บทที่ 4

วิธีการทดลองและผลการทดลองของเครื่องตรวจจับปรากฏการณ์ดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์

เครื่องตรวจจับปรากฏการณ์ดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่ออกแบบสร้างนี้ ในขั้นแรกได้ทำการทดลองวัดความเร็วของน้ำผสมสีที่ไหลในท่อ ความเร็วของน้ำที่ไหลสามารถปรับได้โดยปรับความเร็วของมอเตอร์ปั๊มน้ำ ความเร็วของน้ำที่ไหลวัดได้จากปริมาตรของการไหล (Q) ต่อหน่วยของเวลา (t) และนำมาคำนวณโดยสมการ (4.1)

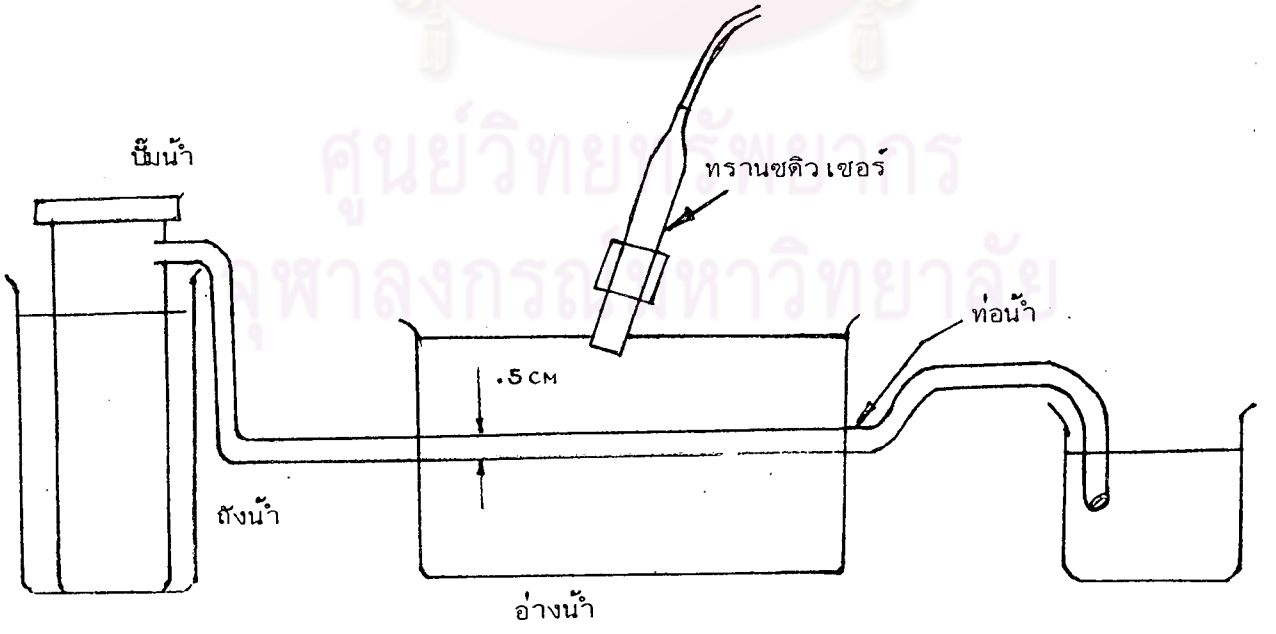
$$V = \frac{Q}{A} \quad cm/sec \quad \ldots\ldots(4.1)$$

A = พื้นที่หน้าตัดภายในของท่อ cm^2

Q = ปริมาตรของการไหล cm^3/S

V = ความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อ cm/S

พื้นที่หน้าตัด A สามารถวัดได้จากเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อที่ใช้ ในการทดลองครั้งนี้เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่ใช้เท่ากับ .5 ซ.ม. รูปที่ใช้ทดลองดังแสดงในภาพ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพของชุดทดลองสำหรับวัดความเร็วของน้ำในท่อ

4.1 การทดลองและวัดผลของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

จากสมการ (2.11) ในบทที่ 2

$$\Delta f = \frac{2\,Vfo\,\cos\theta}{C}$$

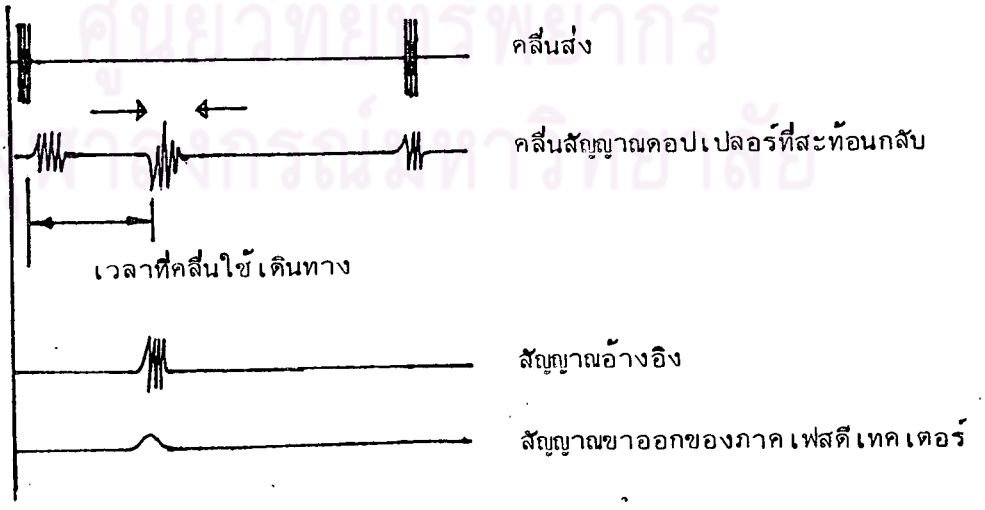
จะเห็นว่าค่าของความต่างความถี่ Δf เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อ และมุม (θ) ของลำคลื่นเสียงที่ทำกับท่อ ด้วยเหตุนี้เราสามารถพิสูจน์การทำงานของเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่ออกแบบสร้างได้ 2 วิธีคือ

1) เปลี่ยนค่าความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อ โดยให้มุมคงที่และวัดแรงดันขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์

2) เปลี่ยนค่าของมุมระหว่างลำคลื่นส่งที่ทำกับท่อ โดยให้ความเร็วคงที่และวัดแรงดันขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์

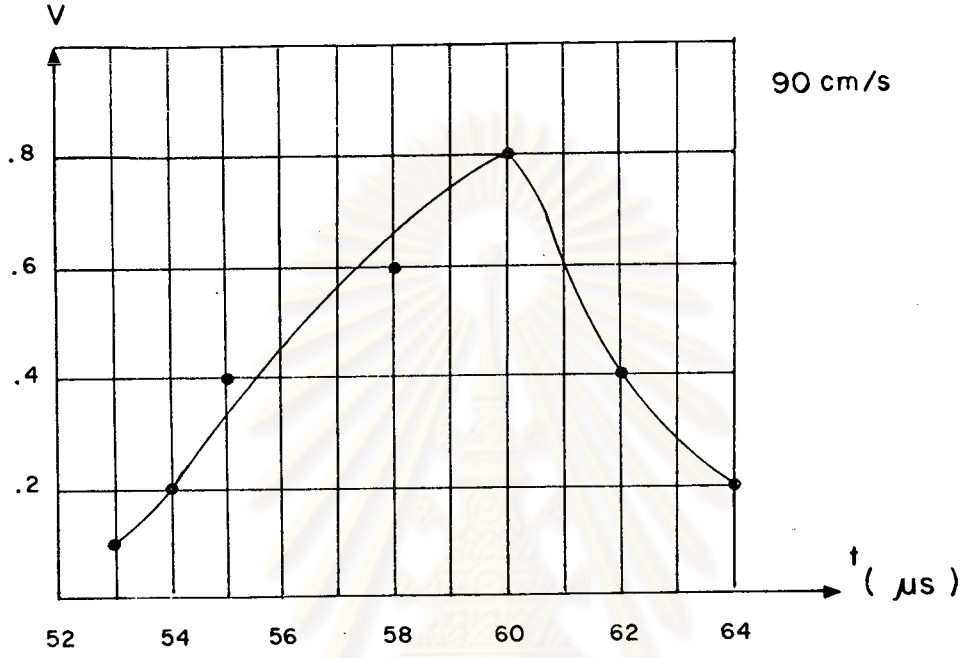
4.1.1 การทดลองวัดแรงดันขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์เทียบกับความเร็วของน้ำเมื่อมุมของลำคลื่นส่งกับท่อคงที่

การทดลองนี้เพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงดันขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์กับความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อโดยการตั้งมุมยิงคลื่นของทรานซดิวเซอร์กับท่อให้คงที่ เท่ากับ 60° และปรับเวลาของสัญญาณอ้างอิงไปตามจุดเวลาต่าง ๆ ภายในช่วงเวลาของสัญญาณดอปเปลอร์ที่สะท้อนกลับมาจะทำให้ได้แรงดันขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์ ณ ที่จุดเวลาต่าง ๆ รูปคลื่นของสัญญาณดังรูป 4.1.1



รูปที่ 4.1.1 แสดงสัญญาณขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์ที่วัดได้เมื่อเกิดการไหลของน้ำในท่อ

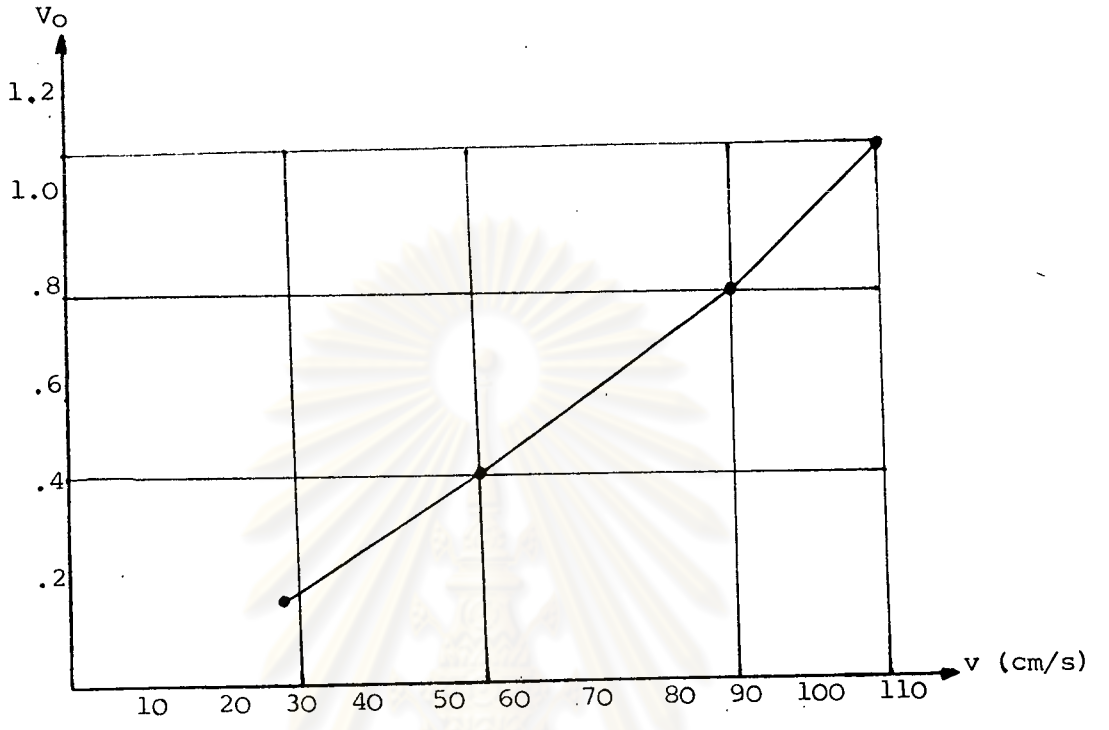
จากรูปที่ 4.1.1 เมื่อปรับสัญญาณอ้างอิงไปตามเวลาต่าง ๆ เกิดสัญญาณดอปเปลอร์จากช่วง 52 ถึง 64 ไมโครวินาที และวัดแรงดันขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์ที่เกิดขึ้นตามเวลาต่าง ๆ นั้นจะได้แรงดันขาออกต่าง ๆ กัน ผลของการทดลองที่ได้ดังรูป 4.1.2



รูปที่ 4.1.2 ภาพแสดงแรงดันขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์ที่เกิดขึ้น เมื่อปรับเวลาของสัญญาณอ้างอิงเฟสตามเวลาต่าง ๆ ของสัญญาณดอปเปลอร์ที่สะท้อนกลับมา

จากการทดลองดังกล่าวข้างบนได้จากการไหลของปริมาตรเท่ากับ 22 $ml/_{sec}$ คิดเป็นความเร็วได้ประมาณ 90 $cm/_{sec}$

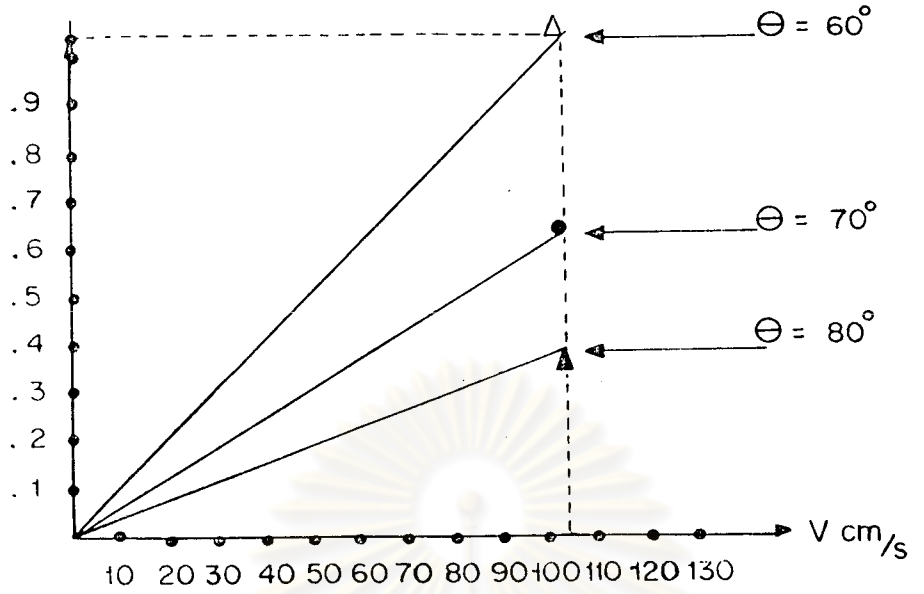
และจากการที่เราทราบแล้วว่าแรงดันขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเร็วของน้ำที่ไหล ดังนั้นจึงทดลองปรับความเร็วของน้ำที่ไหลเป็นค่าอื่น และวัดแรงดันขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์ตามวิธีการเดิม ผลของการทดลองที่ได้ดังแสดงในรูป 4.1.3



รูปที่ 4.1.3 รูปแสดงแรงดันขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์เมื่อปรับความเร็วของน้ำที่ไหลต่าง ๆ กัน

4.1.2 การวัดแรงดันขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์เทียบกับมุมของลำคลื่นกับท่อเมื่อความเร็วคงที่

การทดลองนี้คล้ายกับข้อ 4.1.1 ต่างกันที่ให้ความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อคงที่ เปลี่ยนแต่ค่าของมุมของทรานซดิวเซอร์ที่ทำกับท่อน้ำ การทดลองใช้ความเร็วของน้ำ 130 $cm/_{sec}$ มุมที่เปลี่ยนใช้จาก 50 ถึง 90 องศา วัดแรงดันขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์ได้ดังรูปที่ 4.1.4



รูปที่ 4.1.4 แสดงค่าของแรงดันขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์เมื่อเปลี่ยนมุมของทรานซดิวเซอร์ที่ทำกับท่อต่าง ๆ กัน

จากผลของการทดลองจากข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 เห็นได้ว่าค่าของแรงดันขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์ขึ้นอยู่กับความเร็วของน้ำที่ไหลและมุมของลำคลื่นที่ทำกับท่อน้ำ ซึ่งเป็นไปตามกฎของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์[16]

4.2 การหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อน้ำ

จากการเดินทางของคลื่นเสียงในสารตัวกลางสามารถนำไปยุกต์ใช้งานสำหรับการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อน้ำที่วัดความเร็ว โดยใช้ความสังเกตการเปลี่ยนของสัญญาณขาออกของภาคเฟสดีเทคเตอร์ ณ จุดเวลาที่เริ่มมีสัญญาณและจุดเวลาที่สิ้นสุดสัญญาณ ดังจากการทดลองในหัวข้อ 4.1.1 จะเห็นว่าเวลาที่เริ่มมีสัญญาณคือ 52 ไมโครวินาที และเวลาที่สิ้นสุดสัญญาณคือ 65 ไมโครวินาที คิดเป็นเวลาที่คลื่นใช้เดินทางในท่อทั้งไปและกลับเท่ากับ 65-52 = 13 ไมโครวินาที จากความเร็วของเสียงในสารตัวกลางที่เป็นน้ำ = 1490 ม./วินาที และมุมของทรานซดิวเซอร์ที่ทำกับท่อ (θ) = 60°

นำค่าที่ได้มาคำนวณหาระยะทาง (เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ) ได้ดังสมการ

$$d = \frac{Vt}{2}\sin\theta \qquad \text{. . . . .(4.2)}$$

$$= \frac{1490 \times 100 \times 13 \times 10^{-6} \times \sin 60^{\circ}}{2}$$

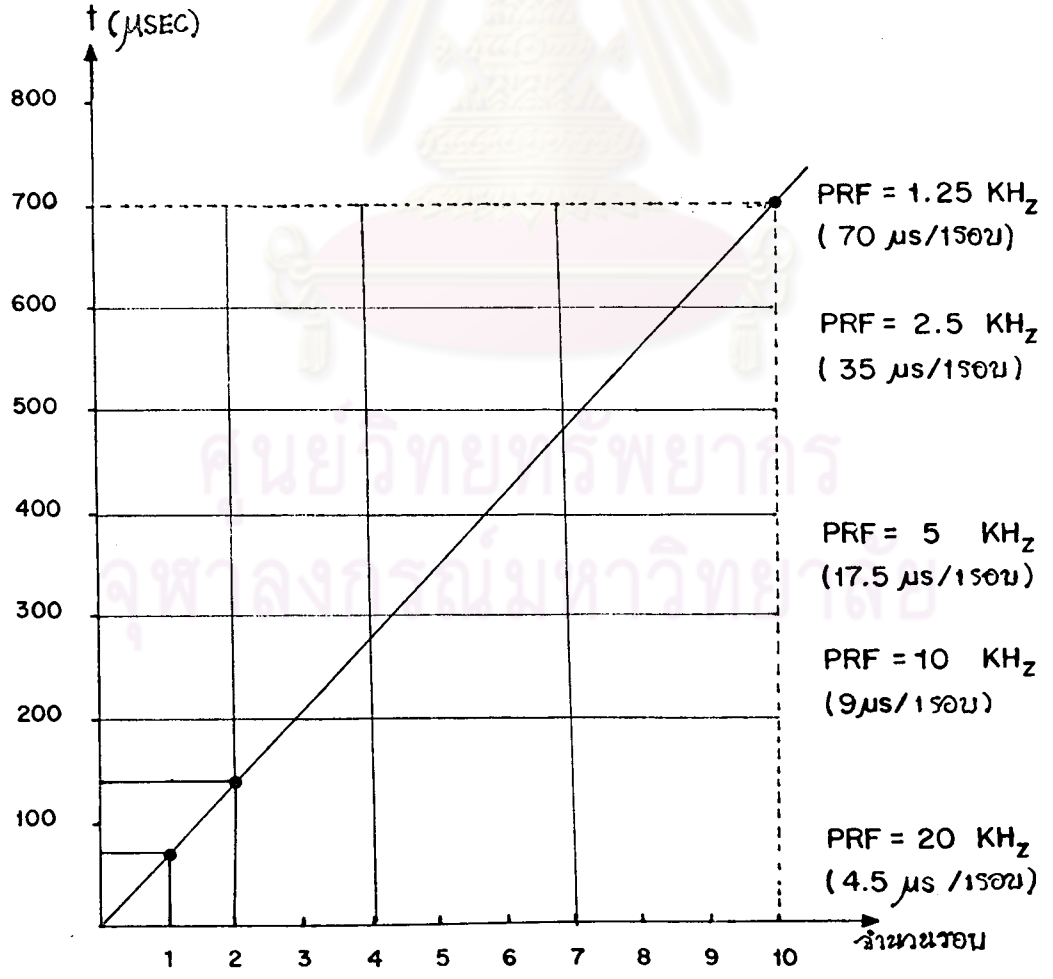
$$= .838 \text{ ซม.}$$

เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อที่ใช้จริงมีขนาด .5 ซ.ม. จากคำนวณได้ .84 ซ.ม. ค่าผิดพลาดที่ได้ อาจเกิดจากค่าของเวลาและมุมของลำคลื่นเสียง ระหว่างท่อกับทรานซดิวเซอร์ที่นำมาคำนวณก็ได้

และจากการทดลองวัดที่มุมมากขึ้นคือ 80° ช่วงเวลาที่คลื่นใช้เดินทางไปกลับในท่อวัดได้เท่ากับ 8 ไมโครวินาที นำมาคำนวณหาเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อได้เท่ากับ .586 ซ.ม. ค่าผิดพลาดที่ได้จะลดลงมาก (.586-.5 = .08 ซ.ม.)

จากการทดลองนี้เห็นได้ว่าการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ ถ้าวัดด้วยมุมที่มากจะทำให้ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นน้อยลง

ด้วยวิธีการดังกล่าวมาแล้วสามารถมาใช้กับการหาเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของหลอดเลือดได้เช่นกัน โดยเปลี่ยนค่าความเร็วของคลื่นเสียงในสารตัวกลางให้เท่ากับ 1530 ม./วินาที (เท่ากับความเร็วของคลื่นเสียงในเนื้อเยื่อ) และนับเวลาการเกิดสัญญาณและสิ้นสุดสัญญาณได้จากจำนวนรอบของการปรับความต้านทานของการส่งสัญญาณอ้างอิงโดยเทียบจากกราฟรูปที่ 4.2.1



รูปที่ 4.2.1 แสดงความสัมพันธ์ของการปรับความต้านทานกับเวลาที่เกิดขึ้น

4.3 การคำนวณค่าปริมาตรของน้ำที่ไหลในท่อ

จากเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อที่คำนวณได้ มุม (Θ) ของลำคลื่นเสียงกับหลอดเลือด สามารถนำมาคำนวณปริมาตรของการไหลได้ดังสมการ (4.3)

$$Q = VA \qquad \ldots\ldots (4.3)$$

Q = ปริมาตรของน้ำที่ในท่อ cm^3/S

V = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่ไหลในท่อ cm/S

A = พื้นที่หน้าตัดภายในของท่อ cm^2

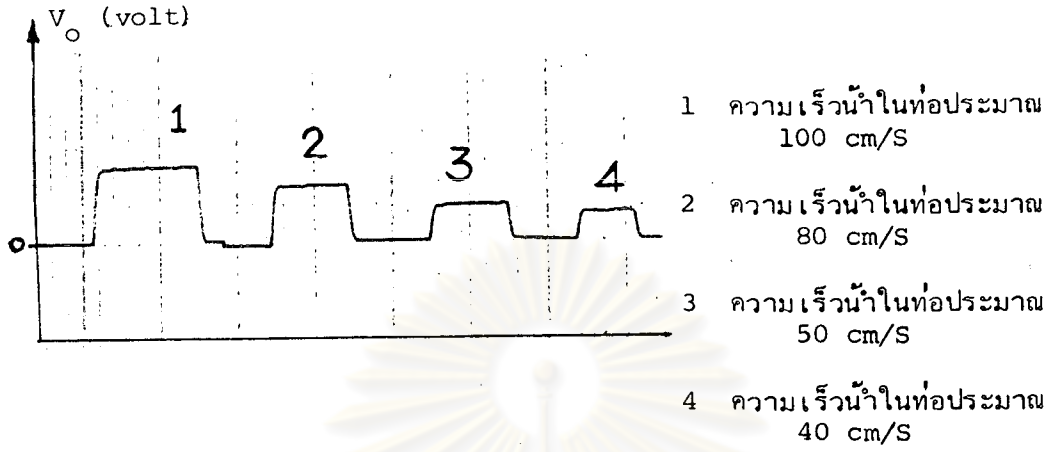
4.4 การทดลองนำเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่ออกแบบสร้างไปใช้ในการวัดการไหลของเลือดในร่างกายมนุษย์

สำหรับการนำเครื่องตรวจจับปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ไปใช้วัดในความเร็วในร่างกายมนุษย์ ผู้ใช้จะต้องรู้ถึงตำแหน่งของบริเวณหลอดเลือดที่วัด และต้องมีประสพการณ์ในการใช้เครื่อง เช่นการวางทรานซดิวเซอร์ในบริเวณหลอดเลือดที่วัด การฟังเสียงของความถี่ที่เกิดจากการไหลของเลือด ตลอดจนต้องเข้าใจถึงวิธีการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ถึงจะทำให้เครื่องนี้สามารถใช้งานได้เต็มที่

ในการที่จะทราบว่าเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่ออกแบบสร้างสามารถใช้ในการวัดการไหลของเลือดในร่างกายมนุษย์ได้หรือไม่ จะต้องทำการวัดเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ทราบค่าแล้ว เช่น เทียบกับความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อ หรือเทียบกับเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ของต่างประเทศ

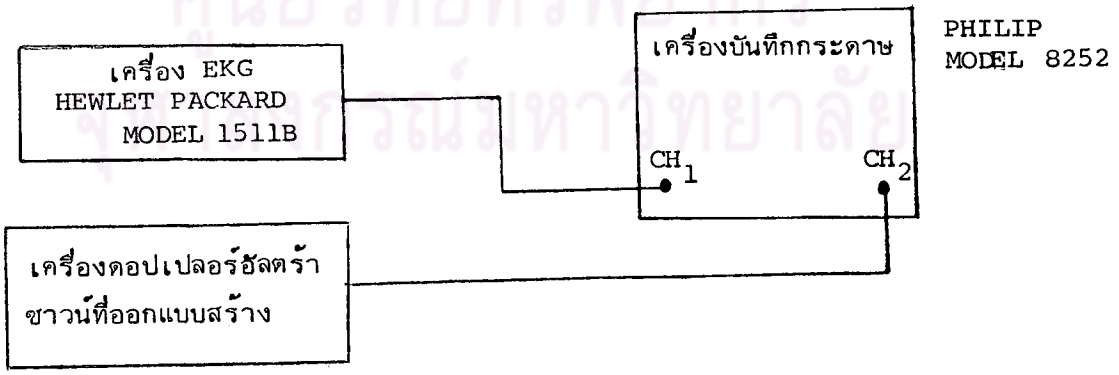
4.4.1 การวัดความเร็วของเลือดเทียบกับความเร็วของน้ำในท่อ

การที่จะนำเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่ออกแบบสร้างไปใช้สำหรับวัดการไหลของเลือดในร่างกายมนุษย์นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีสิ่งเปรียบเทียบสำหรับค่าที่วัดได้ว่าถูกต้องหรือไม่ ในขั้นแรกได้ทำการวัดความแรงของสัญญาณขาออก (จุดที่ต่อเข้ากับภาคแสดงผล) เปรียบเทียบกับความเร็วของน้ำในท่อที่เปลี่ยนค่าต่าง ๆ กัน แรงดันขาออกที่ได้นำไปบันทึกยังเครื่องบันทึกกระดาษเพื่อใช้เปรียบเทียบกับแรงดันขาออกที่ได้จากการวัดการไหลของเลือด กราฟของแรงดันกับความเร็วที่วัดได้ดังรูป 4.4.1



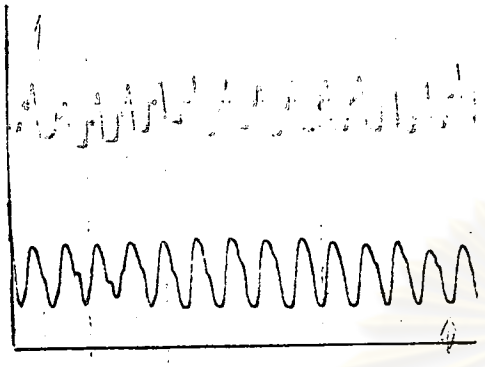
รูปที่ 4.4.1 กราฟแสดงแรงดันขาออกที่ได้จากเครื่องบันทึกกระดาษเมื่อปรับความเร็วของปั๊มต่าง ๆ กัน

ในการทดลองดังกล่าวข้างต้นได้กระทำซ้ำ ๆ กันหลายครั้งจนแน่ใจว่าค่าที่ได้ถูกต้อง ในขั้นต่อไปได้ทดลองใช้วัดกับการไหลของเลือดในหลอดเลือดภายในร่างกายมนุษย์ เครื่องมือและการปรับเสกลยังคงเดิมเหมือนการทดลองในขั้นแรกทุกประการ เพียงแต่เพิ่มการต่อสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (EKG) เข้ากับเครื่องบันทึกกระดาษด้วย ทั้งนี้เพื่อดูรูปคลื่นสัญญาณที่ได้จากเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่สร้างว่าแปรเปลี่ยนไปตามสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจโดยสอดคล้องกันหรือไม่ หลอดเลือดที่วัดการไหลของเลือดคือ หลอดเลือดแดง Brachial การวัดจะทำมุมประมาณ 60° กับหลอดเลือด การต่อวงจรที่ใช้วัดระหว่างเครื่องต่าง ๆ ดังรูป 4.4.2



รูปที่ 4.4.2 ภาพแสดงการต่อสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจและสัญญาณจากเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์กับเครื่องบันทึกกระดาษ

เครื่อง EKG ที่ใช้จะต่อสายอีเลคโทรดเข้ากับตัวผู้ที่จะวัดการไหลของเลือด รูปคลื่นสัญญาณ EKG และรูปคลื่นสัญญาณความถี่ดอปเปลอร์ที่ได้จากเครื่องบันทึกกระดาษดังแสดงในรูป 4.4.3



สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ
(ความเร็วกระดาษ 5 มม/วินาที)

สัญญาณความถี่ดอปเปลอร์
(ความเร็วกระดาษ 5 มม/วินาที)

รูปที่ 4.4.3 ภาพแสดงรูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจและสัญญาณความถี่ดอปเปลอร์ที่ได้จากเครื่องบันทึกกระดาษ

จากรูปที่ 4.4.3 รูปสัญญาณความถี่ดอปเปลอร์ที่ได้จะเห็นว่าสอดคล้องกับการไหลของเลือด (รูปคลื่นสัญญาณ EKG ที่ได้จะดูผิดจากความเป็นจริง ทั้งนี้เพราะความเร็วของเครื่องบันทึกกระดาษที่ใช้ช้ามาก) จึงเป็นข้อพิสูจน์ได้ประการหนึ่งว่าเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่สร้างสามารถใช้วัดการไหลของเลือดได้ และจากแอมพลิจูดของรูปคลื่นสัญญาณความถี่ดอปเปลอร์ที่ได้จากเครื่องบันทึกกระดาษในรูป 4.4.3 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับรูปคลื่นในรูปที่ 4.4.1 จะได้ความเร็วประมาณ 90 ซม./วินาที ซึ่งนำมาคิดเป็นความถี่ดอปเปลอร์ได้ประมาณ

$$\Delta f = \frac{2Vf\cos\theta}{C}$$

$$= \frac{2x90x4.19x10^{6}x0.5}{1530x100}$$

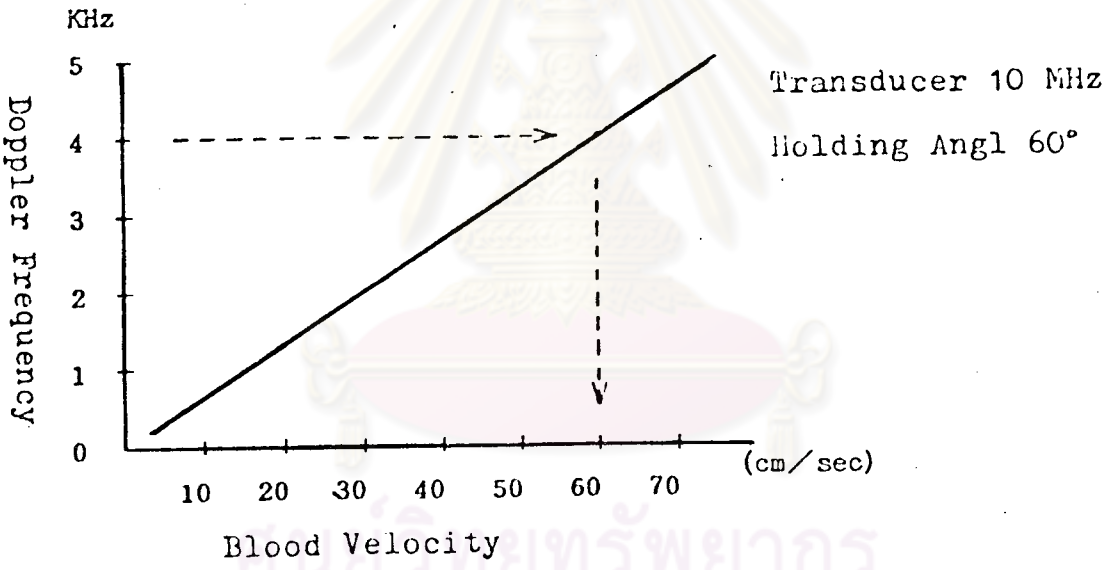
$$= 2.5 \text{ กิโลเฮิร์ทซ}$$

ซึ่งค่าความเร็วของเลือดที่ไหลและความถี่ดอปเปลอร์ที่ได้ยังไม่สามารถที่จะบอกได้ว่าเครื่องอัลตร้าซาวน์ที่ออกแบบสร้างมีความถูกต้องแน่นอนเพียงใด แต่ก็สามารถบอกถึงความเร็วได้คร่าว ๆ ว่าประมาณ 90 cm/s การปรับสัญญาณอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบเฟสกับสัญญาณดอปเปลอร์ก็มีผล

มากต่อค่าสัญญาณขาออกที่ได้ ดังนั้นการปรับจึง เลือกให้ตรงจุดที่เกิดความต่าง เฟสของสัญญาณทั้งสองมากที่สุดจึงจะได้สัญญาณขาออกมากที่สุด ความเร็วและความถี่ดอปเปลอร์ที่วัดได้จากการไหลของ เลือดที่ได้จะนำไปเปรียบ เทียบกับการวัดด้วย เครื่องอัลตร้าซาวน์ที่ผลิตจากต่างประเทศเพื่อดูค่าความแตกต่างของค่าที่วัดว่าใกล้เคียงกันหรือไม่

4.4.2 <u>การวัดการไหลของ เลือดจาก เครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่สร้าง เทียบกับเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์จากต่างประเทศ</u>

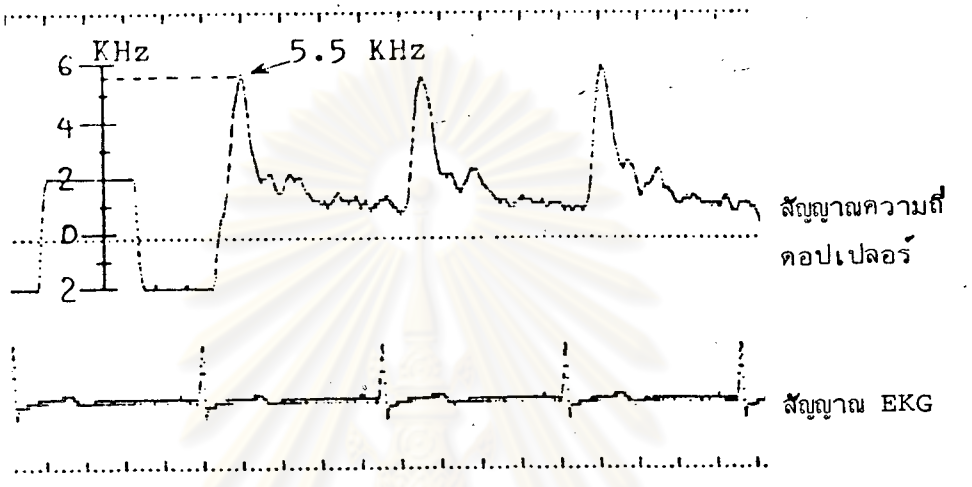
เครื่องอัลตร้าซาวน์ของต่างประเทศที่นำมาใช้ เป็นเครื่อง เปรียบ เทียบ เป็นเครื่องอัลตร้าซาวน์ชนิดคลื่นต่อ เนื่องของบริษัท "FOUR SEASONS" ยี่ห้อ HAYASHI รุ่น DVM4000 ซึ่งมีกราฟความสัมพันธ์ของความ เร็ว เลือดและความถี่ดอปเปลอร์ดังรูปที่ 4.4.4



<u>รูปที่ 4.4.4</u> กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความ เร็ว เลือดกับความถี่ดอปเปลอร์ที่ได้จาก เครื่องของต่างประเทศ

เครื่อง HAYASHI DVM 4000 ที่นำมา เปรียบ เทียบนี้ใช้ความถี่อัลตร้าซาวน์ขนาด 10 เม็กกะ เฮิร์ทซ ซึ่งจะให้ค่าความถี่ดอปเปลอร์ที่ได้จากการไหลของ เลือดที่วัดจากความ เร็วเดียวกันมากกว่าความถี่ดอปเปลอร์ที่ได้จาก เครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่ออกแบบสร้าง ทั้งนี้เพราะความถี่อัลตร้าซาวน์ที่ใช้สำหรับ เป็นคลื่นส่งของทั้งสองต่างกัน

จากการนำเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ของ HAYASHI DVM4000 ไปวัดการไหลของเลือดในร่างกายมนุษย์จุดเดียวกับจุดที่วัดในข้อ 4.4.1 ด้วยมุมเอียง 60° จะได้ผลจากเครื่องบันทึกกระดาษจะได้ดังรูป 4.4.5



รูปที่ 4.4.5 ภาพแสดงรูปคลื่นความถี่ดอปเปลอร์และสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่วัดจากการไหลของเลือดในร่างกายมนุษย์โดยเครื่องจากต่างประเทศ

ความถี่ดอปเปลอร์ที่เกิดจากการไหลของเลือดที่ได้เท่ากับ 5.5 กิโลเฮิร์ทซ เมื่อนำไปคิดเป็นความเร็วของเลือดที่ไหลได้เท่ากับ

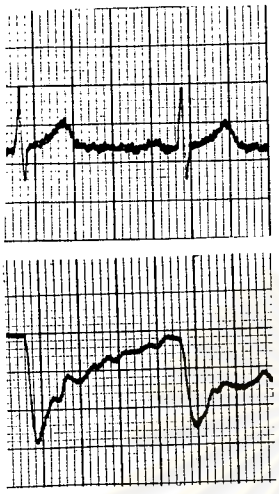
$$V = \frac{C\,\Delta f}{2 f_o \cos\theta}$$

$$= \frac{153000 \times 5.5 \times 10^{3}}{2 \times 10 \times 10^{6} \times 0.5}$$

ความเร็วของเลือดที่ไหล = 84 cm/S

ได้นำเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่ออกแบบสร้างไปวัดการไหลของเลือดในร่างกายมนุษย์ตามวิธีข้อ 4.4.1 โดยวัดจากคนคนเดียวกับการวัดในข้อ 4.4.2 แต่นำผลที่ได้จากเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่สร้างไปบันทึกบนเครื่องบันทึกกระดาษที่มีความเร็วของกระดาษ 25 มม./วินาที ผลที่ได้จากเครื่องบันทึกกระดาษดังรูป 4.4.6 จากการวัดเปรียบเทียบระหว่างเครื่องที่สร้างกับเครื่องของต่างประเทศปรากฏว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน ผิดพลาดประมาณ

7 เปอร์เซนต์



สัญญาณ EKG

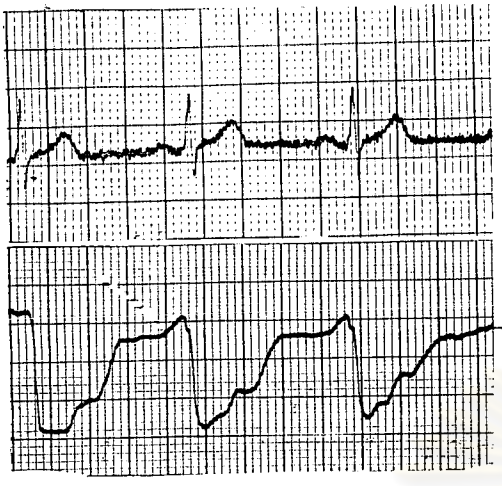
(ความเร็วกระดาษ 25 มม/วินาที)

สัญญาณความถี่ดอปเปลอร์

รูปที่ 4.4.6 ภาพแสดงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจและความถี่ดอปเปลอร์ที่วัดได้โดยเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่ออกแบบสร้างความเร็วของเลือดที่ไหลประมาณ 90 ซม./วินาที

4.4.3 การนำเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่สร้างไปทดลองวัดกับคนทั่ว ๆ ไป

จากการนำเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่ออกแบบสร้างไปวัดการไหลของเลือดเทียบกับความเร็วของน้ำในท่อ และเทียบกับผลที่ได้จากการวัดโดยเครื่องอัลตร้าซาวน์ของต่างประเทศปรากฏว่าเครื่องอัลตร้าซาวน์ที่สร้างสามารถใช้ในการวัดการไหลของเลือดในมนุษย์ได้ ผลที่ได้จากการวัดก็แตกต่างกันไม่มากนัก และเพื่อทดสอบว่าเครื่องที่ออกแบบสร้างสามารถใช้งานได้จึงนำไปทดลองวัดกับคน 5 คน ผลที่ได้จากการวัดโดยเครื่องบันทึกกระดาษดังแสดงในรูป 4.4.7



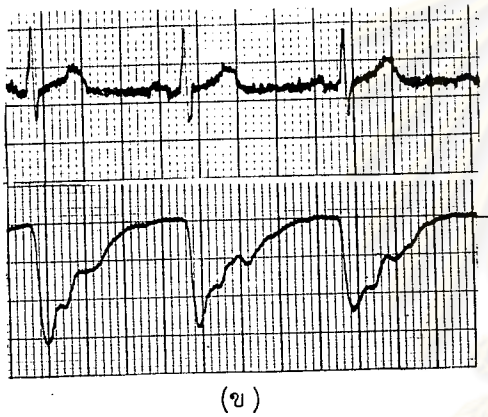
สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

(ความเร็วกระดาษ 25 มม/วินาที)

Zero flow

ความถี่ดอปเปลอร์ที่วัดได้จากเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่สร้าง (ความเร็วเลือดประมาณ 90 cm/S)

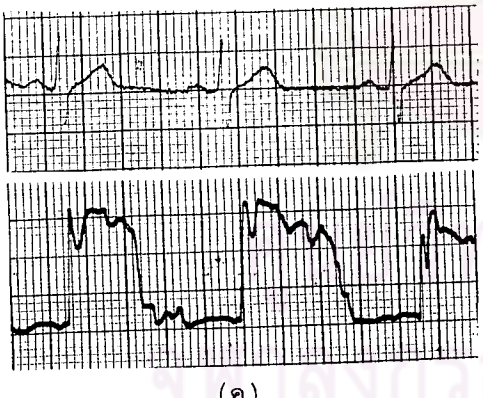
(ก)



สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

Zero flow ความถี่ดอปเปลอร์ที่วัดได้จากเครื่องอัลตร้าซาวน์ที่สร้าง (ความเร็วเลือดประมาณ 90 cm/S)

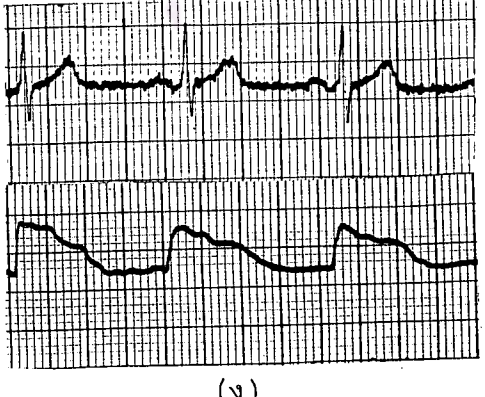
(ข)



สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ความถี่ดอปเปลอร์ที่วัดได้จากเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่สร้าง (ความเร็วเลือดประมาณ 90 cm/S)

(ค)



สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ความถี่ดอปเปลอร์ที่วัดได้จากเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่สร้าง (ความเร็วเลือดประมาณ 50 cm/S)

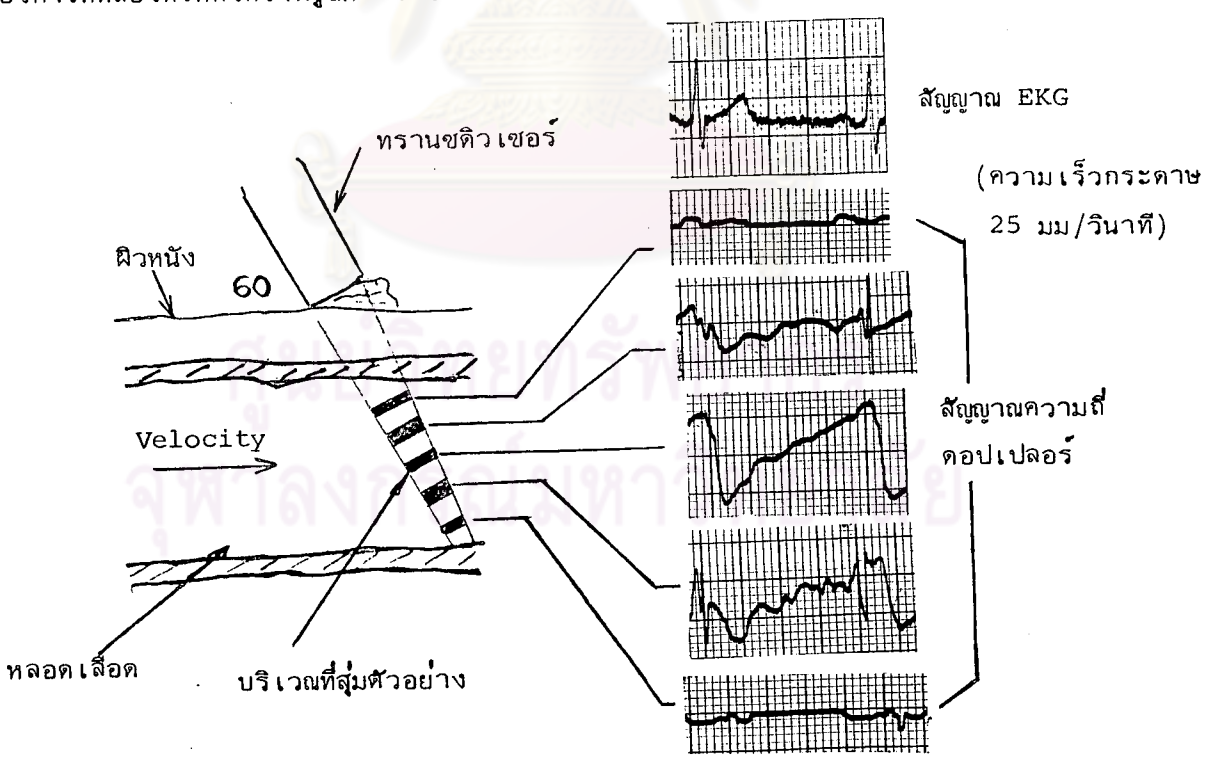
(ง)

รูปที่ 4.4.7 ภาพแสดงรูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจและความถี่ดอปเปลอร์ที่ได้จากเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ที่ออกแบบสร้างโดยการวัดกับคนทั่ว ๆ ไป

จากรูป 4.4.7 เป็นรูปคลื่นที่วัดได้จากหลอดเลือดแดง Brachial โดยการวัดทำมุมประมาณ 60 องศา กับหลอดเลือด ผลที่ได้จากการวัดจะเห็นว่ารูปคลื่นของสัญญาณความถี่ดอปเปลอร์แปรเปลี่ยนตามสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ซึ่งแสดงว่าความถี่ดอปเปลอร์ที่วัดได้เกิดจากการไหลของเลือดต่าง ๆ จากนั้นได้ทดลองวัดการไหลของเลือดโดยเครื่องจากต่างประเทศเปรียบเทียบกัน ผลของความเร็วเลือดที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทั้งสอง ปรากฏว่าผิดพลาดกันประมาณ 10 เปอร์เซนต์

4.4.4 <u>การทดลองวัดความเร็วของการไหลของเลือดภายในหลอดเลือดตั้งแต่ภายในท่อจนถึงกลางท่อ</u>

การทดลองนี้เพื่อหาความเร็วของเลือดที่ไหลในหลอดเลือดตั้งแต่ขอบด้านในจนถึงตรงกลางของหลอดเลือด โดยการปรับสัญญาณอ้างอิงไปเปรียบเทียบกับสัญญาณดอปเปลอร์ที่สะท้อนกลับมาจากการไหลของเลือดตามเวลาต่าง ๆ กัน สัญญาณออกที่ได้นำไปบันทึกโดยเครื่องบันทึกกระดาษตามวิธีข้อ 4.4.2 การทดลองนี้กระทำประมาณ 10 ครั้งโดยวัดกับผู้วิจัยเอง ผลของการทดลองที่ได้ดังกราฟรูปที่ 4.4.8



<u>รูปที่ 4.4.8</u> กราฟแสดงการวัดสัญญาณความถี่ดอปเปลอร์ที่ได้จากการปรับสัญญาณอ้างอิงไปตามจุดต่าง ๆ ภายในหลอดเลือด

4.4.5 การหาเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของหลอดเลือด

จากการปรับเวลาของสัญญาณอ้างอิงโดยอ่านจากกราฟรูป 4.2.1 โดยสเกลความถี่ PRF ที่ใช้เท่ากับ 20 กิโลเฮิร์ทซ เลขที่อ่านได้จากหน้าปัทม์ของเครื่องเริ่มตั้งแต่ประมาณ 1.4 รอบ ถึงประมาณ 3.5 รอบ คิดเป็นจำนวนรอบเท่ากับ (3.5-1.4 = 2.1 รอบ) คิดเป็นเวลาเท่ากับ 4.5x2.1 = 9.45 μS จากค่าเวลาที่ได้นำไปคำนวณหาเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดโดยประมาณได้จากสมการ (4.2)

$$d = \frac{Vt \sin \theta}{2}$$

V = ความเร็วของคลื่นเสียงในเลือด = 1560 m/S

t = เวลาที่คลื่นใช้เดินทางผ่านหลอดเลือด ≃ 9.45 μS

θ = มุมของลำคลื่นกับหลอดเลือด ≃ 60°

$$d = \frac{1560 \times 100 \times 9.45 \times 10^{-6} \times .866}{2}$$

≃ .64 cm (หลอดเลือดจริง ๆ ประมาณ .4 cm) (30)

4.4.6 การหาอัตราการไหลของปริมาตรของเลือดที่ไหล

จากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดที่วัดได้จะประมาณ .64 ซม. และความเร็วของเลือดที่วัดได้ประมาณ 90 cm/s นำไปคำนวณหาค่าปริมาตรที่ไหลได้โดยประมาณจากสูตร (4.3)

$$Q = VA$$

$$= \frac{90 \times 22 \times .64 \times .64}{7 \times 4}$$

ปริมาตรของเลือดที่ไหลประมาณ 28 cm^3/S

ค่าต่าง ๆ ที่กล่าวไว้ข้างต้นได้จากการวัดและคำนวณ เป็นค่าโดยประมาณ ซึ่งอาจจะผิดพลาดจากความเป็นจริงมาก ผลการทดลองนี้ไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับเครื่องของต่างประเทศได้ เพราะเครื่องของต่างประเทศที่นำมาเปรียบเทียบไม่สามารถวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดได้ และถึงแม้ว่าค่าที่ได้จะผิดจากความเป็นจริงมากก็ตาม แต่ก็ยังเป็นตัวบอกให้ทราบถึงเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือด และปริมาตรของเลือดที่ไหลได้โดยประมาณ ซึ่งก็นับว่าเป็น

ผลดีต่อการนำไปตรวจวินิจฉัยการอุดตันของหลอดเลือดได้

จากการทดลองในข้อ 4.1 และ 4.2 ได้กระทำประมาณ 100 ครั้ง ผลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยโดยประมาณที่ได้จากการวัดแต่ละครั้ง ซึ่งคิดว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

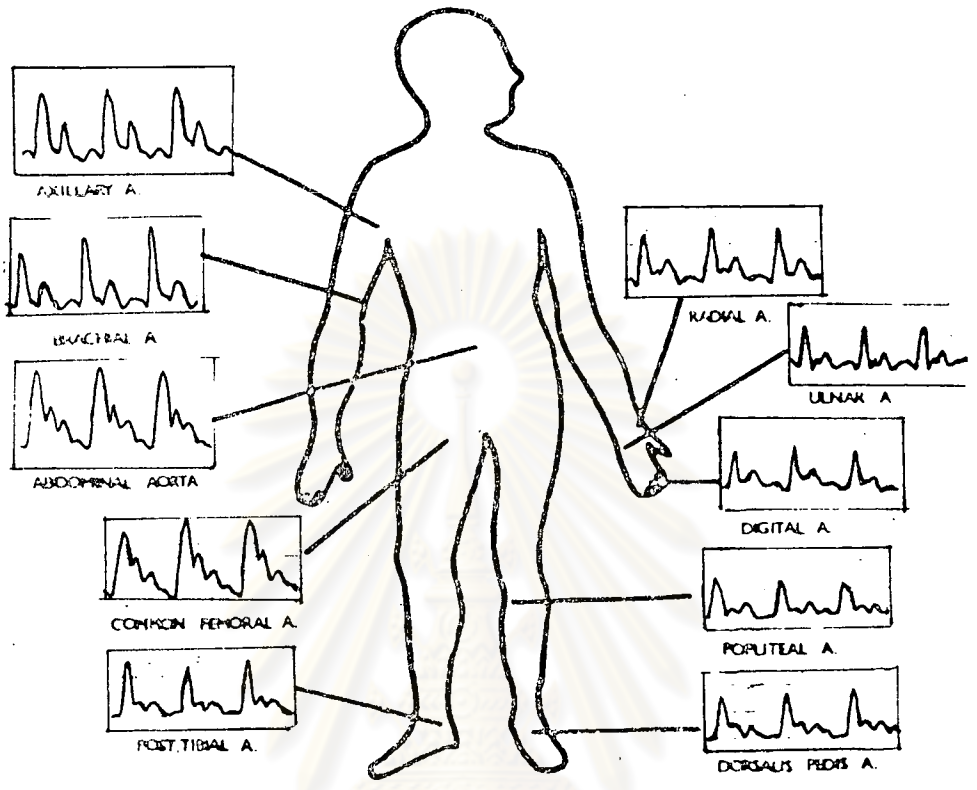
จากการทดลองในข้อ 4.4.1 กระทำประมาณ 10 ครั้ง ค่าที่ได้ขึ้นอยู่กับการปรับสัญญาณอ้างอิงที่ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณดอปเปลอร์ที่รับกลับมา ซึ่งถ้าปรับผิดตำแหน่ง ก็จะทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดไปมาก

การทดลองในข้อ 4.4.2 การทดลองวัดเปรียบเทียบระหว่างเครื่องของต่างประเทศกับเครื่องที่ออกแบบสร้าง ได้ทำการทดลองประมาณ 10 ครั้ง ค่าที่ได้มีความผิดพลาดกันบ้างขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่าง ๆ หลายประการ เช่น การวางทรานซดิวเซอร์ที่ทำมุมไม่เท่ากัน, การปรับสัญญาณอ้างอิงเฟสของเครื่องที่ออกแบบสร้างไม่ตรงกับสัญญาณดอปเปลอร์ที่รับกลับมา ฯลฯ เป็นต้น และจากการทดลองจะเห็นว่าค่าความเร็วของเลือดที่วัดได้ค่อนข้างสูง จากการไหลของเลือดในคนปรกติจะประมาณ 33 cm/s[29] ซึ่งวัดขณะไม่ได้ออกกำลังกาย แต่สำหรับคนที่ออกกำลังกาย ความเร็วของเลือดจะเพิ่มขึ้น และสามารถเพิ่มขึ้นได้ถึง 7 เท่าของความเร็วปรกติ นั่นคือความเร็วของเลือดที่ไหลมีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ถึงประมาณ 230 cm/s และค่าความเร็วของเลือดที่เครื่องวัดได้คือ 90 cm/s ก็ยังอยู่ในช่วงความเร็วนี้ และจากการวัดเปรียบเทียบกับเครื่องของต่างประเทศค่าที่ได้ก็ผิดพลาดกันประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

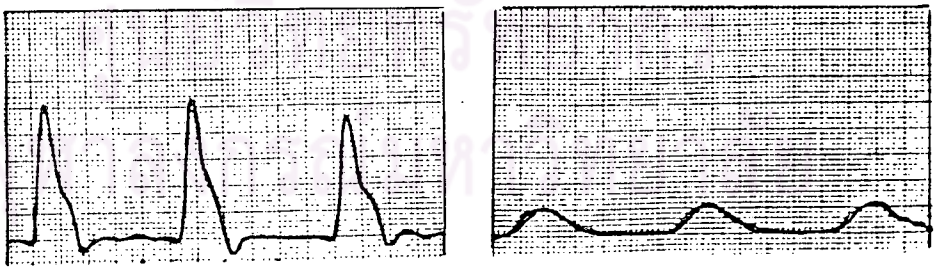
จากการทดลองในข้อ 4.4.4 โดยการปรับสัญญาณอ้างอิงไปตามจุดต่าง ๆ ของสัญญาณดอปเปลอร์ที่สะท้อนกลับมา และนำเวลาที่ได้จากการปรับมาคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของหลอดเลือดตามข้อ 4.4.5 ได้เท่ากับ .64 ซม. และขนาดของจริงประมาณ .4 ซม. ซึ่งคิดเป็นค่าผิดพลาดได้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

4.4.7 <u>ข้อมูลบางอย่างเกี่ยวกับรูปคลื่นความถี่ดอปเปลอร์ที่ได้จากการวัดการไหลของเลือดจากเครื่องของต่างประเทศเพื่อใช้เป็นตัวอย่างเปรียบเทียบกับเครื่องที่ออกแบบสร้าง</u>

ในการนำเครื่องที่ออกแบบสร้างไปวัดการไหลของเลือดในคนทั่วๆไป บริเวณหลอดเลือดต่างๆ บนร่างกายมนุษย์ เพื่อหาคุณสมบัตินั้นจะต้องวัดเปรียบเทียบกับเครื่องของต่างประเทศที่มีใช้อยู่ ซึ่งการวัดเปรียบเทียบนี้จะต้องใช้เวลาและต้องร่วมมือกับแพทย์ ซึ่งสามารถกระทำได้ในขั้นต่อไป ตัวอย่างของรูปคลื่นความถี่ดอปเปลอร์ที่วัดได้จากเครื่องของต่างประเทศดังแสดงในรูปที่ 4.4.9



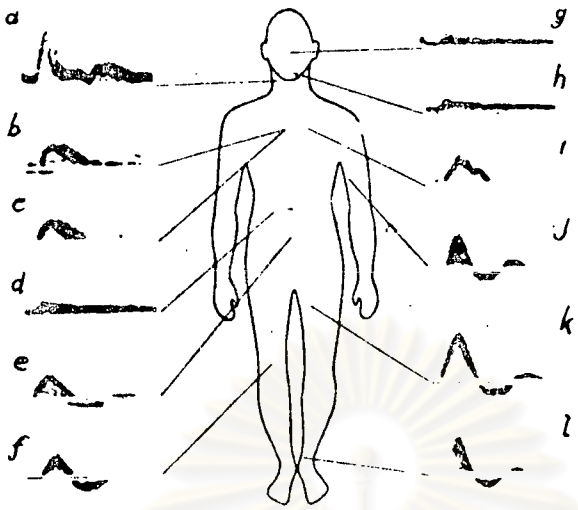
รูปที่ 4.4.9 ภาพแสดงรูปคลื่นความถี่ดอปเปลอร์ที่วัดได้จากเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ชนิดต่อเนื่องยี่ห้อ "Park Model 806"



การไหลของเลือดในหลอดปรกติ

การไหลของเลือดในหลอดเลือดที่เกิดการอุดตัน

รูปที่ 4.4.10 แสดงความถี่ดอปเปลอร์ที่วัดการไหลของเลือดจากหลอดเลือดแดง Brachill



Examples of measurements with UNIDOP displayed as sonagrams. All measurements were obtained from one male subject, 23 years old. The sonograph recordings were obtained from the taped and audiosignal by using a Key Elementrics sonagraph recorder. The instrument was operated in the pulsed mode. Each panel has a horizontal time axis, a vertical frequency axis, and a grey density corresponding to the signal amplitude

	frequency MHz	h.p.t. Hz	depth cm
a common carotid artery	6	200	0·9
b ascending aorta	1·5	200	4·0
c ascending aorta	1·5	400	4·0
d renal artery	1·5	200	4·0
e abdominal aorta	1·5	200	4·0
f popliteal artery	6	200	1·9
g dorsal nasal artery	6	200	0·9
h vertebral artery	1·5	200	4·0
i descending aorta	1·5	400	7·5
j brachial artery	6	200	0·8
k femoral artery	6	200	1·5
l posterior tibial artery	6	200	1·0

รูปที่ 4.4.11 ภาพแสดงรูปคลื่นความถี่ดอปเปลอร์ที่วัดได้จากเครื่องดอปเปลอร์อัลตร้าซาวน์ยี่ห้อ "UNIDOP"

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย