บทที่ 4

วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. การทดลองเพื่อตรวจจับสัญญาณอะคูสติกจากการกัดกร่อนเชิงความเค้นของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะรับความดัน และหาความสัมพันธ์ของอะคูสติกพารามิเตอร์กับการกัดกร่อน โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 วิธี โดยวิธีแรกจะตรวจสอบการกัดกร่อนด้วยวิธีการปล่อยคลื่นอะคูสติก จากการเร่งการกัดกร่อนด้วยเทคนิคโพเทนทิโอไดนามิกส์ โพลาไรเซชัน (Potentiodynamic polarization) [15] ซึ่งเป็นการเร่งด้วยการควบคุมความต่างศักย์ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่ให้และกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการกัดกร่อน จะสามารถบอกช่วงเวลาที่วัสดุเริ่มเกิดการกัดกร่อนได้ เมื่อนำมาเทียบกับผลที่ได้จากวิธีการปล่อยคลื่นอะคูสติก จะสามารถหาความสัมพันธ์ของสัญญาณอะคูสติกในช่วงที่ยังไม่เกิดการกัดกร่อน และช่วงที่เกิดการกัดกร่อนได้ การทดสอบวิธีที่ 2 จะเร่งการกัดกร่อนด้วยการเพิ่มความเป็นกรดของสารละลาย โดยจะนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับการทดลองวิธีที่ 1 ในช่วงที่เกิดการกัดกร่อน

2. การทดสอบเพื่อหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณอะคูสติก โดยการพัฒนาระบบอัตโนมัติจากโปรแกรมแลบวิวในการวิเคราะห์สัญญาณอะคูสติก และหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณ โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 วิธี คือ วิธีการหาตำแหน่งจากตัวรับรู้สัญญาณ 2 ตัว จะใช้สำหรับการทดสอบท่อโลหะ โดยใช้สัญญาณอะคูสติกจากการหักไส้ดินสอตามมาตรฐานเอเอสทีเอ็ม อี 97 และวิธีการหาตำแหน่งจากตัวรับรู้สัญญาณ 3 ตัว ที่ใช้สำหรับการทดสอบแผ่นเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม โดยสัญญาณอะคูสติกจากการหักไส้ดินสอ และการกัดกร่อนจากกรด

4.1 การตรวจจับสัญญาณอะคูสติกจากการกัดกร่อนเชิงความเค้น

ปัจจัยสำคัญ 3 อย่าง ในการเกิดการกัดกร่อนเชิงความเค้น คือ วัสดุที่เหมาะสม สภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนสำหรับวัสดุนั้น และความเค้นที่สูงมากพอ จึงเลือกออกแบบการทดลองดังนี้

4.1.1 การออกแบบการทดลอง

การเลือกวัสดุสำหรับการทดสอบ

การกัดกร่อนเชิงความเค้นนั้นสามารถเกิดกับวัสดุได้หลายชนิด ดังนั้นจะเลือกวัสดุที่มีการนำไปใช้มากในอุตสาหกรรม และมีปัญหาจากการกัดกร่อนเชิงความเค้น จึงเลือกเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเบอร์ 304 เนื่องจากเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเบอร์ 304 มีความต้านทานการกัดกร่อนสูง เพราะมีพาสซีฟฟิล์มที่ผิวหน้าซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนหลายประเภท จึงนิยมนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น เป็นส่วนประกอบภายในของถังความดัน แต่อย่างไรก็ตามยังสามารถเกิดการกัดกร่อนเชิงความเค้นได้ เมื่อมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม

การเลือกสารละลายที่เหมาะสม

สภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดการกัดกร่อนเชิงความเค้นของเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเบอร์ 304 คือ ในสารละลายที่มีคลอไรด์ผสมอยู่ความเข้มข้นประมาณ 1 โมล ที่อุณหภูมิประมาณจุดเดือดของสารละลายที่ใช้ หรือในสารละลายไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นประมาณ 1 โมล และมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของสารละลายไฮดรอกไซด์ ทั้งสองนี้เป็นสภาวะตามธรรมชาติที่ต้องใช้เวลานานในการเกิดการกัดกร่อน ซึ่งในการทดลองจำเป็นต้องเร่งการกัดกร่อนเพื่อตัดช่วงเวลาที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกไป โดยต้องไม่ทำให้กลไกการกัดกร่อนเปลี่ยนไป ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาในการใช้เลือกวิธีเร่งการกัดกร่อนมีดังนี้

- ระยะเวลาเริ่มต้นในการเกิดการกัดกร่อน จะต้องเลือกวิธีที่ไม่ช้าจนเกินไปจนเสียเวลาในการเก็บข้อมูลในการวิจัย และไม่เร็วเกินไป เพื่อให้สามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างละเอียดและชัดเจน
- ลักษณะของสัญญาณอะคูสติกที่เกิดขึ้น โดยการเร่งการกัดกร่อนแต่ละวิธีนั้น อาจทำให้เกิดสัญญาณอะคูสติกขึ้น นอกเหนือจากสัญญาณอะคูสติกที่เกิดจากการกัดกร่อนที่สนใจ ดังนั้นวิธีการที่เลือกใช้ต้องไม่ทำให้เกิดสัญญาณอะคูสติกอื่นๆ ขึ้นมารบกวนสัญญาณจากการกัดกร่อน
- ปัญหาการติดตั้งตัวรับรู้สัญญาณ และอุปกรณ์ประมวลผล เนื่องจากวิธีการเร่งบางวิธี อาจต้องใช้เครื่องมือที่ออกแบบเป็นพิเศษ ทำให้การติดตั้งตัวรับรู้สัญญาณนั้นทำได้ลำบาก หรือ จำเป็นต้องออกแบบอุปกรณ์ช่วยยึดจับขึ้นมาเป็นพิเศษ หรือบางวิธีการอาจทำอันตรายกับอุปกรณ์ได้ เช่น การทดลองที่อุณหภูมิสูง

สรุปได้ว่าในการทดลองเพื่อจำลองการกัดกร่อนเชิงความเค้นนี้ จำเป็นต้องเลือกใช้การเร่งการกัดกร่อน เพื่อลดระยะเวลาการเกิดการกัดกร่อน โดยวิธีการที่เลือกต้องไม่ทำให้กระบวนการของการเกิดการกัดกร่อนเปลี่ยนไปจากเดิม และไม่เกิดสัญญาณรบกวน เนื่องจากสัญญาณอะคูสติกจากการกัดกร่อนจะมีแอมพลิจูดที่ต่ำและสัญญาณอะคูสติกนั้นเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น การเคาะเพียงเบาๆ ที่แผ่นโลหะ หรือการแตกของฟองอากาศจากการให้ความร้อน โดยวิธีการเร่งการกัดกร่อนมีหลายวิธี ได้แก่

- การเร่งการกัดกร่อนโดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารกัดกร่อน เป็นวิธีที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดสัญญาณอะคูสติกรบกวนและไม่เกิดอันตรายต่อตัวรับรู้สัญญาณ
- การเร่งการกัดกร่อนโดยใช้ความร้อน เช่นการต้ม การอบ ชิ้นงานในสารละลายที่เป็นกรดอ่อน วิธีการนี้จะช่วยเร่งให้การกัดกร่อนเกิดได้อย่างรวดเร็ว แต่ขณะเดียวกันจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนจำนวนมากจากฟองอากาศจากการต้มและการเคลื่อนไหวของสารละลาย จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการทดลอง เพราะสัญญาณอะคูสติกจากการกัดกร่อนมีแอมพลิจูดต่ำกว่าสัญญาณจากฟองอากาศที่เกิด
- การเร่งด้วยการควบคุมความต่างศักย์ โดยเทคนิคโพเทนทิโอไดนามิกส์ โพลาไรเซชัน จะใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะในสิ่งแวดล้อมที่กำหนด โดยความต่างศักย์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อพฤติกรรมการกัดกร่อน วิธีการนี้สามารถหาความต่างศักย์ของโลหะที่ชิ้นทดสอบจะเกิดการกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมที่กำหนด (E_{corr})ได้ ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่เลือกใช้ใน

งานวิจัยนี้ เพราะช่วยเร่งการกัดกร่อน และสามารถบอกช่วงเวลาที่ชิ้นทดสอบโลหะเริ่มเกิดการกัดกร่อนได้

- การทดสอบด้วยละอองเกลือ (Salt Spray Test) เป็นการเร่งโดยการพ่นสารละลายในลักษณะของควันภายในตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ วิธีนี้ไม่เหมาะที่จะใช้ในการงานวิจัยนี้ เนื่องจากการติดตั้งตัวรับรู้สัญญาณทำได้ลำบาก และสารละลายอาจทำอันตรายต่อตัวรับรู้สัญญาณ

ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการเพิ่มความเข้มข้นและการควบคุมความต่างศักย์เพื่อเร่งการกัดกร่อน โดยสภาวะที่เหมาะสมนั้นคือที่อุณหภูมิประมาณจุดเดือดของสารละลายที่ใช้หรือสูงกว่า ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าเมื่อทดลองที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส สัญญาณจากฟองแก๊สที่เกิดขึ้นจะมีแอมพลิจูด ประมาณ 50 – 55 เดซิเบล ซึ่งสูงกว่าสัญญาณอะคูสติกจากการกัดกร่อนที่มีแอมพลิจูดประมาณ 30-35 เดซิเบล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง โดยเพิ่มความเข้มข้นและความเป็นกรดของสารละลายแทนการเพิ่มอุณหภูมิ และเนื่องจากเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมกลุ่มออสเตนนิติกจะเกิดการกัดกร่อนเชิงความเค้นเมื่ออยู่ในสารละลายที่มีคลอไรด์ผสมอยู่ ในสภาพที่เป็นกรด งานวิจัยนี้จึงเลือกสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีการปรับสภาพความเป็นกรดด้วยการเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เป็นสารละลายที่ใช้ทดสอบ

การเลือกวิธีการทดสอบ

การกัดกร่อนเชิงความเค้นนั้นจะเกิดได้เมื่อมีความเค้นเกิดขึ้นมากพอ โดยความเค้นอาจเป็นความเค้นดึงที่ใส่เข้าไป หรือความเค้นตกค้างก็ได้ ซึ่งวิธีการทดลองสำหรับการศึกษาการกัดกร่อนเชิงความเค้นนั้นมี 4 แบบ [16] คือ

- การทดสอบเพื่อกำหนดเป็นมาตรฐาน (standard tests) เป็นการออกแบบการทดลองสำหรับการทดสอบวัสดุชนิดต่างๆ ว่าสามารถเกิดการกัดกร่อนเชิงความเค้นได้หรือไม่ และหาสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ทั้ง ชนิดของสารละลาย ความเข้มข้น อุณหภูมิ ค่าพีเอช สำหรับโลหะชนิดนั้น โดยมีการกำหนดเป็นมาตรฐานอ้างอิง เป็น มาตรฐานเอเอสทีเอ็ม (ASTM) เป็นต้น
- การให้ความเค้นคงที่ (constant stress or constant displacement tests) การทดสอบวิธีนี้เป็นการดัดงอวัสดุให้มีรูปร่างต่างๆ เพื่อนำไปทดสอบว่าสามารถเกิดการกัดกร่อนเชิงความเค้นได้

หรือไม่ ตัวอย่างของการทดลองนี้ เช่น การดัดงอเป็นรูปตัวยู (U - bending) วงแหวนรูปตัวซี (C - ring)

- การทดสอบการแตกหัก (Fracture mechanics test) เป็นการทดสอบอีกวิธีหนึ่ง วิธีการนี้จะทำให้วัสดุมีรอยร้าว หรือมีความผิดปกติเกิดขึ้นมาก่อน เช่น การบากให้เป็นร่อง เป็นต้น แล้วให้ความเค้นจากการงอหรือยืดช้าๆ อย่างต่อเนื่อง จนถึงระยะเวลาหนึ่งก็หยุด ปล่อยให้วัสดุกลับสู่สภาพเดิม แล้วให้ความเค้นอีกครั้ง ทำลักษณะนี้หลายๆรอบจนกระทั่งวัสดุแตกหัก ผลการทดสอบจะสามารถบอกความสัมพันธ์ของอัตราการขยายตัวของรอยร้าวเทียบกับค่าความเค้น
- การทดสอบด้วยการยืดอย่างช้าๆ (slow stain rate test or constant extension rate test) เป็นการทดสอบโดยการยืดวัสดุที่กำหนดไว้ โดยวัสดุอาจทำการบากไว้ตรงจุดกึ่งกลางหรือบริเวณที่สนใจ แล้วใช้เครื่องยืดอัตราการยืดต่ำค่อยๆ ยืดออกอย่างช้าๆ จนวัสดุแตกหัก โดยผลการทดสอบจะได้กราฟของความเค้นเทียบกับความเครียด ซึ่งจะบอกถึงช่วงเวลาต่างๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงในเนื้อวัสดุ เช่นช่วงการเปลี่ยนจากช่วงเฟสอิลาสติกเป็นช่วงเฟสพลาสติก หรือ ช่วงที่มีการแตกหัก โดยกราฟนี้อาจนำไปใช้วิเคราะห์ผลหรือใช้เปรียบเทียบกับผลการทดลองด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การตรวจจับสัญญาณอะคูสติก , การทดสอบด้วยการควบคุมความต่างศักย์

การทดลองส่วนใหญ่มักจะทดสอบด้วยวิธีการยืดอย่างช้าๆ ด้วยเครื่องยืดอัตราการยืดต่ำซึ่งพบว่ามีสัญญาณอะคูสติกเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยจะมากที่สุดในช่วงที่เริ่มเกิดการกัดกร่อน และช่วงที่เกิดการแตกหัก เมื่อพิจารณาว่าในวัสดุที่ใช้จริง เช่น ถังความดัน ความเค้นส่วนใหญ่เกิดจากความเค้นตกค้างจากการขึ้นรูป ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การทดสอบโดยการให้ความเค้นตกค้างจากการดัดงอชิ้นทดสอบ เพื่อศึกษาว่าจะเกิดการกัดกร่อนเชิงความเค้นหรือไม่ และสัญญาณอะคูสติกที่ได้มีลักษณะอย่างไร

4.1.2 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

งานวิจัยนี้เลือกใช้เหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเบอร์ 304 โดยตัดให้มีขนาด 28x150x3.2 มิลลิเมตร 1 แผ่น และขนาด 25x200x0.5 มิลลิเมตร 4 แผ่น ทำการกำจัดคราบออกไซด์และสิ่งสกปรกบนผิว โดยการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 เบาๆ แล้วกำจัดคราบไขมันด้วยการแช่ในสารละลายอะซีโตน (Acetone, C_3H_6O) เป็นเวลา 20 นาที แช่ในสารละลายแอลกอฮอล์ทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น เป่าแห้งด้วยลมร้อน ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน สำหรับแผ่นทดสอบ

ขนาด 28x150x3.2 มิลลิเมตร ดัดงอที่ปลายด้านหนึ่ง ที่ระยะ 27.5 มิลลิเมตร เป็นมุม 90 องศา ส่วนแผ่นทดสอบขนาด 25x200x0.5 มิลลิเมตร นำ 1 แผ่นมาดัดพับที่ระยะ 5 มิลลิเมตรจากปลายหลายๆ ครั้งเพื่อให้เกิดความเค้นจากการพับ

เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.35 โมลต่อลิตร ทำการปรับค่าพีเอชโดยการเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร จนได้ค่าพีเอชประมาณ 2.32 และเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ค่าพีเอชประมาณ 2.81

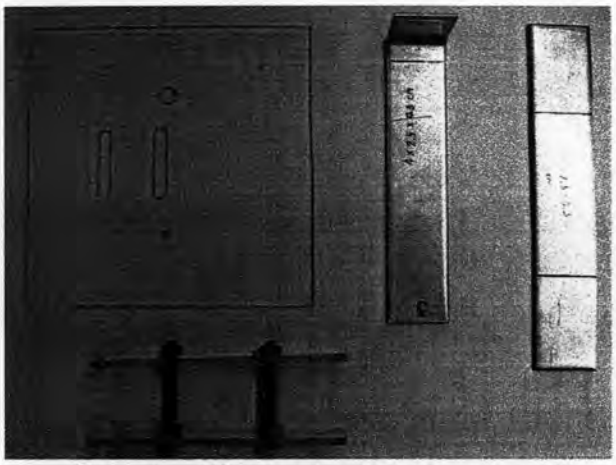
เตรียมอุปกรณ์ยึดจับตัวรับรู้สัญญาณกับชิ้นทดสอบขณะทำการทดลอง โดยใช้แผ่นพลาสติกใสรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 2 แผ่น มีความกว้างมากกว่าขนาดของตัวรับรู้สัญญาณเล็กน้อย และมีความยาวมากกว่าความก้วางของชิ้นทดสอบ เจาะรูที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ยึดแผ่นพลาสติกทั้งสองแผ่นด้วยนอตและแหวนเกลียวที่ปลายทั้งสองด้าน สำหรับอุปกรณ์กำหนดระยะสำหรับการแช่ชิ้นทดสอบในสารละลาย ออกแบบให้เป็นแผ่นพลาสติกใส รูปสี่แหลี่ยมจัตุรัส ขนาดกว้างยาวมากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบีกเกอร์ที่ใช้ เจาะช่องให้มีขนาดใหญ่กว่าความกว้างและความหนาของชิ้นทดสอบ และช่องสำหรับติดตั้งขั้วไฟฟ้า ตามรูปที่ 4.1

เครื่องมือสำหรับทดสอบด้วยเทคนิคโพเทนทิโอไดนามิกส์ โพลาไรเซชัน ของบริษัทอีจีแอนด์จี ปริ้นซ์ตันแอบพลายรีเสิร์จ (EG&G Princeton applied research)

สำหรับอุปกรณ์สำหรับการเก็บและวิเคราะห์สัญญาณอะคูสติกของบริษัทพีเอซี (Physical Acoustic cooperation, PAC) ซึ่งประกอบด้วย

- ตัวรับรู้สัญญาณรุ่นอาร์15 แอลฟา (R15α) มีความถี่ที่ 150 กิโลเฮิรตซ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร
- วงจรขยายสัญญาณเบื้องต้น สามารถปรับอัตราการขยาย ได้ 3 ค่าคือ 20, 40 และ 60 เดซิเบล
- การ์ดรับสัญญาณ สามารถรับสัญญาณได้พร้อมกัน 2 ช่องสัญญาณ ในช่วงความถี่ของสัญญาณตั้งแต่ 3 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 3 เมกะเฮิรตซ์
- โปรแกรมวินเออี (WinAE) สำหรับการบันทึกและวิเคราะห์สัญญาณ ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์

พระมหากษัตริย์ ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 แสดงชิ้นทดสอบ (ขวามือ) อุปกรณ์ยึดจับ (ด้านล่าง) และอุปกรณ์กำหนดระยะ (ซ้ายมือ)

4.1.3 การติดตั้งอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดสอบวิธีที่ 1 การตรวจจับสัญญาณอะคูสติกพร้อมเทคนิคโพเทนทิโอไดนามิกส์โพลาไรเซชัน

นำแผ่นเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมขนาด 25x200x0.5 มิลลิเมตร ที่ได้รับความเค้นจากการพับติดตั้งตัวรับรู้สัญญาณบนปลายด้านที่ไม่ผ่านการพับ โดยใช้ไขข้นเป็นสารช่วยสัมผัส ติดตั้งอุปกรณ์ช่วยยึดจับเพื่อยึดตัวรับรู้สัญญาณให้ติดแน่นกับแผ่นเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ทำการทดสอบความสมบูรณ์ของการติดตั้งตัวรับรู้สัญญาณตามมาตรฐานเอเอสทีเอ็ม อี97 (ASTM E-97) [17] ดังนี้

1. ใช้ดินสอแกรไฟต์ชนิดสองเอช (2H) ขนาดของไส้ดินสอ 0.5 มิลลิเมตร โดยให้ไส้ดินสอยื่นออกมาจากปลายดินสอประมาณ 2-3 มิลลิเมตร
2. นำปลายไส้ดินสอสัมผัสกับชิ้นงานที่ตรวจสอบ ตรงตำแหน่งห่างจากตัวรับรู้สัญญาณประมาณ 3-5 นิ้ว โดยวางไส้ดินสอเอียงทำมุมประมาณ 30 องศา กับผิวของชิ้นงาน
3. หักไส้ดินสอ พร้อมกับบันทึกค่าแอมพลิจูดของสัญญาณจากการหักไส้ดินสอ
4. ทำการทดสอบตามข้อ 1 ถึงข้อ 3 จนครบ 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งให้ทำการหักไส้ดินสอที่ตำแหน่งห่างจากตัวรับรู้สัญญาณเป็นระยะทางเท่าๆ กัน แล้วหาค่าเฉลี่ยจากแอมพลิจูดของสัญญาณอะคูสติกที่วัดได้ทั้ง 3 ครั้ง

5. ในกรณีที่ติดตั้งตัวรับรู้สัญญาณเพียงหนึ่งตัว ถ้าผลของการหักไส้ดินสอมีค่าแอมพลิจูดต่ำกว่า 60 เดซิเบล (ประมาณ 1 โวลต์) แสดงว่าการติดตั้งตัวรับรู้สัญญาณไม่สมบูรณ์ ให้ทำการติดตั้งใหม่ หรืออาจเป็นผลมาจากการเลือกใช้สารช่วยสัมผัสที่ไม่เหมาะสม
6. ในการติดตั้งตัวรับรู้สัญญาณหลายตัว ถ้าผลการหักไส้ดินสอ ของแต่ละหัวทดสอบมีค่าต่างกันเกินกว่า ±4 เดซิเบล แสดงว่าการติดตั้งหัวทดสอบไม่สมบูรณ์ ให้ทำการติดตั้งตัวรับรู้สัญญาณใหม่
7.

รูปที่ 4.2 แสดงอุปกรณ์ช่วยกำหนดมุมตามมาตรฐานเอเอสทีเอ็ม อี97

เมื่อตัวรับรู้สัญญาณติดตั้งได้อย่างสมบูรณ์แล้ว เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ค่าพีเอชประมาณ 2.81 ปริมาตร 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในบีกเกอร์ขนาด 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ปลายด้านที่ผ่านการพับ ไว้ในอุปกรณ์สำหรับกำหนดระยะ แล้ววางไว้เหนือบีกเกอร์ โดยแช่ปลายในสารละลายที่ระยะ 1 เซนติเมตร ตามรูปที่ 4.3

กำหนดอัตราการขยายของอุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้นเป็น 60 เดซิเบล ทำการกำหนดค่าเริ่มต้นที่สำคัญให้กับโปรแกรมวินเออี โดยเริ่มจากการหาค่าเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสม ซึ่งจะพิจารณาจากระดับของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบทั้งหมด แล้วตั้งค่าที่สูงกว่าเล็กน้อยเพื่อตัดสัญญาณรบกวน โดยกำหนดค่าเริ่มเปลี่ยนที่ 29 เดซิเบล ปรับอัตราการขยายของโปรแกรมไว้ที่ 40 เดซิเบล กำหนดค่าพีดีทีและเอชดีทีที่ 1,000 และ 2,000 ไมโครวินาที ตามลำดับ

ทำการติดตั้งขั้วไฟฟ้าสำหรับการทดสอบด้วยเทคนิคโพเทนทิโอไดนามิกส์ โพลาไรเซชัน โดยใช้แผ่นเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเป็นขั้วทำงาน (working electrode) และใช้แผ่นขนาดเดียวกันอีกหนึ่งแผ่นเป็นขั้วตัวนับ (counter electrode) ใช้เอสซีอี (SCE) เป็นขั้วอ้าง (reference electrode) กำหนด

พื้นที่ที่ทดสอบเป็น 5 ตารางเซนติเมตร (จากผิวสองด้าน) ความหนาแน่น 7.9 กรัมต่อมิลลิลิตร อัตราการเพิ่มความต่างศักย์ 1 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยกำหนดความต่างศัย์สูงสุด 1200 มิลลิโวลต์

เริ่มทำการทดลอง โดยตรวจจับสัญญาณด้วยวิธีการปล่อยคลื่นอะคูสติก พร้อมกับเทคนิคโพเทนทิโอไดนามิกส์ โพลาไรเซชัน เมื่อความต่างศักย์มีค่าถึง 1200 มิลลิโวลต์ ระบบจะหยุดจ่ายความต่างศักย์ ช่วงนี้ให้เก็บสัญญาณอะคูสติกต่อเนื่องไปอีกเล็กน้อย

ทำการทดลองอีกครั้งโดยเปลี่ยนเป็นชิ้นทดสอบขนาดเดียวกันที่ไม่ได้ผ่านการดัดพับที่ปลาย ทำการทดลองเช่นเดิม

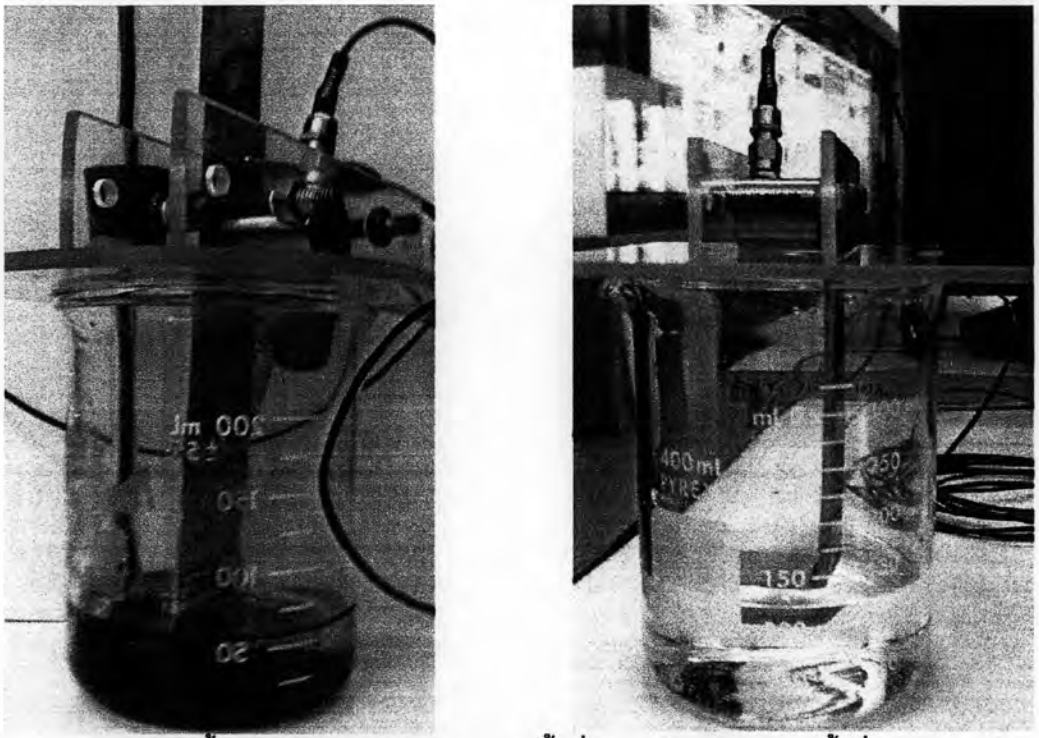
การทดสอบวิธีที่ 2 การตรวจจับสัญญาณอะคูสติกโดยการเร่งการกัดกร่อนด้วยวิธีการเพิ่มความเป็นกรด

นำแผ่นเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมขนาด 28x150x3.2 มิลลิเมตร ติดตั้งตัวรับรู้สัญญาณบนปลายด้านที่ไม่ดัดงอ โดยใช้ไขข้นเป็นสารช่วยสัมผัส ติดตั้งอุปกรณ์ช่วยยึดจับเพื่อยึดตัวรับรู้สัญญาณให้ติดแน่นกับแผ่นเหล็กกล้าไม่เป็นสนิม ทำการทดสอบความสมบูรณ์ของการติดตั้งตัวรับรู้สัญญาณตามมาตรฐานเอเอสทีเอ็ม อี97

เมื่อตัวรับรู้สัญญาณติดตั้งได้อย่างสมบูรณ์แล้ว บรรจุสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.35 โมลต่อลิตร ค่าพีเอชประมาณ 2.32 ปริมาตร 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในบีกเกอร์ขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ปลายด้านที่ดัดงอไว้ในอุปกรณ์สำหรับกำหนดระยะ แล้ววางไว้เหนือบีกเกอร์ โดยแช่ปลายในสารละลายที่ระยะ 4 เซนติเมตร ตามรูปที่ 4.3

กำหนดอัตราการขยายของอุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้นเป็น 60 เดซิเบล ทำการกำหนดค่าเริ่มต้นที่สำคัญให้กับโปรแกรมวินเออี โดยเริ่มจากการหาค่าเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสม ซึ่งจะพิจารณาจากระดับของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบทั้งหมด แล้วตั้งค่าที่สูงกว่าเล็กน้อยเพื่อตัดสัญญาณรบกวน โดยกำหนดค่าเริ่มเปลี่ยนที่ 28 เดซิเบล ปรับอัตราการขยายของโปรแกรมไว้ที่ 40 เดซิเบล กำหนดค่าพีดีทีและเอชดีทีที่ 1,000 และ 2,000 ไมโครวินาที ตามลำดับ

เริ่มทำการทดลองตรวจจับสัญญาณคลื่นอะคูสติก โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องประมาณ 31 องศา เป็นเวลาประมาณ 27 ชั่วโมง



รูปที่ 4.3 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลองครั้งที่ 1 (รูปซ้ายมือ) และครั้งที่ 2 (รูปขวามือ)

4.2 การหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณอะคูสติก

สัญญาณอะคูสติกนอกจากจะสามารถตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้แล้ว ยังสามารถใช้ในการหาตำแหน่งของสัญญาณอะคูสติกที่เกิดขึ้นจากความผิดปกติได้ด้วย โดยต้องใช้ตัวรับรู้สัญญาณมากกว่าหนึ่งตัว แล้วใช้ผลต่างของเวลาที่สัญญาณมาถึงตัวรับรู้สัญญาณแต่ละตัว ในการคำนวณหาตำแหน่ง ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการหาตำแหน่งสัญญาณอะคูสติกจากการกัดกร่อนในงานวิจัยนี้มี 2 วิธีการ คือ วิธีการหาตำแหน่งจากตัวรับรู้สัญญาณ 2 ตัว และวิธีการหาตำแหน่งจากตัวรับรู้สัญญาณ 3 ตัว ซึ่งแต่ละวิธีจะมีรายละเอียดต่างกันดังนี้

4.2.1 วิธีการหาตำแหน่งจากตัวรับรู้สัญญาณ 2 ตัว

วิธีการนี้เป็นวิธีการหาตำแหน่งที่เกิดขึ้นกับระบบที่มีความยาวมากกว่าความกว้างมากๆ เท่านั้น โดยการหาตำแหน่งของความผิดปกติ เช่น การกัดกร่อน หรือ การรั่ว นั้น จะใช้ตัวรับรู้สัญญาณ

อย่างต่ำ 2 ตัวในการระบุตำแหน่ง โดยหาผลต่างของเวลาที่มาถึงตัวรับรู้สัญญาณแต่ละตัว และอาศัยการคำนวณตามความสัมพันธ์ที่ (2.6) ที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2

อุปกรณ์การทดลอง

1. ท่อโลหะ เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร ยาว 2 เมตร และ เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร ยาว 4 เมตร
2. ตัวรับรู้สัญญาณของบริษัทพีเอซี รุ่น เอส140 เอ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร มีค่าแอมพลิจูดที่ 324 กิโลเฮิรตซ์ จำนวน 2 ตัว
3. อุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้น รุ่นเอซีเอส-22100/พีเอ ของบริษัทเออีมอนิเทรด (AEMoniTrend) ขยายสัญญาณที่อัตราการขยาย 60 เดซิเบล จำนวน 2 ตัว
4. แหล่งจ่ายไฟและเชื่อมต่อสัญญาณ ของบริษัทเออีมอนิเทรด
5. การ์ดรับสัญญาณแบบแอนะล็อก ของบริษัทแอดวานซ์เทค (Advantech) รุ่น พีซีไอ 1714 ยู แอล รับสัญญาณได้สูงสุด 4 ช่องสัญญาณ
6. สารช่วยสัมผัส เลือกใช้จาระบี
7. ดินสอกดและไส้ดินสอสองเอช ขนาด 0.5 มิลลิเมตร

วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการหาตำแหน่งจากสัญญาณอะคูสติกที่เกิดจากการกัดกร่อนเชิงความเค้น แต่เนื่องจากสัญญาณอะคูสติกจากการกัดกร่อนเชิงความเค้นนั้นจะมีแอมพลิจูดต่ำมาก และต้องอาศัยระยะเวลาในการเกิด ซึ่งการเร่งการกัดกร่อนและการควบคุมตำแหน่งของการกัดกร่อนจะทำได้ยาก เนื่องจากการหยดกรดจะทำให้บริเวณที่เกิดการกัดกร่อนมีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ ในกรณีที่เลือกใช้กรดปริมาณน้อยๆ ก็จะเกิดปัญหาสัญญาณไม่เกิดหรือเกิดน้อยเกินไป ดังนั้นจึงเลือกใช้การหักไส้ดินสอตามมาตรฐานเอเอสทีเอ็ม อี97 เป็นการสร้างสัญญาณอะคูสติกแทน เพราะ สัญญาณที่ได้มีความแรงมากกว่า สามารถกำหนดตำแหน่งและเวลาการเกิดได้ง่ายกว่า

ในการทดลองครั้งที่ 1 จะเลือกใช้ท่อยาว 2 เมตร ติดตั้งตัวรับรู้สัญญาณ 2 ตัว บนท่อห่างกันเป็นระยะ 170 เซนติเมตร ยึดตัวรับรู้สัญญาณกับท่อด้วยเทปกาว และใช้จาระบีเป็นสารช่วยสัมผัสตามรูป 4.4 ทำการหาความเร็วเสียงในโลหะก่อน โดยกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ดังตารางที่ 4.1 ทำการ

หักไส้ดินสอบริเวณด้านนอกของตัวรับรู้สัญญาณตัวที่ 1 จำนวน 30 ครั้ง บันทึกผลโดยโปรแกรมหาความเร็วเสียงที่พัฒนาด้วยโปรแกรมแลบวิว แล้วหาค่าเฉลี่ยของความเร็วเสียง

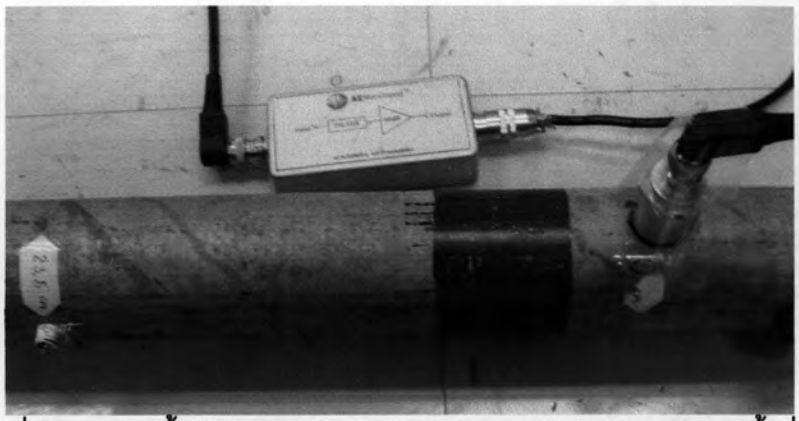
หลังจากนั้นทำการทดลองเพื่อทดสอบการหาตำแหน่ง ตามรูปที่ 4.5 โดยกำหนดตำแหน่งสำหรับการทดสอบไว้ 5 ตำแหน่ง คือ ระยะ 23.5 , 54.5, 85.5, 116.5 และ 147.5 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยระยะนี้จะวัดจากตัวรับรู้สัญญาณตัวที่ 1 ทำการหักไส้ดินสอ ตำแหน่งละ 30 ครั้ง แล้วเก็บบันทึกผลโดยโปรแกรมสำหรับการหาตำแหน่งจากตัวรับรู้สัญญาณ 2 ตัว

ในการทดลองครั้งที่ 2 จะเลือกใช้ท่อยาว 4 เมตร ติดตั้งตัวรับรู้สัญญาณ 2 ตัว บนท่อห่างกันเป็นระยะ 360 เซนติเมตร ยึดตัวรับรู้สัญญาณกับท่อด้วยเทปกาว และใช้จาระบีเป็นสารช่วยสัมผัส หักไส้ดินสอบริเวณด้านนอกของตัวรับรู้สัญญาณตัวที่ 1 จำนวน 30 ครั้ง เพื่อหาความเร็วเสียงของท่อโลหะ

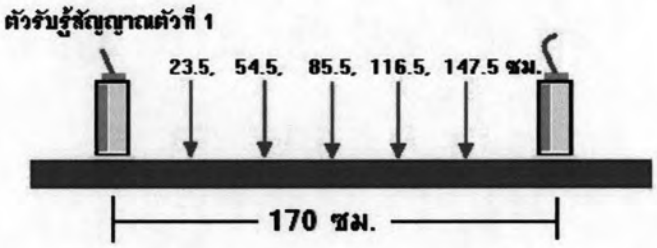
ทำการกำหนดตำแหน่งสำหรับการทดสอบ 5 ตำแหน่ง ตามรูปที่ 4.6 คือ ระยะ 120, 150, 180, 210 และ 240 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยระยะนี้จะวัดจากตัวรับรู้สัญญาณตัวที่ 1 หักไส้ดินสอตำแหน่งละ 30 ครั้ง แล้วเก็บบันทึกผล โดยโปรแกรมสำหรับการหาตำแหน่งจากตัวรับรู้สัญญาณ 2 ตัว

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรเริ่มต้นของวิธีการหาตำแหน่งจากตัวรับรู้สัญญาณ 2 ตัว

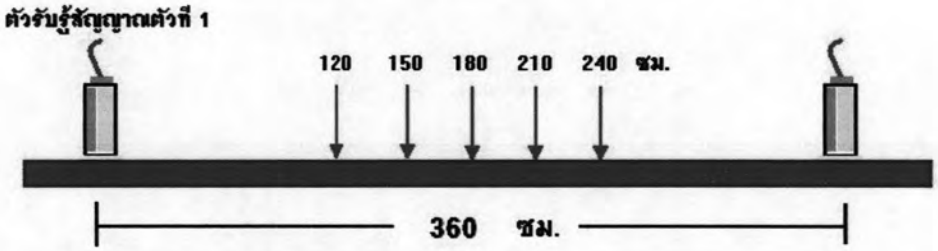
ตัวแปร	การทดสอบหาความเร็วเสียง		การทดสอบหาตำแหน่ง	
	ท่อ 2 เมตร	ท่อ 4 เมตร	ท่อ 2 เมตร	ท่อ 4 เมตร
จำนวนข้อมูลใน 1 วินาที	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (โวลต์)	1.0	1.0	1.0	1.0
เอชดีที (ไมโครวินาที)	3000	3000	3000	3000
พีดีที (ไมโครวินาที)	1000	1000	1000	1000
ระยะระหว่างตัวรับรู้สัญญาณ (เมตร)	1.70	3.60	1.70	3.60
ความเร็วเสียง (เมตรต่อวินาที)	-	-	2846.00	2732.23



รูปที่ 4.4 การติดตั้งตัวรับรู้สัญญาณบนท่อยาว 2 เมตรในการทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ 4.5 ตำแหน่งสำหรับการทดสอบบนท่อยาว 2 เมตรในการทดลองครั้งที่ 1



รูปที่ 4.6 ตำแหน่งสำหรับการทดสอบบนท่อยาว 4 เมตรในการทดลองครั้งที่ 2

4.2.2 วิธีการหาตำแหน่งจากตัวรับรู้สัญญาณ 3 ตัว

การทดสอบวิธีนี้จะใช้ทดสอบวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่น โดยต้องใช้ตัวรับรู้สัญญาณ 3 ตัว ติดตั้งให้เป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า และใช้วิธีการคำนวณตามความสัมพันธ์ ที่ (2.10) และ (2.11) ซึ่งความสัมพันธ์ทั้งสอง จะนำมาใช้กับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจากโปรแกรมแลบวิว เพื่อให้การเก็บข้อมูลเป็นไปอย่างอัตโนมัติ

อุปกรณ์การทดลอง

1. แผ่นเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเบอร์ 304 ความหนา 0.05 ซม. ขนาด 122 x 224 ซม.
2. ตัวรับรู้สัญญาณของบริษัทพีเอซี รุ่นเอส140เอ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร มีค่าแอมพลิจูดที่ 324 กิโลเฮิรตซ์ จำนวน 3 ตัว
3. อุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้น เอซีเอส-22100/พีเอ ของบริษัทเออีมอนิเทรด (AEMoniTrend) ขยายสัญญาณที่อัตราการขยาย 60 เดซิเบล จำนวน 3 ตัว
4. แหล่งจ่ายไฟและเชื่อมต่อสัญญาณของบริษัทเออีมอนิเทรด
5. การ์ดรับสัญญาณแบบแอนะล็อก ของบริษัทแอดวานซ์เทค รุ่น พีซีไอ 1714 ยูแอล รับสัญญาณได้สูงสุด 4 ช่องสัญญาณ
6. สารช่วยสัมผัส เลือกใช้จาระบี
7. ดินสอกดและไส้ดินสอสองเอช ขนาด 0.5 มิลลิเมตร
8. กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 12 โมล ผสมโซเดียมคลอไรด์ เล็กน้อย

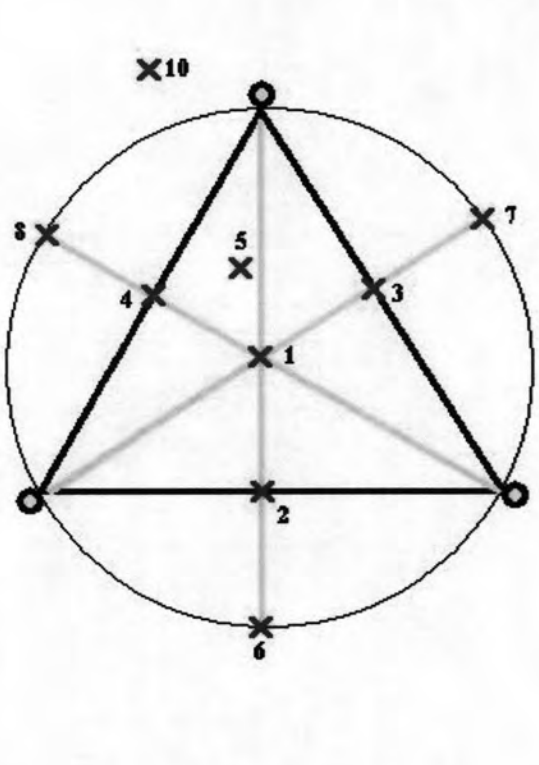
วิธีการทดลอง

การทดสอบวิธีการหาตำแหน่งจากตัวรับรู้สัญญาณ 3 ตัวจะเลือกใช้การหักไส้ดินสอเป็นการสร้างสัญญาณอะคูสติก เพื่อใช้ในการตรวจสอบหาประสิทธิภาพของวิธีการนี้ เนื่องจากสัญญาณอะคูสติกจากการกัดกร่อนเชิงความเค้นนั้นจะมีแอมพลิจูดต่ำมาก ต้องอาศัยระยะเวลาและการเร่งการกัดกร่อน ตำแหน่งของบริเวณที่หยดกรดมีขนาดใหญ่ แต่เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองจึงใช้การหาตำแหน่งจากการหยดกรดที่ตำแหน่งเดียวกันกับการหักไส้ดินสอด้วย เพื่อตรวจสอบว่าวิธีการนี้สามารถใช้ตรวจจับสัญญาณจากการกัดกร่อนได้จริง

การทดลองครั้งที่ 1 เป็นการหาตำแหน่งของสัญญาณอะคูสติก บนแผ่นเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเบอร์ 304 กำหนดตัวรับรู้สัญญาณ 3 ตัว วางห่างกัน 87.5 เซนติเมตร เป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าโดยกำหนดตำแหน่งสำหรับการทดสอบไว้ 11 ตำแหน่ง ในบริเวณต่างๆกัน ดังรูปที่ 4.7 ทำการหาความเร็วเสียงของคลื่นอะคูสติกในแผ่นเหล็กกล้าไม่เป็นสนิมเบอร์ 304 โดยกำหนดตัวแปรต่างๆ ตามตารางที่ 4.2 ทำการหักไส้ดินสอที่บริเวณด้านนอกของตัวรับรู้สัญญาณตัวที่1 จำนวน 20 ครั้ง ทำการบันทึกผลโดยโปรแกรมคำนวณหาความเร็วเสียง หาค่าเฉลี่ยของความเร็วเสียง ใช้ค่าความเร็วเสียงที่หาได้ใน

โปรแกรมหาตำแหน่งโดยวิธีการใช้ตัวรับรู้สัญญาณ 3 ตัว จากนั้นทำการหักไส้ดินสอที่ตำแหน่งต่างๆ ตำแหน่งละ 10 ครั้ง ทำการบันทึกผล

การทดลองครั้งที่ 2 ใช้กระดาษทรายขัดผิวเบาๆ ที่ตำแหน่งที่ 1 เช็ดคราบไขมันและสิ่งสกปรกด้วยอะซีโตน ล้างด้วยน้ำกลั่น เช็ดให้แห้ง แล้วหยดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 12 โมล ซึ่งผสมโซเดียมคลอไรด์เล็กน้อย 1 หยด ให้เป็นลักษณะวงกลม แล้วทำการสังเกตและเก็บบันทึกผล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้น ทำการเช็ดกรดที่เหลืออยู่และล้างบริเวณที่ทดสอบด้วยอะซีโตนและน้ำกลั่น เช็ดให้แห้ง ทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง เริ่มทำการทดลองอีกครั้งโดยเปลี่ยนเป็นตำแหน่งที่ 2 ทำซ้ำเช่นเดิมจนครบ 11 ตำแหน่ง



รูปที่ 4.7 ตำแหน่งในการทดลองด้วยวิธีการหาตำแหน่งจากตัวรับรู้สัญญาณ 3 ตัว

ตารางที่ 4.2 ค่าตัวแปรเริ่มต้นของวิธีการหาตำแหน่งจากตัวรับรู้สัญญาณ 3 ตัว

ตัวแปร	การทดสอบหาความเร็วเสียง	การทดสอบหาตำแหน่ง	
		การหักไส้ดินสอ	การหยดกรด
จำนวนข้อมูลใน 1 วินาที	1,000,000	1,000,000	1,000,000
ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (โวลต์)	1.0	1.0	0.2
เอชดีที (ไมโครวินาที)	3000	3000	600
พีดีที (ไมโครวินาที)	1000	1000	300
ระยะระหว่างตัวรับรู้สัญญาณ(เมตร)	0.8750	0.8750	0.8750
ความเร็วเสียง (เมตรต่อวินาที)	-	1324.21	1324.21