

บทที่ 4

การตรวจสอบความผิดปกติในการทำงานของหัวใจเบื้องต้น โดยอาศัย คลื่นไฟฟ้าหัวใจและคลื่นเสียงเชิงกลจากการทำงานของหัวใจ

ในปัจจุบันมีผู้ที่ป่วยด้วยอาการผิดปกติของหัวใจมีปริมาณเพิ่มมากยิ่งขึ้น ซึ่งในทางการแพทย์นั้นมามีวิธีการในการตรวจวัดความผิดปกติของหัวใจได้หลายวิธี ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุดมีอยู่ 2 วิธี คือ การตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Electrocardiograph เป็นเครื่องมือที่ใช้บันทึกคลื่นไฟฟ้า (electrical impulse) ของกล้ามเนื้อหัวใจ โดยให้ไฟฟ้าจากภายนอกมาตามเซลล์ประสาท แล้วไปกระตุ้นกล้ามเนื้อหัวใจให้เกิด แอ็กชันโพเทนเชียล และส่งกระแสไฟฟ้าออกมายังผิวหนังกลายเป็น เซอร์เฟสโพเทนเชียล และอีกวิธีการหนึ่งก็คือ การตรวจวัดด้วยการฟังเสียงการทำงานของหัวใจ (Phonocardiograph) โดยการใช้ Stethoscope ตรวจฟังเสียงการทำงานของหัวใจ ซึ่งสามารถจำแนกความผิดปกติของหัวใจโดยอาศัยคลื่นไฟฟ้าหัวใจและคลื่นเสียงหัวใจได้ดังต่อไปนี้

1. การตรวจความผิดปกติการทำงานของหัวใจโดยอาศัยคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

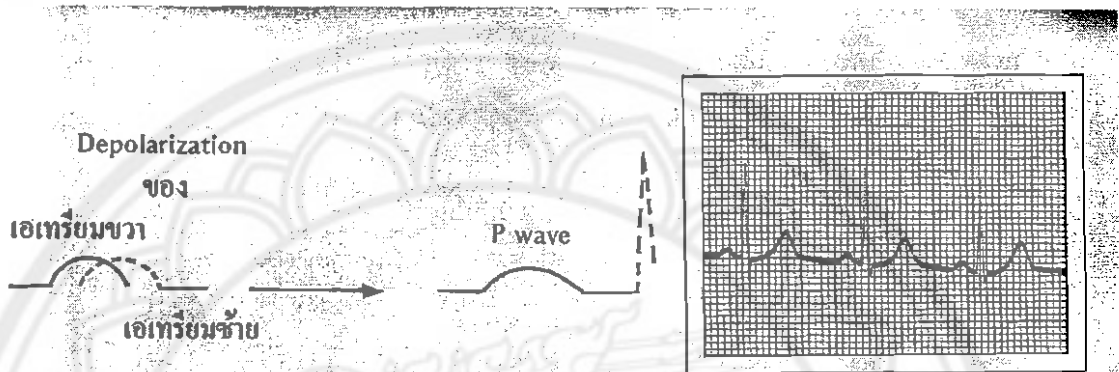
การตรวจสอบคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผิดปกติสามารถจำแนกความผิดปกติได้ดังต่อไปนี้

- 4.1.1 การตรวจสอบความผิดปกติจาก P wave
- 4.1.2 การตรวจสอบความผิดปกติจาก Q wave
- 4.1.3 การตรวจสอบความผิดปกติจาก QRS complex
- 4.1.4 การตรวจสอบความผิดปกติจาก T wave
- 4.1.5 การตรวจสอบความผิดปกติจาก U wave

1.1 การตรวจสอบความผิดปกติจาก P wave

P wave ที่ปกติในคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั้นต้องมีรูปร่างกลมและเรียบ และความกว้างของ P wave นี้ต้องไม่เกิน 0.12 วินาที และความสูงไม่เกิน 2.5 ม.ม. P wave นี้ควรจะมีหัวตั้งเสมอ แสดงถึงภาพ และควรที่จะเห็นได้ชัดใน lead II มากกว่า lead อื่นๆ และมักจะหัวกลับเสมอใน lead aVR ส่วนใน lead V₁ และ V₂ นั้น บางครั้งอาจจะเป็น biphasic ก็ได้ คือมีทั้งส่วนที่เป็นบวก และที่เป็นลบอยู่ในคลื่นเดียวกัน กล่าวคือส่วนแรกของ P wave จะอยู่เหนือเส้นมาตรฐาน แต่ส่วนหลังของ P wave นี้จะต้องเล็กกว่า หรืออย่างมากที่สุดก็มีเนื้อที่เท่ากับส่วนที่เป็นบวก แต่จะใหญ่กว่าส่วนที่เป็น

บอกไม่ได้ P wave ใน lead V_1 และ V_2 ไม่จำเป็นต้องเป็น biphasic เสมอไปบางครั้งอาจจะเป็น P wave ที่หัวตั้งธรรมดาก็ได้ ถ้า P wave ผิดปกติไปย่อมหมายความว่าความผิดปกติที่เกิดขึ้นในเอเทรียมขวาหรือเอเทรียมซ้าย



ภาพ 30 P wave ที่ปกติจะมีลักษณะกลมและเรียบ เกิดจาก depolarization wave ของเอเทรียมขวา และซ้าย

1.1.1 P wave ที่ผิดปกติ

การพิจารณา P wave ควรดูจาก lead II ก่อนเสมอ เพราะมักจะเห็นได้ชัดกว่าใน lead อื่นๆ แต่ในกรณีที่เห็นไม่ชัดใน lead II อาจจะใช้ lead I แทนได้ ถัดไปก็คือ lead III aVL หรือ aVF P wave จะผิดปกติได้ก็ต่อเมื่อความสูงหรือความกว้างผิดปกติไป คือสูงมากกว่าปกติหรือกว้างมากกว่าปกติ เมื่อเห็นเช่นนี้ใน lead II แล้ว ต้องไปพิจารณาดู P wave ใน lead V_1 ด้วยเสมอ เพื่อป้องกันการผิดพลาด P wave อาจผิดปกติได้ดังนี้

1.1.1.1 P mitrale หรือ P wave ที่กว้าง คือความกว้างเกินกว่า 0.12 วินาที และเราอาจจะพบว่ามี notch ด้วยบ่อยๆ ซึ่งอาจเรียกว่า bifid และอาจจะสูงกว่าธรรมดาเล็กน้อยด้วย ซึ่ง peak แรกจะเกิดเพราะ depolarization wave ของเอเทรียมขวา ส่วน peak หลังเกิดเพราะ depolarization wave ของเอเทรียมซ้าย การเกิด bifid ได้นี้หมายความว่า activation ของเอเทรียมซ้ายนั้นช้ากว่าธรรมดา เพราะเอเทรียมนั้นโตหรือมีพยาธิสภาพเกิดขึ้น peak ที่สองของ bifid P wave นั้น ถ้ามี left axis deviation ด้วยยิ่งมีความหมายว่า left atrial enlargement หรือ hypertrophy อย่างแน่นอน

เมื่อเราพบ P wave ที่ผิดปกติใน lead II หรือ lead อื่นของ limb lead ดังได้กล่าวมาแล้ว เราต้องดู P wave ใน lead V₁ ด้วยเสมอว่าเป็นลบหรือไม่ ถ้าเป็นลบจะเป็นเครื่องช่วยบ่งชี้ว่ามี เอเทรียมซ้ายโต หรือมีพยาธิสภาพในเอเทรียมซ้ายอย่างแน่นอนในกรณีนี้ P wave ใน lead V₁ เป็น biphasic ส่วนที่เป็นลบจะต้องใหญ่กว่าหรือชัดเจนกว่าส่วนที่เป็นบวก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วถ้า ส่วนที่เป็นลบมีขนาดเช่นนี้ เรามักจะพบว่าส่วนที่เป็นบวกจะเล็กมาก อาจเป็นเพียงเส้นเล็กๆ สั้นๆ สูงขึ้นจากเส้นมาตรฐานพอแลเห็นได้เท่านั้นเองถ้าเราไม่แน่ใจว่าส่วนที่เป็นลบจะใหญ่กว่าส่วนที่เป็นบวกหรือไม่เราอาจถือหลักว่าส่วนที่เป็นลบนั้น จะต้องต่ำกว่าเส้นมาตรฐานลงไปอย่างน้อย 1 ม.ม. และจะต้องกว้างน้อยที่สุด 1 ม.ม. คือ 1 ช่องเล็กด้วย จึงเป็นเครื่องช่วยวิเคราะห์ว่าเอเทรียมซ้ายโตหรือมีพยาธิสภาพ

ถ้า P wave ใน lead II กว้างเท่ากับ 0.12 วินาทีหรือมากกว่า แต่ P wave ใน lead V₁ ไม่เป็นลบหรือ biphasic ชนิดที่กล่าวมาแล้วคลื่นไฟฟ้าหัวใจอันนั้นเราอ่านเพียงว่ามี "possible left atrial abnormality"

เหตุที่เราเรียกว่า P wave ที่กว้างและมี notch ที่ข้างบนนี้ว่า P mitrale ก็เพราะเราพบ P wave เช่นนี้บ่อยมากในคลื่นไฟฟ้าหัวใจของคนที่มี mitral valvular heart disease แต่ก็ไม่จำเป็นเสมอไป เราพบในภาวะใดก็ได้ที่มีเอเทรียมซ้ายโต เช่นพวกที่มีหัวใจวายซีกซ้าย และในบางครั้ง notch P wave นี้เกิดเนื่องจากมีพังผืดขึ้นในผนังเอเทรียมทำให้ depolarization wave ในเอเทรียม เป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอจึงได้ P wave ที่มีลักษณะเช่นนี้ เพราะฉะนั้นเมื่อมี notch P wave ก็ไม่จำเป็นว่าจะต้องหมายความถึงมีเอเทรียมซ้ายโตเสมอไป

1.1.1.2 P pulmonale หรือ P wave ที่สูง คือความสูงของ P wave ใน lead II จะ ต้องเท่ากับ 3 ม.ม. หรือมากกว่าแต่ความกว้างของ P wave จะปกติ และต้องไปพิจารณาดู P wave ใน lead V₁ ด้วย ถ้า P wave ใน lead V₁ เป็นลบเราอาจกล่าวได้ว่าคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั้นมี "right atrial enlargement หรือ hypertrophy"

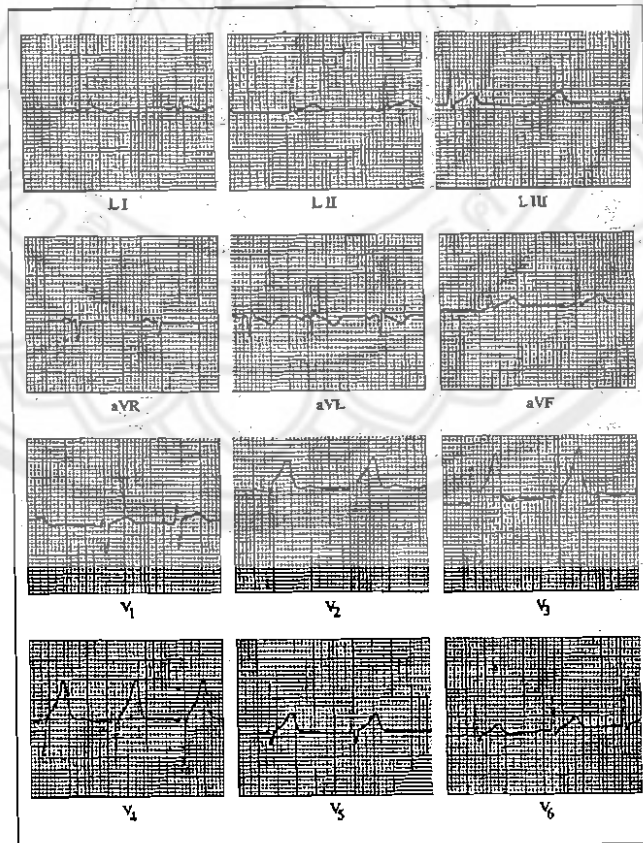
ถ้า P wave ใน lead V₁ ไม่เป็นลบ เราก็จะอ่านเพียงว่าคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั้นมี "possible right atrial enlargement หรือ hypertrophy" สาเหตุของ P pulmonale ที่พบบ่อยๆ คือ pulmonary hypertension ที่เกิดจากโรคใดก็ได้, pulmonary embolism อย่างรุนแรง, pulmonary stenosis, tricuspid stenosis, tricuspid incompetence และ cor pulmonale

P wave ที่ผิดปกติ 2 ชนิดที่กล่าวมาข้างต้นนี้เป็นชนิดที่เราพบบ่อยมากในทางเวชปฏิบัติ ส่วนชนิดที่ผิดปกติและจะกล่าวต่อไปนี้เป็นชนิดที่พบบ่อยเท่า



ภาพ 31 P wave ที่มีลักษณะผอมสูงและแหลมกว่าธรรมดา

1.1.1.3 P wave หัวกลับ นี่เป็นสิ่งที่พบปกติใน aVR และบางครั้งก็พบได้อย่างปกติเช่นกันใน lead I, III และ aVF และพบเป็นครั้งคราวใน lead V₁ และ V₂ แต่การมี P wave หัวกลับใน lead II จะต้องเป็นสิ่งผิดปกติเสมอ ดังภาพ 32



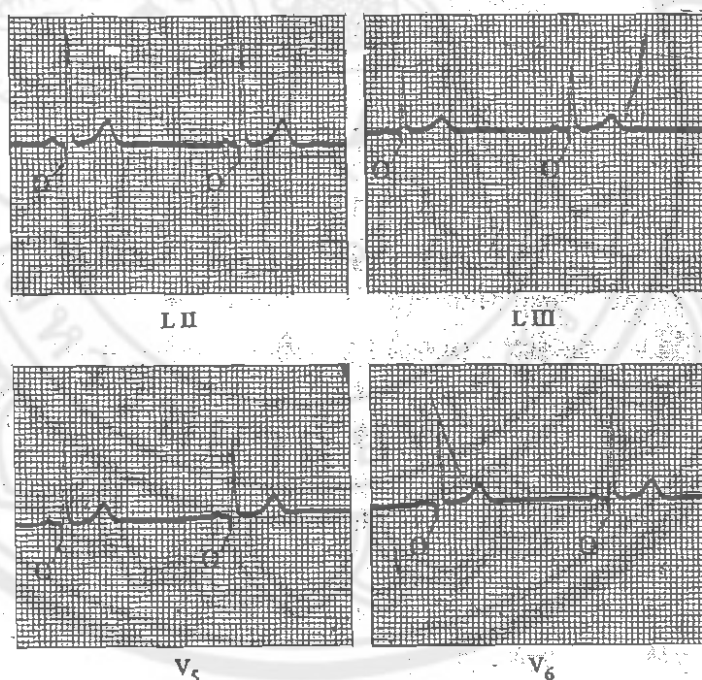
ภาพ 32 P wave หัวกลับใน lead I และ P wave หัวตั้งใน aVR

1.1.1.4 P wave หลายๆ อัน ตามธรรมดา P wave หนึ่งอันจะมี QRS ตามมาหนึ่งตัวเสมอ แต่ในบางกรณีอาจพบคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่มี P wave หลายๆ ตัวแล้วจึงมี QRS 1 ตัว

1.2 การตรวจสอบความผิดปกติจาก Q wave

Q wave ปกติ จะต้องมึลักษณะดังต่อไปนี้คือ ความกว้างน้อยกว่า 0.04 วินาที หรือ 1 ช่องเล็กในกระดาษบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และความลึกน้อยกว่า 1/4 ของขนาด R wave ดังภาพ 33 ตัวอย่างเช่น R wave มีความสูง 10 ม.ม. Q wave จะต้องมีความลึกน้อยกว่า 2.5 ม.ม. ดังนี้ เป็นต้น ถ้า Q wave เกิดลึกถึง 4 ม.ม. ก็ต้องถือว่าเป็น Q wave ที่ผิดปกติ

Q wave ปกติ นั้นเรามักจะพบได้ใน lead I, aVL, V₄, V₅, และ V₆, ซึ่งทั้งหมดนี้จะเป็น left ventricular surface lead ทั้งสิ้น ลักษณะของ Q มักจะแคบเล็ก ไม่มี notching หรือ slurring เลย และมักจะลึกไม่เกิน 2 ม.ม.



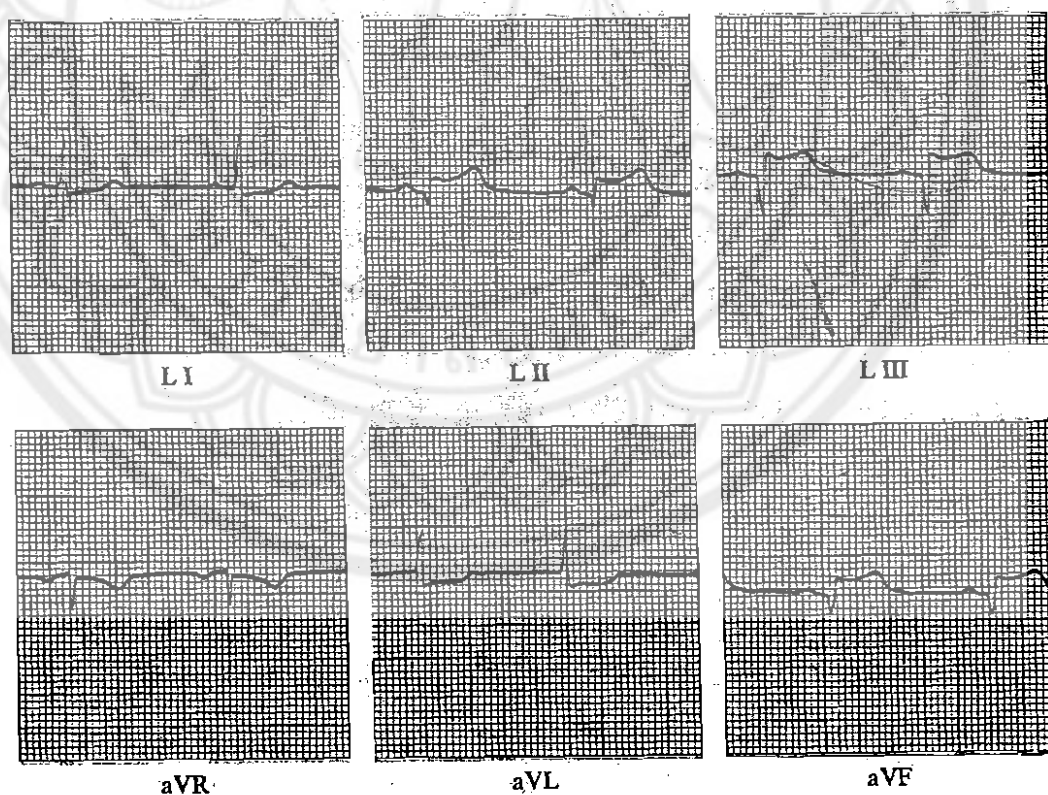
ภาพ 33 Q wave ที่ปกติใน lead ต่างๆ

1.2.1 Q wave ที่ผิดปกติ

ย้อมมีความกว้างเท่ากับ 0.04 วินาที หรือมากกว่า หรือลึกมากกว่า 1/4 ของ R wave ถ้า Q มีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งในสองอย่างที่กล่าวมานี้ ก็ถือได้เลยว่าเป็น Q wave ที่ผิดปกติ
 ดังภาพ 34

ในบางครั้งเราพบ Q wave โดยที่ไม่มี R wave ตามมาเลย คลื่นที่ตามหลัง Q wave เป็น T wave ในกรณีเช่นนี้เราเรียก Q อันนั้นว่า QS wave ซึ่งถ้าเป็น QS wave มักจะเป็น Q wave ที่ผิดปกติ ยกเว้น ใน lead III หรือ V_1 หรือทั้ง V_1 และ V_2 ได้ด้วย

การอ่าน Q wave ว่าปกติหรือไม่นั้นเป็นเรื่องที่สำคัญมาก และบางครั้งก็เป็นเรื่องที่ยุ่งยากที่สุดของการอ่านคลื่นไฟฟ้าหัวใจด้วย โดยทั่วไปเราถือหลักว่าขนาดนั้นเป็นสิ่งสำคัญมากดังได้กล่าวมาแล้ว แต่เราต้องไม่ลืมว่า ถ้า Q มีขนาดเล็กหรือลึกเพียง 1 ม.ม. แต่บางที่ถ้ากว้างถึง 0.04 วินาทีคือ 1 ช่องเล็ก Q นั้นย่อมมีความสำคัญมาก ในทางตรงข้าม QS ที่ลึกถึง 8-9 ม.ม. ในบาง lead อาจนับเป็นสิ่งปกติได้



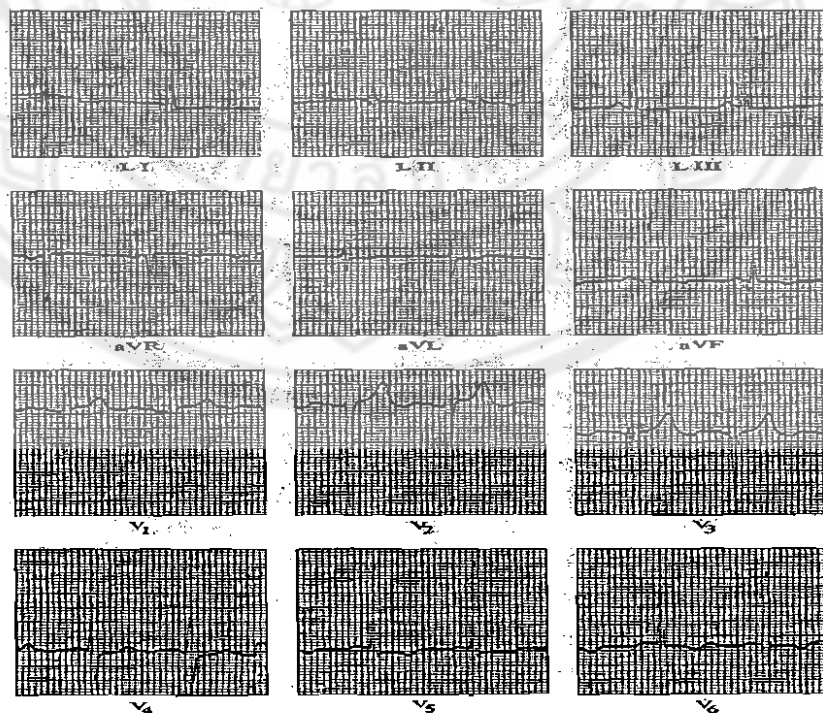
ภาพ 34 Q wave ที่ผิดปกติใน lead II, III, aVF

1.3 การตรวจสอบความผิดปกติจาก QRS complex

การศึกษา QRS complex นี้ เราจะพิจารณาในสิ่งต่อไปนี้คือ

1.3.1 ความสูงของ R wave และความลึกของ S wave หรืออาจเรียกว่า amplitude คือระยะทางจากยอดสุดของ R หรือ S wave มาถึง isoelectric line หรือ base line ซึ่งแสดงถึง electrical activity ของ ventricle คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านไปจนทั่ว ventricle ถ้า ventricle มีขนาดโตมากๆ หรือผนังของ ventricle หนา เรียกว่า ventricular hypertrophy amplitude ของ R wave หรือ S wave จะสูงหรือลึกมากขึ้น โดยปกติความสูงของ R wave ใน lead I รวมกับความลึกของ S wave ใน lead III ต้องไม่เกิน 25 มิลลิเมตร หรือความลึกของ S wave ใน V_1 รวมกับความสูงของ R wave ใน V_5 หรือ V_6 ต้องไม่เกิน 35 มิลลิเมตร

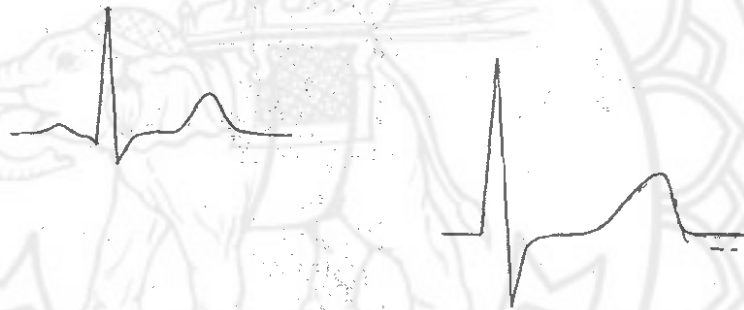
1.3.2 ความกว้างของ QRS complex หรือ QRS interval คือระยะทางจากจุดเริ่มต้นของ QRS complex จนถึงจุดสุดท้ายของ QRS complex ซึ่งแสดงถึงระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้ากระตุ้น ventricle ทั้งสองข้างให้เกิด depolarization ถ้า bundle branch อันใดอันหนึ่งผิดปกติไป ไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้หรือผ่านได้ช้าลง จะทำให้ ventricle ข้างนั้นๆ เกิด depolarization ช้า QRS complex จะกว้างขึ้น ซึ่งเรียกภาวะนี้ว่า bundle branch block ดังภาพ โดยปกติแล้ว ความกว้างของ QRS complex ควรอยู่ระหว่าง 0.06-0.10 วินาที โดยทั่วไปดูได้จาก lead II เนื่องจากสามารถเห็นได้ชัดเจน



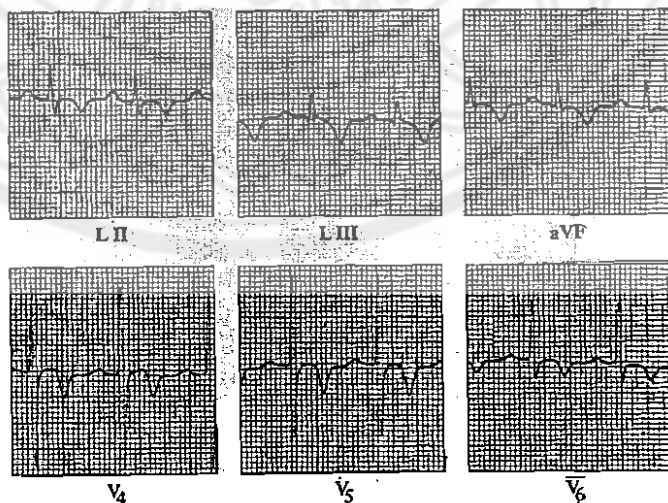
ภาพ 35 QRS complex ที่ผิดปกติ มีขนาดใหญ่

1.4 การตรวจสอบความผิดปกติจาก T wave

รูปร่างของ T wave ที่ปกตินั้นจะ asymmetrical เล็กน้อย ถ้าพิจารณาดูให้ละเอียด โดย Ascending limb ของ T wave จะชันชันกว่า descending limb เล็กน้อย โดยทั่วไปแล้ว T wave ใน limb lead จะไปทางเดียวกับ QRS complex ใน lead เดียวกันเสมอ กล่าวคือถ้า QRS complex นั้นส่วนใหญ่เป็นบวก T wave ก็จะเป็นบวก คือหัวตั้ง แต่ถ้า QRS complex ส่วนใหญ่เป็นลบ T wave ก็จะเป็นลบ คืออยู่ต่ำกว่า baseline เป็น T wave หัวกลับ ดังนั้น T wave จะหัวตั้งเสมอใน lead I และ II และหัวกลับเสมอใน aVR ส่วนใน aVL และ aVF รวมทั้ง lead III นั้น T wave ที่ปกติอาจจะหัวตั้งหรือหัวกลับก็ได้ ใน lead ใดที่ QRS complex มีผลลัพธ์ของความสูงเท่ากับศูนย์ หรือใกล้เคียงกับศูนย์ T wave มักจะมีขนาดเล็กมาก และอาจจะแบนราบหรือเป็นหัวตั้งหรือหัวกลับก็ได้ แต่ขนาดจะเล็กมาก



ภาพ 36 T wave ที่ปกติที่ขยายใหญ่



ภาพ 37 T wave ที่ผิดปกติที่หัวกลับ

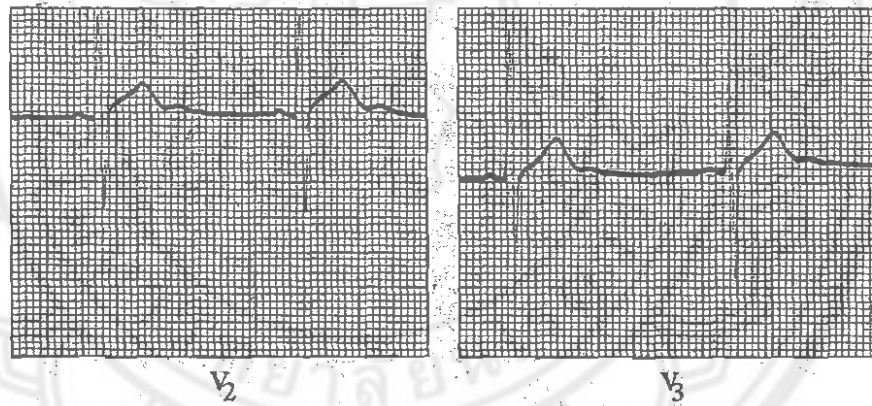
1.5 การตรวจสอบความผิดปกติจาก U wave

U wave เป็น wave เล็กๆ เกิดขึ้นหลัง T wave และอยู่ก่อน P wave ของ cardiac cycle ถัดไป ซึ่ง U wave นี้ตามธรรมชาติจะไม่พบในคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ทุก lead จะพบได้ในบาง lead เท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้ชัดที่สุดใน V5 และ V6 กลไกการเกิด U wave นี้ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่เข้าใจว่าเกิดจาก late repolarization ใน Purkinje fiber ซึ่งถ้า U wave สูงเกินกว่า 1 มิลลิเมตรอาจพบในภาวะ hypokalemia หรือ bradycardia เป็นต้น

1.5.1 U wave ที่ผิดปกติ

เราสามารถแบ่งการเปลี่ยนแปลง U wave ที่ผิดปกติได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. U wave ที่ขนาดใหญ่เห็นได้ชัดเจน คือสูงเกินกว่า 1 มิลลิเมตร ขึ้นไป เราถือว่าเป็น prominent U wave ในภาวะ U wave ที่ใหญ่และเห็นได้ชัดเจนนี้ดังภาพ จะพบได้ง่ายใน chest lead มากกว่าใน limb lead เป็นสิ่งที่ผิดปกติอันหนึ่งในการวินิจฉัยภาวะ hypokalemia



ภาพ 38 U wave ที่ผิดปกติมีขนาดใหญ่

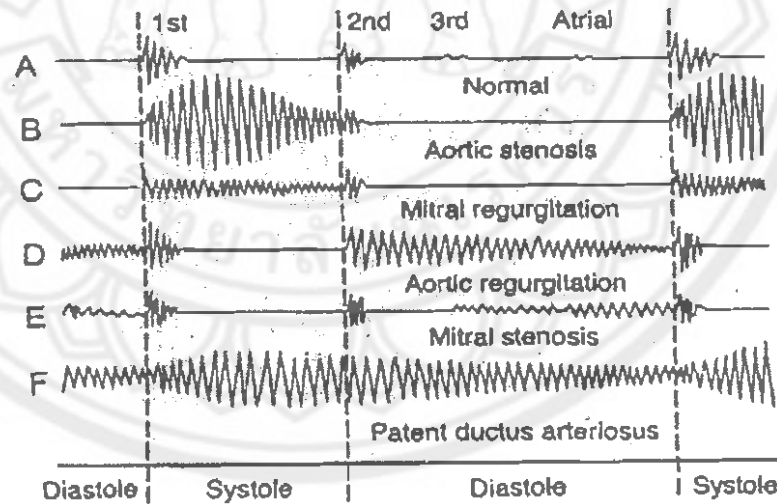
2. U wave หัวกลับ เกิดจากสาเหตุของ คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่มี ventricular ectopic beat เกิดขึ้นด้วย ถ้ามี U wave หัวกลับถือเป็นสิ่งผิดปกติที่สำคัญอันหนึ่งที่ต้องนึกถึงการวินิจฉัยโรค

2. การตรวจความผิดปกติการทำงานของหัวใจโดยอาศัยคลื่นเสียงหัวใจ

2.1 Cardiac Murmurs

Cardiac Murmurs คือ เสียงที่ผิดปกติซึ่งเกิดจากมีการรบกวนการไหลเวียนของเลือด อาจเกิดจากการอุดตันของทางเดินของเลือด ทำให้การไหลของเลือดไม่สะดวก หรืออัตราการไหลเร็วขึ้น ทำให้เกิดกระแสไหลวน (turbulent flow) ซึ่งเรียกเสียงที่เกิดขึ้นนี้ว่า murmurs สาเหตุของความผิดปกตินี้ส่วนใหญ่เกิดจากความผิดปกติของลิ้นหัวใจ หรืออาจเกิดจากการรั่วของผนังลิ้นหัวใจ ความผิดปกติของลิ้นหัวใจอาจเกิดจากการตีบแคบ (stenosis) ทำให้เลือดไหลผ่านไม่สะดวก หรือเกิดจากการปิดไม่สนิทของลิ้นหัวใจ (regurgitation หรือ insufficiency) ซึ่งโดยทั่วไปเรียกว่า ลิ้นหัวใจรั่ว ทำให้เลือดย้อนสู่ต้นทางได้ เสียง murmurs นี้ สามารถแบ่งตามระยะเวลาที่เกิดได้ดังนี้ คือ ถ้า murmurs เกิดขึ้นในช่วงหัวใจหดตัวเรียกว่า systolic murmurs ถ้า murmurs เกิดขึ้นในช่วงหัวใจคลายตัวเรียกว่า diastolic murmurs และ murmurs ที่ได้ยินตลอดเวลาทั้งในช่วงที่หัวใจหดตัวและคลายตัว เรียกว่า continuous murmurs

อาศัยวงจรการทำงานของหัวใจ ร่วมกับช่วงเวลาการเกิดของ murmurs สามารถบอกตำแหน่งและชนิดความผิดปกติของลิ้นหัวใจได้ว่า มีการตีบหรือรั่วตามตาราง 4.1



ภาพ 39 Phonocardiogram ของหัวใจปกติ และผิดปกติ

ตาราง 4 แสดงความผิดปกติของลิ้นหัวใจและเสียง Murmurs ที่เกิดขึ้น

ลิ้นหัวใจ	ช่วงเวลาที่เกิดเสียง	ชนิดของความผิดปกติ
Aortic, Pulmonary valve	Systolic	Stenosis
	Diastolic	Regurgitation
Mitral, Tricuspid valve	Systolic	Regurgitation
	Diastolic	Stenosis

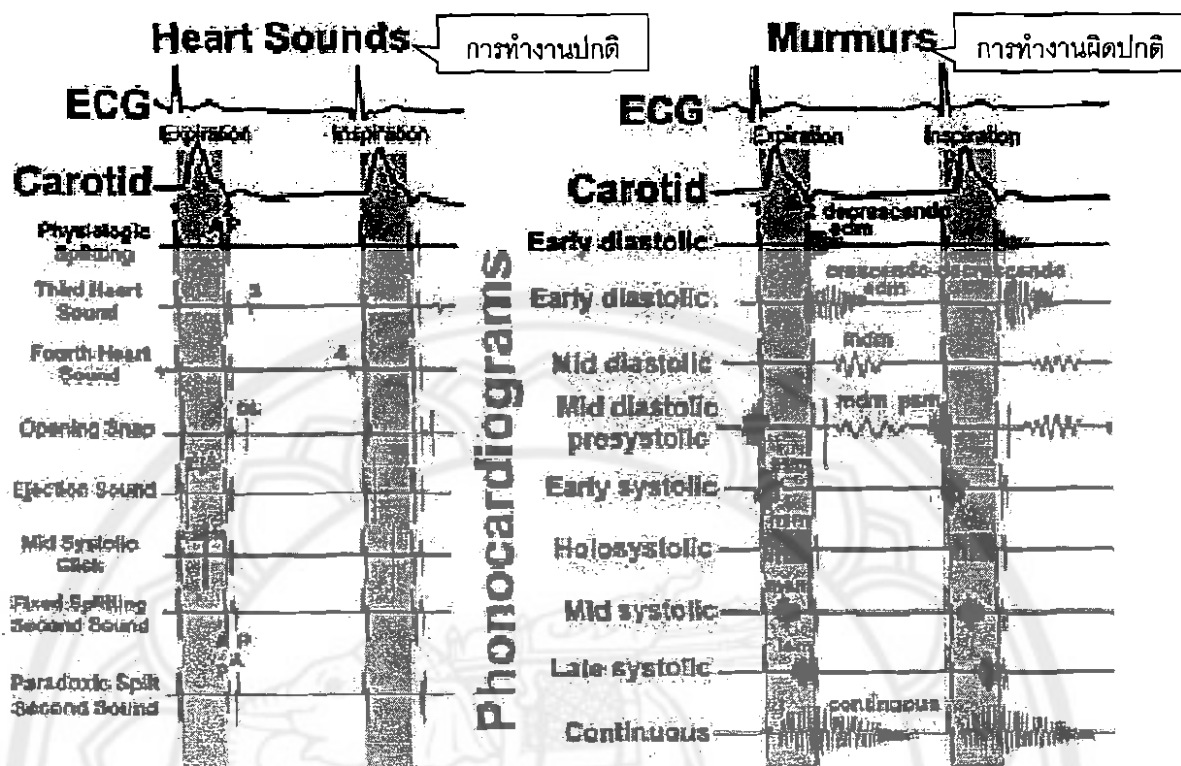
3. การตรวจสอบความผิดปกติในการทำงานของหัวใจเบื้องต้น โดยอาศัย คลื่นไฟฟ้าหัวใจ และคลื่นเสียงเชิงกลจากการทำงานของหัวใจ

จากการศึกษาพบว่า การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั้นยังมีจุดอ่อนของการวิเคราะห์อยู่ ทั้งนี้ เนื่องจากถ้าคลื่นไฟฟ้าหัวใจแสดงผลออกมาว่าหัวใจทำงานปกติ ไม่ได้หมายความว่าหัวใจจะทำงานปกติเสมอไป เนื่องจากการทำงานที่ผิดปกติของหัวใจอาจเกิดจากปัจจัยอื่น ที่การตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจไม่สามารถทำการตรวจพบได้ดังภาพ 40 ซึ่งสามารถแบ่งปัญหาที่เกิดจากการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจได้เป็นข้อๆ ดังต่อไปนี้

1. คลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติ ไม่ได้หมายความว่าหัวใจปกติ ปราศจากโรค ในโรคหัวใจขาดเลือด หรือ หลอดเลือดหัวใจตีบนั้น คลื่นไฟฟ้าหัวใจจะผิดปกติก็ต่อเมื่อเป็นโรคขั้นรุนแรงจนเกิดกล้ามเนื้อหัวใจตายแล้ว ถ้าเป็นเพียงหลอดเลือดตีบแต่ไม่รุนแรง ก็อาจตรวจไม่พบได้ นอกจากการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจขณะออกกำลังกายจะช่วยเพิ่มความไวในการตรวจขึ้น

2. หัวใจโต การอ่านคลื่นไฟฟ้าหัวใจว่ามีหัวใจโตก็เป็นสิ่งที่ต้องระมัดระวังมาก เพราะการแปลผลอาศัยความสูงของคลื่นไฟฟ้า (voltage) เป็นสำคัญ ความสูงของคลื่นนี้ก็แปรผันมาก ทั้งความอ้วน ผอม โรคปอด อายุ ฯลฯ ดังนั้นบ่อยครั้งที่คลื่นไฟฟ้าหัวใจบอกว่าโต แต่ความจริงแล้วไม่โตก็ได้ ในทางกลับกันการตรวจขนาดของหัวใจโดยอาศัยคลื่นไฟฟ้าหัวใจนั้น มีความไวที่ต่ำมาก หมายความว่า หัวใจอาจจะโต โดยที่คลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติ

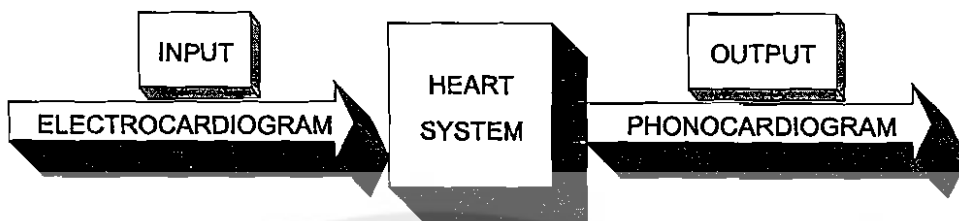
3. คลื่นไฟฟ้าหัวใจไม่ได้บอกความผิดปกติของลิ้นหัวใจ หรือ หลอดเลือดหัวใจโดยตรง แต่เป็นการตรวจผลเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากโรคของลิ้นหัวใจหรือหลอดเลือดหัวใจต่างหากในหลายกรณี การตรวจจะได้ประโยชน์เฉพาะเมื่อตรวจขณะเกิดอาการ เช่น ใจสั่น หัวใจเต้นผิดปกติ เจ็บหน้าอก เป็นต้น



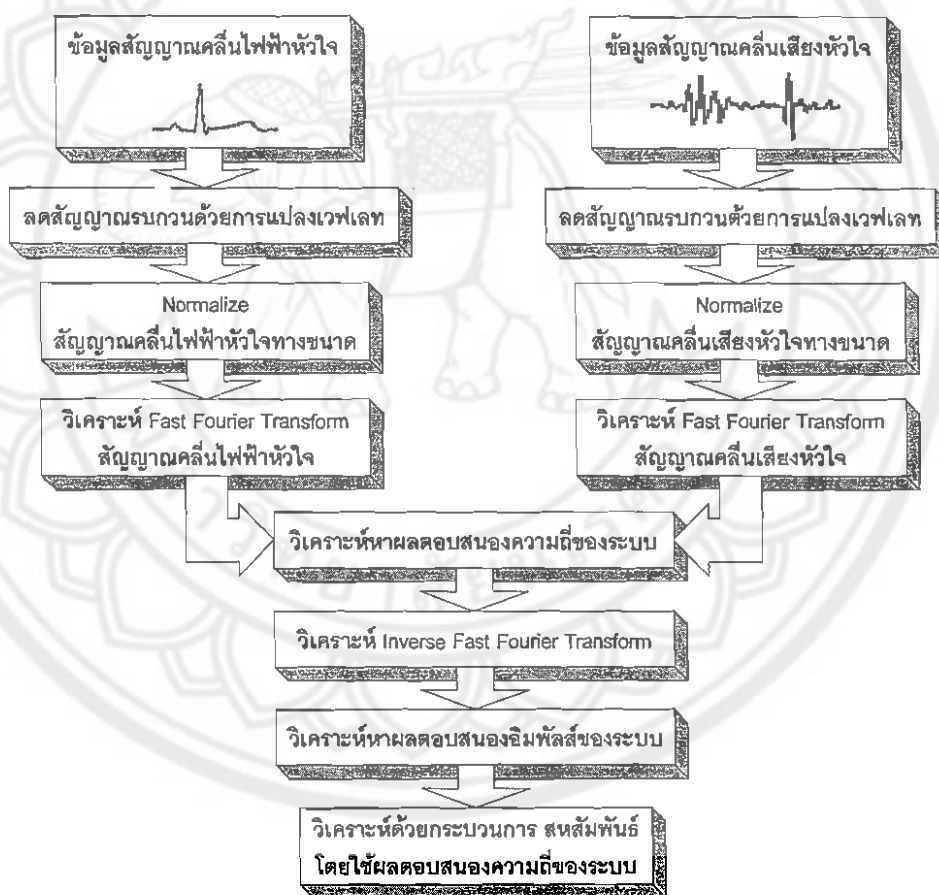
ภาพ 40 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ปกติ กับคลื่นเสียงหัวใจที่ปกติและผิดปกติ

จากภาพ 40 จะพบว่าสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ปกตินั้น ไม่จำเป็นว่าจะต้องได้สัญญาณคลื่นเสียงหัวใจที่ปกติเสมอไป บางครั้งอาจจะได้สัญญาณคลื่นเสียงหัวใจที่ผิดปกติก็ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ เพื่อทำการออกแบบกระบวนการในการตรวจสอบความผิดปกติในการทำงานของหัวใจเบื้องต้นโดยอาศัยคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และคลื่นเสียงเชิงกลจากการทำงานของหัวใจ เพื่อให้สามารถช่วยในการตรวจสอบความผิดปกติในการทำงานของหัวใจให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์หาผลตอบสนองในโดเมนความถี่ของระบบผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ โดยอาศัยค่าสัญญาณของคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นสัญญาณอินพุทของระบบ และสัญญาณคลื่นเสียงเชิงกลจากการทำงานของหัวใจเป็นสัญญาณเอาต์พุทของระบบ ดังภาพที่ 41 นำผลตอบสนองในโดเมนความถี่ของระบบ และผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบที่ได้มาตรวจสอบความผิดปกติในการทำงานของหัวใจ โดยอาศัยกระบวนการสหสัมพันธ์ ซึ่งมีขั้นตอนในการออกแบบโปรแกรมดังแสดงในภาพ 42



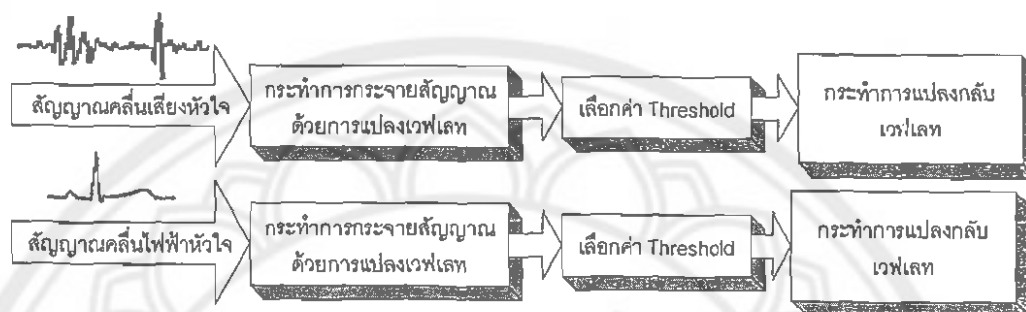
ภาพ 41 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบ



ภาพ 42 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม MATLAB

3.1 การกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยการแปลงเวฟเลท

ผู้วิจัยได้ทำการนำสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจมาทำการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยการแปลงเวฟเลท เพื่อช่วยให้การนำสัญญาณมาวิเคราะห์มีความถูกต้องเพิ่มมากยิ่งขึ้น สำหรับขั้นตอนการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเวฟเลท แสดงดังภาพ 43



ภาพ 43 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเวฟเลท

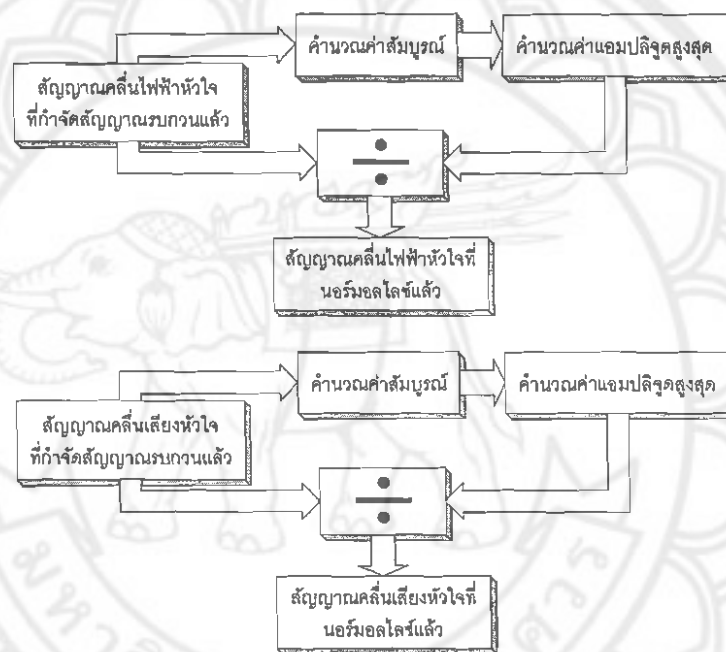
จากภาพ 43 เมื่อได้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจแล้ว นำสัญญาณมาทำการกระจายสัญญาณด้วยการแปลงเวฟเลท 5 ระดับโดยใช้เวฟเลทตระกูล sym8 จากนั้นประยุกต์ค่า soft thresholding กับสัมประสิทธิ์เวฟเลทในส่วนของ Detail และทำการแปลงกลับเวฟเลท โดยพื้นฐานของสัมประสิทธิ์เวฟเลทในส่วนของ Approximations และ Detail ซึ่งจะทำให้ได้สัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจที่ถูกกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว ดังตัวอย่างโปรแกรมต่อไปนี้

```
clean1 = wden(sigclean1,'heursure','s','one',5,'sym8');
```

จากโปรแกรมจะพบว่าสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ หรือสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจจะอยู่ในตัวแปรที่ชื่อว่า sigclean1 ของคำสั่ง wden ในโปรแกรม MATLAB และตัวแปร clean1 คือตัวแปรที่ใช้ในการเก็บค่าสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ หรือสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจที่ได้ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว

3.2 การนอร์มอลไลซ์ทางขนาดของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจและสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ

ผู้วิจัยได้ทำการนำสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจที่ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเวฟเลท มาทำการนอร์มอลไลซ์ทางขนาดเพื่อให้แอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจมีค่าไม่เกินหนึ่งเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์ โดยผู้วิจัยได้ทำการนอร์มอลไลซ์สัญญาณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ดังแสดงขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมได้แสดงในภาพ 44



ภาพ 44 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการนอร์มอลไลซ์สัญญาณ

จากบล็อกไดอะแกรมจะเห็นได้ว่า ผู้วิจัยได้นำสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจที่ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเวฟเลท มาทำการคำนวณค่าสัมบูรณ์โดยใช้คำสั่ง `abs` ในโปรแกรม MATLAB จากนั้นมาทำการคำนวณค่าแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณโดยใช้คำสั่ง `max` ในโปรแกรม MATLAB แล้วนำค่าที่ได้มาทำการหารกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจที่ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเวฟเลทแล้ว ก็จะได้สัญญาณที่ได้ทำการนอร์มอลไลซ์แล้ว เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ต่อไป ดังตัวอย่างโปรแกรมต่อไปนี้

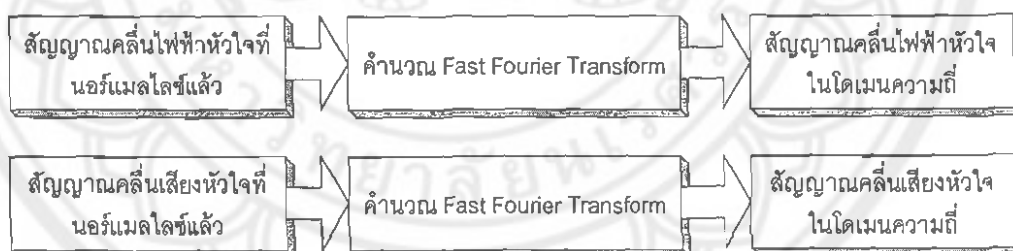
```
data_max = max(abs(clean1));
```

```
normalize1 = (clean1)/data_max;
```

จากโปรแกรมจะเห็นได้ว่าตัวแปร clean1 คือสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ หรือสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจที่ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยเวฟเลท และตัวแปร normalize1 คือสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ หรือสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจที่ทำการนอร์มอลไลซ์แล้ว

3.3 การวิเคราะห์ Fast Fourier Transform ของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ

ผู้วิจัยได้ทำการนำสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจที่ได้ทำการนอร์มอลไลซ์แล้วมาทำการวิเคราะห์ Fast Fourier Transform ทั้งนี้เพื่อทำการดูสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ ในรูปแบบของโดเมนความถี่ และเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์ในการคำนวณหาผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ และผลตอบสนองในโดเมนความถี่ของระบบ ดังแสดงบล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมในการวิเคราะห์ Fast Fourier Transform ในภาพ 45



ภาพ 45 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ Fast Fourier Transform

จากบล็อกไดอะแกรมในภาพ 45 จะพบว่าเมื่อนำสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจที่ทำการนอร์มอลไลซ์แล้ว มาทำการคำนวณ Fast Fourier Transform โดยใช้คำสั่ง fft ในโปรแกรม MATLAB จะทำให้ได้สัญญาณออกมาในรูปแบบของโดเมนความถี่ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ และผลตอบสนองในโดเมนความถี่ของระบบได้สะดวกขึ้น ดังแสดงตัวอย่างโปรแกรมต่อไปนี้

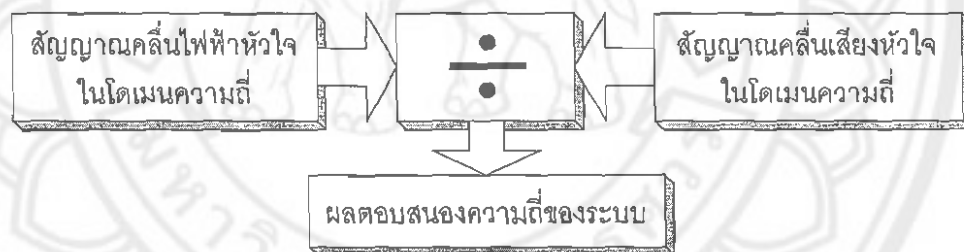

```
pcg_fft = fft(pcg);           %Frequency Domain
```

```
ecg_fft = fft(ecg);          %Frequency Domain
```

จากตัวอย่างโปรแกรมจะเห็นได้ว่าตัวแปร pcg และ ecg คือค่าของสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ และสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจตามลำดับ และตัวแปร pcg_fft และ ecg_fft คือค่าเอาต์พุตของการคำนวณ Fast Fourier Transform

3.4 การวิเคราะห์หาผลตอบสนองความถี่ของระบบ

ผู้วิจัยได้ทำการหาค่าผลตอบสนองความถี่ของระบบ โดยทำการนำสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจในโดเมนความถี่มาทำการหารกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจในโดเมนความถี่ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าผลตอบสนองความถี่ของระบบออกมา ซึ่งจากผลตอบสนองความถี่ของระบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ในการหาค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป



ภาพ 46 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการหาค่าผลตอบสนองความถี่ของระบบ

ตัวอย่างการหาค่าผลตอบสนองความถี่ของระบบโดยใช้โปรแกรม MATLAB

```
signal5 = (pcg_fft)./(ecg_fft);
```

จากตัวอย่างโปรแกรมจะเห็นได้ว่าผู้วิจัยได้ทำการนำสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจในโดเมนความถี่มาทำการหารกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจในโดเมนความถี่ สังเกตที่เครื่องหมาย ./ คือการหารเชิงสมาชิก และตัวแปร signal5 คือค่าของผลตอบสนองความถี่ของระบบ

3.5 การวิเคราะห์หาผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ

ผู้วิจัยได้นำค่าของผลตอบสนองความถี่ของระบบมาทำการคำนวณ Inverse Fast Fourier Transform โดยใช้คำสั่ง `ifft` ในโปรแกรม MATLAB ซึ่งจะทำให้ได้ค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ ดังแสดงตัวอย่างโปรแกรมและบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพ 47



ภาพ 47 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการหาค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ

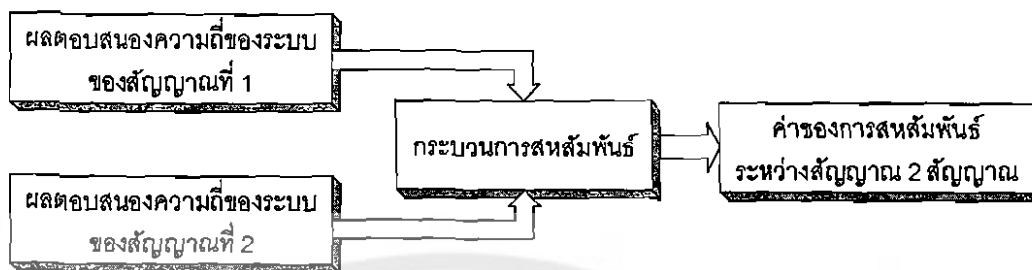
ตัวอย่างโปรแกรม

```
sig3 = real(ifft(signal5));
```

จากตัวอย่างโปรแกรมจะเห็นได้ว่าตัวแปร `signal5` คือค่าของผลตอบสนองความถี่ของระบบ และตัวแปร `sig3` คือผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบที่เป็นค่าจำนวนจริงเพื่อนำไปใช้ในการแสดงผลต่อไป

3.6 การวิเคราะห์ สหสัมพันธ์ โดยใช้ผลตอบสนองความถี่ของระบบ

ผู้วิจัยได้นำกระบวนการ สหสัมพันธ์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณใดๆ 2 สัญญาณว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด โดยหากนำ 2 สัญญาณมาทำการหาค่า สหสัมพันธ์ แล้วได้ค่ามาก จะแสดงว่าสัญญาณข้อมูลทั้ง 2 นั้น มีความสัมพันธ์กันมาก ซึ่งจากหลักการที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ผู้วิจัยได้นำค่าผลตอบสนองความถี่ของระบบทั้ง 2 ค่า มาทำการหาค่า สหสัมพันธ์ กันเพื่อทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลตอบสนองความถี่ของระบบทั้ง 2 ค่า โดยภายในโปรแกรมจะใช้คำสั่ง `xcorr` ในการทำ สหสัมพันธ์ และคำสั่ง `'coeff'` ในการนอร์มอลไลซ์สัญญาณ ซึ่งถ้าค่าของการ สหสัมพันธ์ มีค่าใกล้เคียงกับหนึ่งมากเท่าใด ก็แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลตอบสนองความถี่ของระบบทั้ง 2 ค่า มีความสัมพันธ์กันมากขึ้น



ภาพ 48 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการหาค่า สหสัมพันธ์ ของสัญญาณ 2 สัญญาณ

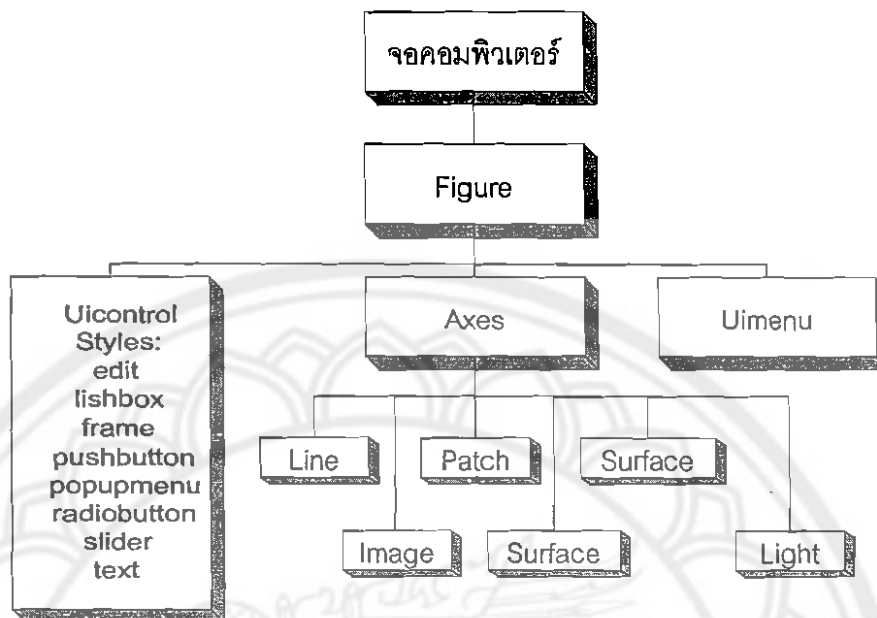
ตัวอย่างโปรแกรม

```
crosscorrelation = xcorr(signal6,signal16,'coeff') ;
```

จากตัวอย่างโปรแกรมจะเห็นได้ว่าตัวแปร signal6 และ signal16 คือค่าของผลตอบสนองความถี่ของระบบ 2 สัญญาณ และตัวแปร crosscorrelation คือค่าเอาท์พุทที่ได้จากคำสั่ง xcorr ในโปรแกรม MATLAB

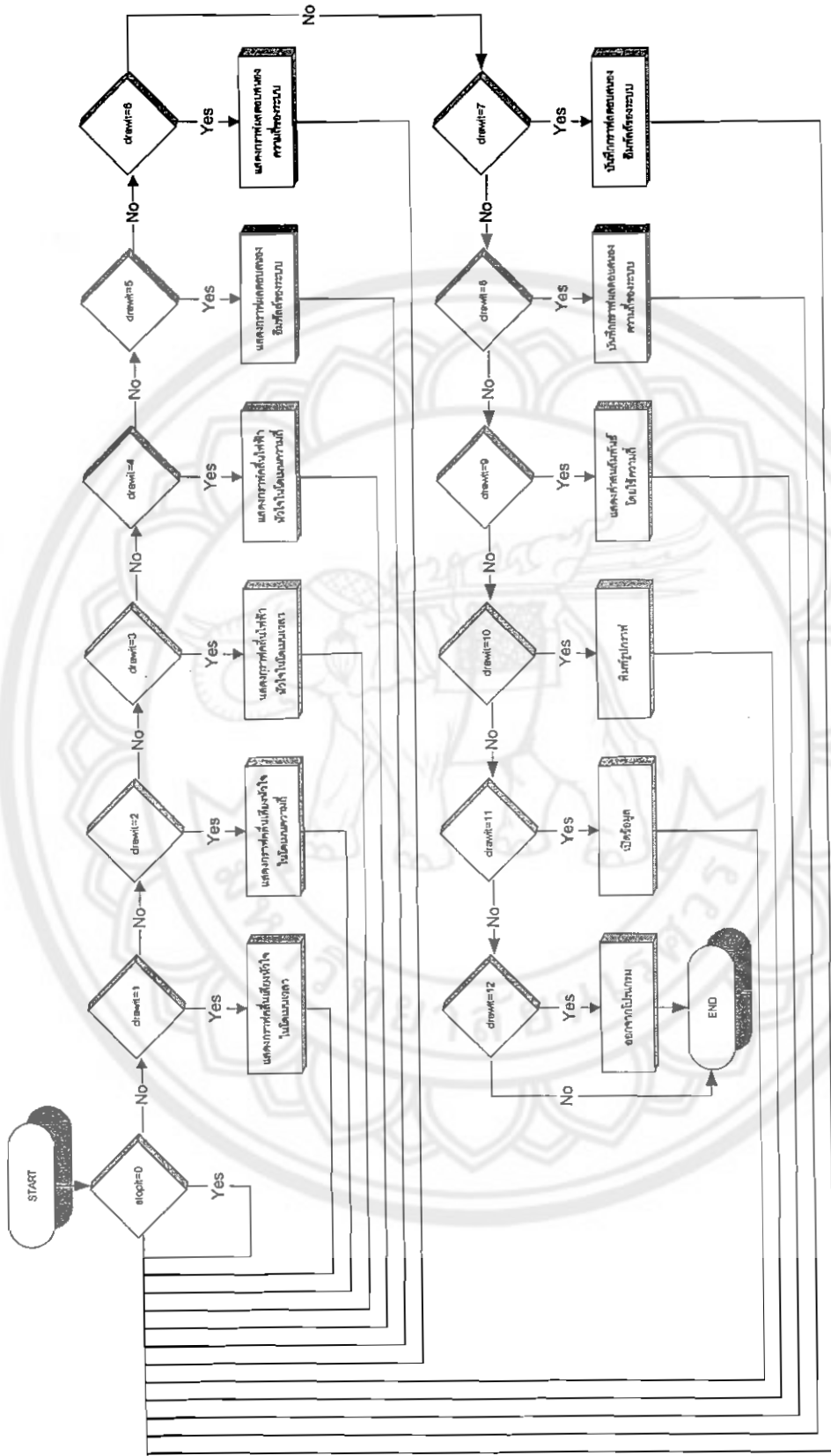
4. การออกแบบโปรแกรมให้เป็นการเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก

การเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก (Graphic User Interfaces (GUI)) เป็นวิธีการเชื่อมต่อกันระหว่างผู้ใช้และคอมพิวเตอร์โดยคอมพิวเตอร์จะถูกใช้งานก็ต่อเมื่อผู้ใช้ได้ป้อนข้อมูลที่ต้องการผ่านทางคีย์บอร์ด เม้าส์ อย่างใดอย่างหนึ่งให้กับคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะแสดงตัวอักษรและกราฟฟิกต่างๆ บนจอภาพ การเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก (GUI) จะสร้าง object ต่างๆ ที่ใช้สำหรับการติดต่อหรือใช้งานร่วมกันคือ หน้าต่าง, ไอคอน, ปุ่ม, กรอบ, เมนู, popup, และตัวอักษรต่างๆ ซึ่งสามารถสร้างโดยใช้คำสั่งทางกราฟฟิกจะเรียกว่า graphics object ซึ่งมีชนิดและส่วนประกอบต่างๆ ทั้งหมดดังนี้

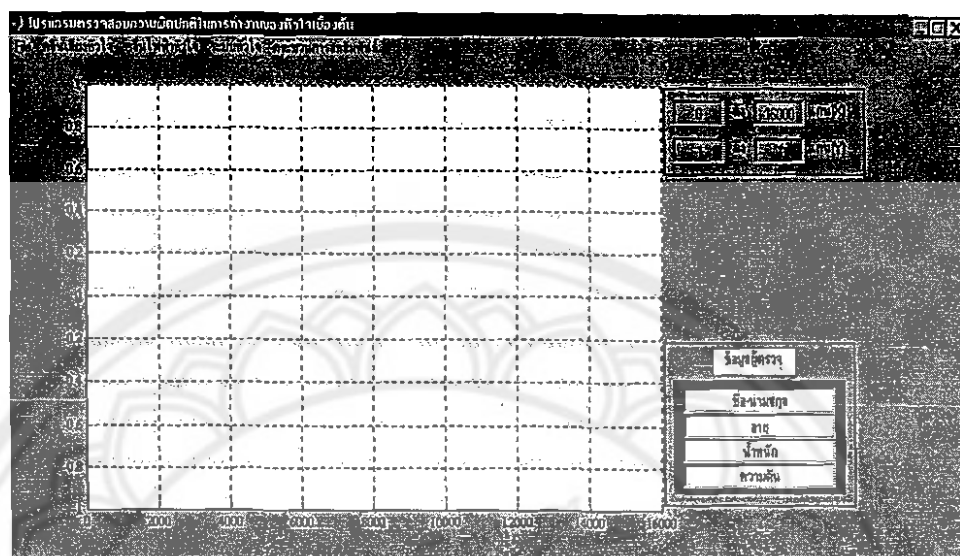


ภาพ 49 บล็อกไดอะแกรม graphics object

จากบล็อกไดอะแกรมจะพบว่า โปรแกรม MATLAB จะใช้รูปแบบ (Style) ต่างๆ เช่น ปุ่มกด(pushbutton), กรอบ (frame) เป็นต้น เพื่อควบคุมการติดต่อกับผู้ใช้ ฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการสร้างรูปแบบต่างๆ เหล่านี้คือ ฟังก์ชัน uicontrol และการสร้างเมนูบาร์ต่างๆ บนหน้าต่างรูปภาพของโปรแกรม MATLAB สามารถกระทำได้โดยการใช้คำสั่ง uimenu ซึ่งจากคำสั่งทั้ง 2 ชนิดนี้ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติในการทำงานของหัวใจเบื้องต้น ให้เป็นการเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก ทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งมีขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมแสดงดัง Flowchart ต่อไปนี้



ภาพ 50 แสดง Flowchart ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมการเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก



ภาพ 51 แสดงโปรแกรมการตรวจสอบความผิดปกติในการทำงานของหัวใจเบื้องต้น

จากภาพ 51 จะสามารถอธิบายการทำงานของแต่ละคอนโทรลได้ดังต่อไปนี้

ในภาพ 52 แสดงเมนู "ไฟล์" ที่ประกอบด้วย เมนู "เปิด" เป็นเมนูที่ให้ผู้ใช้โปรแกรมทำการเลือกเปิดไฟล์ข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกไว้เพื่อที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ และเมนู "พิมพ์" เป็นเมนูที่ให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถสั่งพิมพ์ข้อมูลลงบนกระดาษ และเมนู "ปิด" ที่ใช้ในการสั่งปิดการทำงานของโปรแกรม



ภาพ 52 แสดงเมนูไฟล์

ในภาพ 53 แสดงเมนู"คลื่นเสียงหัวใจ" ที่ให้ผู้ใช้เลือกที่จะทำการแสดงผลสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจที่ได้ทำการบันทึกไว้ออกมาในรูปแบบของโดเมนเวลา หรือโดเมนความถี่ ซึ่งก่อนที่จะทำการเลือกเมนู "คลื่นเสียงหัวใจ" นั้นผู้ใช้จะต้องทำการเลือกเปิดไฟล์ข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกไว้ก่อน



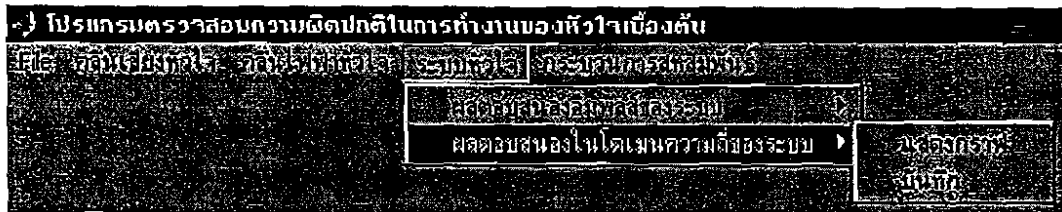
ภาพ 53 แสดงเมนูคลื่นเสียงหัวใจ

ในภาพ 54 แสดงเมนู"คลื่นไฟฟ้าหัวใจ" ที่ให้ผู้ใช้เลือกที่จะทำการแสดงผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ได้ทำการบันทึกไว้ออกมาในรูปแบบของโดเมนเวลา หรือโดเมนความถี่ ซึ่งก่อนที่จะทำการเลือกเมนู "คลื่นไฟฟ้าหัวใจ" นั้นผู้ใช้จะต้องทำการเลือกเปิดไฟล์ข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกไว้ก่อน



ภาพ 54 แสดงเมนูคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ในภาพ 55 แสดงเมนู"ระบบหัวใจ" ที่ให้ผู้ใช้เลือกทำการวิเคราะห์หาผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ และผลตอบสนองความถี่ของระบบ และสามารถทำการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ และผลตอบสนองความถี่ของระบบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาต่อไป



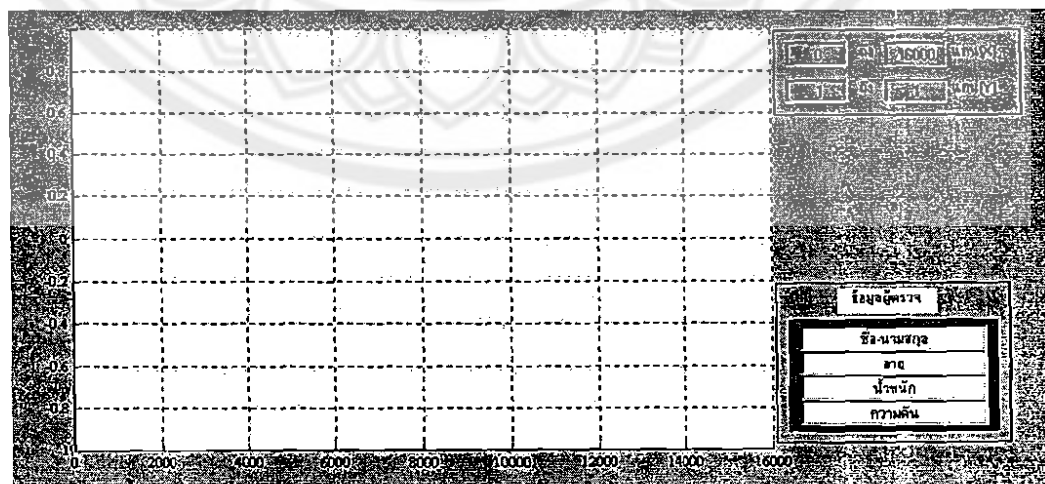
ภาพ 55 แสดงเมนูระบบหัวใจ

ในภาพ 56 แสดงเมนู “กระบวนการสั่นพ้อง” ที่ให้ผู้ใช้ทำการเลือกฟังก์ชันสั่นพ้องโดยใช้ความถี่ เพื่อใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติจากการทำงานของหัวใจเบื้องต้น โดยจะแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟ และค่าที่เป็นตัวเลข



ภาพ 56 แสดงเมนูกระบวนการสั่นพ้อง

ในภาพ 57 แสดงคอนโทรลที่ให้ผู้ใช้งานบันทึกรายชื่อผู้ที่มาทำการตรวจสอบความผิดปกติในการทำงานของหัวใจเบื้องต้น และมีคอนโทรลที่ผู้ใช้สามารถทำการปรับค่าของแกน x และแกน y ให้เหมาะสมต่อการใช้งาน



ภาพ 57 แสดง คอนโทรลต่างๆ บนโปรแกรม