

เครื่องตรวจวินิจฉัยโรคหลอดเลือดตีบส่วนปลายแบบไม่รุกล้ำ
ภัคกร ปานโพธิ์ และ ณรงค์ฤทธิ์ มณีจิระปรากการ*

The Non-Invasive Instrument for Peripheral Vascular Disease Detection

Phakakorn Panpho and Narongrit Maneejiraprakarn*

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

*Corresponding author. E-mail: narongritma@nu.ac.th

บทคัดย่อ

ในบทความนี้เสนอการสร้างเครื่องมือตรวจวินิจฉัยโรคหลอดเลือดตีบส่วนปลาย แบบไม่รุกล้ำด้วยต้นทุน โดยการวัดสัญญาณแรงดันหลอดเลือดจากภายนอก 4 ตำแหน่ง โดยมีหลักการทำงานที่สำคัญ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ ใช้ในการตรวจจับสัญญาณ และส่วนของซอฟต์แวร์ใช้ในการประมวลผลและแสดงผลของสัญญาณ ส่วนฮาร์ดแวร์ใช้ Piezoelectric Sensors ในการตรวจจับสัญญาณแรงดันหลอดเลือดทั้ง 4 คือ แรงดันหลอดเลือดของแขนขวา (Pulse Wave of Right Brachial), แรงดันหลอดเลือดของแขนซ้าย (Pulse Wave of Left Brachial), แรงดันหลอดเลือดของขาขวา (Pulse Wave of Right Angel), และแรงดันหลอดเลือดของขาซ้าย (Pulse wave of left angel) สัญญาณที่ได้ทั้งหมดจะถูกมัลติเพล็กซ์สัญญาณแบบแบ่งตามความถี่ (Frequency Division Multiplexing: FDM) และส่งผ่านเข้าทาง Soundcard ของคอมพิวเตอร์ ในส่วนของกระบวนการตีมัลติเพล็กซ์สัญญาณ, ลดสัญญาณรบกวน, แสดงผลเอาต์พุตของสัญญาณ และการคำนวณหาค่าความเร็วคลื่นชีพจรที่ผ่านหลอดเลือด (Pulse Wave Velocity: PWV) ด้วยวิธีการ Cross Correlation เพื่อการวินิจฉัยความผิดปกติของโรคหลอดเลือด ถูกประมวลผลโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วย MatLab ผลการวัดค่าความเร็วคลื่นชีพจรสามารถใช้ในการตรวจวินิจฉัยโรคหลอดเลือดตีบส่วนปลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ค่าความเร็วของคลื่นชีพจร โรคหลอดเลือดตีบส่วนปลาย

Abstract

In this paper, a simple and low cost the Non-Invasive Instrument for Peripheral Vascular Disease Detection simultaneous measurement system of four locations of pulse wave is proposed. This system is divided into 2 main parts which consists of hardware part for detecting input signal and software part run on computer for processing and displaying the output results. The four piezoelectric sensors are employed to detect pulse waves which are Pulse wave of right brachial, Pulse wave of left brachial, Pulse wave of right angel and Pulse wave of left angel. All detected signals are multiplexed by using frequency division multiplexing (FDM) technique and sent to a computer soundcard. The demultiplexing and other processes such as filtering, noise reduction, output displaying and Pulse Wave Velocity (PWV) calculation by using Cross correlation method are processed by MATLAB software. The obtained PWV result can efficiently detect the Non-Invasive of Peripheral Vascular Disease.

Keywords: Pulse Wave Velocity (PWV), Peripheral Vascular Disease

บทนำ

โรคหลอดเลือดตีบส่วนปลาย (Peripheral Vascular Disease : PVD) พบจำนวนมากขึ้นในประชากรไทย ที่เกิดจากภาวะการตีบแข็งของหลอดเลือดส่วนปลาย ทำให้มีเลือดไปเลี้ยงอวัยวะส่วนปลายไม่เพียงพอ โดยเฉพาะบริเวณขา ความรุนแรงของโรค ยังมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับการเกิดกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดและภาวะสมองขาดเลือด (Yamashina *et al.*, 2003) ซึ่งเป็นสาเหตุของการทุพพลภาพ และการเสียชีวิต ปัจจุบันพบว่าอัตราการเกิดโรคดังกล่าว ในคนไทยเพิ่มสูงขึ้น 12% และเพิ่มขึ้นถึง 20% ในผู้สูงอายุที่อายุมากกว่า 70 ปี (Yamashina *et al.*, 2003) เครื่องมือที่ใช้ในการวินิจฉัยโรคการตีบแข็งของหลอดเลือดส่วนปลายมีอยู่ 2 แบบ คือ 1.แบบรุกล้ำ เป็นการตรวจวัดค่าจากภายในร่างกาย เช่น Angiogram กล่าวคือ ต้องใส่สายเข้าไปในหลอดเลือดแดง ซึ่งมีข้อเสียหลายอย่างคือ ผู้ป่วยเกิดความเจ็บปวด, ต้องใช้เวลานานในการรักษา นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนกับผู้ป่วยได้ ส่วนแบบที่ 2. แบบไม่รุกล้ำ คือ แบบตรวจวัดค่าจากภายนอกในร่างกาย มี 2 วิธี ได้แก่

- 1) การคำนวณความเร็วของเลือดที่ผ่านหลอดเลือดซึ่งเรียกว่า Pulse Wave Velocity (PWV)
- 2) การทำ Ultrasound Doppler Test

สำหรับวิธีตรวจวินิจฉัยโรคหลอดเลือดส่วนปลาย ด้วยการวัดค่าความเร็วของเลือดที่ผ่านหลอดเลือด (PWV) นั้น ใช้หลักการวัดค่าความดันหลอดเลือดภายนอก ณ ตำแหน่งต่างๆ ของร่างกาย ดังรูป 1



$$PWV_{(right)} = \frac{L_a - L_b}{\Delta t}$$

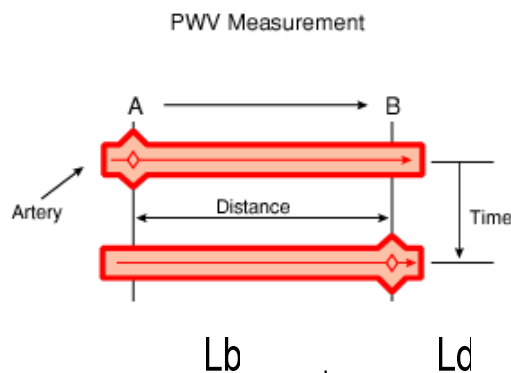
$$PWV_{(left)} = \frac{L_a - L_d}{\Delta t}$$

รูป 1 ตำแหน่งการวัดค่าความดันเลือด 4 ตำแหน่ง เพื่อหาค่าความเร็วของเลือดที่ผ่านหลอดเลือด

La

Lc

ส่วนการคำนวณหาค่าความเร็วของเลือดที่ผ่านหลอดเลือด (PWV) จะอยู่ในรูปอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างจุด วัดสัญญาณแรงดันหลอดเลือด 2 ตำแหน่งเทียบกับผลต่างของเวลา ที่หาได้จากสัญญาณแรงดันหลอดเลือด ดังรูป 2



Lb

Ld

รูป 2 ผลต่างของระยะทางและเวลา ระหว่างจุดที่วัดแรงดันหลอดเลือด 2 ตำแหน่ง เพื่อใช้คำนวณค่าความเร็วของเลือดที่ผ่านหลอดเลือด PWV

จากรูป 1 และ 2 สามารถคำนวณค่าความเร็วของเลือดที่ผ่านหลอดเลือด (PWV) โดยวัดระยะห่างระหว่างแขนขาที่ข้อเท้าแต่ละข้าง โดย Δs คือความแตกต่างของระยะทางจาก sternal notch ถึงข้อศอกขวาและข้อเท้าขวา แล้วหารด้วย Δt คือ ความแตกต่างของเวลาที่เลือดไหล จากหัวใจไปถึงข้อศอกขวาและข้อเท้าขวา ซึ่งคำนวณความแตกต่างของเวลาที่คำนวณได้จากผลต่างของสัญญาณแรงดันเลือด (Ramsey, 1995) ซึ่งสรุปได้ดังสมการ (1)

$$PWV = \frac{\text{Distance between 2 site } \Delta s}{\text{Pulse wave Transmit Time (PTT) } \Delta t} \quad (1)$$

โดยวิธีการการคำนวณความเร็วของเลือดที่ผ่านหลอดเลือด เราสามารถใช้กระบวนการวิเคราะห์หาค่าผลต่างของเวลา ระหว่างสัญญาณแรงดันเลือด 2 สัญญาณ ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีด้วยกัน 3 วิธีคือ (McLaughlin *et al.*, 2003)

- 1) วิธีการแบบ 'Foot-to-foot' APWV (FFAPWV) คือการคำนวณความแตกต่างของเวลาจากเท้าของขอบขาขึ้นของสัญญาณแรงดันเลือดทั้ง 2 สัญญาณ
- 2) วิธีการแบบ 'Peak-to-peak' APWV (PPAPWV) คือการคำนวณความแตกต่างของเวลาจากแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณแรงดันเลือดทั้ง 2 สัญญาณ
- 3) วิธีการแบบ 'Cross-correlation' APWV (CCAPWV) คือการหาค่าสหสัมพันธ์ของเวลาระหว่างผลต่างสัญญาณแรงดันเลือด 2 สัญญาณ

โดยวิธีการ FFAPWV และ PPAPWV มีความผิดพลาดสูง (McLaughlin *et al.*, 2003) ดังนั้นวิธีการแบบ CCAPWV สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่าผลต่างของเวลาแบบอัตโนมัติได้ จึงเป็นวิธีการที่ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้

ค่าความเร็วของเลือด ที่ผ่านหลอดเลือด (PWV) จะใช้ในการประเมินสภาวะการแข็งตัวของหลอดเลือด โดยปกติ ค่าของความเร็วของเลือดที่ผ่านหลอดเลือด (PWV) จะอยู่ในช่วง 8 -14 เมตรต่อวินาที (Nakano, 2004) หากมากหรือน้อยกว่าค่าดังกล่าว จะถือว่าหลอดเลือดมีความผิดปกติ ซึ่งหากตรวจพบความผิดปกติได้เร็ว จะทำให้สามารถป้องกันการเกิดโรคได้ แต่เครื่องที่นำมาใช้ในการตรวจวินิจฉัยยังต้องสั่งเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาที่สูง จึงเป็นการเสียดุลทางการค้าของประเทศ ตลอดจนจำนวนเครื่องที่มีใช้งานยังมีน้อยไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จึงทำให้ประชากรไทยขาดโอกาสในการตรวจวินิจฉัย และไม่เป็นที่แพร่หลายในประเทศไทย

ดังนั้นในบทความนี้ จึงนำเสนอการสร้างสัญญาณแรงดันหลอดเลือดภายนอกร่างกาย 4 ตำแหน่ง เพื่อใช้ในการวินิจฉัยโรคหลอดเลือดส่วนปลาย

การทบทวนในส่วนของ CCAPWV

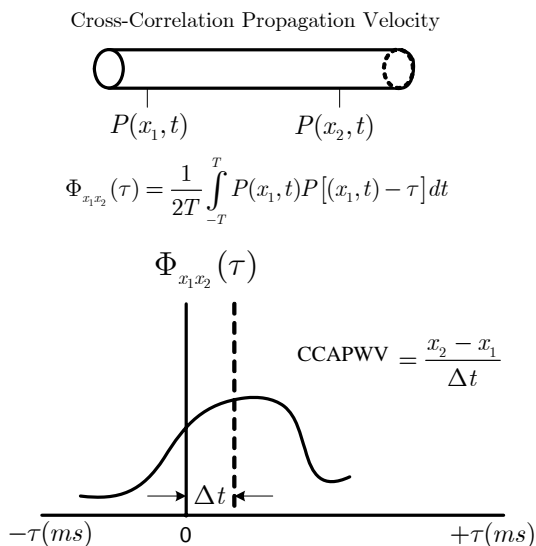
ในส่วนนี้จะกล่าวถึง CCAPWV ที่ถูกใช้ในงานนี้ โดยให้คลื่นชีพจรของหลอดเลือดที่ตำแหน่งการวัดที่จุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย ซึ่งจะถูกแสดงโดยอนุกรมเวลาของความดัน $P(x_1, t)$ และ $P(x_2, t)$ ตามลำดับ ซึ่งรวมถึง $\Phi_{x_1, x_2}(\tau)$ คือ การอธิบายค่าสหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่าง $P(x_1, t)$ และ $P(x_2, t)$ สามารถเขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$\Phi_{x_1, x_2}(\tau) = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T P(x_1, t)P[(x_1, t) - \tau] dt \tag{2}$$

$\Phi_{x_1, x_2}(\tau)$ สามารถแสดงรูป 3 ค่าของ τ ที่ตำแหน่งความสัมพันธ์สูงสุดถูกแสดงโดยช่วงเวลาที่แตกต่างกัน Δt ของแรงดันคลื่นชีพจรจากตำแหน่ง x_1 และ x_2 ซึ่งเราก็จะได้ค่าความเร็วคลื่นชีพจรแบบ CCAPWV คือ

$$CCAPWV = \frac{x_2 - x_1}{\Delta t} \tag{3}$$

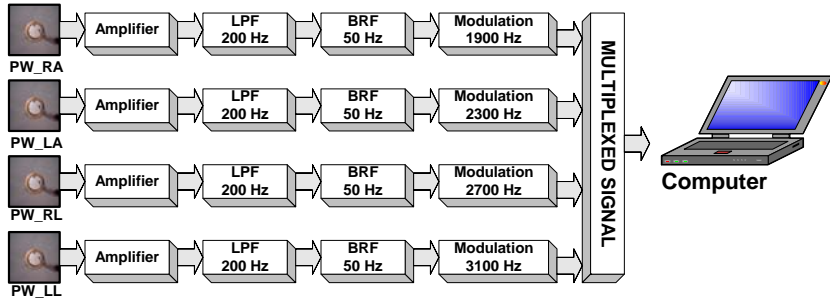
โดยทั่วไปแล้วคนปกติจะมีค่าความเร็วของคลื่นชีพจร ในช่วง 8 เมตรต่อวินาที ถึง 14 เมตรต่อวินาที (Nakano, 2004) ถ้านอกเหนือจากนั้นแล้วจะมีภาวะการเสี่ยงต่อการเป็นโรคหลอดเลือดแข็งส่วนปลาย



รูป 3 การหาค่าสหสัมพันธ์ของเวลาระหว่างผลต่างสัญญาณแรงดันเลือด 2 สัญญาณ

หลักการทํางาน

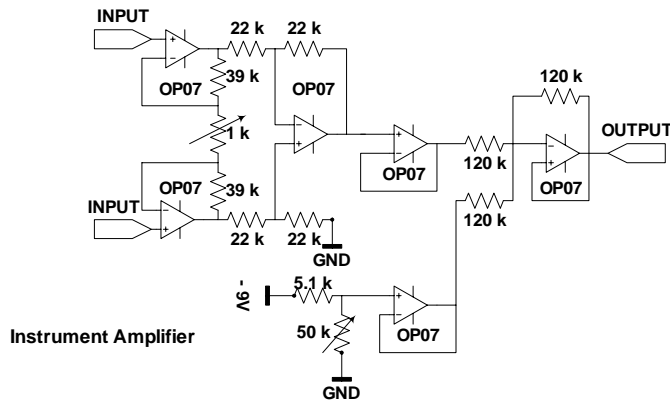
สำหรับเครื่องตรวจวินิจฉัยโรคหลอดเลือดส่วนปลายที่ได้เสนอในที่นี้สามารถแบ่ง 2 ส่วนสำคัญคือ ส่วนแรกของฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการตรวจจับสัญญาณ และส่วนของซอฟต์แวร์ใช้ในการประมวลผลและแสดงผลของสัญญาณ ดังที่กล่าวมาแล้ว



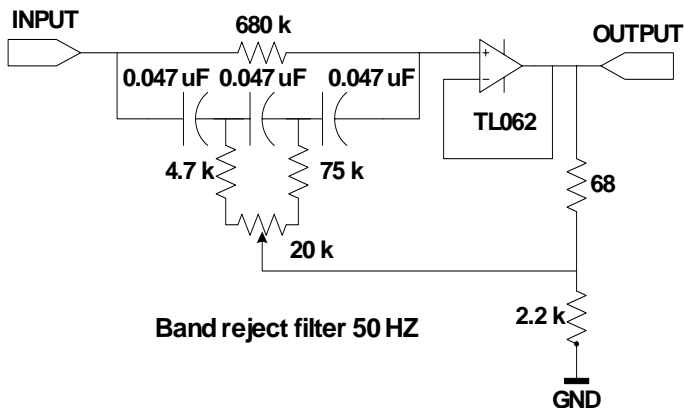
รูป 4 แผนผังการทํางานของเครื่องมือวัด

1. ส่วนของฮาร์ดแวร์

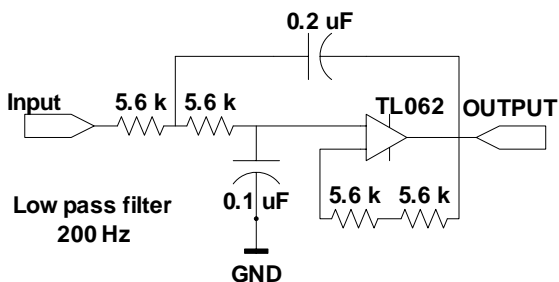
จากรูป 4 มีการนำสัญญาณเข้าระบบโดยใช้แผ่นเปียโซอิเล็กทริกจำนวน 4 ชุด มาตรวจจับสัญญาณแรงดันหลอดเลือด แล้วขยายสัญญาณ โดยผ่านเข้าสู่วงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนเตชัน ส่วนสัญญาณรบกวนเนื่องจากความถี่ไฟฟ้าถูกกำจัดโดยเข้าสู่วงจรกำจัดสัญญาณ 50 Hz และกรองสัญญาณในย่านความถี่ของสัญญาณคลื่นชีพจรโดยผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 200 Hz ดังแสดงในรูป 5, 6 และ 7 ตามลำดับ จากนั้น สัญญาณแรงดันหลอดเลือดทั้งหมดจะถูกทำการมอดูเลตทางขนาดด้วยความถี่คลื่นพาห์ 1.9, 2.3, 2.7 และ 3.1 kHz ตามลำดับ เพื่อให้มีความถี่ที่แยกออกจากกัน และทำการรวมสัญญาณเพื่อไปประมวลผลทางคอมพิวเตอร์



รูป 5 วงจรขยายสัญญาณอินสตรูเมนที่



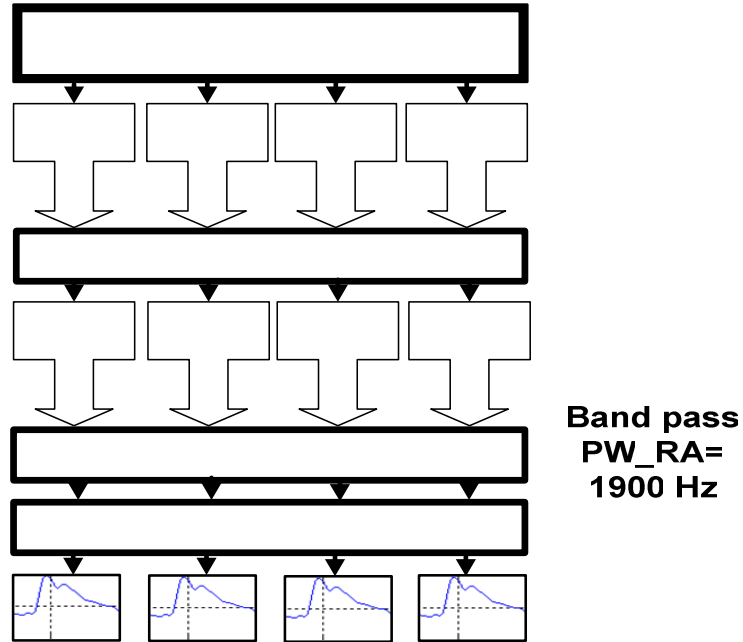
รูป 6 วงจรไม่กรองผ่านความถี่ผ่านที่ 50 Hz



รูป 7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ 200 Hz

2. ส่วนของซอฟต์แวร์

สัญญาณแรงดันหลอดเลือด ที่ถูกมอดูเลตทางขนาดรวมกันมาทั้งหมดนั้น จะถูกนำมาผ่าน Band Pass Filter ที่เหมาะสมเพื่อกรองแยกส่วนเอาสัญญาณแรงดันหลอดเลือดทั้ง 4 ที่ถูกมอดูเลตทางขนาดออกตามลำดับ แล้วจะถูกนำมาคิมอดูเลตโดยนำไปผ่านวงจรหาค่าสัมบูรณ์ และนำไปผ่าน Low Pass Filter แต่สัญญาณยังคงมีสัญญาณรบกวนอยู่จึงต้องผ่านการแปลงเวฟเลท เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน ดังแสดง แผนภูมิของซอฟต์แวร์ไว้ในรูป 8



รูป 8 แผนผังการทำงานในส่วนซอฟต์แวร์

สำหรับกระบวนการหาค่าของความเร็วของเลือดที่ผ่านหลอดเลือด (PWV) แสดงรูป 9 โดยอาศัย สัญญาณแรงดันหลอดเลือดจากภายนอกร่างกาย 4 ตำแหน่ง เมื่อทำการวัดสัญญาณแรงดันเลือดแล้ว นำสัญญาณแรงดันเลือดมาทำการ Normalize Amplitude เพื่อทำการปรับสเกลขนาดของสัญญาณให้มีค่าตรงกันและแยกสัญญาณแรงดันหลอดเลือดจำนวน 4 สัญญาณ การคำนวณหาค่า Pulse Wave Velocity (PWV) สามารถคำนวณได้จากสมการ (1) ซึ่งการคำนวณหาค่าผลต่างของเวลา (Δt) ระหว่างสัญญาณแรงดันหลอดเลือดที่ตำแหน่งแขน และสัญญาณแรงดันหลอดเลือดที่ตำแหน่งขา ด้วยวิธีการแบบ Cross-Correlation APWV (CCAPWV) ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่าผลต่างของเวลาแบบอัตโนมัติได้ ส่วน Δs คือ ระยะห่างระหว่างแขนและขา ที่ทำการวัดสัญญาณแรงดันหลอดเลือด สามารถคำนวณได้จากสมการ (4)

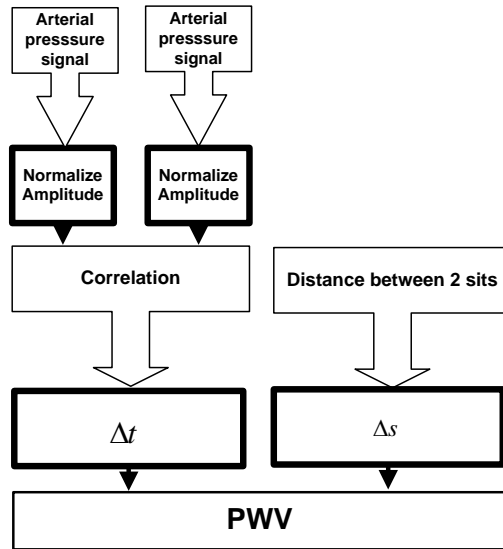
$$Ds=(0.5934 \times h)+14.4014 \quad (4)$$

โดยที่ h คือ ค่าความสูงของผู้ทำการวัดสัญญาณแรงดันหลอดเลือด

หลังจากนั้นจึงนำค่าของ Δs และ Δt ไปแทนลงในสมการ (1) เพื่อทำการคำนวณหาค่าของ Pulse Wave Velocity (PWV) ต่อไป

Pulse wave of right brachial

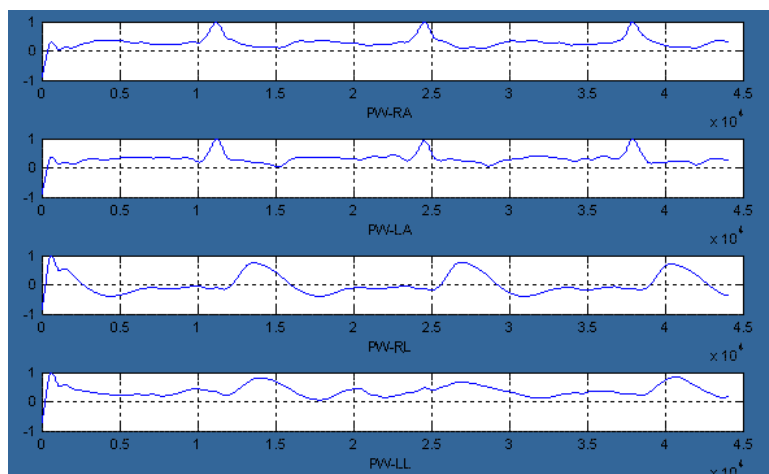
Pulse left



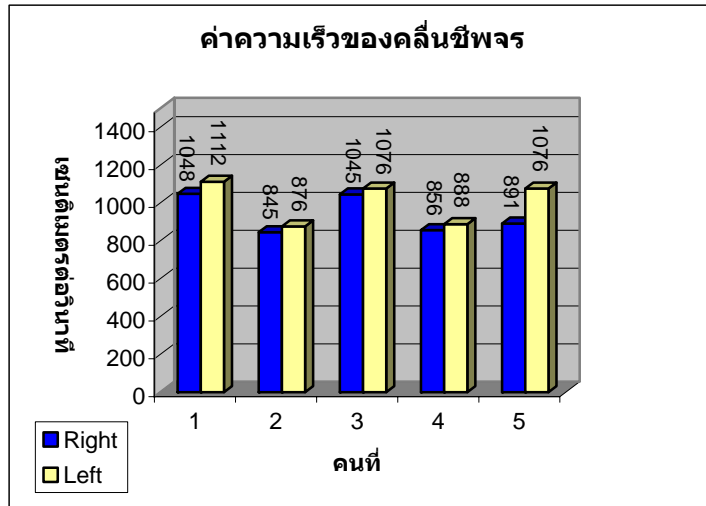
รูป 9 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่า Pulse Wave Velocity

ผลการทดลอง

รูป 10 จะพบว่าสัญญาณแรงดันเลือดของหลอดเลือดทั้ง 4 สัญญาณที่ได้ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยการแปลงเวฟเลตแล้วนั้น จะทำให้ได้รูปแบบของสัญญาณที่ชัดเจนขึ้น ซึ่งทำให้การนำไปวิเคราะห์มีความถูกต้องชัดเจนมากขึ้น



รูป 10 สัญญาณแรงดันเลือดของหลอดเลือดทั้ง 4 คือ แรงดันหลอดเลือดของแขนขวา (PW_RA), แรงดันหลอดเลือดของแขนซ้าย (PW_LA), แรงดันหลอดเลือดของขาขวา (PW_RL), และแรงดันหลอดเลือดของขาซ้าย (PW_LL) ตามลำดับ



รูป 11 กราฟค่าความเร็วคลื่นชีพจร

จากรูป 11 แสดงกราฟค่าความเร็วคลื่นชีพจรด้วยวิธีการแบบ Cross Correlation ของคนปกติจำนวน 5 คน ซึ่งได้จากการคำนวณจากข้อมูลแรงดันหลอดเลือดที่ทำการวัด พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานของคนปกติที่มีค่าความเร็วคลื่นชีพจร คือ 800-1400 เซนติเมตรต่อวินาที

สรุปผลการทดลอง

ในการสร้างเครื่องตรวจวินิจฉัยโรคทางหลอดเลือดตีบส่วนปลายแบบไม่รุกล้ำ สามารถตรวจแสดงผลของสัญญาณแรงดันหลอดเลือดทั้ง 4 คือ สัญญาณแรงดันหลอดเลือดของแขนขวา (Pulse Wave of Right Brachial), แรงดันหลอดเลือดของแขนซ้าย (Pulse Wave of Left Brachial), แรงดันหลอดเลือดของขาขวา (Pulse Wave of Right Angel), และแรงดันหลอดเลือดของขาซ้าย (Pulse Wave of Left Angel) ดังรูป 10 ซึ่งผลของรูปสามารถนำไปคำนวณหาค่าของความเร็วของเลือด ที่ผ่านหลอดเลือด (PWV) ดังขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่า Pulse Wave Velocity ดังรูป 9 โดยกระบวนการ Correlation ซึ่งพบว่าผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลที่วัดจากเครื่อง มีค่าอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานของคนปกติคือ 800-1400 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งให้ผลดังกล่าวสามารถใช้เพื่อวินิจฉัยโรคทางหลอดเลือดตีบส่วนปลายอย่างมีประสิทธิภาพต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณรศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของงานวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ และ ภาควิชาเทคโนโลยีหัวใจและทรวงอก คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย สำหรับงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยนเรศวร ปี 2550

เอกสารอ้างอิง

- McLaughlin J., McNeill M., Braun B. and McCormack P.D. (2003). Piezoelectric Sensor Determination of Arterial Pulse Wave Velocity. *Institute of Physics publishing, Physiol. Meas.*, 24, 693-702.
- Nakano T. (2004). Assessment of vascular injury in patients with stroke by measurement of pulse wave velocity. *Jour. Stroke and Cerebrovascular Disease*, 13, 74-80.
- Ramsey M.W. (1995). Real time measurement of pulse wave velocity from arterial pressure waveforms. *Jour. Med. Biol. Eng. Comput.*, 33, 636-642.
- Yamashina A., Tomiyama H., Hirose K., Koji Y., Yamamoto Y. and Hori S. (2003). Brachial – ankle pulse wave velocity as a marker of atherosclerotic vascular damage and cardiovascular risk, *Hypertens Res.*, 26(8), 615-622.