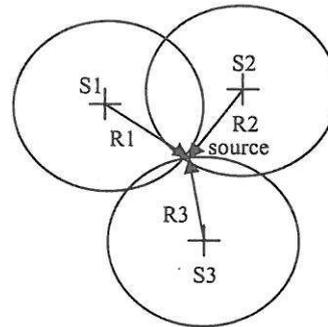
Energy คือ พลังงานของสัญญาณ ได้แก่พื้นที่ใต้เส้นประ

คุณลักษณะทั้งหมดนี้สามารถตรวจวัดได้ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันด้วยความละเอียดในระดับไมโครของวินาที คลื่นที่ตรวจวัดได้นี้เป็นคลื่นสุทธจากการผสมกันของคลื่นตามยาว (Extensional mode) และคลื่นตามขวาง (Flexural mode) ในความเป็นจริงนั้นจำนวนของคลื่น AE ที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดของเหตุการณ์หนึ่ง ๆ มีเป็นจำนวนมากและอาจทับซ้อนกันจนไม่สามารถจำแนกออกเป็นแต่ละคลื่นได้

3. การวิเคราะห์หาตำแหน่งของจุดกำเนิดด้วยการใช้เวลาลำพัง

จากการตรวจวัดคลื่น AE ที่เกิดจากจุดกำเนิดหนึ่งๆ ด้วย sensor จำนวนหนึ่งในเวลาเดียวกัน ตำแหน่งของจุดกำเนิดสามารถคำนวณหาได้โดยการประมาณค่าความเร็วของคลื่นที่ออกจากจุด

กำเนิดมีค่าคงที่ตลอดการเดินทางจากจุดกำเนิดถึงแต่ละ sensor ด้วยหลักการดังกล่าวความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจากจุดกำเนิดถึง sensor และระยะเวลาที่คลื่นใช้เดินทางจึงเป็นลักษณะเชิงเส้น ตำแหน่งของจุดกำเนิดจึงสามารถคำนวณได้โดยใช้ผลต่างของระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางไปถึง sensor แต่ละตัว ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 2 ใช้ sensor 3 ตัว (S1, S2, และ S3) ตรวจสอบตำแหน่งของจุดกำเนิดบนระนาบ ระยะ R1 R2 และ R3 ในรูปสามารถคำนวณหาได้จากผลต่างของเวลาที่คลื่นเดินทางถึง S1 และ S2, S2 และ S3, S1 และ S3 เป็นต้น [2,4]



รูปที่ 2 หลักการพื้นฐานของ AE Source Location

การตรวจหาตำแหน่งของจุดกำเนิดด้วยวิธีนี้กระทำได้ง่ายและให้ผลดีแต่มีข้อด้อยหลายประการได้แก่

1. วิธีดังกล่าวจำเป็นต้องประมาณค่าความเร็วของคลื่น เพื่อใช้ในการคำนวณ โดยทั่วไปจะประมาณความเร็วคลื่นโดยพิจารณาจากความหนาของแผ่นชิ้นส่วนที่กระทำการตรวจวัด
2. การประมาณว่าความเร็วของคลื่นในการเคลื่อนที่นั้นคงที่ในทุกทิศทางตลอดการเดินทางจากจุดกำเนิดถึง sensor อาจถูกต้องและยอมรับได้เฉพาะในกรณีที่ไม่มีการบิดงอในทิศทางจากจุดกำเนิดถึง sensor เท่านั้น ทำให้การนำไปใช้ถูกจำกัดเฉพาะในบริเวณที่ไม่กว้างนัก
3. การกำหนด threshold นั้นช่วยลดผลของ noise ลงไปได้เพียงบางส่วน noise ที่ยังคงค้างในข้อมูลยังไม่ได้รับการจัดการที่ดีพอ
4. วิธีดังกล่าวหาตำแหน่งของจุดกำเนิดโดยพิจารณาจากเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางเท่านั้น คุณลักษณะของคลื่นในด้านอื่นไม่ได้ถูกนำมาพิจารณา

4. การพัฒนาระบบเครือข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้หาตำแหน่งของจุดกำเนิด

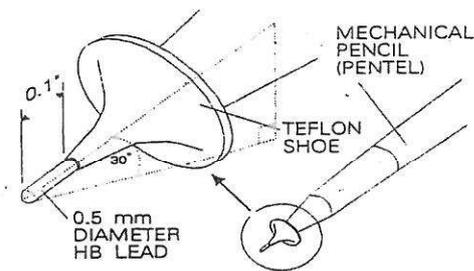
4.1 แนวคิด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบประมวลผลที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการที่ใช้ในปัจจุบันเพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างอย่างต่อเนื่อง การวิจัยอยู่บนพื้นฐานว่าจะพัฒนาและติดตั้งระบบตรวจสอบความแข็งแรงอย่าง

ต่อเนื่องบนโครงสร้างที่สร้างเสร็จแล้วและอยู่ในขณะใช้งานได้อย่างไร จากข้อดีของการประมาณความเร็วคลื่นแบบคงที่ของวิธีการอย่างง่ายที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3 งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการใช้ NN เพื่อเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของคลื่นและตำแหน่งของจุดกำเนิด ในการนี้จำเป็นต้องมีการเก็บฐานข้อมูลของความสัมพันธ์ดังกล่าวเพื่อใช้ในการสอน NN ปัญหาที่ต้องพิจารณาในทางปฏิบัติคือจะจัดเก็บฐานข้อมูลที่กล่าวถึงนี้ได้อย่างไรเพราะความเสียหายหรือรอยร้าวบนโครงสร้างนั้นยังไม่ได้เกิดขึ้น

4.2 การจำลองคลื่น AE ที่เกิดจากรอยร้าว

การจำลองคลื่น AE ที่ง่ายและสะดวกนั้นสามารถกระทำด้วยวิธีการที่เสนอโดย Hsu and Nielsen [2] ซึ่งพบว่าลักษณะของคลื่น AE จากการกดไส้ดินสอลงบนชิ้นวัสดุนั้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับคลื่น AE ที่เกิดขึ้นจริง รายละเอียดของ Hsu-Nielsen source ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 ในปัจจุบันวิธีนี้ได้กลายเป็นมาตรฐานหนึ่งในเทคโนโลยีทางด้าน AE โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการศึกษาเรื่อง attenuation ของคลื่น AE



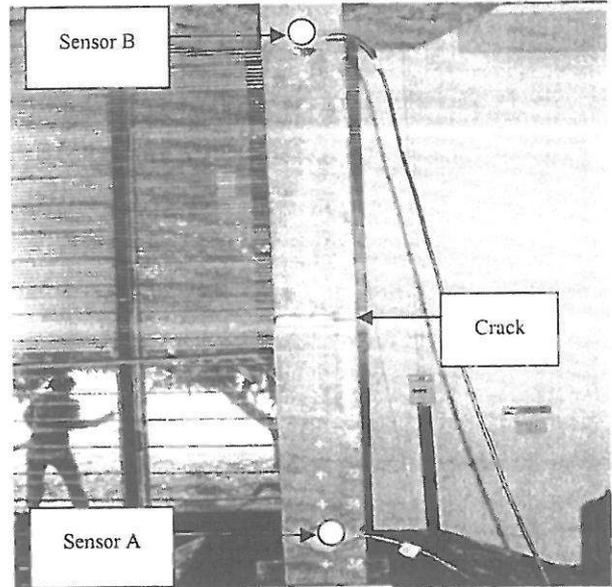
รูปที่ 3 The Hsu-Nielsen Source

การวิจัยนี้จึงพิจารณาเลือกใช้ Hsu-Nielsen source ในการจำลองคลื่น AE ที่เกิดจากรอยร้าวในขั้นตอนการเก็บฐานข้อมูล รายละเอียดในการจำลองและผลที่ได้จะนำเสนอในส่วนของ การทดลอง

5. การทดลองที่ 1

5.1 แผ่นเหล็กตัวอย่างในการทดสอบ

สำหรับการศึกษาในระยะแรกนี้ ชิ้นตัวอย่างที่ใช้ทดลองเป็นแผ่นเหล็กหนา 3/8 นิ้ว มีขนาดกว้าง 4 นิ้วและยาว 60 นิ้ว แผ่นเหล็กนี้ถูกตัดออกเป็น 2 ชิ้น ชิ้นหนึ่งยาว 32 นิ้วและอีกชิ้นหนึ่งยาว 28 นิ้ว จากนั้นทำการเชื่อมเพื่อต่อชิ้นทั้งสองเข้าด้วยกันโดยมีความยาวของรอยเชื่อมประมาณ 3 นิ้ว ทั้งนี้เพื่อเป็นการควบคุมให้แผ่นเหล็กเกิดการวิบัติเนื่องจากการแตกร้าว ณ ตำแหน่งของรอยเชื่อม หลังจากยึดปลายทั้งสองของแผ่นเหล็กแล้ว ทำเครื่องหมายกำหนดระยะอ้างอิงทุก 2 นิ้ว จากนั้นจึงติดตั้ง sensor B ที่ตำแหน่ง +4 นิ้ว และ sensor A ที่ตำแหน่ง +36 นิ้ว รอยเชื่อมอยู่ที่ตำแหน่ง +22 นิ้ว ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะแผ่นเหล็กที่ใช้ในการทดลอง

5.2 การเก็บฐานข้อมูลและการวิเคราะห์ฐานข้อมูล

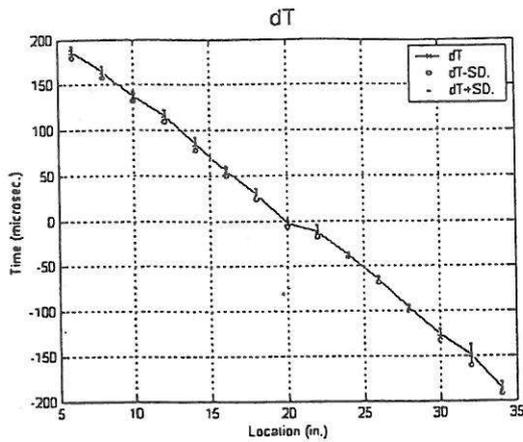
เมื่อติดตั้งเครื่องมือการทดลองเรียบร้อยแล้ว จึงทำการเก็บฐานข้อมูล โดยจำลองคลื่น AE ด้วย Hsu-Nielsen source ตั้งแต่ตำแหน่งที่ +6 ถึง +34 ตำแหน่งละ 20 ครั้ง โดยกำหนดค่า threshold ที่ 45 เดซิเบล ซึ่งเป็นค่าแนะนำสำหรับเครื่องมือตรวจวัดที่ใช้ในการทดลอง การเก็บฐานข้อมูลดังกล่าวนี้สามารถนำไปใช้ได้จริงในลักษณะคล้ายคลึงกันกับโครงสร้างที่ต้องการติดตั้งระบบตรวจสอบความแข็งแรงด้วยวิธีที่เสนอ ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของฐานข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ณ ตำแหน่งต่างๆ

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่ามีเพียงค่าความแตกต่างระหว่างระยะเวลา (dt) ที่คลื่นใช้เดินทางถึง sensor แต่ละตัวเท่านั้นที่มีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับตำแหน่งของ source ส่วนคุณลักษณะของคลื่น AE ในด้านอื่น ๆ นั้นมีค่าเบี่ยงเบนที่ค่อนข้างมากและไม่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของ source อย่างชัดเจน ตามรูปที่ 5-9 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์และส่วนเบี่ยงเบนของข้อมูล (SD.) ที่ตำแหน่งต่างๆ นั้นแสดงว่า ถึงแม้จะกำหนดค่า threshold ที่แนะนำแล้วก็ตาม ความคลาดเคลื่อนของสัญญาณยังคงมากอยู่และคุณลักษณะอื่นๆ ของคลื่นนอกเหนือจากเวลาเดินทางของคลื่นนั้นมีความอ่อนไหวต่อลักษณะของ source อยู่สูง จึงเป็นที่น่าเสียดายว่าสำหรับความละเอียดถูกต้องในการหาตำแหน่งภายในระยะ 2 นิ้วนั้น ค่าความแตกต่างระหว่างระยะเวลาที่คลื่นใช้เดินทางถึง sensor แต่ละตัวจึงเป็นเพียงคุณลักษณะเดียวที่สามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับระบบเครือข่ายประสาทเทียมได้

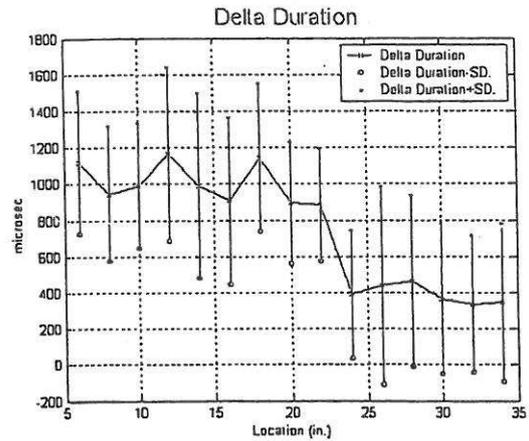
Location (in.)	dT (microsec.)	Count A	Count B	Energy A (volts.microsec.)	Energy B (volts.microsec.)	Duration A (microsec.)	Duration B (microsec.)	Amplitude A (dBae)	Amplitude B (dBae)
6	(186,6.8)	(1428,127.5)	(1575,135.3)	(682,173.8)	(997,247.5)	(8184,705.3)	(9303,797)	(78,1.9)	(92,2.3)
8	(164,6.43)	(1333,126.7)	(1489,132.7)	(578,157.9)	(893,237.9)	(7751,1071)	(8696,986)	(78,2.2)	(88,1.7)
10	(137,5.5)	(1364,88.1)	(1525,87)	(636,114)	(928,168)	(7929,830)	(8921,860)	(78,1.5)	(88,1.6)
12	(116,6.7)	(1397,84.4)	(1527,98)	(624,88.6)	(935,147.3)	(8134,691.1)	(9298,674)	(77,1.3)	(85,1.1)
14	(85,7)	(1368,126.7)	(1486,126.7)	(623,175.9)	(955,276.9)	(8048,1010)	(9037,1105)	(81,2.5)	(86,1.9)
16	(55,5.3)	(1285,75.4)	(1381,89.1)	(535,106.8)	(747,165.1)	(7410,626.3)	(8316,945.7)	(79,1.2)	(84,1.5)
18	(30,6)	(1276,103.5)	(1363,102.2)	(495,98.7)	(723,152.3)	(7304,609.5)	(8447,834.1)	(76,2.3)	(82,2.1)
20	(-3,3.9)	(1282,127.8)	(1392,130)	(546,119.8)	(748,168.1)	(7408,913.7)	(8306,943.8)	(79,1.9)	(82,1.4)
22	(-12,6.7)	(1338,109.8)	(1400,113.1)	(659,146.4)	(722,159)	(7472,745.3)	(8355,807.5)	(84,1.5)	(82,2)
24	(-38,2.9)	(1326,150.6)	(1358,142.6)	(684,194.5)	(608,164.4)	(7691,1041)	(8082,984)	(82,2.1)	(80,1.4)
26	(-65,3.4)	(1362,147.8)	(1384,150)	(799,236.2)	(663,204.7)	(8396,1496.3)	(8835,1119)	(83,2.4)	(78,2.5)
28	(-96,3.6)	(1377,153.9)	(1370,156.4)	(802,256.1)	(684,222.1)	(8311,1293.9)	(8773,1454)	(83,2.4)	(80,2)
30	(-126,6.2)	(1365,66.8)	(1358,69.4)	(775,99.2)	(616,84.5)	(8031,487)	(8395,643)	(85,1.2)	(77,1.4)
32	(-149,11.4)	(1394,118.6)	(1369,115)	(772,200.7)	(623,159.2)	(7860,946.1)	(8196,1154)	(87,1.6)	(77,2.1)
34	(-186,5.9)	(1334,105)	(1299,98.1)	(701,143.4)	(557,107.3)	(7582,777)	(7928,790.2)	(89,1.4)	(76,1.7)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการทดลองที่ 2 ของแผ่นเหล็ก ($dT = T_B - T_A$)

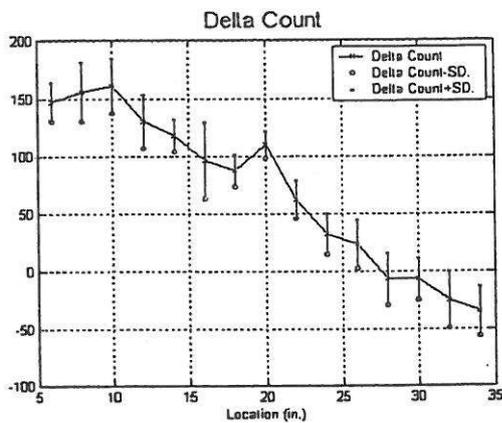
Location (in.)	dT (microsec.)	Count A	Count B	Energy A (volts.microsec.)	Energy B (volts.microsec.)	Duration A (microsec.)	Duration B (microsec.)	Amplitude A (dBae)	Amplitude B (dBae)
6	(180,7.6)	(1130,152.8)	(843,134.5)	(346,112)	(256,79.8)	(6585,973.3)	(5196,777.4)	(72,2.5)	(77,3.3)
8	(139,8.1)	(1218,141.9)	(902,137.4)	(407,94.9)	(296,72.8)	(7011,953.2)	(5215,723.4)	(75,1.6)	(79,2.6)
12	(99,8.1)	(1186,128.6)	(828,123.7)	(404,100.2)	(205,57.8)	(6737,700)	(5141,646.8)	(74,2.3)	(74,2.7)
14	(63,9.3)	(1162,167.3)	(779,141.5)	(389,114.8)	(176,52.5)	(6577,569.7)	(4873,622.9)	(74,2.7)	(70,2.4)
16	(33,8.1)	(1159,127.3)	(768,109.1)	(386,85.9)	(180,40.1)	(6691,777)	(4911,537.2)	(73,2)	(71,2.3)
18	(7,3.1)	(1178,110.6)	(770,113.6)	(407,93.6)	(176,43.4)	(6797,700.6)	(4767,582.1)	(73,2)	(71,2.3)
20	(-22,5.6)	(1042,84.7)	(642,82.3)	(301,61.6)	(135,27.7)	(5895,438.8)	(4213,333.7)	(73,1.6)	(68,2)
22	(-42,4.9)	(1050,120.8)	(633,112.6)	(339,79.1)	(132,32.9)	(6299,692.9)	(4155,541.5)	(74,2.7)	(67,2.5)
24	(-63,4.2)	(1108,114.6)	(645,98.2)	(380,75.7)	(127,27.5)	(6587,668.6)	(4282,483.6)	(79,1.6)	(66,1.8)
26	(-87,3.9)	(1092,124.4)	(638,114)	(366,124.1)	(126,43)	(6314,762.6)	(4150,468.7)	(75,2.3)	(65,2.1)
28	(-121,3.9)	(1092,116.5)	(654,11.9)	(401,102.4)	(130,35.7)	(6639,806.6)	(4378,609.1)	(75,2.4)	(67,2)
30	(-157,10.5)	(1081,93.7)	(605,87.1)	(345,71.3)	(116,27.1)	(6232,497.6)	(4014,507.9)	(75,1.9)	(65,2)
32	(-188,6.6)	(1098,127.8)	(601,111.9)	(371,80.2)	(114,26.6)	(6258,518.6)	(3965,545)	(80,3)	(63,2.1)



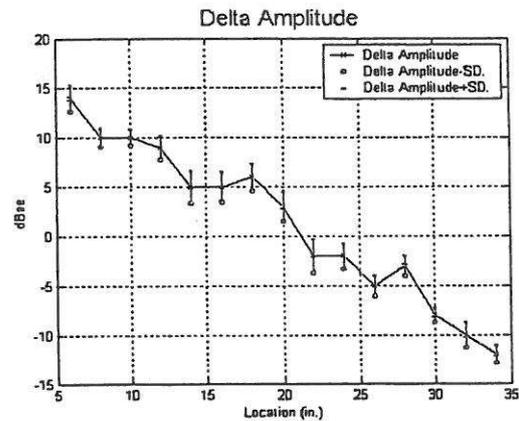
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง dT ที่ตำแหน่งต่างๆ



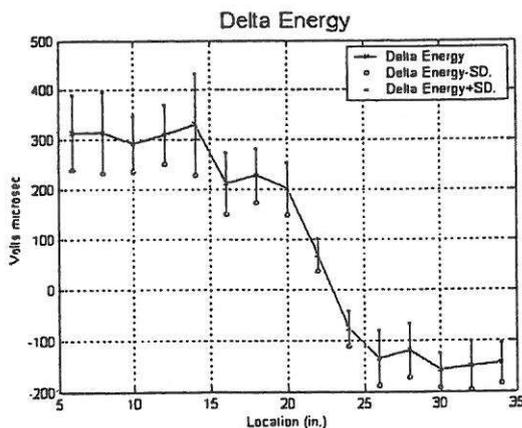
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Delta Duration ที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Delta Count ที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Delta Amplitude ที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Delta Energy ที่ตำแหน่งต่างๆ

หมายเหตุ:

Delta = Parameter of sensor B – Parameter of sensor A

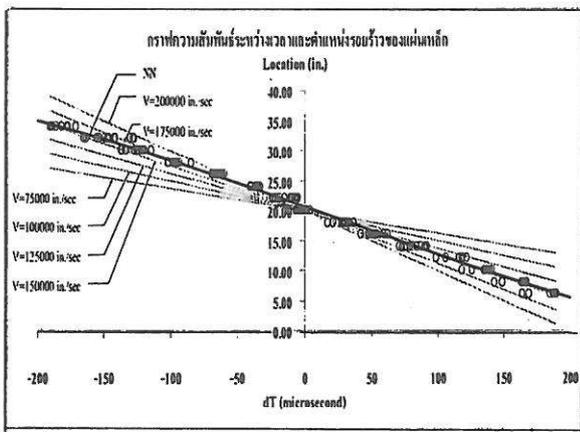
5.3 การพัฒนาระบบเครือข่ายประสาทเทียม

สิ่งที่ต้องพิจารณาในลำดับต่อไปคือข้อมูลความต่างระหว่างระยะเวลาที่เก็บได้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ก็มีค่าเบี่ยงเบนในแต่ละกลุ่มเช่นกันดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 10 ผู้วิจัยคาดว่าฐานข้อมูลที่จัดเก็บจากโครงสร้างจริงก็น่าจะมีการเบี่ยงเบนของข้อมูลในลักษณะคล้ายคลึงกัน ดังนั้นการพัฒนาระบบเครือข่ายประสาทเทียมจึงจำเป็นต้องพิจารณาเรื่องการเบี่ยงเบนของข้อมูลด้วยจึงจะสมบูรณ์

ในงานวิจัยนี้มีสมมติฐานว่าชุดข้อมูลที่เก็บได้ ณ ตำแหน่งของ source หนึ่งๆ นั้นมีการกระจายตัวล้อมรอบค่าที่แท้จริงของข้อมูลจากสมมติฐานดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ชุดข้อมูล dT ทั้งชุด ณ ตำแหน่งของ source หนึ่งๆ เป็น input และใช้ตำแหน่งของ source ที่สอดคล้องกันเป็น output ดังนั้น NN ที่ใช้จึงมี 20 input cell และ 1 output cell ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เพียง 1 hidden layer ซึ่งประกอบด้วย 40 hidden cell สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการสอน NN นั้นได้จากการสุ่มลำดับค่าของ dT ภายในชุดข้อมูลที่สอดคล้องกับตำแหน่งของ source หนึ่งๆ เพื่อมิให้ NN ยึดติดกับรูปแบบ (pattern) ของ input ใน

งานวิจัยนี้ได้ทำการสุ่มสลับค่าแต่ละชุดข้อมูลเป็นจำนวน 10 ครั้ง ทำให้คู่ของข้อมูล input และ output ในการสอน NN ที่สอดคล้องกับตำแหน่งของ source หนึ่งๆ มีทั้งหมด 10 คู่ และเนื่องจากตำแหน่ง source ที่พิจารณาทั้งหมด 15 ตำแหน่ง ดังนั้นโดยรวมจึงมีทั้งหมด 150 คู่ของข้อมูล input และ output ในการสอน NN

หลังจากการพัฒนา NN เสร็จสิ้นลงจึงตรวจสอบผลการเรียนรู้ของ NN โดยป้อนค่าของ dT ครอบคลุมตั้งแต่ -200 ไมโครวินาที จนถึง 200 ไมโครวินาที ในการป้อนค่า dT แต่ละค่านั้นทั้ง 20 input cell จะถูกป้อนด้วยค่า dT เดียวกัน รูปที่ 10 แสดงผลการเรียนรู้ของ NN จะเห็นได้ว่าการทดสอบครั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่าง dT และ ตำแหน่งของ source มีลักษณะเชิงเส้นตามคาดหมาย



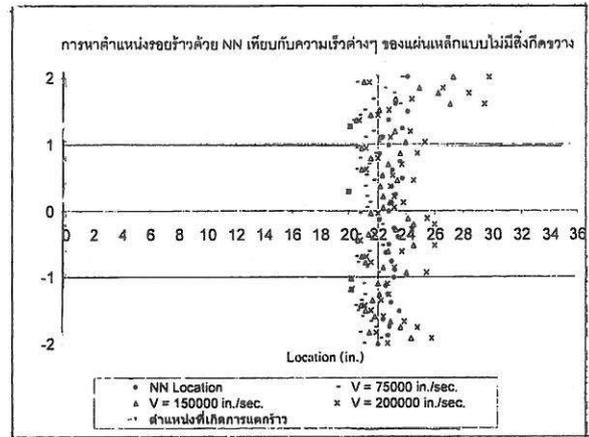
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง dT กับตำแหน่งที่ความเร็วคลื่นต่างๆ

รูปที่ 10 นั้นยังได้แสดงถึงกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นสำหรับค่าประมาณของความเร็วคลื่นต่างๆ ด้วย จะเห็นได้ว่าค่าความเร็วคลื่นที่ถูกต้องมีค่าประมาณ 150000 in./sec สังเกตว่า NN สามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์เชิงเส้นนี้ได้อย่างถูกต้องโดยมีต้องยุ่งเกี่ยวกับการประมาณค่าของความเร็วคลื่น

5.4 ประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอ

หลังจากพัฒนา NN ที่ต้องการเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการดึงแผ่นเหล็กตัวอย่างจนวิบัติและบันทึกคุณลักษณะของคลื่น AE ที่กำเนิดจากการแตกร้าวของรอยเชื่อม การทดลองพบว่าคลื่น AE ที่เกิดขึ้นนั้นมีขนาดเล็กกว่าคลื่น AE ที่จำลองด้วยวิธี Hsu-Nielsen

ในการใช้งานนั้นจะป้อนข้อมูลความต่างระหว่างระยะเวลาของคลื่นที่ละ 20 ข้อมูลตามลำดับเวลาของการตรวจวัด เช่นในครั้งแรกจะป้อนข้อมูลลำดับที่ 1 ถึง 20 ครั้งต่อมาป้อนข้อมูลที่ 2 ถึง 21 เป็นต้น ผลของการทดลองพบว่า NN สามารถหาตำแหน่งการแตกร้าวของรอยเชื่อมได้อย่างถูกต้องตามรูปที่ 11 โดย NN ประเมินว่าเกิดการแตกร้าวที่ตำแหน่ง +23.07 นิ้วและมีค่าเบี่ยงเบน 0.5



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบตำแหน่งของรอยร้าวที่ได้จากการคำนวณ ด้วยความเร็วต่างๆ กับ NN

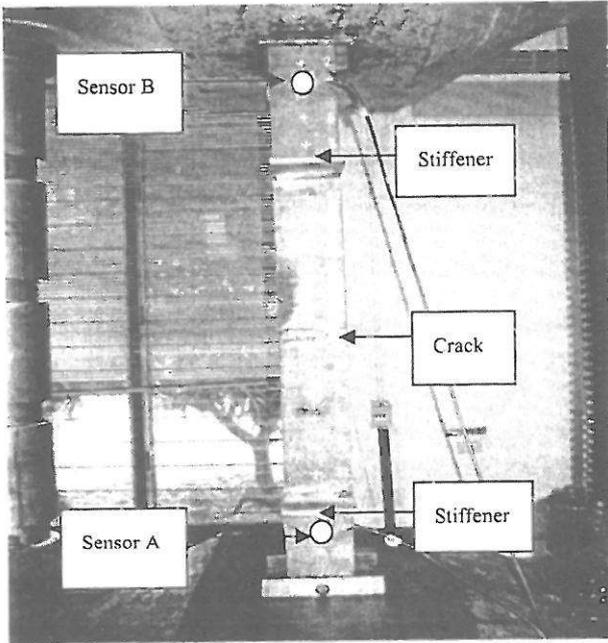
ข้อเสียประการหนึ่งของวิธี AE คือไม่สามารถกำหนดความเร็วที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของรอยร้าวได้อย่างถูกต้อง ค่าความเร็วในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นเหล็กและการกำหนดค่าของผู้ทำการทดสอบ [2] ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบตำแหน่งที่คำนวณได้จากความเร็วต่างๆ กับตำแหน่งที่ได้จาก NN จากรูปที่ 11 พบว่าตำแหน่งรอยร้าวจริงอยู่ที่ตำแหน่ง +22 in. การคำนวณด้วยความเร็ว 200000 และ 150000 in./sec. จะให้คำตอบที่ผิดไปจากความเป็นจริงมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลค่อนข้างมากถึง 2.29 และ 1.72 in. ตามลำดับ ส่วนการคำนวณที่ความเร็ว 75000 in./sec. จะให้คำตอบเป็นค่าเฉลี่ยคือ +21.24 in. และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่าคือ 0.86 in. ในการวิเคราะห์คำตอบที่ได้จากวิธี NN ตำแหน่งของรอยร้าวที่ได้จะมีค่าเฉลี่ยคือ +23.07 in. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคำตอบจะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการกำหนดความเร็วต่างๆ คือ 0.51 in. ดังนั้นจะพบว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถบอกตำแหน่งของรอยร้าวและแก้ปัญหาการกำหนดค่าความเร็วคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. การทดลองที่ 2

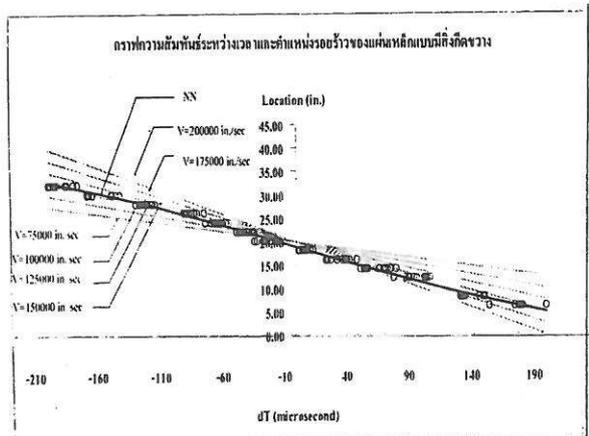
ในการทดลองนี้คล้ายคลึงกับการทดลองที่ 1 แต่ทำการติดตั้งสิ่งกีดขวางทางเดินของคลื่น AE โดยเชื่อมแผ่นเหล็กขนาดเล็กยึดติดกับแผ่นเหล็กหลัก ณ ตำแหน่ง +10 และ +34 in. ดังแสดงในรูปที่ 12 แผ่นเหล็กที่ติดเพิ่มเติมมีลักษณะคล้าย stiffener ที่พบเห็นทั่วไปในคานเหล็ก ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ มีลักษณะคล้ายคลึงกับการทดลองที่ 1 อีกทั้งพบว่าสิ่งกีดขวางมีผลต่อการเดินทางของคลื่นเนื่องจากเกิดการหักเหและสะท้อนกลับเมื่อคลื่นกระทบสิ่งกีดขวาง ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง dT และตำแหน่งของ source ในรูปที่ 13 จึงไม่เป็นเชิงเส้น ในกรณีนี้การหาตำแหน่งของ source ที่สมมติว่าความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นแล้วจะทำให้ผลที่คลาดเคลื่อนจากความเป็น

จริง ในขณะที่ NN ที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถที่จะเรียนความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้นที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง

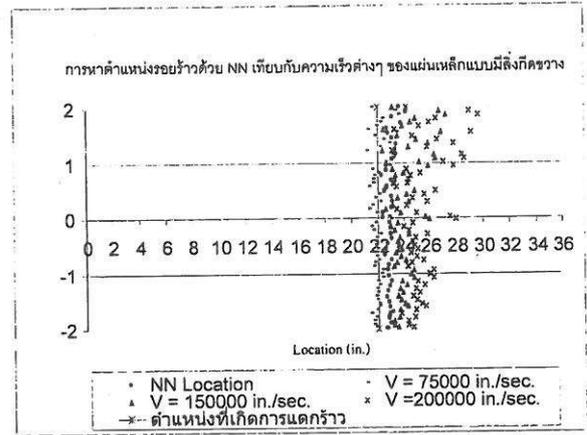
จากการทดลองดึงแผ่นเหล็กจนเกิดการแตกร้าวตามรอยเชื่อมและป้อนข้อมูลความต่างระหว่างระยะเวลาที่คลื่นใช้เดินทางถึง sensor แต่ละตัวที่ตรวจวัดได้ ผลจากการทดลองพบว่า NN สามารถหาตำแหน่งการแตกร้าวของรอยเชื่อมได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ตามรูปที่ 14 โดย NN ประเมินว่าเกิดการแตกร้าวที่ตำแหน่ง +22.98 นิ้วและมีค่าเบี่ยงเบน 0.4 นิ้ว



รูปที่ 12 ลักษณะตัวอย่างแผ่นเหล็กแบบมีสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่าง dT กับตำแหน่งที่ความเร็วคลื่นต่างๆ



รูปที่ 14 การเปรียบเทียบตำแหน่งของรอยร้าวที่ได้จากการคำนวณด้วยความเร็วต่างๆ กับ NN

จากรูปที่ 14 พบว่าตำแหน่งรอยร้าวจริงอยู่ที่ตำแหน่ง +22 in. การคำนวณด้วยความเร็ว 200000 และ 150000 in./sec. จะให้คำตอบที่คิดไปจากความเป็นจริง มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลค่อนข้างมากถึง 1.50 และ 1.12 in. ตามลำดับ ส่วนการคำนวณด้วยความเร็ว 75000 in./sec. จะให้คำตอบที่ถูกต้องคือ +22.05 in. และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 0.56 in. แต่เนื่องจากผลการทดสอบที่แสดงให้เห็นว่า การกำหนดความเร็วค่าใดค่าหนึ่งสำหรับการทดสอบแผ่นเหล็กแบบมีสิ่งกีดขวางไม่สามารถให้ตำแหน่งรอยร้าวได้ถูกต้องทั่วทั้งบริเวณที่ทำการทดสอบ เนื่องจากความสัมพันธ์ของ dT กับตำแหน่งมีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นสำหรับชิ้นงานที่ทำการทดสอบ รอยร้าวที่ตำแหน่ง +22 in. อาจจะเหมาะสมกับการกำหนดค่าความเร็วที่ 75000 in./sec. แต่ในความเป็นจริงไม่สามารถรู้ได้ว่าตำแหน่งรอยร้าวที่เกิดขึ้นจะอยู่ที่ตำแหน่งใดบนชิ้นงานที่ทำการตรวจวัด ดังนั้นการคำนวณด้วยวิธี Linear Location จึงยังไม่ใช่วิธีการที่ให้ตำแหน่งรอยร้าวได้อย่างถูกต้องทั้งหมด

7. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการใหม่ในการตรวจสอบความเสียหายของโครงสร้างในลักษณะของการแตกร้าว วิธีที่นำเสนอประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางด้าน acoustic emission ควบคู่กับการใช้ระบบเครือข่ายประสาทเทียมเป็นการประมวลผล จากผลการวิจัยเบื้องต้นพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถหาตำแหน่งของการแตกร้าวได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยไม่อ่อนไหวต่อการรบกวนของ noise และความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดข้อมูล อีกทั้งสามารถลดข้อด้อยในเรื่องการกำหนดความเร็วในการคำนวณของวิธีการ AE ได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เป็นเพียงงานวิจัยเบื้องต้น ผู้วิจัยกำลังขยายขอบเขตของการทดลองโดยใช้ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ใกล้เคียงกับโครงสร้างจริงภายใต้การกระทำของ cyclic load ผู้วิจัยคาดหวังว่าวิธี

ที่นำเสนอจะสามารถนำไปใช้ตรวจสอบความเสียหายอย่างต่อเนื่อง
สำหรับโครงสร้างจริงต่อไปในอนาคต

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.สุภสิทธิ์ ศิริศักดิ์ กรรมการผู้จัดการบริษัท
IMMS จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อเครื่องมือตรวจวัดคลื่น AE เพื่อใช้ใน
งานวิจัยนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bray, D. E., and Stanley, R. K. (1997). Nondestructive Evaluation: A Tool in Design Manufacturing and Service. CRC Press, Inc.
- [2] Physical Acoustic Corporation, (2000). LAM USER'S MANUAL REV 1. Physical Acoustic Corp., Princeton, New Jersey, USA
- [3] Laurene Fausett, (1994), "Fundamentals of Neural Networks", Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, USA
- [4] A.K. Maji, Member, ASCE, D. Satpathi, and T. Kratochvil, (1997), " Acoustic Emission Source Location Using Lamb Wave Modes", Journal of Engineering Mechanics, February 1997.