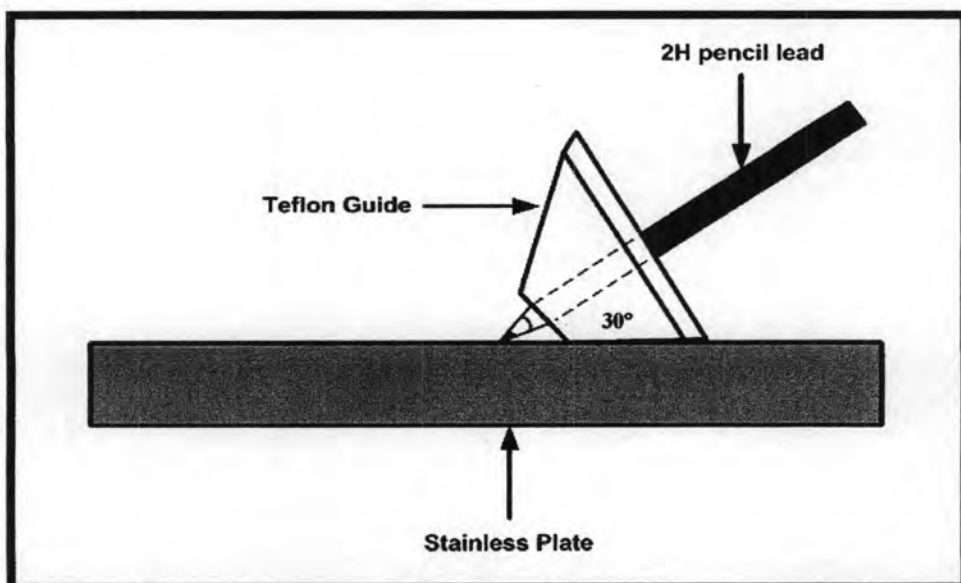


บทที่ 5

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์สัญญาณอะคูสติก

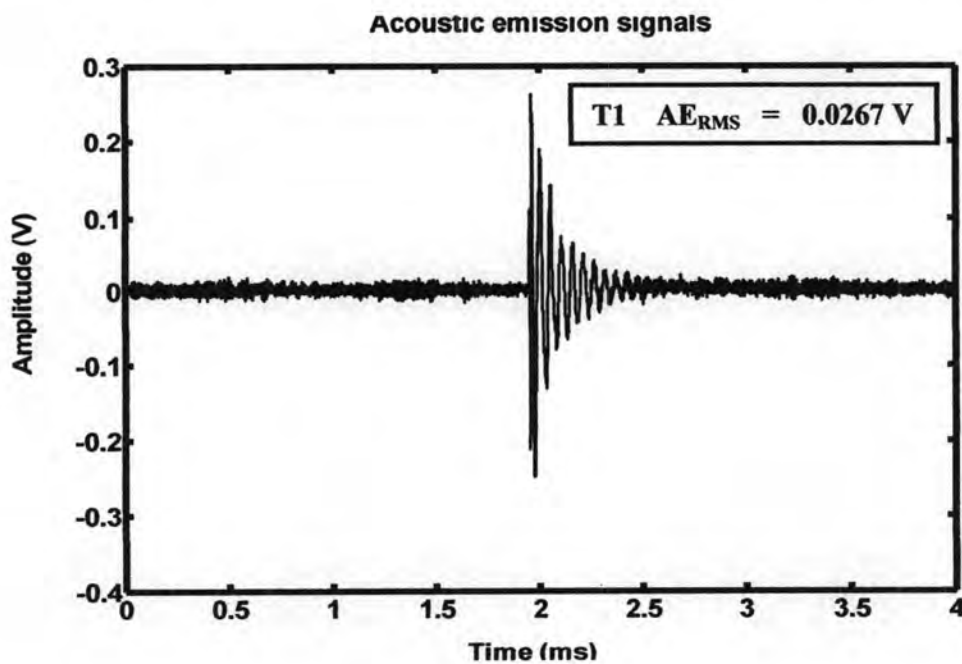
ในการตรวจสอบการทำงานของตัวตรวจจับที่สร้างขึ้นจำเป็นต้องมีการสอบเทียบค่ามาตรฐาน (Calibration) เพื่อทราบคุณสมบัติของตัวตรวจจับก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการสอบเทียบตามมาตรฐาน American Standard Testing Material (ASTM) หมายเลข E976-85 โดยเป็นการสร้างสัญญาณอะคูสติกจากแหล่ง AE artificial source ด้วยวิธีการหักไล่ดินสอแกรไฟต์ ความแข็งมาตรฐาน 2H ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ความยาว 3 มิลลิเมตร เอียงทำมุม 30 องศา กับแนวระดับ บนแผ่นเพลท ดังรูปที่ 5.1 เนื่องจากการหักไล่ดินสอเป็นวิธีการปล่อยคลื่นอะคูสติกที่มีค่าความถี่ในช่วงกว้าง รวมทั้งยังเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก ดังนั้นจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการหาค่าความถี่ต่อการตอบสนองของตัวตรวจจับ แต่เนื่องจากสัญญาณที่เกิดจากการหักไล่ดินสอมีขนาดของแอมพลิจูดที่เล็กมาก จึงต้องนำสัญญาณผ่านวงจรขยายสัญญาณดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.6 หลังจากนั้นนำสัญญาณที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทั้งในแกนเวลาและแกนความถี่ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างตัวตรวจจับจากวัสดุทั้งสองชนิดคือ ฟิล์ม PVDF จำนวน 3 ตัวด้วยกัน โดยแต่ละตัวมีรูปแบบเดียวกันแต่มีค่าความหนาของฟิล์มและค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงที่แตกต่างกันและจากสาร PZT จำนวน 3 ตัวเป็นรูปทรงกระบอกโดยมีค่าความหนาและค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงที่แตกต่างกันดังตารางที่ 4.1 และตาราง 4.2



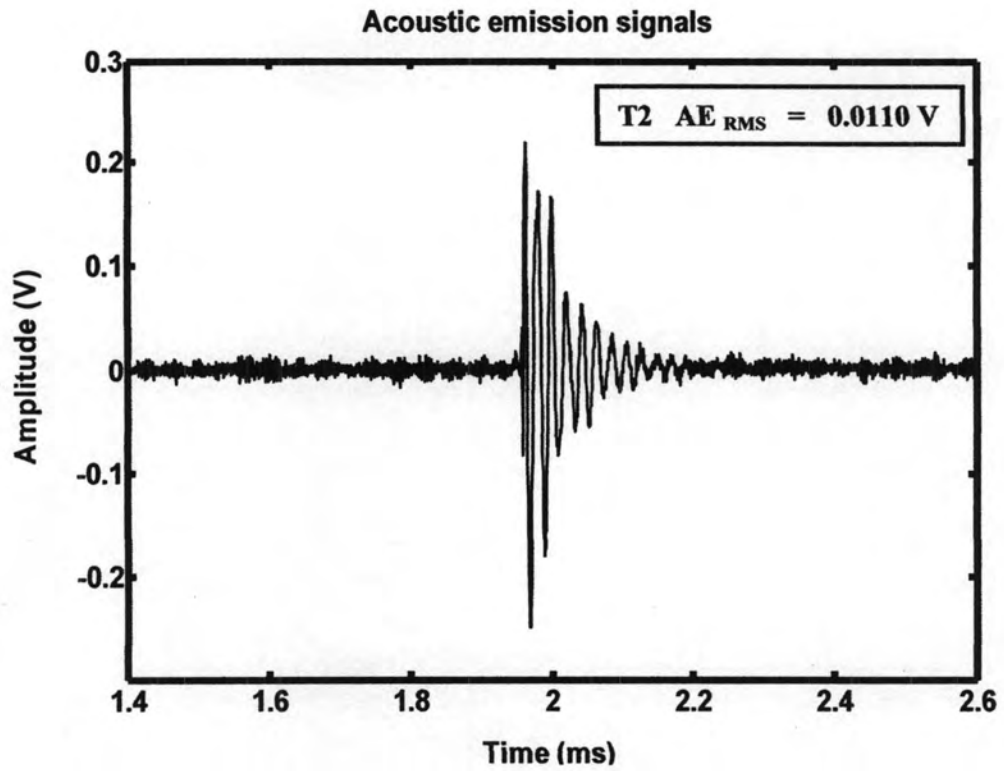
รูปที่ 5.1 การสร้างสัญญาณอะคูสติกจากแหล่งกำเนิดเสียงเทียมด้วยวิธีหักไล่ดินสอ [20]

5.1 การทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับที่สร้างจากฟิล์ม PVDF

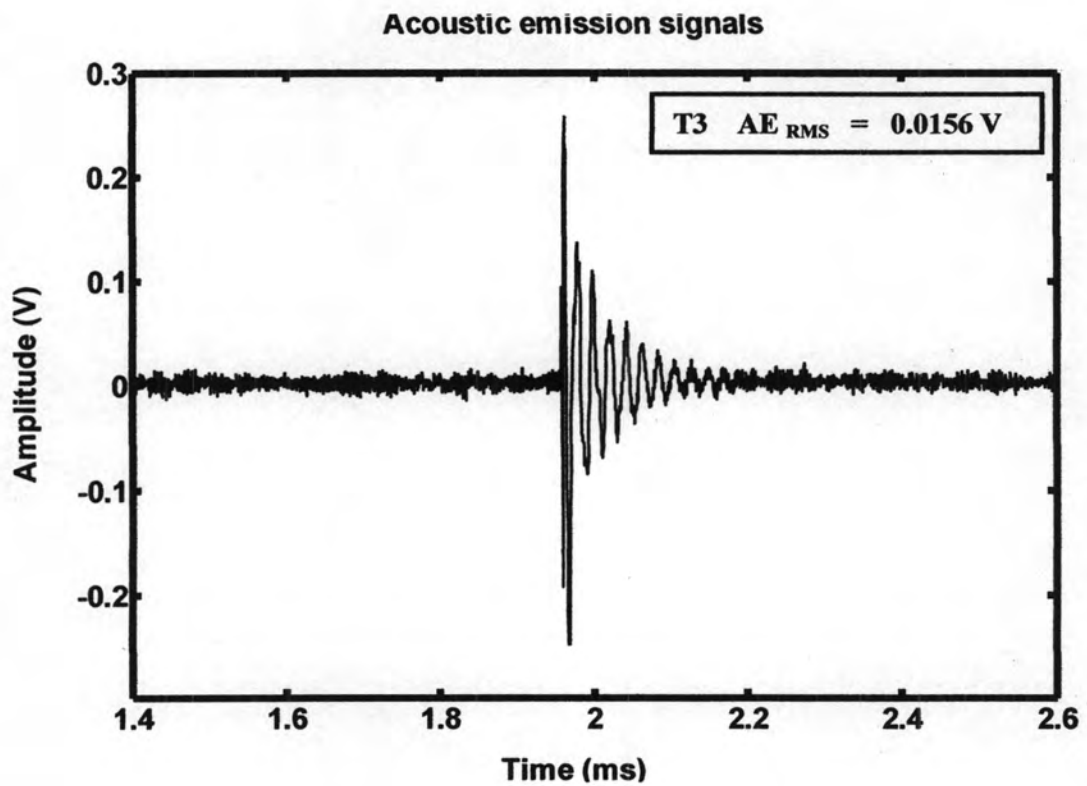
เมื่อนำตัวตรวจจับที่สร้างจากฟิล์ม PVDF ทั้งสามตัว ได้แก่ ตัวตรวจจับ T1 ตัวตรวจจับ T2 และตัวตรวจจับ T3 ไปทำการทดสอบการใช้งานด้วยการตรวจจับคลื่นอะคูสติกจากการหักได้ดินสอ โดยใช้เครื่องออสซิลโลสโคปทำการเก็บสัญญาณในรูปของสัญญาณดิบ (Raw signal) หลังจากนั้นนำข้อมูลที่เก็บได้ ไปทำการวิเคราะห์ผลโดยการเขียนกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ในแกนเวลาผลการทดลองพบว่าลักษณะของสัญญาณในแกนเวลาที่ตรวจจับได้เป็นลักษณะของสัญญาณอะคูสติกแบบ burst กล่าวคือ เป็นสัญญาณที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ และเมื่อนำสัญญาณที่เก็บได้ซึ่งอยู่ในแกนเวลามาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าพลังงานของคลื่นอะคูสติกที่ปลดปล่อยออกมาในรูปของ RMS (Root mean square) [21] ดังสมการในภาคผนวกที่ ผลของสัญญาณและค่าพลังงาน RMS แสดงดังรูปที่ 5.2, 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ หลังจากนั้นนำสัญญาณในแกนเวลาไปวิเคราะห์โดยใช้การแปลงฟูเรียร์เพื่อหาความสัมพันธ์ของสัญญาณในแกนความถี่ รายละเอียดของโปรแกรมและการแปลงฟูเรียร์แสดงไว้ในภาคผนวก ค. ลักษณะกราฟของสัญญาณอะคูสติกที่แปลงได้แสดงดังรูปที่ 5.5, 5.6 และ 5.7 ตามลำดับ



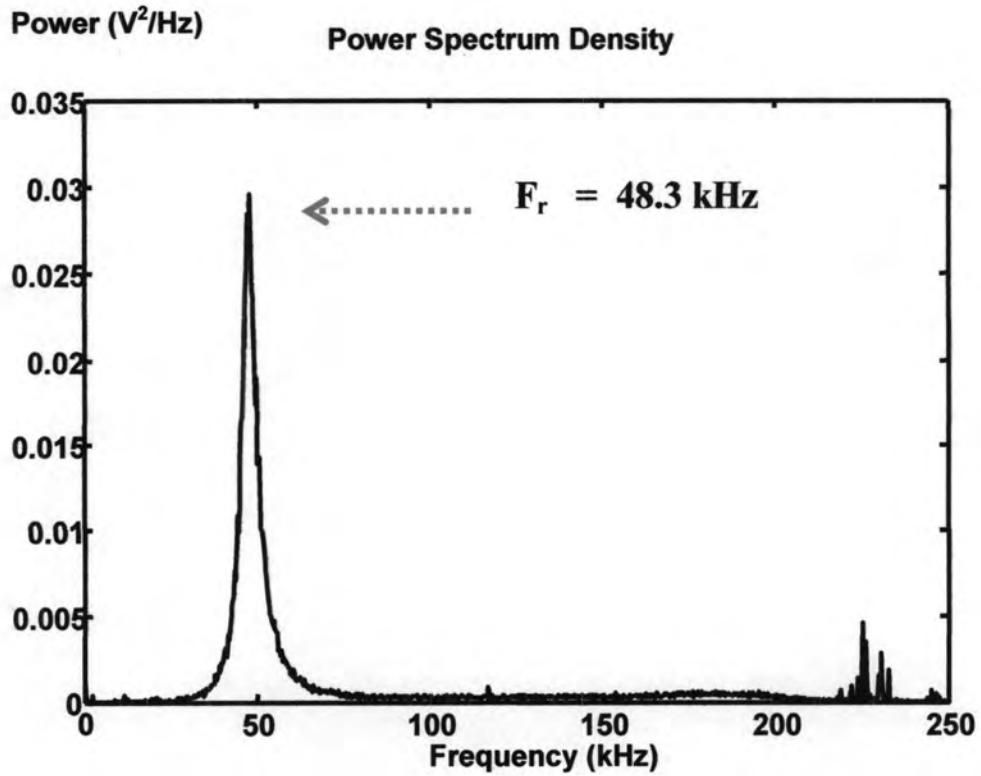
รูปที่ 5.2 ลักษณะสัญญาณคลื่นอะคูสติกที่ตรวจจับได้จากตัวตรวจจับ T1



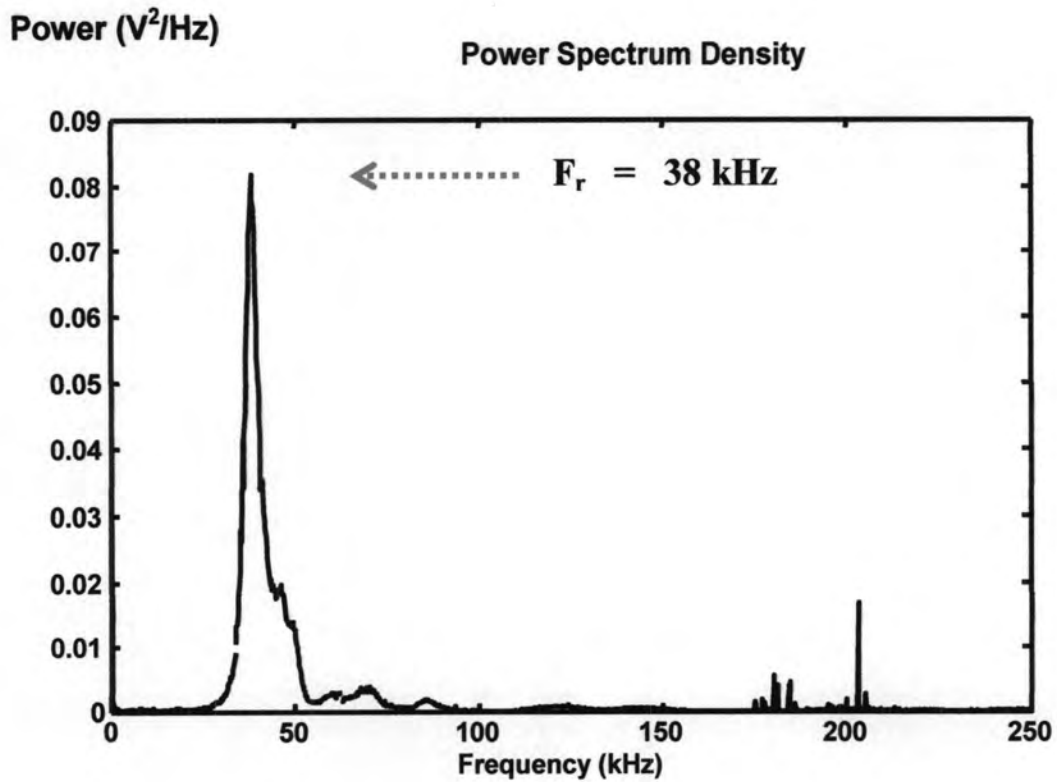
รูปที่ 5.3 ลักษณะสัญญาณคลื่นอะคูสติคที่ตรวจจับได้จากตัวตรวจจับ T2



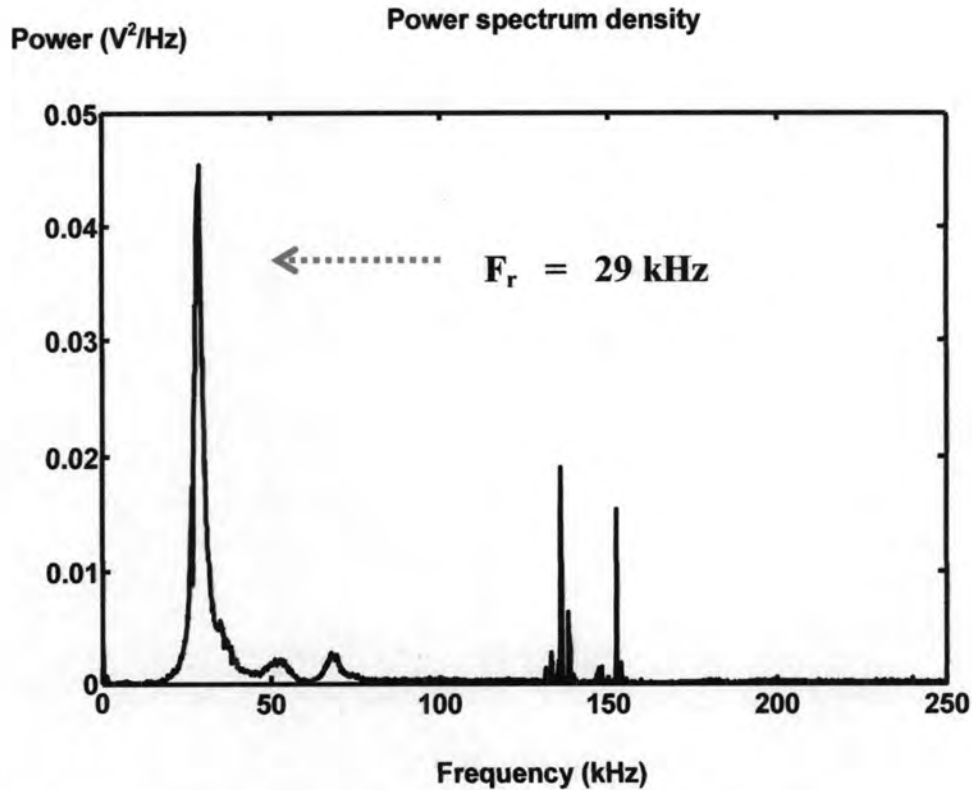
รูปที่ 5.4 ลักษณะสัญญาณคลื่นอะคูสติคที่ตรวจจับได้จากตัวตรวจจับ T3



รูปที่ 5.5 ค่าความถี่ต่อการตอบสนองของตัวตรวจจับ T1



รูปที่ 5.6 ค่าความถี่ต่อการตอบสนองของตัวตรวจจับ T2



รูปที่ 5.7 ค่าความถี่ต่อการตอบสนองของตัวตรวจจذب T3

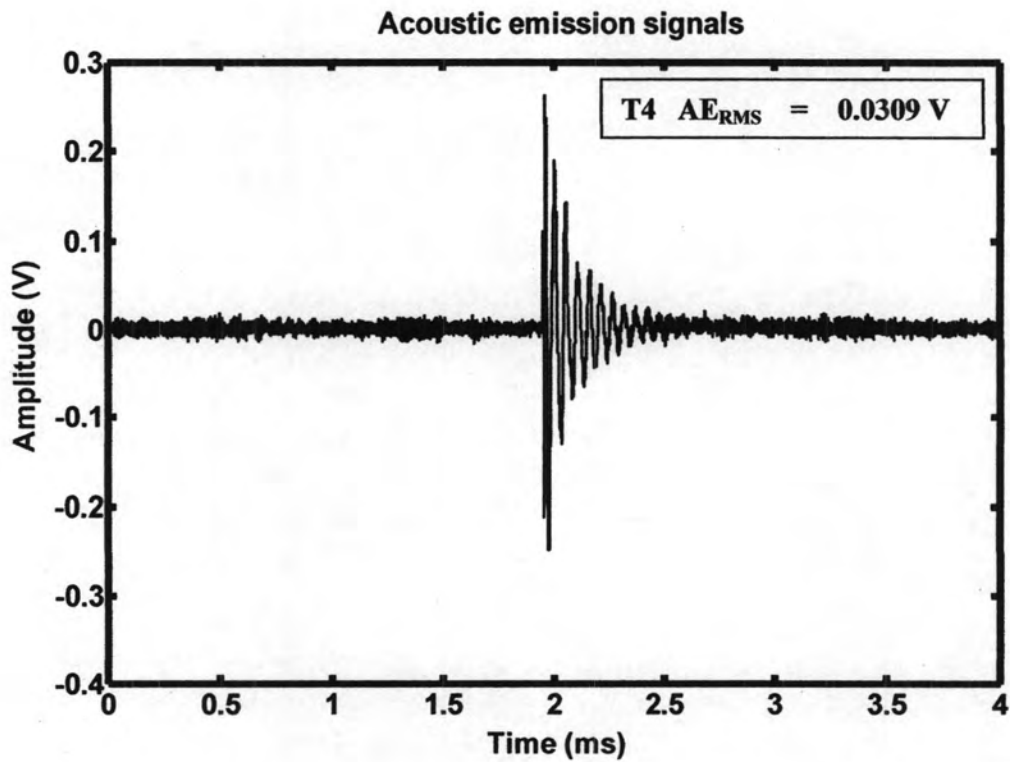
5.2 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาของฟิล์ม PVDF กับค่าความถี่ต่อการตอบสนอง

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาสัญญาณที่ตรวจจذبได้ในแกนเวลาและแกนความถี่จากตัวตรวจจذبทั้งสามตัวพบว่า เมื่อพิจารณาตัวตรวจจذبที่มีค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงเท่ากัน แต่ความหนาของฟิล์มไม่เท่ากัน พบว่าตัวตรวจจذبตัวที่ T2 ซึ่งใช้ฟิล์ม PVDF ที่มีความหนา 28 ไมโครเมตร มีค่าของความถี่ต่อการตอบสนองอยู่ที่ 38 kHz เมื่อเปรียบเทียบกับตัวตรวจจذبตัวที่ T3 ซึ่งใช้ฟิล์มที่มีความหนา 52 ไมโครเมตร และมีค่าความถี่ต่อการตอบสนองที่ 29 kHz จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ฟิล์ม PVDF ที่มีความหนาน้อยกว่ามาสร้างเป็นตัวตรวจจذب จะสามารถตรวจจذبสัญญาณในช่วงความถี่ต่อการตอบสนองที่สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากความสัมพันธ์ดังสมการ $f = \frac{v_s}{2d}$ [3] เมื่อ f คือ ความถี่, v_s คือ ความเร็วเสียงในวัสดุและ d คือความหนาของวัสดุกล่าวคือ เมื่อความหนาของฟิล์มที่ใช้มีค่าน้อยกว่าจะทำให้ค่าความถี่ต่อการตอบสนองมีค่ามากกว่า ในทางตรงกันข้าม เมื่อพิจารณาสัญญาณที่ตรวจจذبได้ในแกนเวลา จากตัวตรวจจذبตัวที่ T1 และ T2 ซึ่งสร้างจากฟิล์ม PVDF ที่มีความหนาเท่ากันคือ 28 ไมโครเมตร แต่มีค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงต่างกัน โดยตัวตรวจจذب

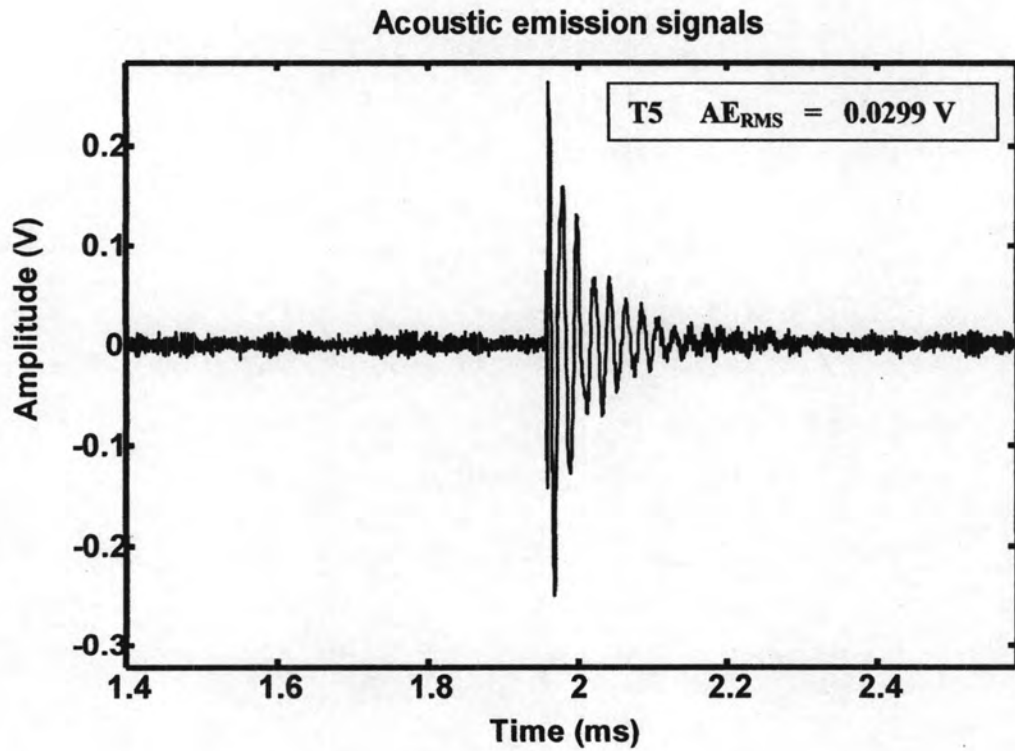
ตัวที่ T1 มีค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงเท่ากับ 3.669 Mrayl ขณะที่ตัวตรวจจับตัวที่ T2 มีค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงเท่ากับ 2.971 Mrayl จากรูปที่ 5.2 5.3 และ 5.4 แสดงค่า AE_{RMS} ของสัญญาณที่ตรวจจับจากตัวตรวจจับแต่ละตัว จะเห็นได้ว่า ค่า AE_{RMS} ของสัญญาณที่ตรวจจับได้จากตัวตรวจจับตัวที่ T1 มีค่าสูงกว่า ค่า AE_{RMS} ของสัญญาณที่ตรวจจับได้จากตัวตรวจจับตัวที่ T2 ทั้งนี้เนื่องจากตัวตรวจจับตัวที่ T1 มีค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงที่ใกล้เคียงกับฟิล์ม PVDF จากสมการที่ (2.75) และ (2.76) ซึ่งพบว่าถ้าค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงของวัสดุทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ในการส่งผ่านของคลื่นมีค่าสูงด้วย ทำให้ตัวตรวจจับสามารถจับสัญญาณที่ส่งผ่านมาได้มากกว่า ผลก็คือค่า AE_{RMS} มีค่าสูงกว่าตัวตรวจจับตัวที่ T2 ซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงที่ไม่ใกล้เคียงกับฟิล์ม PVDF และสิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ จากรูปที่ 5.5 พบว่าค่าความถี่ต่อการตอบสนองของตัวตรวจจับ T1 มีค่าสูงที่สุด คือ 48.3 kHz ซึ่งสามารถพิจารณาได้ว่านอกจากความหนาของฟิล์มที่ใช้แล้ว ค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงก็จะส่งผลต่อค่าความถี่ต่อการตอบสนองด้วย

5.3 การทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับที่สร้างจากสาร PZT

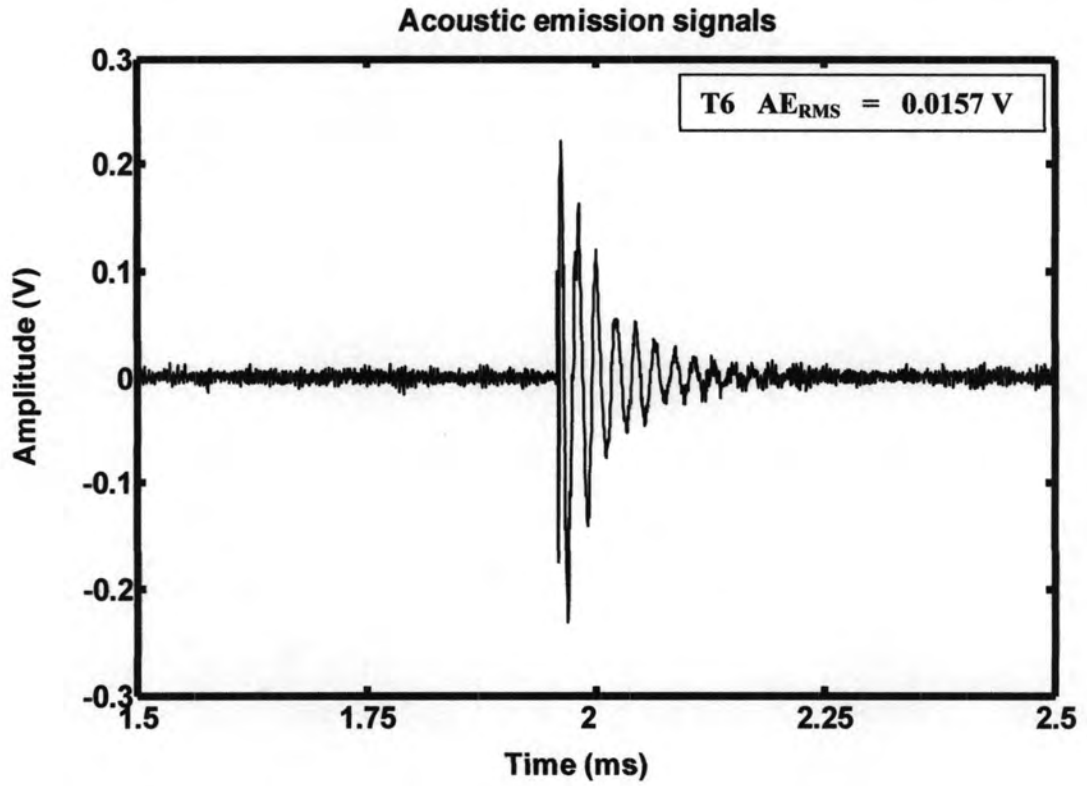
เมื่อนำตัวตรวจจับที่สร้างจากสาร PZT ทั้งสามตัวคือ ตัวตรวจจับ T4 T5 และ T6 ไปทดสอบการใช้งานโดยการตรวจจับคลื่นอะคูสติกจากการหักใส่ดินสอ แล้วใช้เครื่องออสซิลโลสโคปเก็บสัญญาณ จากผลการทดลองพบว่าลักษณะของสัญญาณในแกนเวลาที่ตรวจจับได้เป็นลักษณะของสัญญาณอะคูสติกแบบชั่วคราว เหมือนกับสัญญาณที่ตรวจจับได้จากตัวตรวจจับที่สร้างจากฟิล์ม PVDF แสดงดังรูปที่ 5.8, 5.9 และ 5.10 ตามลำดับ และเมื่อนำสัญญาณที่เก็บได้ซึ่งอยู่ในแกนเวลามาทำการวิเคราะห์เพื่อหาลักษณะของสัญญาณในแกนความถี่ ซึ่งผลของสัญญาณที่แปลงได้แสดงดังรูปที่ 5.11, 5.12 และ 5.13 ตามลำดับ



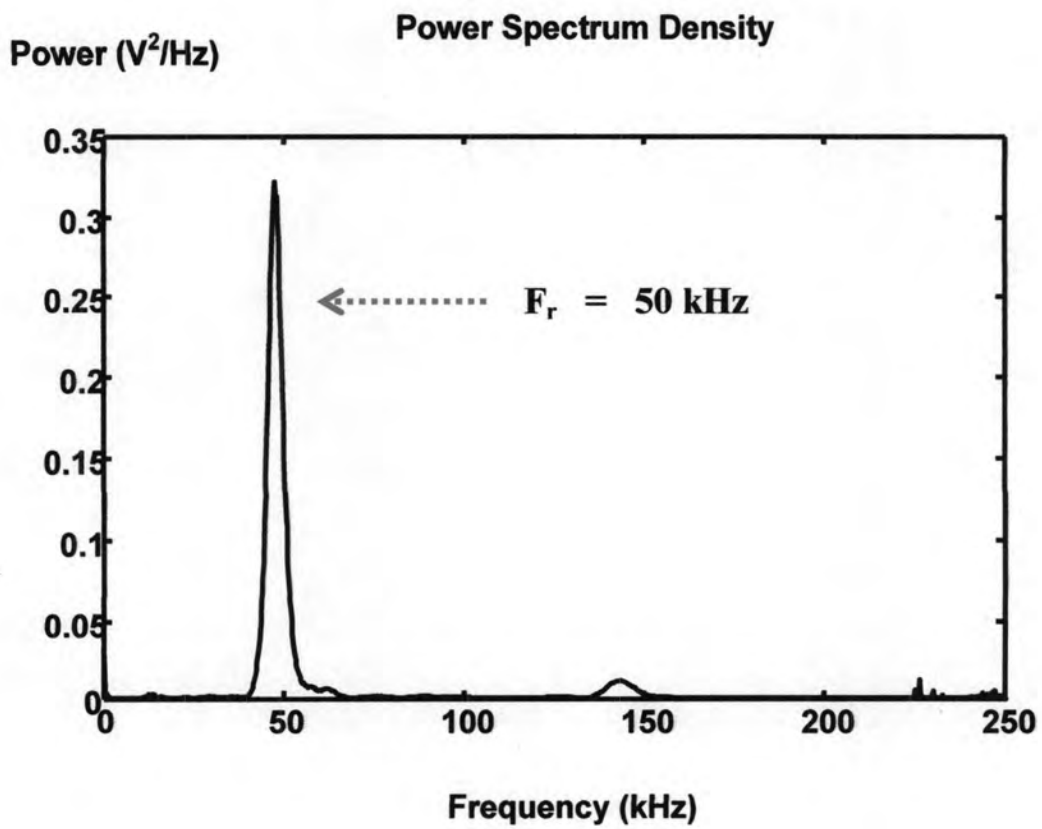
รูปที่ 5.8 ลักษณะสัญญาณคลื่นอะคูสติคที่ตรวจจับได้จากตัวตรวจจับ T4



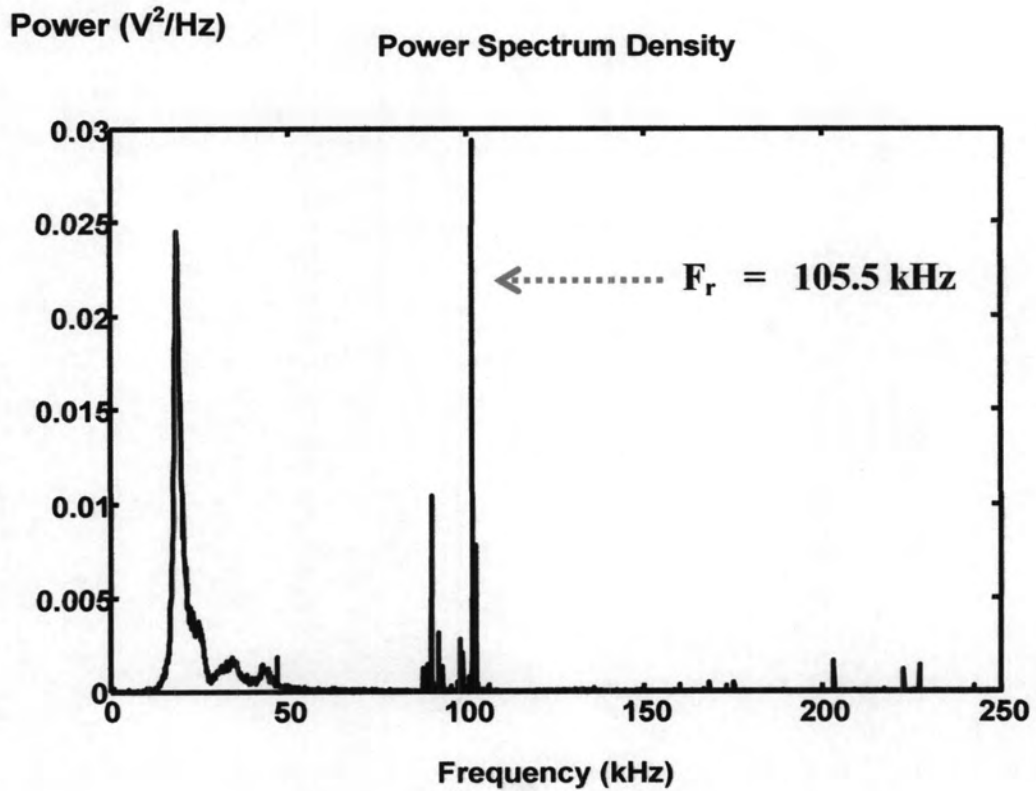
รูปที่ 5.9 ลักษณะสัญญาณคลื่นอะคูสติคที่ตรวจจับได้จากตัวตรวจจับ T5



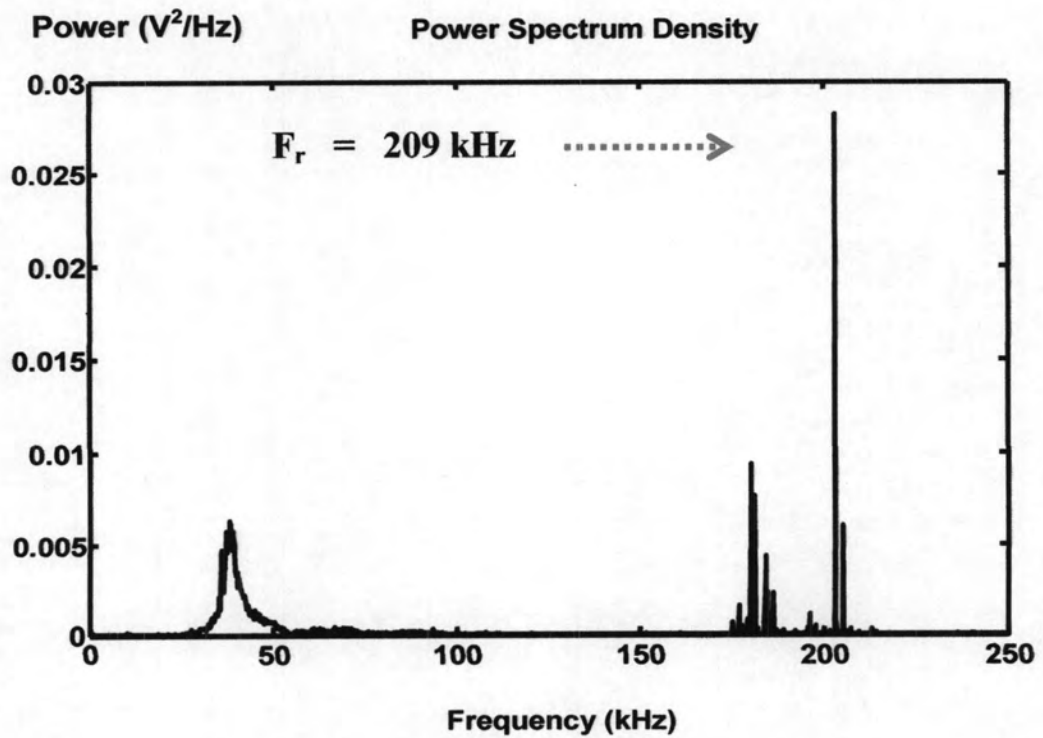
รูปที่ 5.10 ลักษณะสัญญาณคลื่นอะคูสติกที่ตรวจจับได้จากตัวตรวจจับ T6



รูปที่ 5.11 ค่าความถี่ต่อการตอบสนองของตัวตรวจจับ T4



รูปที่ 5.12 ค่าความถี่ต่อการตอบสนองของตัวตรวจจับ T5



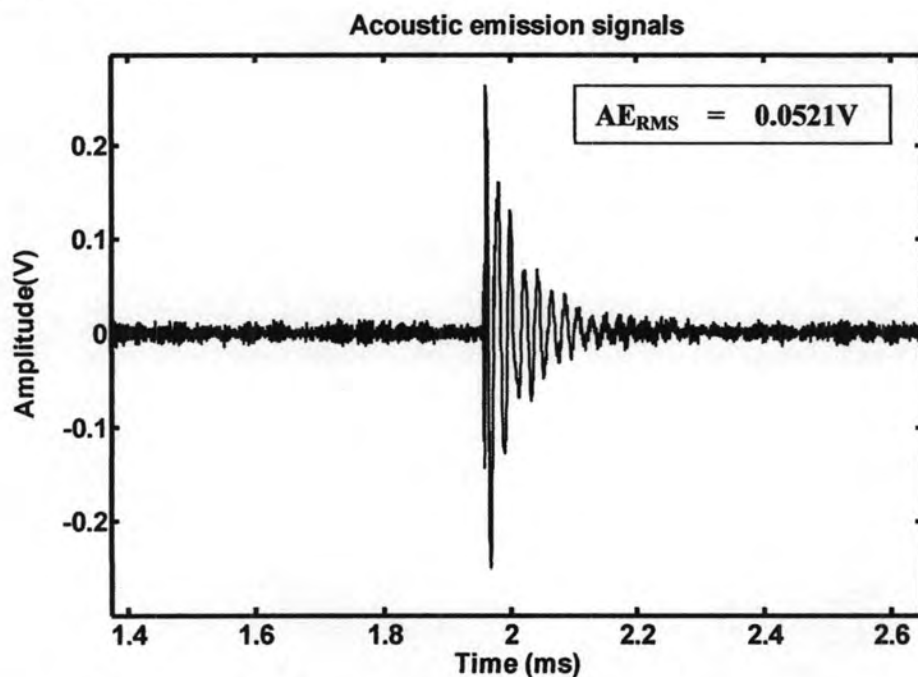
รูปที่ 5.13 ค่าความถี่ต่อการตอบสนองของตัวตรวจจับ T6

5.4 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาของสาร PZT กับค่าความถี่ต่อการตอบสนอง

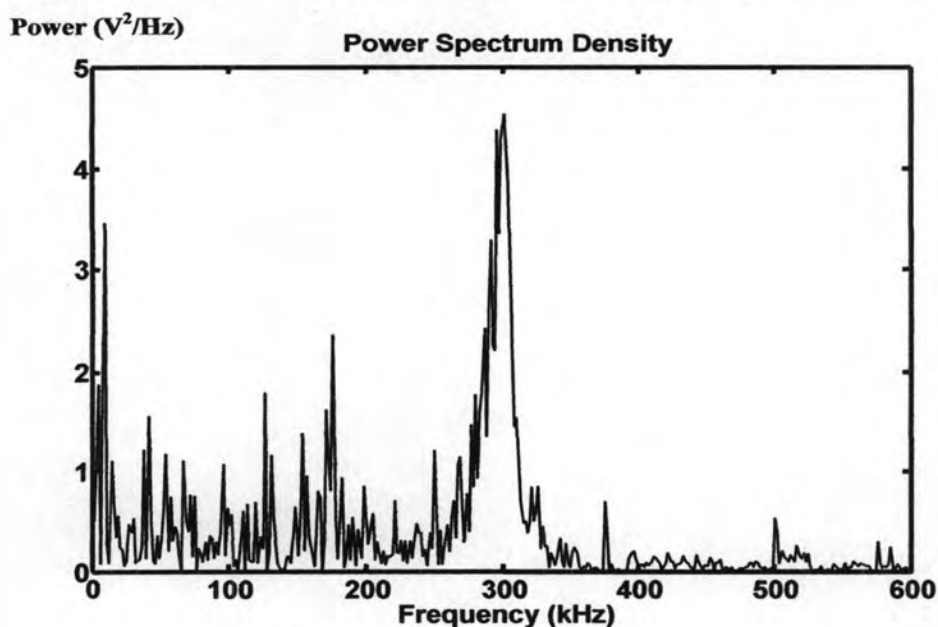
จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาสัญญาณที่ตรวจจับได้ทั้งในแกนเวลาและแกนความถี่จากตัวตรวจจับทั้งสามตัว เมื่อพิจารณาตัวตรวจจับตัวที่ T4 ซึ่งใช้สาร PZT ที่มีความหนา 1.0 mm. พบว่ามีค่าของความถี่ต่อการตอบสนองที่ประมาณ 50 kHz ดังรูปที่ 5.11 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวตรวจจับตัวที่ T5 ซึ่งใช้สาร PZT ที่มีความหนา 0.8 mm. ซึ่งมีค่าความถี่ต่อการตอบสนองที่ 105.5 kHz ดังรูปที่ 5.12 และเมื่อพิจารณาตัวตรวจจับตัวที่ T6 ซึ่งใช้สาร PZT ที่มีความหนา 0.5 mm มีค่าความถี่ต่อการตอบสนองที่ 209 kHz จะเห็นได้ว่าเมื่อสาร PZT ที่มีขนาดความหนาน้อยกว่ามาสร้างเป็นตัวตรวจจับ จะสามารถตรวจจับสัญญาณอะคูสติกในช่วงความถี่ต่อการตอบสนองที่สูงกว่า เช่นเดียวกับกับฟิล์ม PVDF และ เมื่อพิจารณาถึงค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงซึ่ง ตัวตรวจจับตัวที่ T4 และ T5 มีค่าอิมพีแดนซ์สูงกว่า พบว่าค่า AE_{RMS} ของสัญญาณที่ตรวจจับจากตัวตรวจจับแต่ละตัว มีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่เมื่อพิจารณาตัวตรวจจับตัวที่ T6 จะเห็นได้ว่า ค่า AE_{RMS} ของสัญญาณที่ตรวจจับได้มีค่าต่ำกว่าตัวตรวจจับอื่นๆ ซึ่งเป็นสาเหตุเดียวกันกับฟิล์ม PVDF กล่าวคือ ถ้าค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงของวัสดุทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ในการส่งผ่านของคลื่นมีค่าสูงด้วย ทำให้ตัวตรวจจับสามารถจับสัญญาณที่ส่งผ่านมาได้มากกว่า ผลก็คือค่า AE_{RMS} มีค่าสูงกว่าตัวตรวจจับตัวที่มีค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงที่ไม่ใกล้เคียงสาร PZT

5.5 ผลการทดสอบการทำงานของตัวตรวจจับจากบริษัท PAC

เมื่อนำตัวตรวจจับที่สั่งซื้อจากบริษัท PAC (Physical Acoustics Corporation) หมายเลข R15 ที่สร้างจากสาร PZT มาทำการตรวจจับสัญญาณอะคูสติกจากการหักได้ดินสอ เมื่อทำการแปลงสัญญาณจากแกนเวลาให้อยู่ในแกนความถี่ จากผลการทดลองพบว่า ค่าของความถี่ต่อการตอบสนองมีค่าเท่ากับ 300 kHz ซึ่งตรงกับข้อมูลที่ทางบริษัท PAC ระบุไว้ ผลของสัญญาณแสดงดังรูปที่ 5.14 และ 5.15



รูปที่ 5.14 ลักษณะสัญญาณคลื่นอะคูสติกที่ตรวจจับได้จากตัวตรวจจับ R15



รูปที่ 5.15 ค่าความถี่ต่อการตอบสนองของตัวตรวจจับ R15