บทที่ 8

การประดิษฐ์อุปกรณ์รับ-ส่งคลื่นเสียงจากแผ่นฟิล์ม PVDF และการประยุกต์

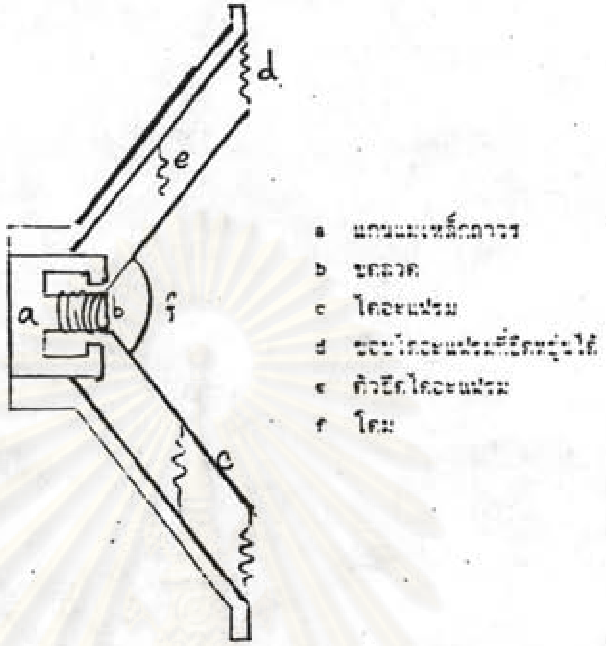
หลังจากที่ได้พัฒนาแผ่นฟิล์ม PVDF จนมีสมบัติเป็นสารพิซโซอิเลคตริก โดยผ่านขั้นตอนการยืด การอบ และการจัดขั้วแล้ว ได้ทดลองนำแผ่นฟิล์ม PVDF ที่ได้นี้มาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์รับ-ส่ง คลื่นเสียงคือ ลำโพง หูฟัง และไมโครโฟน โดยอาศัยหลักการอย่างง่ายๆ แต่สามารถใช้งานได้ดี รายละเอียดของอุปกรณ์แต่ละชนิดที่กล่าวมาแล้วมีดังต่อไปนี้

ลำโพง

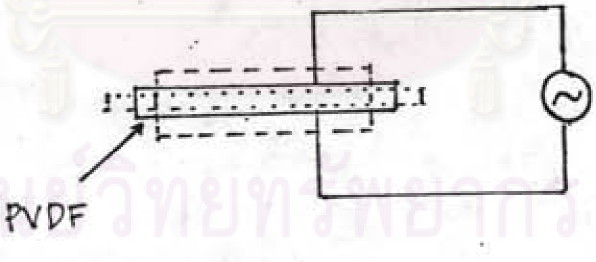
ลำโพงเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่ง ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นเสียง ลำโพงที่ใช้อยู่แพร่หลายในปัจจุบันเป็นลำโพงแบบขดลวดเคลื่อนที่ (moving-coil loudspeaker) ซึ่งประกอบด้วยขดลวดพันรอบกระดาษแข็งทรงกระบอกและมีแกนแท่งแม่เหล็กถาวร สอดอยู่ในแกนกลาง ที่ขดลวดจะมีกรวยกระดาษติดอยู่ ทำหน้าที่เป็นไดอะแฟรม เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นภายในขดลวด สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะตัดกับสนามแม่เหล็กของแกนแม่เหล็กถาวร ทำให้เกิดแรงดูดหรือแรงผลักต่อขดลวดนั้นขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดนั้น ถ้าหากกระแสไฟฟ้าในขดลวดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ก็จะทำให้ขดลวดสั่นตามแนวแกนกลาง กรวยกระดาษที่ติดอยู่กับขดลวดก็จะสั่นไปด้วย ทำให้เกิดการอัดหรือขยายของอากาศด้านหน้าลำโพงเกิดเป็นคลื่นเสียงได้ ลักษณะของลำโพงแบบขดลวดเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 8.1 [11]

จะเห็นว่าการเกิดคลื่นเสียงโดยลำโพงนั้น ต้องอาศัยการสั่นของไดอะแฟรมซึ่งสั่นเนื่องจากแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กดังกล่าว ดังนั้นลำโพงชนิดนี้จึงต้องมีส่วนประกอบหลายอย่าง เนื่องจากแผ่นไดอะแฟรมไม่สามารถสั่นด้วยตัวของมันเองได้ แต่สำหรับลำโพงจากแผ่นฟิล์ม PVDF นี้ ไม่ต้องอาศัยการสั่นของขดลวดแต่อย่างใด เนื่องจากตัวแผ่นฟิล์มเองทำหน้าที่เป็นไดอะแฟรมซึ่ง

สามารถสั่นด้วยตัวของมันเอง เมื่อได้รับสนามไฟฟ้าซึ่งก็อาศัยสภาพพิซโซอิเลคตริกของแผ่นฟิล์มนั่นเอง



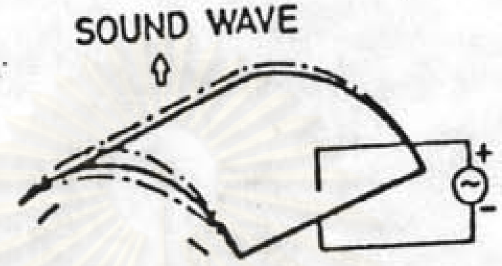
รูปที่ 8.1 แสดงส่วนประกอบของลำโพงแบบขดลวดเคลื่อนที่



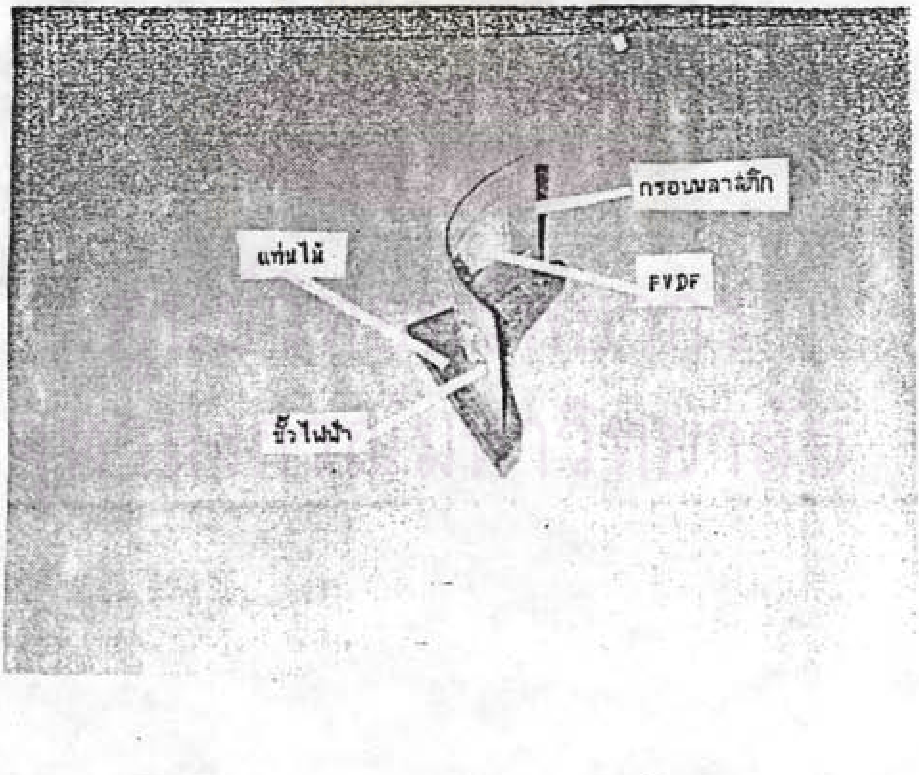
รูปที่ 8.2 แสดงการยืดหรือหดตัวของแผ่นฟิล์ม PVDF
เมื่อได้รับสนามไฟฟ้า

เมื่อแผ่นฟิล์ม PVDF ซึ่งมีสภาพพิซโซอิเลคตริกได้รับสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปมาจะทำให้เกิดการยืด หรือหดตัวของแผ่นฟิล์มทั้งด้านยาวและความหนาดังแสดงในรูปที่ 8.2 โดยอาศัยหลักการนี้สามารถนำมาประดิษฐ์เป็นลำโพง PVDF อย่างง่ายได้ ลักษณะของลำโพง PVDF ดังแสดงในรูปที่ 8.3

ลำโพงนี้แผ่นฟิล์ม PVDF ทำหน้าที่เป็นไดอะแฟรมซึ่งจะสั่นเมื่อได้รับสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง ความถี่ของการสั่นของแผ่นฟิล์ม PVDF นี้จะเท่ากับความถี่ของสนามไฟฟ้าที่ให้แก่แผ่นฟิล์ม ส่วนประกอบของลำโพงมีดังนี้



รูปที่ 8.3 แสดงลักษณะการสั่นของแผ่นฟิล์ม PVDF โค้ง



รูปที่ 8.4 แสดงลำโพง PVDF

การที่ทำแผ่นฟิล์มให้มีลักษณะโค้งนี้ จะทำให้แผ่นฟิล์มสั่นด้วยอัมปลิจูดที่สูงกว่าอัมปลิจูดการสั่นในแผ่นฟิล์มที่ขึงราบ ทั้งนี้เนื่องจากการที่ขึงแผ่นฟิล์มราบนั้นการสั่นของแผ่นฟิล์มจะขึ้นอยู่กับการยืด หรือหดตัวตามความหนาซึ่งเกี่ยวข้องกับค่า d_{33} เท่านั้น และเนื่องจากความหนาเริ่มต้นน้อย ทำให้การยืดหรือหดตามความหนาที่น้อยไปด้วย แต่สำหรับแผ่นฟิล์มโค้งนั้นค่า d_{31} จะมีผลต่อการสั่นของแผ่นฟิล์มมากกว่า d_{33} ลักษณะที่ตรึงแผ่นฟิล์มไว้นั้น จะทำให้แผ่นฟิล์มเกิดการกระพือหรือสั่นในแนวที่ตั้งฉากกับระนาบโค้งของแผ่นฟิล์ม เมื่อแผ่นฟิล์มเกิดการยืดหรือหดตามแนวยาว ดังจะเปรียบเทียบได้ดังนี้

ในการทำลำโพงนี้แผ่นฟิล์ม PVDF จะทำหน้าที่เป็นไดอะแฟรม การสั่นของแผ่นฟิล์มที่จะทำให้เกิดเสียงได้นั้น ต้องเป็นการสั่นในแนวตั้งฉากกับระนาบของแผ่นฟิล์ม ส่วนการสั่นในแนวเดียวกับระนาบของแผ่นฟิล์มนั้นจะไม่ทำให้เกิดคลื่นเสียงแต่อย่างใด ดังนั้นถ้าหากแผ่นฟิล์ม PVDF ถูกขึงราบดังรูปที่ 8.2 เมื่อแผ่นฟิล์ม PVDF ได้รับสนามไฟฟ้าทำให้ความหนาของแผ่นฟิล์ม PVDF เปลี่ยนไป หรือกล่าวได้ว่า เกิดความเครียดขึ้นในแผ่นฟิล์ม PVDF นั่นเองดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับสนามไฟฟ้าดังนี้

เมื่อ X = 0 ดังนั้นจะได้

$$S_3 = d_{33}E \tag{8.1}$$

หรือ $$dL/L = d_{33}E$$

$$dL = d_{33}V$$

เมื่อ dL คือ ระยะความหนาที่เปลี่ยนแปลง

L คือ ความหนาเดิมของแผ่นฟิล์ม

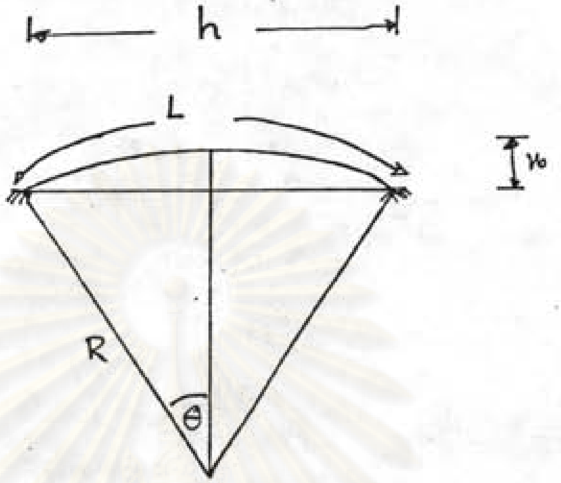
E คือ สนามไฟฟ้า

V คือ ศักดาไฟฟ้า

โดยการคำนวณอย่างคร่าวๆ สำหรับแผ่นฟิล์ม PVDF นี้มี L = 50 μm. $d_{33} = 30\times10^{-12}$ C/N และขนาดสนามไฟฟ้า E = 0.2 MV/m (V = 10 โวล์ท) ดังนั้นจะได้อัมปลิจูดการสั่นของลำโพง $dx = 3\times10^{-8}$ cm. ส่วนความเครียดตามแนวยาวนั้นไม่พิจารณาเพราะมีผลทำให้เกิดคลื่นเสียงน้อยมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังจะเห็นแล้วว่าถ้าหากสร้างลำโพง PVDF โดยให้แผ่นฟิล์ม PVDF ขึงราบนี้ จะมีอัมปลิจูดของการสั่นน้อยมากแต่ถ้าหากทำให้แผ่นฟิล์มมีลักษณะโค้งจะพบว่าอัมปลิจูดการสั่นจะมากกว่าวิธีแรกมาก ซึ่งพิสูจน์ได้ดังนี้



รูปที่ 8.6 แสดงลักษณะการโค้งของแผ่นฟิล์ม PVDF

จากรูปที่ 8.6 พิจารณาแผ่นฟิล์ม PVDF ยาว L ถูกทำให้โค้งโดยมีคอร์ดยาว h มีมุมที่รองรับส่วนโค้ง 2θ รัศมีความโค้ง R และมีความสูงของส่วนโค้ง x ดังนั้นจะได้

$$x = R - R\cos\theta$$

$$= L(1-\cos\theta)/2\theta \qquad (8.2)$$

เมื่อ $R = L/2\theta$ และ $L = h\theta/\sin\theta$ (8.3)

จากสมการที่ (8.2) จะได้

$$dx = \frac{(1-\cos\theta)dL}{2\theta} + \frac{L[(\theta\sin\theta - (1-\cos\theta)]d\theta}{2\theta^2} \qquad (8.4)$$

จากสมการที่ (8.3) จะหาอนุพันธ์ของ θ ได้

$$d\theta = \frac{\sin^2\theta \, dL}{h(\sin\theta - \theta\cos\theta)} \qquad (8.5)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แทนค่าสมการที่ (8.5) ลงในสมการที่ (8.4) แล้วแทนค่า $L\sin\theta$ เท่ากับ $h\theta$ ในที่สุดจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัมปลิจูดการสั่นของแผ่นฟิล์ม dx และการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นฟิล์ม dL ดังนี้

$$dx = \frac{x\theta dL}{L(\sin\theta - \cos\theta)} \qquad (8.6)$$

โดยที่ค่าของ θ หาได้จากการพล็อตกราฟระหว่าง θ กับ $\sin\theta / \theta$ แล้วหาจุดที่ทำให้ $\sin\theta / \theta$ มีค่าเท่ากับ h/L (จากสมการที่ (8.3) ก็ จะได้ค่า θ ตามต้องการ และนำไปหาค่า x ได้ จากสมการที่ (8.2)

จากการทดลองได้ลำโพง PVDF ที่มีขนาด L = 14.5 cm. และค่า h วัดได้ 12.6 cm. เมื่อคำนวณหาค่า θ และค่า x แล้วจะได้

$$\theta = 52 \text{ องศา}$$

$$x = 9 \times 10^{-6} \text{ cm.}$$

แทนค่า θ x และ L ลงในสมการที่ (8.6) ในที่สุดจะได้ความสัมพันธ์ของ dx และ dL สำหรับลำโพงที่ทำขึ้นนี้เป็น

$$dx = 0.84 \; dL \qquad (8.7)$$

ถ้าหากจะพิจารณาอย่างคร่าวๆว่าแผ่นฟิล์ม PVDF ที่ทำขึ้นนี้มีค่าคงตัวพิซโซอิเลคตริก d_{31} อยู่ในอันดับ 10^{-12} C/N ดังนั้นเราจะหาค่าของ dL อย่างคร่าวๆได้เป็น

$$dL = d_{31} EL \qquad (8.8)$$

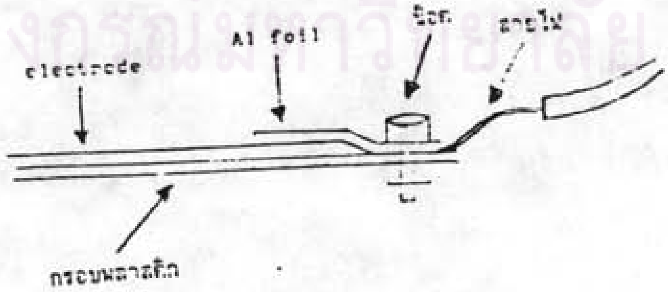
เมื่อให้ $d_{31} = 10^{-12}$ C/N , E = 0.2 MV/m และ $L = 14.5 \times 10^{-2}$ m แทนค่าในสมการที่ (8.8) จะได้

$$dL = 3\times10^{-8} \quad cm.$$

ดังนั้นจะได้อัมปลิจูดของการสั่นของแผ่นฟิล์มจากการแทนค่า dL ลงในสมการที่ (8.7) ดังนั้น

$$dx = 2.5 \times 10^{-8} \quad cm.$$

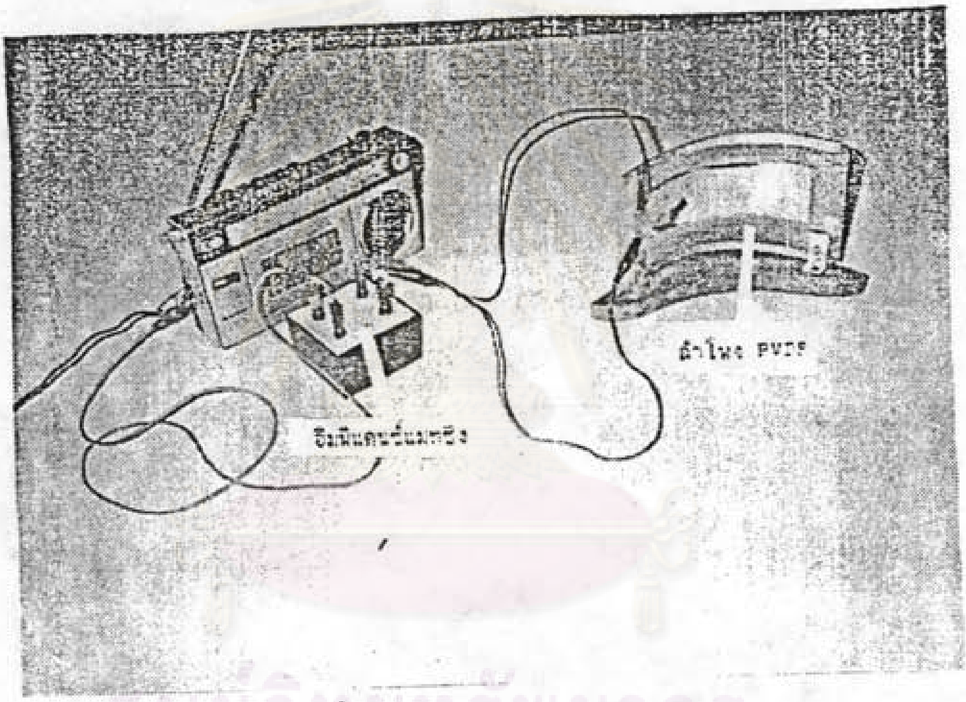
เปรียบเทียบกับอัมปลิจูดการสั่นของฟิล์ม PVDF ที่ขึงราบธรรมดาซึ่งได้ dx = 10^{-8} cm. จะเห็นว่าน้อยกว่าอัมปลิจูดการสั่นในแผ่นฟิล์ม PVDF ที่มีลักษณะโค้งมากถึง 100 เท่า ดังนั้นลำโพงที่ทำจากแผ่นฟิล์ม PVDF มีลักษณะโค้งนี้จะมีประสิทธิภาพดีกว่า ลักษณะของลำโพง PVDF ที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ดังแสดงในรูปที่ 8.4 ประกอบด้วย แผ่นพลาสติกแข็งดัดเป็นรูปโค้งตรงกลางแผ่นพลาสติกนี้เจาะช่องสี่เหลี่ยมขนาดเท่ากับแผ่นฟิล์ม PVDF ยึดแผ่นฟิล์ม PVDF (ที่มีขั้วไฟฟ้าต่อออกมาจากแผ่นฟิล์มแล้ว) ติดกับแผ่นพลาสติกโดยใช้เทปใสติดตรงมุมของแผ่นฟิล์ม 4 จุดเท่านั้นแล้วต่อสายไฟออกจากขั้วไฟฟ้าโดยใช้น็อตขันให้สายไฟฟ้ายึดติดอยู่กับขั้วไฟฟ้าอลูมิเนียมแผ่นบาง (ที่ต่อออกมาจากแผ่นฟิล์ม PVDF) ให้แน่นโดยยึดอยู่กับกรอบพลาสติกดังแสดงในรูปที่ 8.7 และ ในการใช้งานของลำโพงนี้ต้องมีการต่อวงจรเป็นพิเศษ เพื่อให้อิมพิแดนซ์ของลำโพงเหมาะสมกับอิมพิแดนซ์ ของเครื่องรับวิทยุซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 8.6 แสดงการต่อสายไฟฟ้าเข้ากับขั้วไฟฟ้าของแผ่นฟิล์ม PVDF

<u>การใช้งาน</u>

ลำโพง PVDF ที่ประดิษฐ์ขึ้นมีแอมพิแดนซ์สูงมาก ดังนั้นในการนำมาใช้งานนั้นต้องมีแอมพิแดนซ์แมทชิง (Impedance matching) เพื่อให้การส่งผ่านกำลังงานสูงสุด ซึ่งมีลักษณะเป็นหม้อแปลงไฟฟ้า ต่อเข้ากับลำโพง PVDF ก่อนที่จะต่อเข้ากับวิทยุนั้น ดังแสดงในรูปที่ 8.7

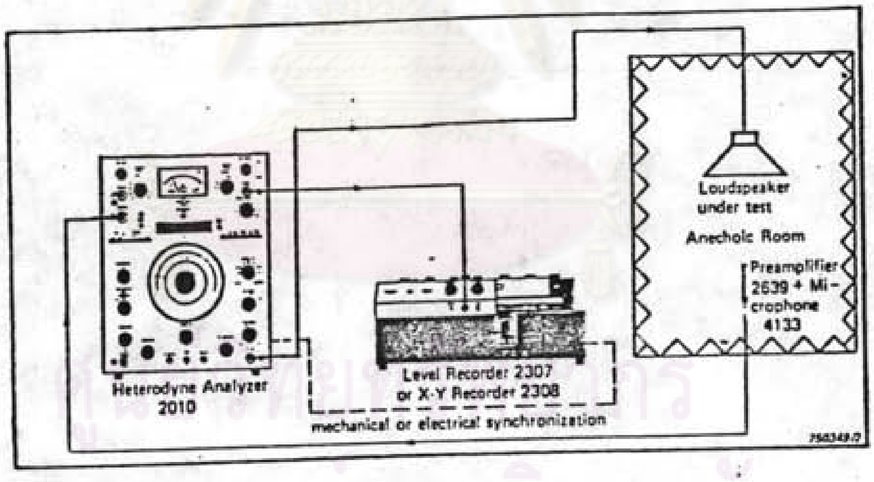


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 8.7 แสดงการต่ออิมพิแดนซ์แมทชิงเข้ากับ
ลำโพง PVDF

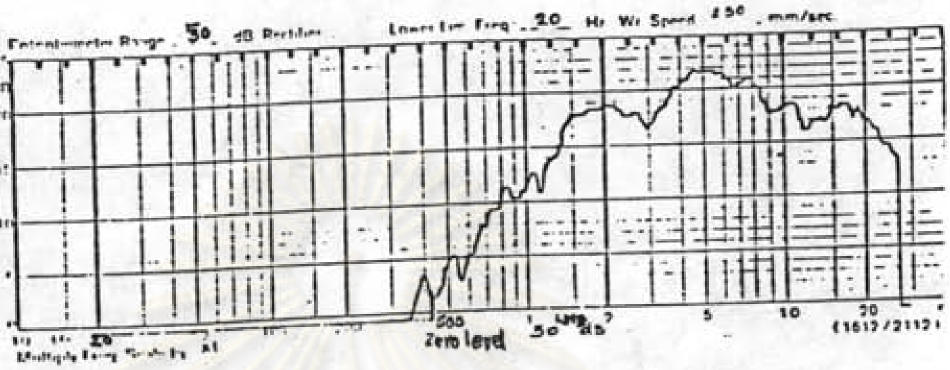
<u>ผลการวัดการตอบสนองความถี่ของลำโพง PVDF</u>

ได้ทำการวัดการตอบสนองความถี่ของลำโพง PVDF ด้วยเครื่องเอทเทอโรไดน์อนาไลเซอร์ (Heterodyne Analyzer) ซึ่งจะทำหน้าที่ป้อนสัญญาณความถี่ต่างๆตั้งแต่ 0-20,000 Hz ให้กับลำโพง PVDF ซึ่งอยู่ภายในห้องไร้เสียงสะท้อน (Anechoic room) และจะวัดระดับความเข้มเสียงที่ออกมาจากลำโพง PVDF ด้วยไมโครโฟนมาตรฐานจากนั้นสัญญาณไฟฟ้าจากไมโครโฟนจะเข้าไปยังเครื่องเอดเทอร์โรไดน์ เพื่อแปลงสัญญาณนั้นเป็นระดับความเข้มของเสียงซึ่งจะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกกราฟแบบ x-y (x-y recorder) ที่ต่อออกมาจากเครื่องเอดเทอร์โรไดน์ ดังแสดงในรูปที่ 8.8 ลักษณะของกราฟแสดงการตอบสนองความถี่ของลำโพง PVDF ที่วัดได้ดังแสดงในรูปที่ 8.9



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 8.8 แสดงการวัดการตอบสนองความถี่ของลำโพง PVDF



รูปที่ 8.9 กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ของลำโพง PVDF

จากรูปที่ 8.9 จะพบว่าลำโพง PVDF ที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ตอบสนองความถี่ตั้งแต่ 350 Hz ขึ้นไปและตอบสนองความถี่ได้ดีในช่วง 2,000-20,000 Hz ระดับความเข้มเสียงสูงสุด 75 เดซิเบล ที่ความถี่ 5,000 Hz โดยวัดที่ระยะ 50 cm. ห่างจากแนวกลางของลำโพงด้านที่เว้า สนามไฟฟ้าที่ให้แก่แผ่นฟิล์ม 0.2 MV/m. จากลักษณะของกราฟที่แสดงในรูปที่ 8.9 พบว่าการตอบสนองความถี่ของลำโพง PVDF นี้อยู่ในระดับดีพอสมควรและจากข้อมูลที่ได้นี้สามารถที่จะประมาณค่า d_{31} ของแผ่นฟิล์ม PVDF ที่สร้างขึ้นนี้ได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

จากข้อมูลในกราฟที่ 8.9 เราสามารถประมาณค่า d_{31} ได้ โดยการประมาณว่าอย่างน้อยที่สุดอัมปลิจูดการสั่นของลำโพง PVDF จะมีขนาดเท่ากับอัมปลิจูดการสั่นของอากาศที่ตำแหน่งที่วัดระดับความเข้มเสียง ในการวัดนี้ได้วัดระดับความเข้มเสียงของลำโพงที่ระยะ 50 cm. จากลำโพงดังนั้นจะหาขนาดของแอมปลิจูดการสั่นของอากาศ ที่ระยะนี้ได้จากสมการ

$$A = \frac{I}{2\pi^2 \rho_o v f^2}$$

เมื่อ A = อัมปลิจูดการสั่นของอากาศ

I = ความเข้มเสียง

ρ_o = ความหนาแน่นของอากาศ = 1.16 Kg/m^3

v = ความเร็วเสียงในอากาศ = 340 m/s

f = ความถี่ของเสียง

จากกราฟที่ 8.9 วัดระดับความเข้มเสียงได้ประมาณ 78 เดซิเบล ที่ความถี่ 2,000 Hz ดังนั้นจะหาค่าความเข้มเสียง I ได้จากสมการ

$$\beta = 10 \log I/I_o$$

เมื่อ β = ระดับความเข้มของเสียง

I = ความเข้มเสียง

I_o = ความเข้มเสียงมาตรฐาน = 10^{-12} W/m

แทนค่า $\beta = 78$ เดซิเบล และ $I_o = 10^{-12}$ W/m^2 ในสมการข้างต้นจะหาค่าความเข้มเสียง I ได้ $I = 6.31 \times 10^{-6}$ W/m^2 แทนค่าต่าง ๆลงในสมการเพื่อหาค่า A โดยให้ $P_o = 1.16$ Kg/m^3 , v = 340 m/s และ f = 2,000 Hz. จะได้

$$A = 4.50 \times 10^{-6} \text{ cm.}$$

ดังนั้นประมาณได้ว่าแผ่นฟิล์ม PVDF มีอัมปลิจูดการสั่นประมาณ 4.5×10^{-6} cm. ด้วย และจากสมการที่ (8.7) สามารถหาระยะยืดของแผ่นฟิล์มได้โดยให้ $dx = 4.5 \times 10^{-6}$ cm.

$$dl = dx / 0.84$$

$$dl = 5.36 \times 10^{-6} \text{ cm.}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และจากสมการที่ (8.8) จะได้ค่า d_{31} ของแผ่นฟิล์ม PVDF โดยประมาณได้

$$d_{31} = dL / EL$$

เมื่อ $dL = 5.36 \times 10^{-6}$ cm. , E = 0.2 MV/m L = 14.5 cm. ดังนั้นจะได้

$$d_{31} = 1.85 \times 10^{-12} \quad C/N$$

ค่า d_{31} ที่ได้นี้เป็นค่าประมาณที่น้อยที่สุดที่จะเป็นไปได้สำหรับแผ่นฟิล์ม PVDF ที่พัฒนาขึ้นซึ่งมีค่าอยู่ในอันดับของ 10^{-12} C/N เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์ม PVDF มาตรฐานทั่วไปก็มีค่า d_{31} อยู่ในอันดับ 10^{-12} C/N เช่นกัน ดังนั้นจึงนับได้ว่าแผ่นฟิล์ม PVDF ที่พัฒนาขึ้นนี้มีคุณภาพทัดเทียมกับฟิล์ม PVDF ที่ผลิตในต่างประเทศ

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า ลำโพงที่ทำจากแผ่นฟิล์ม PVDF นี้ ถ้าทำให้มีลักษณะโค้ง จะได้ลำโพงที่มีคุณภาพดีขึ้น และเมื่อพิจารณาจากการตอบสนองความถี่พบว่าลำโพงที่สามารถตอบสนองความถี่ได้ในช่วงความถี่ที่กว้างและตอบสนองความถี่ได้ดีในย่านความถี่กลาง และความถี่สูง ดังนั้นจึงเหมาะที่จะทำเป็นลำโพงสควอว์เกอร์ (Squawker) หรือลำโพงทวีทเตอร์ (Tweeter)

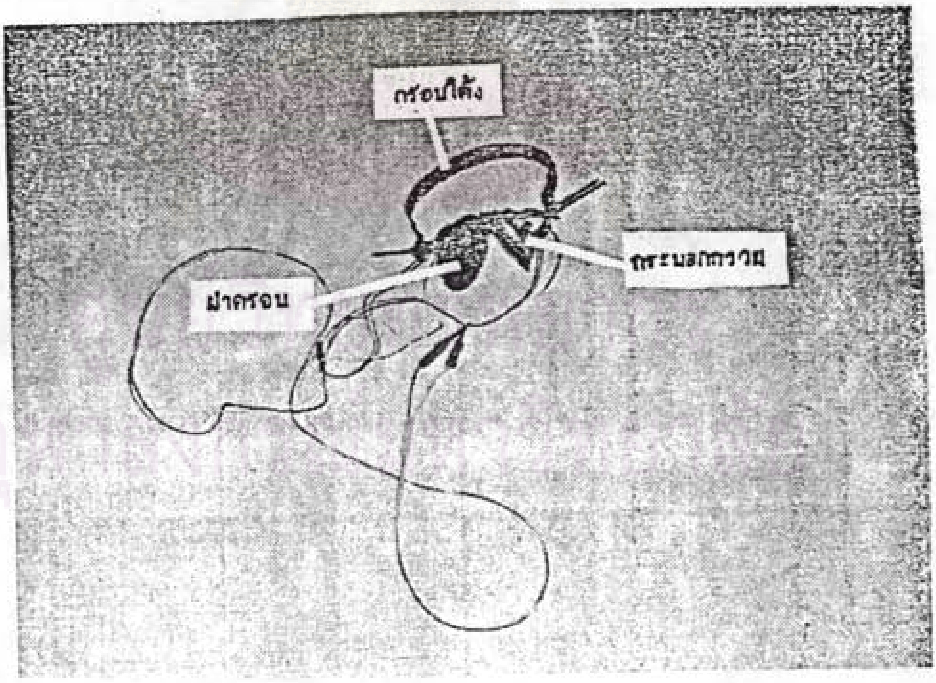
สิ่งประดิษฐ์ชิ้นต่อไปที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น คือ หูฟัง โดยได้ใช้หลักการอย่างเดียวกันกับลำโพงซึ่งรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไปนี้

<u>หูฟัง</u>

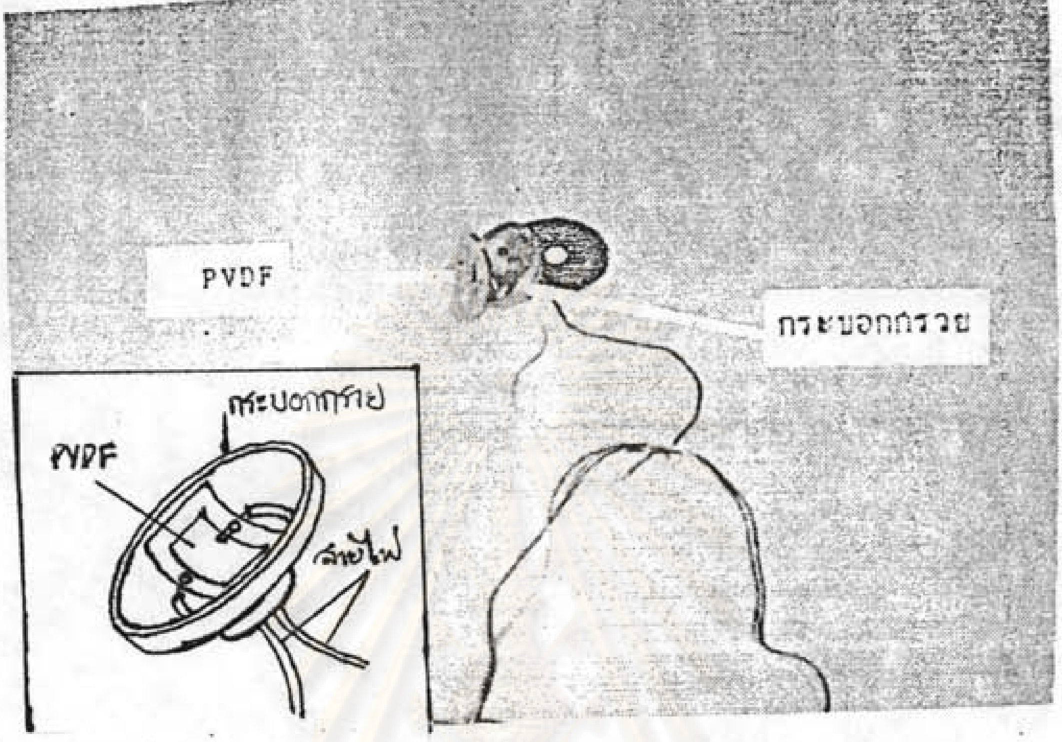
หูฟังคือลำโพงชนิดหนึ่งแต่มีขนาดเล็กกว่าลำโพงปกติ และใช้ฟังแนบกับหู สำหรับหูฟังที่ประดิษฐ์จากแผ่นฟิล์ม PVDF นี้ก็อาศัยหลักการอย่างเดียวกันกับลำโพง PVDF โดยทำแผ่นฟิล์ม PVDF ให้มีลักษณะโค้งเช่นเดียวกันกับลำโพง PVDF สิ่งที่แตกต่างจากลำโพง PVDF ก็คือ ส่วนประกาบภายนอกซึ่งไม่ใช่ส่วนที่ทำให้เกิดคลื่นเสียงแต่มีความจำเป็นสำหรับหูฟัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลักษณะของหูฟังที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ดังแสดงในรูปที่ 8.10 ประกอบด้วย กรอบโค้งซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นเล็กสปริงที่ปลายทั้งสองข้าง มีกล่องรูปกรวย 2 อัน สำหรับแนบติดกับหูทั้ง 2 ข้าง ภายในกรวยบรรจุด้วยแผ่นฟิล์ม PVDF ที่ยึดอยู่กับกรอบพลาสติกโค้ง แผ่นฟิล์ม PVDF นี้ มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 3x2.5 cm^2 ทำให้โค้งด้วยการติดตรึงกับแผ่นพลาสติกซึ่งโค้ง หันด้านเว้าออกมาทางด้านหน้าของกระบอกกรวย ลักษณะของการต่อขั้วไฟฟ้าและสายไฟเหมือนกันกับลำโพงดังแสดงในรูปที่ 8.11 สายไฟที่ต่อออกมาจากแผ่นฟิล์ม PVDF ทั้งสองจะต่อกันอย่างขนาน และต่อเข้ากับปลั๊กเสียบใช้เป็นหูฟังได้ทันที โดยมีอิมพิแดนซ์แมทชิงเช่นเดียวกันกับลำโพง ซึ่งจากการทดสอบประสิทธิภาพของหูฟังโดยการฟังโดยตรง พบว่าหูฟังจะมีการตอบสนองความถี่ ในย่านความถี่สูงได้ดี และมีข้อเสียคือ เสียงจากหูฟังทั้งสองข้างดังไม่เท่ากัน เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการผลิตแผ่นฟิล์ม PVDF ให้มีลักษณะเหมือนกันได้ อย่างไรก็ดี ถือได้ว่าหูฟังที่ทำจากแผ่นฟิล์มPVDF นี้ สามารถนำไปใช้งานได้จริงๆ



รูปที่ 8.10 แสดงลักษณะของหูฟัง

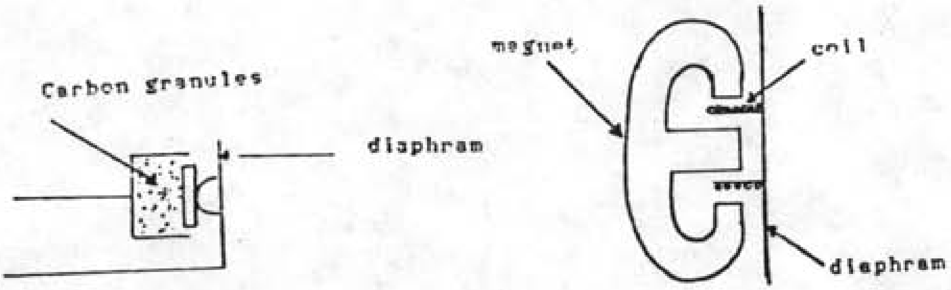


รูปที่ 8.11 แสดงส่วนประกอบภายในกระบอกกรวย

<u>ไมโครโฟน</u>

ไมโครโฟนเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนจากคลื่นเสียง เป็นสัญญาณไฟฟ้า ไมโครโฟนที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิดเช่น ไมโครโฟนแบบ ไดนามิก แบบผลึก และคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน เป็นต้น ลักษณะของไมโครโฟนแต่ละชนิดดังแสดงในรูปที่ 8.8 ซึ่งแต่ละแบบมีหลักการที่แตกต่างกันไป

ไมโครโฟนแบบคาร์บอน ประกอบด้วยไดอะแฟรม ติดอยู่กับถ้วยที่บรรจุผงคาร์บอนภายใน เมื่อมีคลื่นเสียงมากระทบที่ไดอะแฟรมทำให้ไดอะแฟรมสั่น และผงคาร์บอนก็จะสั่นด้วย มีผลให้ความต้านทานระหว่างถ้วยที่บรรจุผงคาร์บอนกับไดอะแฟรมเปลี่ยนแปลง ทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจรเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นคลื่นเสียงจึงสามารถเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ ดังกล่าวข้างต้น ไมโครโฟนชนิดนี้ต้องมีแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายกระแสให้แก่วงจรด้วย



รูปที่ 8.12 แสดงไมโครโฟน
1) แบบคาร์บอน
2) แบบไดนามิก

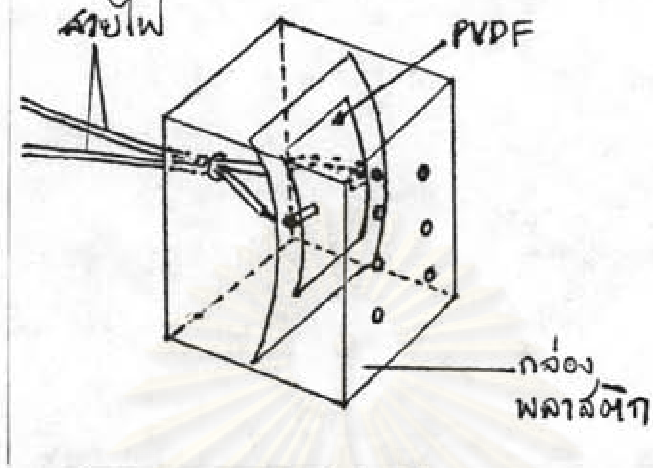
ส่วนไมโครโฟนแบบไดนามิก มีลักษณะการทำงานที่ตรงกันข้ามกับลำโพงแบบขดลวดเคลื่อนที่ประกอบไปด้วย ไดอะแฟรมที่ติดอยู่กับขดลวดที่พันอยู่รอบแกนแม่เหล็กถาวร เมื่อคลื่นเสียงกระทบไดอะแฟรมจะทำให้ขดลวดเกิดการสั่นตัดสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดซึ่งสัญญาณที่ได้รับ เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการเปลี่ยนแปลง จากคลื่นเสียงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ส่วนไมโครโฟนแบบผลึกนั้นอาศัยหลักการของพิซโซอิเลคตริก โดยต่อผลึกพิซโซอิเลคตริกกับไดอะแฟรม เมื่อไดอะแฟรมสั่นผลึกก็จะสั่นด้วย ทำให้มีสัญญาณไฟฟ้าออกมาจากขั้วไฟฟ้าทั้งสองของผลึกนั้น ผลึกพิซโซอิเลคตริกที่นำมาใช้ในไมโครโฟนนี้มีหลายชนิด เช่น เกลือรอคเซล อลูมิเนียมดิไฮโดรเจนฟอตเฟต และผลึกควอตซ์ เป็นต้น

สำหรับไมโครโฟนที่ทำจาก PVDF นี้ อาศัยสมบัติพิซโซอิเลคตริกที่ว่า เมื่อแผ่นฟิล์ม PVDF ได้รับความเครียด หรือเกิดการสั่นสะเทือน จะเกิดสนามไฟฟ้าภายในฟิล์ม ทำให้มีความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ด้านของแผ่นฟิล์ม ดังได้กล่าวมาแล้วในบทต้น ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลักษณะของไมโครโฟน PVDF นี้ ดังแสดงในรูปที่ 8.13 ประกอบด้วย แผ่นฟิล์ม PVDF รูปสี่เหลี่ยมขนาด 2 x 3 cm^2 ฉาบแผ่นขั้วไฟฟ้าและต่อสายไฟฟ้าออกมาจากแผ่นขั้วไฟฟ้าแล้ว (ลักษณะการต่อสายไฟฟ้าเช่นเดียวกันกับลำโพง ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 7) แผ่นฟิล์มนี้ติดอยู่กับกรอบพลาสติก ดัดให้โค้งเล็กน้อยเพื่อให้มีการรับการสั่นสะเทือนมากขึ้น และPVDF นี้บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกทรงสี่เหลี่ยมขนาด 5 x 5 x 5 cm^3 ฝากล่องด้านบนเจาะรูใน

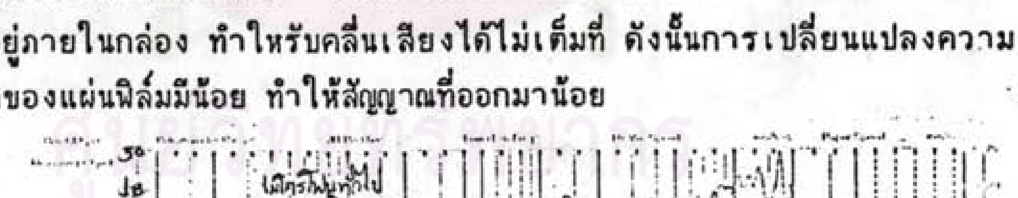
ลักษณะเป็นตะแกรง สายไฟที่ต่อออกมาจากลำโพงนี้ต่อเข้ากับเครื่องขยายเสียงได้เลย โดยไม่ต้องมีปรีแอมป์ (เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าที่ออกมานั้นอยู่ในช่วง 2-10 mV.)



รูปที่ 8.13 แสดงไมโครโฟน PVDF

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการทดสอบการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน PVDF นี้ เปรียบเทียบกับไมโครโฟนทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาด (เป็นไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์ ซึ่งมีปรีแอมป์อยู่แล้ว) ได้กราฟดังรูปที่ 8.14 จะเห็นว่าไมโครโฟน PVDF ตอบสนองความถี่ได้ดีในช่วง 1 - 5 KHz. และการตอบสนองไม่ค่อยสม่ำเสมอตลอดช่วง เมื่อเทียบกับไมโครโฟนทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น แผ่นฟิล์มPVDF เมื่อดัดโค้งแล้วจะไม่ค่อยเรียบ ทำให้การสั่นของแผ่นฟิล์มเมื่อได้รับคลื่นเสียง ไม่สม่ำเสมอ นอกจากนั้น การที่แผ่นฟิล์ม PVDF บรรจุอยู่ภายในกล่อง ทำให้รับคลื่นเสียงได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความเครียดของแผ่นฟิล์มมีน้อย ทำให้สัญญาณที่ออกมาน้อย



รูปที่ 8.14 กราฟแสดงการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟน PVDF เปรียบเทียบกับไมโครโฟนทั่วไป

ไมโครโฟนที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ ใช้งานได้ในช่วงความถี่ที่แคบเกินไป และสัญญาณไฟฟ้าที่ได้น้อยเกินไป ยังไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน แต่อย่างไรก็ดี จากการทดลองนี้แสดงว่า สามารถสร้างไมโครโฟนจากแผ่นฟิล์ม PVDF ได้ และสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพให้ดีขึ้นต่อไป

<u>สรุปและข้อเสนอแนะ</u>

จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่า สามารถพัฒนาแผ่นฟิล์ม PVDF ให้มีสภาพพิซโซอิเลคตริกได้ ด้วยวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก และใช้ได้กับเครื่องมือที่มีอยู่ โดยมีขั้นตอนอยู่ 3 ขั้นตอน คือ

<u>ขั้นตอนที่</u> 1 ทำการยืดแผ่นฟิล์ม PVDF ในแนวเดียว อัตราส่วนการยืดเท่ากับ 3.5 เท่า โดยยืดในน้ำร้อน 80 °c เพื่อไม่ให้ฟิล์มฉีกขาด หรือเสียหาย เมื่อยืดแล้วจะทำให้ลักษณะโครงสร้างของผลึก PVDF เปลี่ยนเป็นผลึกแบบมีขั้ว และแผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่นมากขึ้น

<u>ขั้นตอนที่</u> 2 นำแผ่นฟิล์มที่ยืดแล้ว ไปทำการอบที่อุณหภูมิประมาณ 150 °c เป็นเวลา 3 นาที ในขณะที่ยังถูกตรึงอยู่กับเครื่องยืด เพื่อทำให้แผ่นฟิล์มคลายตัว และทำให้สภาพความเครียดเฉพาะแห่งลดลง

<u>ขั้นตอนที่</u> 3 นำแผ่นฟิล์มที่ผ่านการยืดและอบแล้วนี้ ไปจัดขั้วด้วยสนามไฟฟ้าขนาดประมาณ 30-40 MV/m โดยต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้าของ PVDF ซึ่งทำด้วยอลูมิเนียมแผ่นบางประกบทั้งสองด้านของแผ่นฟิล์ม การจัดขั้วนี้กระทำ ณ อุณหภูมิห้อง และต้องให้สนามไฟฟ้า 3 ครั้งสลับขั้วกัน โดยแต่ละครั้งที่ให้สนามไฟฟ้า ใช้เวลาประมาณ 3 นาที และก่อนที่จะสลับขั้วไฟฟ้าแต่ละครั้งต้องลัดวงจรระหว่างขั้วไฟฟ้า เพื่อไม่ให้มีประจุไฟฟ้าตกค้างอยู่บนขั้วไฟฟ้า การจัดขั้วนี้เพื่อให้โมเมนต์ขั้วคู่จัดเรียงไปในทิศเดียวกันให้มากที่สุด แผ่นฟิล์มที่ผ่านการจัดขั้วจะมีสภาพพิซโซอิเลคตริกเพิ่มขึ้น

ในการจัดขั้วนี้ได้ทดลองให้สนามไฟฟ้า 4-5 ครั้งสลับขั้วกัน พบว่าได้ผลใกล้เคียงกันกับการให้สนามไฟฟ้า 3 ครั้ง อย่างไรก็ดี แผ่นฟิล์มที่ผ่านการจัดขั้วแล้วนี้ ไม่สามารถที่จะวัดได้ว่ามีสภาพพิซโซอิเลคตริกมากน้อยเพียงไร เนื่องจากยังไม่มีเครื่องมือวัดสภาพพิซโซอิเลคตริก แต่อาจใช้วิธีทดสอบอย่าง

คร่าวๆได้ โดยการนำแผ่นฟิล์มที่ได้นี้ไปฉาบขั้วไฟฟ้าแล้วนำแผ่นฟิล์มนี้ไปวัดสัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อฟิล์มถูกดึง ถ้ามีความต่างศักย์เกิดขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง แสดงว่าแผ่นฟิล์มมีสภาพพิซโซอิเลคตริก แต่ถ้าไม่มีความต่างศักย์เกิดขึ้น หรือความต่างศักย์น้อยมาก ต้องนำไปจัดขั้วใหม่อีกครั้ง แต่การจัดขั้วครั้งใหม่นี้แผ่นฟิล์มมีโอกาสที่จะทะลุเสียหายได้ง่าย เนื่องจากมีขั้วไฟฟ้าฉาบติดอยู่ที่แผ่นฟิล์มแล้ว ทำให้ประจุไฟฟ้าทะลุผ่านแผ่นฟิล์มได้ง่าย ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุดก็คือควรจะมีเครื่องมือวัดสภาพพิซโซอิเลคตริกของแผ่นฟิล์มโดยที่ไม่ต้องฉาบขั้วไฟฟ้าก่อน ซึ่งจะต้องวิจัยกันต่อไป

แผ่นฟิล์ม PVDF ที่ได้พัฒนาให้มีสภาพพิซโซอิเลคตริกนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นทรานสดิวเซอร์สำหรับคลื่นเสียงได้ ในการทดลองนี้ได้นำ PVDF มาประดิษฐ์เป็น ลำโพง หูฟัง และไมโครโฟน มีรายละเอียดดังนี้

<u>ลำโพง</u> ได้ทดลองสร้างลำโพง PVDF โดยขึงแผ่นฟิล์มอยู่กับกรอบพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมโค้ง โดยยึดติดเฉพาะตรงมุมทั้งสี่ ของแผ่นฟิล์ม เพื่อให้แผ่นฟิล์มสั่นได้อย่างอิสระ ในการนำลำโพงนี้ไปใช้งาน ต้องต่อลำโพงเข้ากับอิมพิแดนซ์แมทชิง ก่อนที่จะต่อเข้ากับวิทยุ พบว่าลำโพง PVDF นี้ตอบสนองความถี่ในช่วง 1,000 Hz. ขึ้นไป อย่างไรก็ดีลำโพงที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ยังมีข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไขอยู่หลายอย่าง เพื่อให้ลำโพงมีประสิทธิภาพดีขึ้น ควรที่จะทำการวิจัยกันต่อไป ข้อแก้ไขต่างๆ เช่น

1. ในการทำให้แผ่นฟิล์มโค้งนั้น ในการทดลองนี้ ไม่ได้ทดสอบโดยละเอียดว่าความโค้งเท่าไรดีที่สุด อาศัยเพียงการทดลองฟังเสียงที่ความโค้งต่างๆ จนกระทั่งได้ยินเสียงชัดเจนที่สุด เท่านั้น

2. การต่ออิมพิแดนซ์แมทชิงนั้น ใช้หม้อแปลงธรรมดา ซึ่งการตอบสนองในช่วงความถี่ต่างๆอาจไม่ดีนัก ทำให้การตอบสนองความถี่ของลำโพงไม่ดีด้วย ควรใช้หม้อแปลงที่มีการตอบสนองความถี่สม่ำเสมอทุกช่วงความถี่จะดีกว่า

3. <u>หูฟัง</u> อาศัยหลักการอย่างเดียวกันกับลำโพง มีลักษณะเช่นเดียวกันกับลำโพงแต่มีขนาดเล็กพอที่จะบรรจุลงไปในกระบอกกรวยของหูฟังได้ หูฟังที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้มีข้อบกพร่อง คือ ทั้งสองข้างของหูฟังอาจให้เสียงดังไม่เท่ากัน เนื่องจากแผ่นฟิล์ม PVDF ของหูฟังแต่ละข้างมีสภาพพิซโซอิเลคตริกแตกต่างกัน

เล็กน้อย ดังนั้นจึงควรจะต้องมีการพัฒนาเพื่อควบคุมสภาพพิซโซอิเลคตริกของ PVDF เพื่อใช้ในงานนี้

ไมโครโฟน ไมโครโฟนที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อ PVDF สั่น เกิดการเปลี่ยนแปลงความเครียด จะทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองของ PVDF จากหลักการนี้ได้ประดิษฐ์ไมโครโฟน โดยการทำแผ่นฟิล์มให้โค้งเช่นเดียวกันกับหูฟัง แต่ไมโครโฟนนี้บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติก จากการทดสอบการตอบสนองความถี่ของไมโครโฟนนี้ พบว่าการตอบสนองความถี่ไม่สม่ำเสมอ และตอบสนองในช่วง 1,000 Hz. ขึ้นไป ไมโครโฟนที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ยังไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน ต้องพัฒนาให้มีประสิทธิภาพให้ดีขึ้นต่อไป

งานวิทยานิพนธ์นี้ ถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มแรกของการวิจัยเกี่ยวกับสารโพลิเมอร์พิซโซอิเลคตริก ควรจะมีการวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้อย่างต่อเนื่องต่อไป และมีข้อเสนอแนะบางประการสำหรับแนวทางการวิจัยในขั้นต่อไปดังนี้

1. การสร้างเครื่องมือวัดสภาพพิซโซอิเลคตริกของแผ่นฟิล์ม ซึ่งจะต้องมีเครื่องมือที่ควบคุมความตึงของแผ่นฟิล์ม และอุณหภูมิขณะทดลองได้ นอกจากนั้นยังต้องมีเครื่องมือที่วัดประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อแผ่นฟิล์มได้รับความเค้น เครื่องมือวัดสภาพพิซโซอิเลคตริกนี้จะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการตรวจสอบสภาพพิซโซอิเลคตริกของ PVDF เพื่อที่จะได้นำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม

2. ในการพัฒนาไมโครโฟนนั้น ควรคำนึงถึงหลักการของกำทอนด้วย เพื่อที่จะให้แผ่นฟิล์มสั่นด้วยอัมพนสูงสุด จะทำให้สัญญาณไฟฟ้าที่ได้สูงขึ้น

3. การนำแผ่นฟิล์ม PVDF ไปประยุกต์ใช้ในเครื่องช่วยฟัง ซึ่งน่าจะให้ผลดี เนื่องจากแผ่นฟิล์ม PVDF ตอบสนองในช่วงความถี่ย่านกลางๆ ได้ดี

จะเห็นได้ว่าในการพัฒนาแผ่นฟิล์ม PVDF ให้มีสภาพพิซโซอิเลคตริก การประยุกต์ใช้นี้ สามารถทำได้โดยอาศัยหลักการอย่างง่ายๆ ใช้เครื่องมือที่หาได้ในประเทศ และยังพัฒนาต่อไปได้อีกมาก ดังนั้นจึงควรมีการวิจัยพัฒนากันต่อไปอย่างต่อเนื่อง