# บทที่ 5

## การทดสอบและการวิเคราะห์ผล

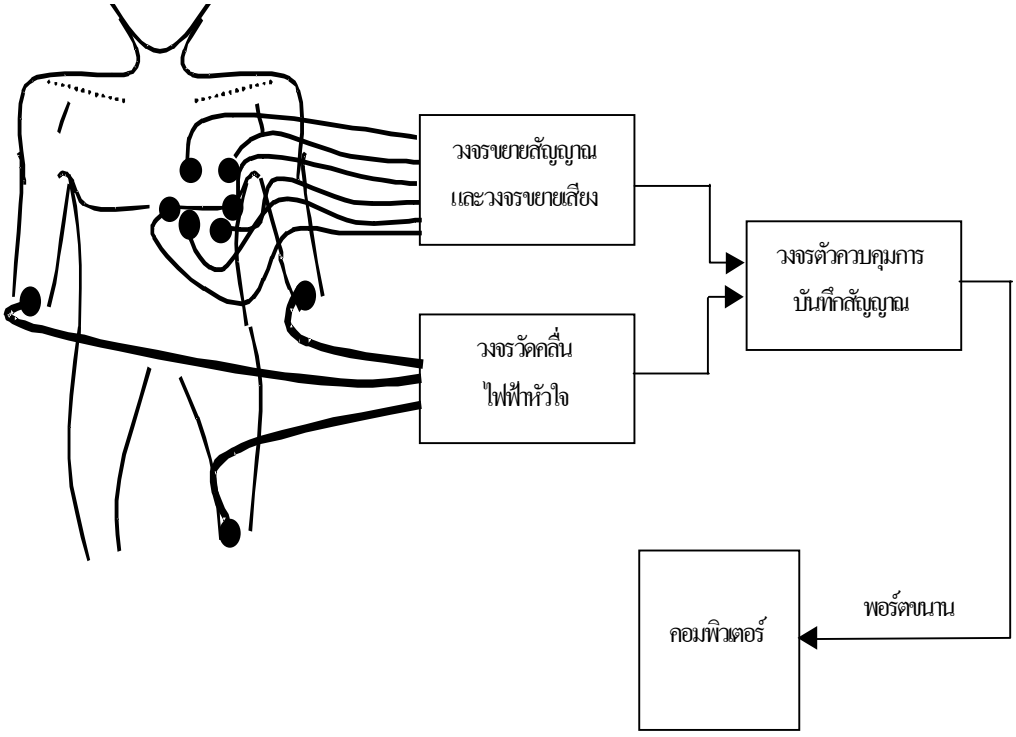
เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอรายละเอียดวิธีการออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับใช้ในการแสดงผลรูปสัญญาณเสียงเต้นหัวใจหรือจะเป็นสัญญาณอื่นๆที่ป้อนผ่านวงจรต่างๆในส่วนของฮาร์ดแวร์มาแล้ว โดยการนำสัญญาณต่างๆป้อนผ่านพอร์ตขนานในโหมดการทำงานแบบ EPP เพื่อนำมาแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์และนำสัญญาณที่ได้มาวิเคราะห์ผลเพื่อช่วยแพทย์สำหรับประกอบการตรวจวินิจฉัยโรคหรือใช้ประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาคุณลักษณะเฉพาะของสัญญาณเพื่อที่จะช่วยให้แพทย์ด้านหัวใจสามารถใช้ประกอบการตรวจวินิจฉัย หรือนำไปใช้ประโยชน์ตามความต้องการของผู้ใช้

### 5.1 การวัดสัญญาณเสียงเต้นหัวใจและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ในบทที่ผ่านมาได้นำเสนอถึงรายละเอียดหลักการทำงานและวิธีการออกแบบวงจรในส่วนของฮาร์ดแวร์ โดยได้ทำการสร้างอุปกรณ์ทั้งหมดแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ วงจรขยายสัญญาณและขยายเสียงเต้นหัวใจ และวงจรตัวควบคุมการบันทึกสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจ โดยการนำสัญญาณเสียงเต้นหัวใจที่ได้ป้อนผ่านพอร์ตขนานในโหมดการทำงานแบบEPP เพื่อบันทึกสัญญาณลงบนฮาร์ดดิสก์ของคอมพิวเตอร์ โดยในส่วนนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับซอฟต์แวร์จะแสดงผลการทำงานของวงจรและวิเคราะห์ผล แสดงขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

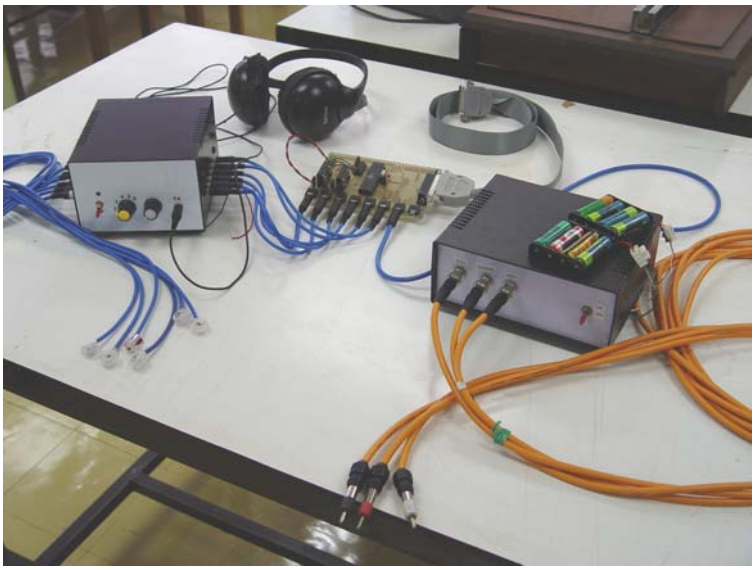
ในวัดสัญญาณเสียงเต้นหัวใจและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ได้ทำการบันทึกสัญาญาณเสียงหัวใจและได้บันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจไปด้วยพร้อมๆกัน สำหรับการวัดสัญญาณเสียงเต้นหัวใจสำหรับในงานวิจัยนี้ จะใช้คอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนดังภาพประกอบ 5-1 แนบติดกับผิวหนังบริเวณหน้าอก โดยใช้กระดาษกาวปิดเพื่อให้แนบสนิทกับผิวหนัง เนื่องจากต้องการตรวจจับสัญญาณเสียงเต้นหัวใจให้มากที่สุดและเพื่อตัดเสียงรบกวนจากภายนอกด้วย ลักษณะเป็นดังภาพประกอบ 5-2

ประกอบ 5-1 แสดงลักษณะของคอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนใช้ติดบริเวณหน้าอก



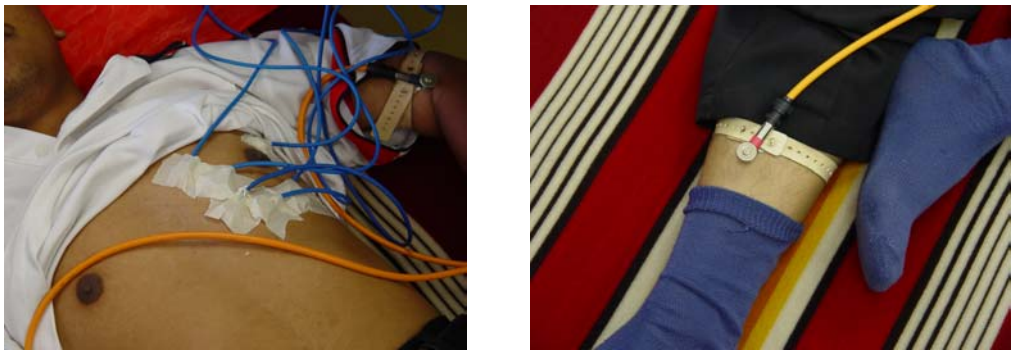

ภาพประกอบ 5-2 แสดงลักษณะการติดคอนเด็นเซ็อร์ไมโครโฟนบริเวณหน้าอกและอิเล็กโทรดเพื่อบันทึกสัญญาณลงบนฮาร์ดดิสก์ของ

ในการทดสอบวัดสัญญาณในงานวิจัยนี้จะวัดเสียงเต้นหัวใจและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจพร้อมกัน โดยทำการอุปกรณ์ที่ได้จัดสร้างขึ้นคือ วงจรขยายสัญญาณและวงจรขยายเสียง วงขยายสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เข้ากับการ์ด A/D ซึ่งมีทั้งหมด 8 ช่องสัญญาณเพื่อทำการบันทึกสัญญาณลงบนฮาร์กดิสก์ของคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตขนาน ลักษณะการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังภาพประกอบ 5-3



ภาพประกอบ 5-3 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์

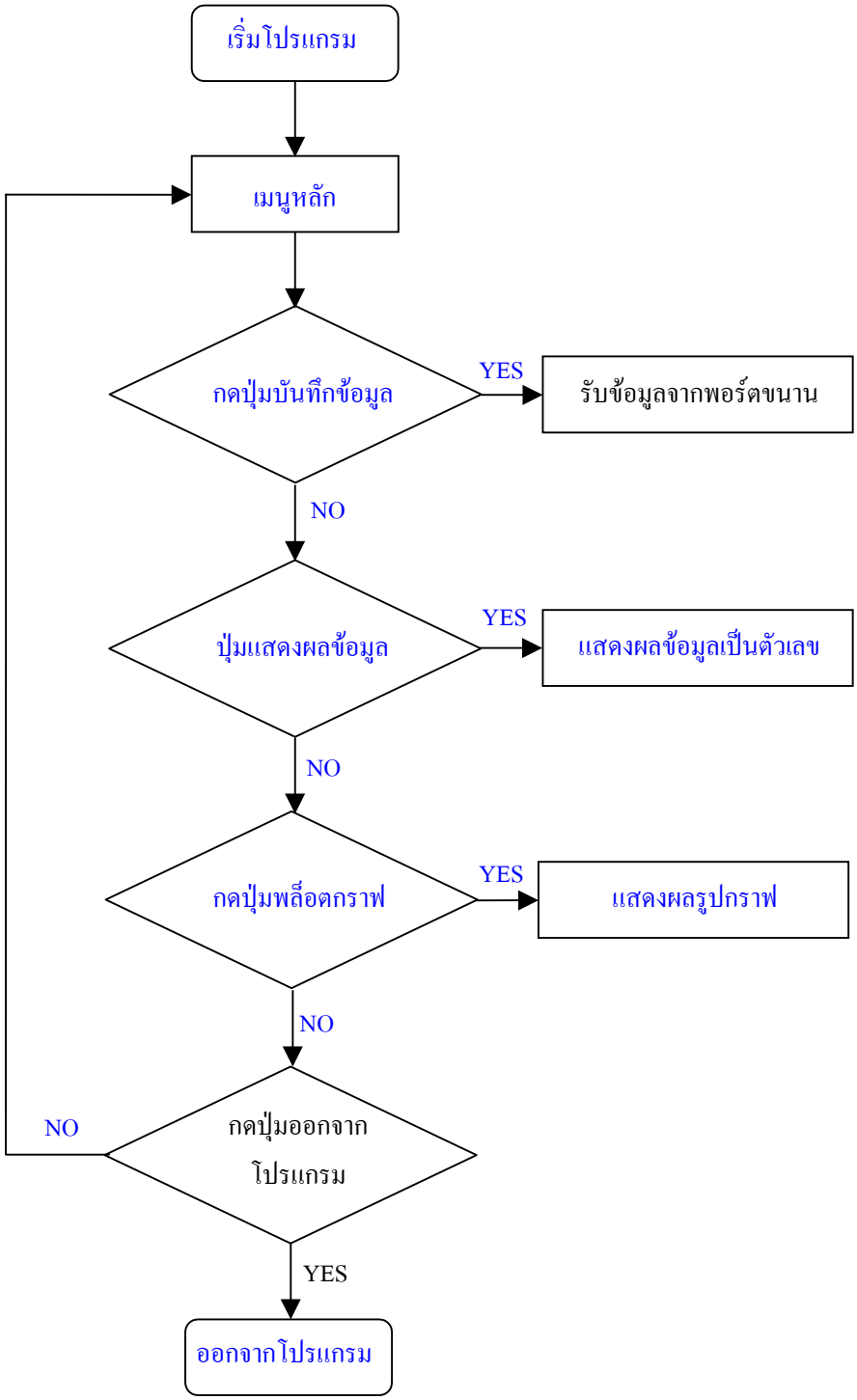
ในการทดลองจะทำการบันทึกสัญญาณเสียงหัวใจและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจพร้อมกัน โดยใช้อาสาสมัครที่มีสุขภาพแข็งแรง ไม่มีอาการป่วยด้วยโรคหัวใจ และโรคที่มีผลต่อการทำงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ ไม่มีโรคปอดหรือโรคที่ทำให้หายใจลำบากหรือเหนื่อยง่าย ต้องไม่เคยได้รับการผ่าตัดหรือฉายแสงบริเวณหน้าอก ต้องไม่รับประทานยาที่มีผลต่อการทำงานของหัวใจและระบบประสาทและกล้ามเนื้อ โดยได้ใช้คอนเด็นเซอร์ไมโครโฟนติดตำแหน่งต่างๆบริเวณหน้าอกจำนวนทั้งหมด 6 จุดด้วยกันเพื่อบันทึกสัญญาณเสียงหัวใจ พร้อมกับใช้อิเล็กโทรดติดกับผิวหนังจำนวน 3 ชิ้นที่บริเวณ แขนซ้าย แขนขวา และที่ข้อเท้าขวา เพื่อบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจพร้อมกันดังภาพประกอบ 5-4 เอาท์พุทของสัญญาณที่ได้จะนำไปป้อนยังการ์ด A/D ซึ่งเชื่อมต่อกับพอร์ตขนานของเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกสัญญาณลงบนฮาร์ดดิสก์



ภาพประกอบ 5-4 แสดงลักษณะการบันทึกสัญญาณเสียงหัวใจและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

**5.2 การแสดงผลรูปสัญญาณเสียงเต้นหัวใจบนหน้าจอคอมพิวเตอร์**

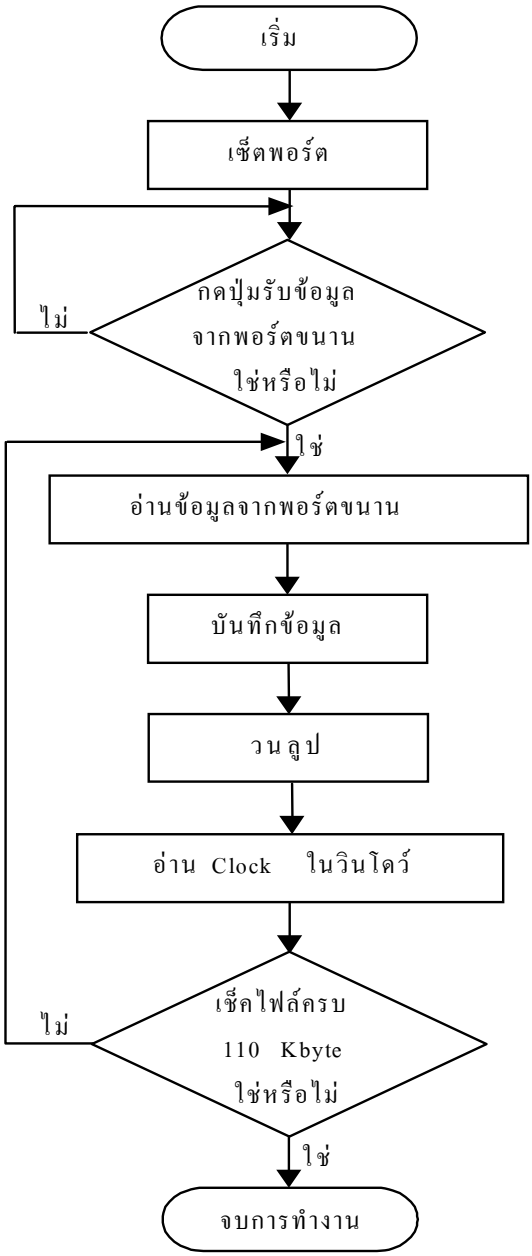
ข้อมูลเสียงเต้นของหัวใจที่ได้ทำการบันทึกลงในไฟล์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้กับโปรแกรมนี้จะอยู่ในรูปแบบของไฟล์ wav ผู้วิจัยได้ใช้ Delphi5 บนระบบปฏิบัติการ Window98 พัฒนาโปรแกรมขึ้นมาให้สามารถรับข้อมูลที่ส่งผ่านพอร์ตขนานมาบันทึกในเครื่องคอมพิวเตอร์ในรูปแบบ wav ไฟล์ ซึ่งโปรแกรมชุดนี้สามารถอ่านข้อมูลใน wav ไฟล์และนำข้อมูลที่อ่านได้มาแสดงออกเป็นตัวเลขหรือพล็อตกราฟ Phonocardiogram (PCG) โครงสร้างของโปรแกรมภายในแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักด้วยกันประกอบด้วย ส่วนแรกคือส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ ส่วนที่สองคือส่วนที่อ่านไฟล์ wav และส่วนสุดท้ายคือส่วนเขียนกราฟ การเลือกที่จะให้โปรแกรมแสดงผลข้อมูลเป็นตัวเลขหรือกราฟ ผู้ใช้สามารถเลือกเปลี่ยนไปมาได้ โดยทำการเลือกที่ tab ที่ระบุว่า Data , Graph หรือ Read PPort เพื่อบันทึกข้อมูลโดยสามารถแสดงโฟว์ตชาร์ตโครงสร้างหลักของโปรแกรมภาพประกอบ 5-5



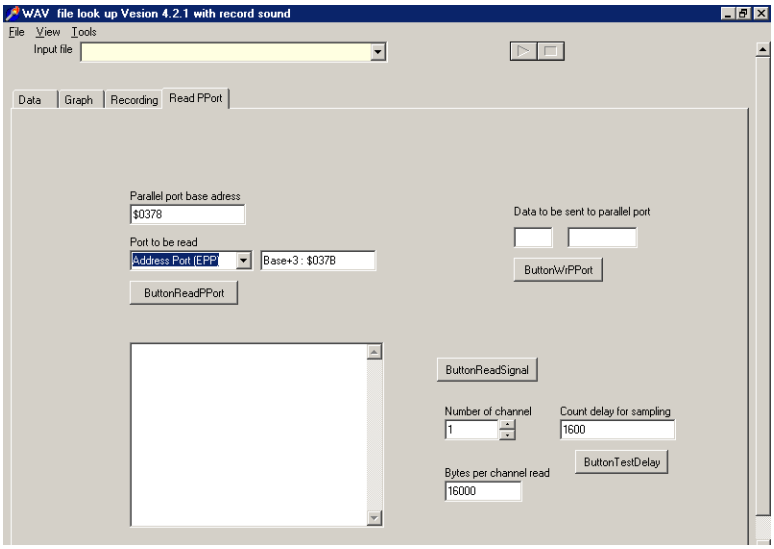

ภาพประกอบ 5-5 แสดงโครงสร้างหลักของโปรแกรม

### 5.2.1 การออกแบบการบันทึกข้อมูลที่รับผ่านพอร์ตขนานในโหมด EPP

การแสดงผลรูปสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจในรูปกราฟสัญญาณหรือแสดงข้อมูลตัวเลขนั้นข้อมูลที่บันทึกอยู่ในรูปไฟล์ wav ได้ทำการออกแบบโปรแกรมบันทึกข้อมูลครั้งละ 110 kbly จากทั้ง 8 ช่องสัญญาณ โดยมีอัตราการชักตัวอย่าง (Sampling rate) 90 kHz โดยซอฟต์แวร์จะสั่งควบคุมการบันทึกข้อมูลผ่านพอร์ตขนาน ซึ่งสามารถแสดงส่วน Diagrams การออกแบบและหน้าต่างโปรแกรมบันทึกผลสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจ ดังภาพประกอบ 5-6 และ 5-7 ตามลำดับ




ภาพประกอบ 5-6 แสดงหลักการออกแบบบันทึกข้อมูลสัญญาณเสียงเต้นหัวใจจากพอร์ตขนาน




ภาพประกอบ 5-7 แสดงหน้าต่างโปรแกรมบันทึกข้อมูลสัญญาณเสียงเต้นหัวใจจากพอร์ตขนาน

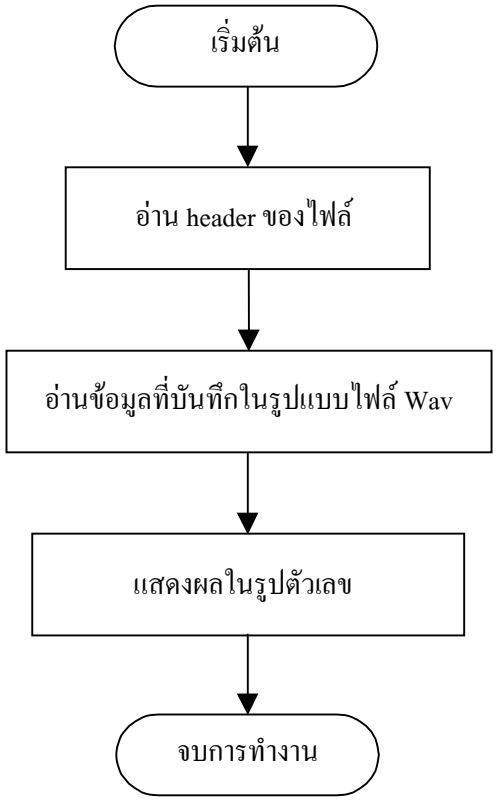
### 5.2.2 การออกแบบแสดงผลข้อมูลสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจเป็นตัวเลข

ใน tab ที่ระบุว่า Data จะเป็นส่วนของการออกแบบการแสดงผลของข้อมูลเป็นตัวเลข ซึ่งใน page ที่แสดงข้อมูลเป็นตัวเลขจะให้ข้อมูลอื่นๆ ของไฟล์ไว้ด้วยโดยแสดงองค์ประกอบของ chunk ต่างๆของรูปแบบ wav เรียงลำดับตามการบันทึกในไฟล์ ส่วนหัวสุดของไฟล์ chunk ที่บ่งบอกชนิดของไฟล์ มีคำว่า RIFF (Resource interchange File Format) คำว่า wave และขนาดของไฟล์อยู่ chunk ถัดมาบอก format ของข้อมูลเสียงที่บันทึกอยู่เช่น sample rate, byte per sample, bit per sample เป็นต้น ความละเอียดของหนึ่ง sample ของเสียงจะมีความละเอียด 8 bits

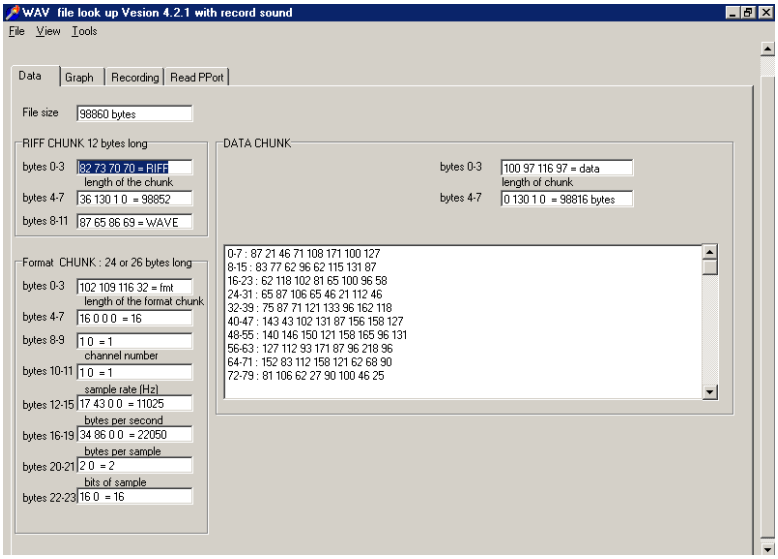
ใน unit นี้ประกอบด้วยกลุ่มของ function และ procedure ทำหน้าที่หลักดังนี้

- ส่วนทำหน้าที่ตรวจสอบว่าเป็นไฟล์ประเภท wav หรือไม่
- ส่วนที่อ่าน format ของข้อมูลเสียงที่เก็บบันทึก

สำหรับหลักการออกแบบการแสดงผลของข้อมูลเป็นตัวเลข และลักษณะหน้าต่างของโปรแกรม แสดงดังภาพประกอบ 5-8 และภาพประกอบ 5-9 ตามลำดับ




ภาพประกอบ 5-8 แสดงหลักการออกแบบการแสดงข้อมูลเป็นตัวเลข




ภาพประกอบ 5-9 แสดงหน้าต่างโปรแกรมแสดงข้อมูลที่บันทึกเป็นตัวเลข

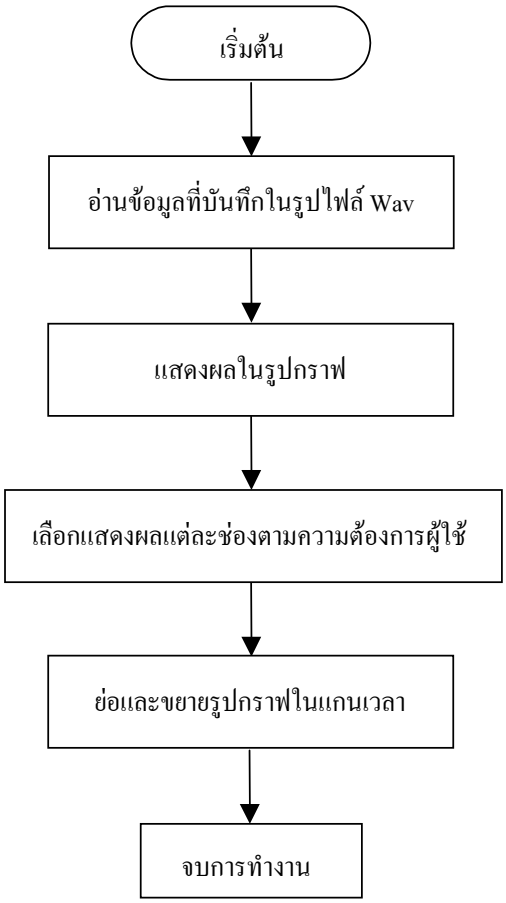
### 5.2.3 การออกแบบการแสดงผลข้อมูลสัญญาณเสียงต้นของหัวใจเป็นรูปกราฟ

การออกแบบจะนำข้อมูลสัญญาณเสียงเต้นหัวใจ ที่อ่านจากไฟล์ขึ้นพล็อตบนจอภาพ ตัวโปรแกรมจะกำหนดบริเวณสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดที่ตายตัวบนจอภาพเป็นที่เขียนกราฟ ดังนั้นจำนวน Pixel ทั้งหมดในแนวของกรอบสี่เหลี่ยมและจำนวนข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการแสดงจึงอาจไม่เท่ากัน ของอัตราส่วนระหว่างจำนวน Pixel ทั้งหมดดังกล่าวกับจำนวนที่ต้องการพล็อต อัตราส่วนนี้จะเป็นตัวกำหนดว่าข้อมูลที่จะพล็อต เรียงลำดับตามกันนั้นแต่ละตัวจะไปอยู่ที่ตำแหน่งใดในแนวนอน และข้อมูล Sample rate ให้คำนวณหา Coordinate ในแนวนอนออกมาเป็นหน่วยวินาที ค่าที่จะใช้ในการพล็อตกราฟจะเป็นค่าตัวเลขที่อ่านจากไฟล์ wav โดยตรงมีความละเอียด 8-bit จะมีค่า 0 ถึง 255 ค่ากึ่งกลางคือ 128 ช่วงตั้งแต่ค่าสูงสุดถึงค่าต่ำสุดนำมาหาอัตราส่วนกับจำนวน Pixel ทั้งหมดในแนวตั้งของกรอบสี่เหลี่ยมข้างต้น อัตราส่วนนี้จะนำมาประกอบการคำนวณได้ว่า แต่ละค่าของข้อมูลจะอยู่ที่ตำแหน่งใดบนกรอบสี่เหลี่ยมในแนวตั้ง

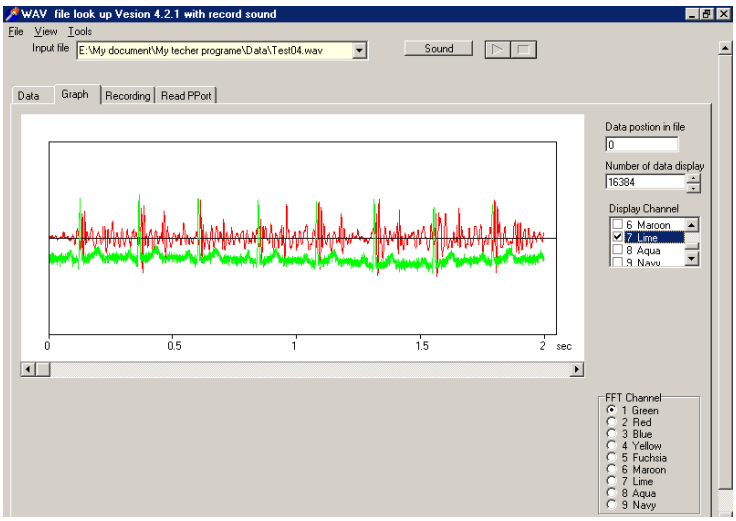
ใน unit นี้ประกอบด้วย Procedure สำคัญ 2 ส่วน คือการกำหนดจุดที่จะพล็อต บนกรอบสี่เหลี่ยมแล้วลากเส้นระหว่างจุด และการเขียนสเกลในแนวนอน นอกจากนั้นแล้วยังมี Procedure ที่ใช้ในการลากเส้น Marker และ Cursor

ในโปรแกรมยังสามารถเลือกใช้แสดงรูปกราฟพร้อมกันทั้ง 8 Channel หรือแสดงทีละ Channel ตามความต้องการของผู้ใช้

สำหรับหลักการออกแบบการแสดงผลของข้อมูลเป็นรูปกราฟสัญญาณ และลักษณะหน้าต่างของโปรแกรม แสดงดังภาพประกอบ 5-10 และภาพประกอบ 5-11 ตามลำดับ

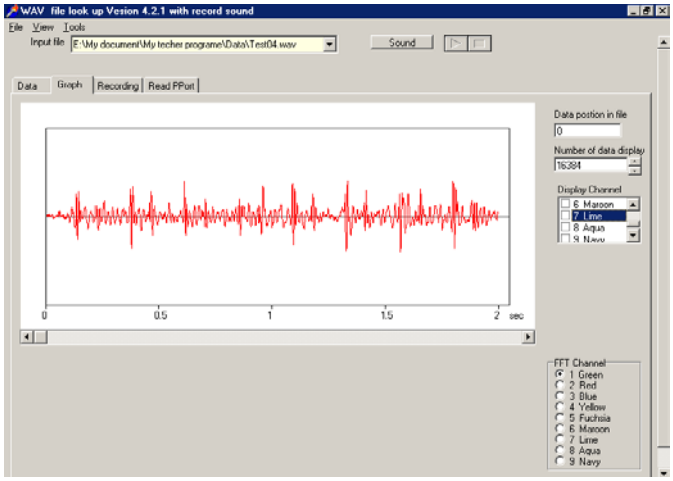



ภาพประกอบ 5-10 แสดงหลักการออกแบบการข้อมูลสัญญาณเป็นรูปกราฟ

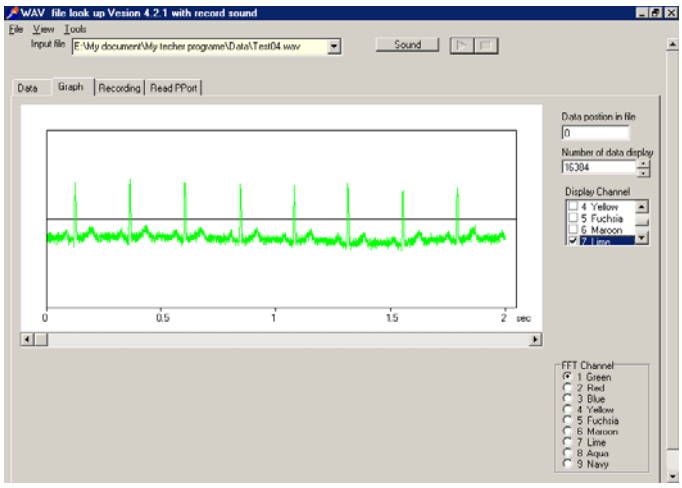



ภาพประกอบ 5-11 หน้าต่างแสดงผลสัญญาณเสียงเต้นหัวใจและคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ในการแสดงรูปกราฟสัญญาณผู้ใช้สามารถเลือกให้แสดงพร้อมกันหรือต้องการจะเลือกให้แสดงรูปสัญญาณรูปใดรูปหนึ่งก็ได้โดยการคลิกเลือกช่องสัญญาณที่ต้องการให้แสดงที่ช่องสี่เหลี่ยมทางขวามือ ดังภาพประกอบ 5-12 และ 5-13




ภาพประกอบ 5-12 แสดงเฉพาะสัญญาณเสียงเต้นหัวใจ

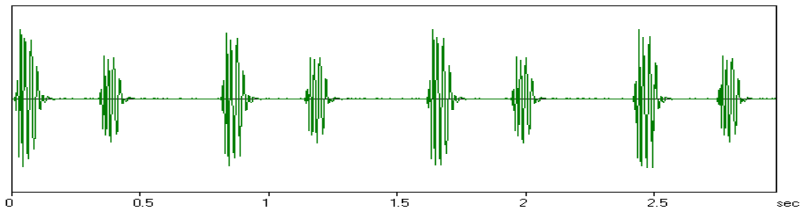



ภาพประกอบ 5-13 แสดงเฉพาะสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

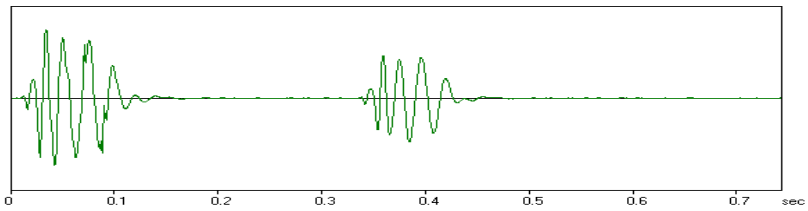
สำหรับการแสดงข้อมูลสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจ เมื่อเลื่อนตัว Scrollbar ที่อยู่ใต้กราฟไปมาจะสามารถให้โปรแกรมเริ่มอ่านข้อมูลจากส่วนไหนของข้อมูลในไฟล์ออกมาแสดงตั้งแต่ข้อมูลเสียง Sample แรกสุดที่อยู่ภายในไฟล์จนถึงข้อมูลสุดท้ายในไฟล์ จะมีช่อง Editor ซึ่งเขียนกำกับด้วย Data position in file เป็นตัวบอกจำนวนข้อมูลที่สามารถแสดงได้เต็มหนึ่งจอภาพขึ้นอยู่กับการตั้งค่า Number of data display ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดได้โดยคลิกเปลี่ยนแปลงค่าด้วยลูกศรขึ้นลงของปุ่มที่อยู่ด้านข้างในโปรแกรมได้ กำหนดจำนวนไว้เท่ากับ $2^n$ โดยที่ n คือตัวเลข integer การเปลี่ยนแปลงจำนวนข้อมูลที่แสดงในหนึ่งจอภาพ จะเป็นการเปลี่ยนสเกลในแนวนอนซึ่งมีหน่วยเป็นเวลาของกราฟไปด้วย จึงทำให้สามารถมองดูได้ว่าเป็นการยืดหรือหดเส้นกราฟในแนวนอน ตัวเลขที่เขียนกำกับในสเกลตามแนวนอนบนกราฟมีหน่วยเป็นวินาที ระยะเวลาห่างกันระห่างกันระหว่างข้อมูล ซึ่งสามารถดูได้จากข้อมูล Sampling rate ที่เขียนบันทึกกำกับไว้บนส่วนหัวของไฟล์ที่อ่าน

ช่วงเวลาทั้งหมดของหนึ่งจอภาพที่แสดง = ข้อมูลทั้งหมดที่แสดงออกบนจอหารด้วย Sampling rate

ช่วงเวลาทั้งที่หาได้นี้สามารถนำมาแบ่งเพื่อแสดงค่าสเกลลงบนแนวนอนของกราฟได้




(ก)

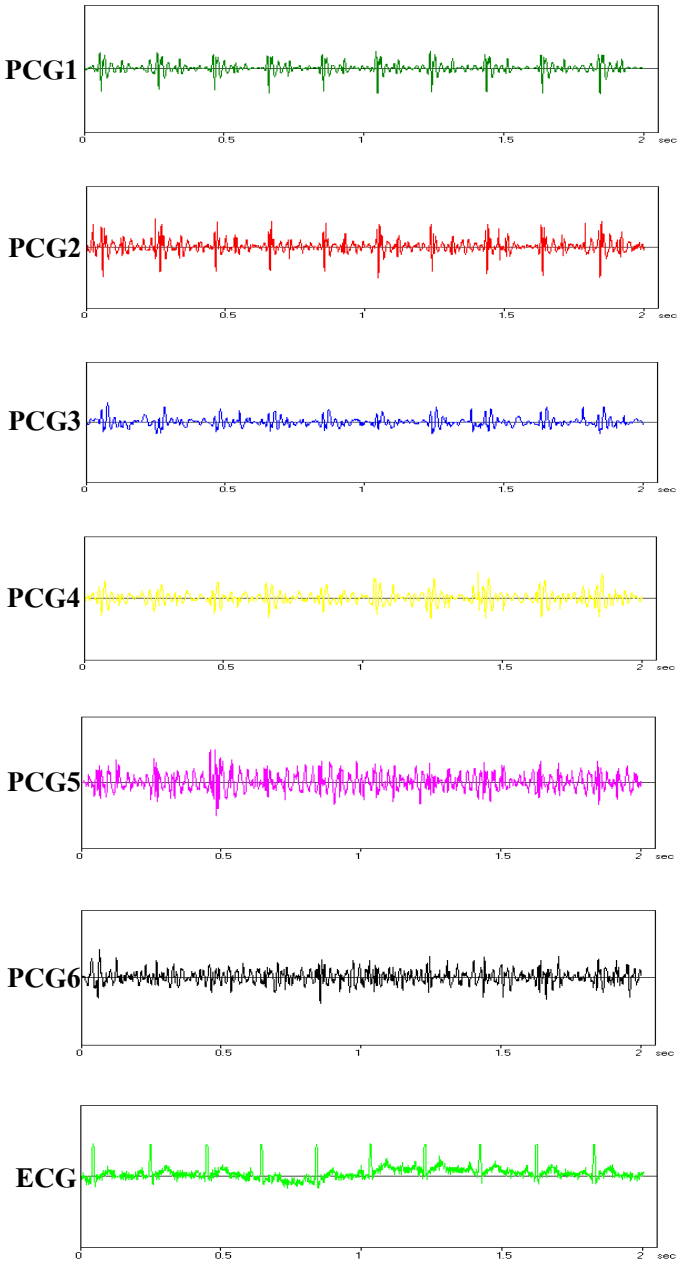



(ข)

ภาพประกอบ 5-14 แสดงสัญญาณเป็นรูปกราฟ โดยใช้สเกลในแนวนอนที่แตกต่างกัน
(ก) ภาพรูปสัญญาณหดในแนวนอน (ข) ภาพรูปสัญญาณยืดในแนวนอน

## 5.3 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการทำงานจริงของวงจรต่างๆในส่วนของฮาร์ดแวร์และในส่วนของซอฟต์แวร์คือการแสดงผลรูปกราฟสัญญาณตามที่ได้ออกแบบไว้ จากการทดสอบผลการบันทึกสัญญาณเสียงเต้นหัวใจและคลื่นไฟฟ้าหัวใจดังภาพประกอบ 5-15



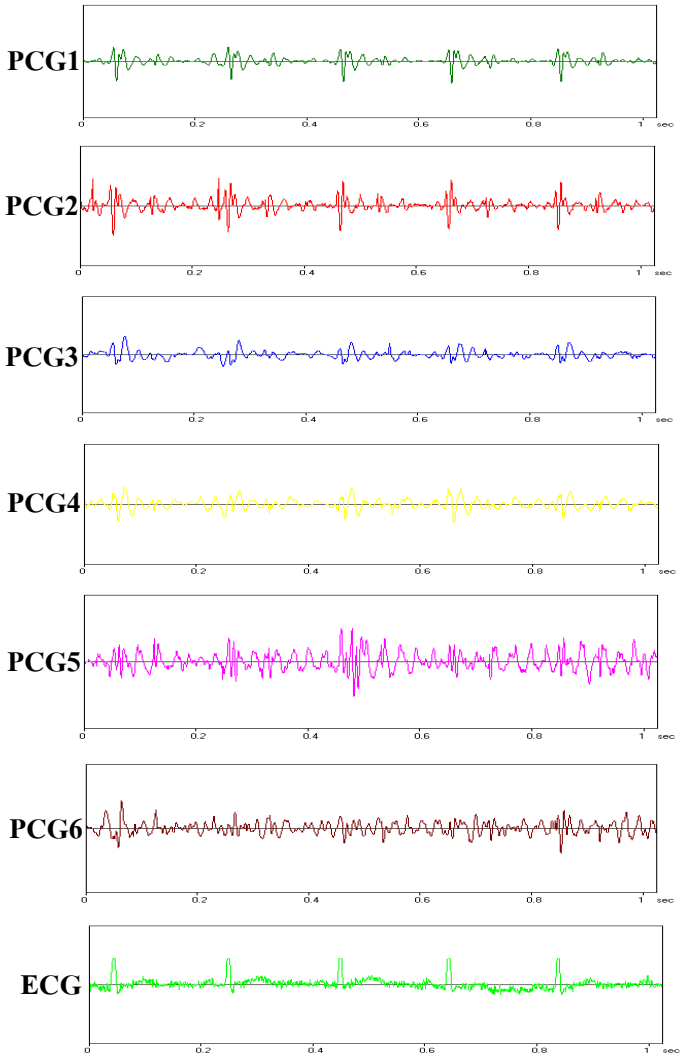

ภาพประกอบ 5-15 แสดงสัญญาณ PCG และ ECG ที่บันทึกได้

**5.4 การวิเคราะห์ภาพ PCG และ ECG**

สัญญาณที่บันทึกได้จะเป็นการช่วยให้แพทย์นำมาวิเคราะห์ภาพรูปกราฟเสียงเต้นหัวใจประกอบสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ซึ่งโปรแกรมสามารถที่จะยืดหรือหดภาพดูรายละเอียดของสัญญาณและดูสัญญาณเสียงเต้นหัวใจกับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เพื่อช่วยในการแยกแยะว่าเสียงหัวใจที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงใดของการบีบหดและคลายตัวของหัวใจ

**5.4.1 การยืดรูปกราฟสัญญาณ**

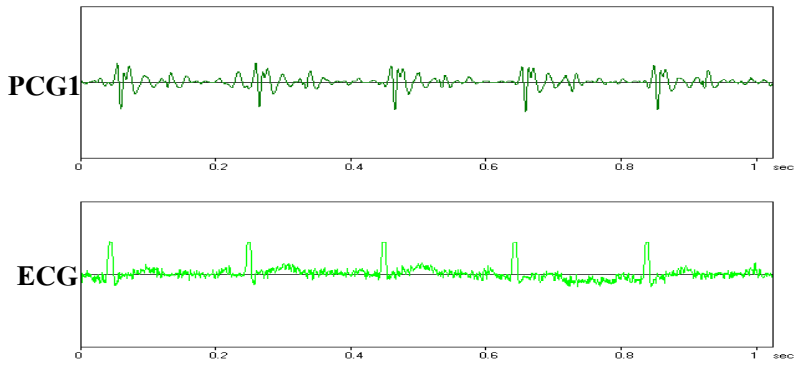
ภาพ PCG และ ECG สามารถยืดกราฟสัญญาณในแกนแนวนอนของเวลาได้ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 5-16



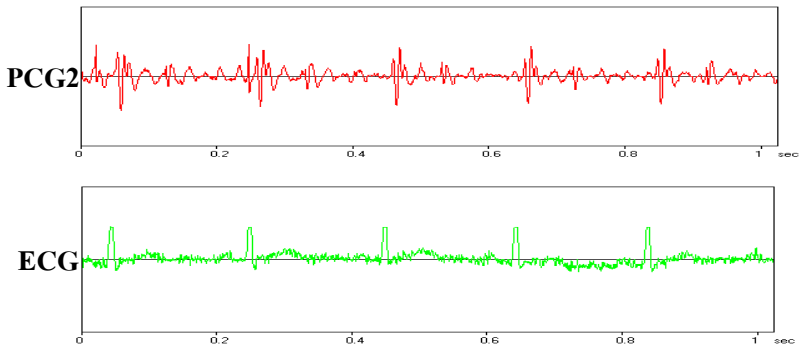

ภาพประกอบ 5-16 แสดงรูปสัญญาณยืดในแนวนอนของสัญญาณที่บันทึกได้

### 5.4.2 การแยกแยะการบีบและคลายตัวเสียงเต้นหัวใจ

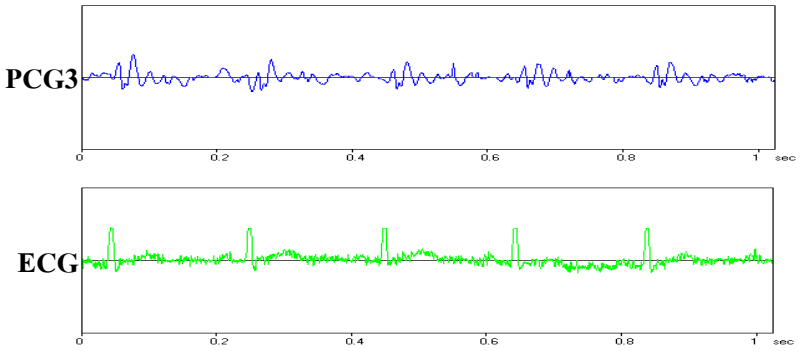
ในการบันทึกเสียงเต้นหัวใจได้บันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจพร้อมกันด้วย ซึ่งแพทย์สามารถนำภาพ PCG มาวิเคราะห์ประกอบภาพ ECG ในการแยกแยะว่าเสียงเต้นหัวใจที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงใดของการบีบหดและคลายตัวของหัวใจ



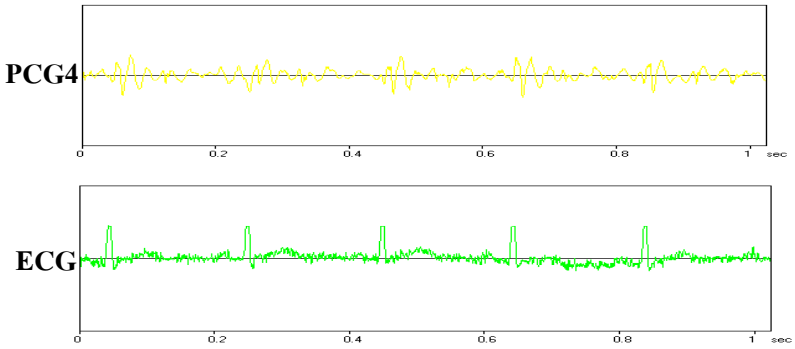

ภาพประกอบ 5-17 แสดงภาพ PCG1 และ ECG



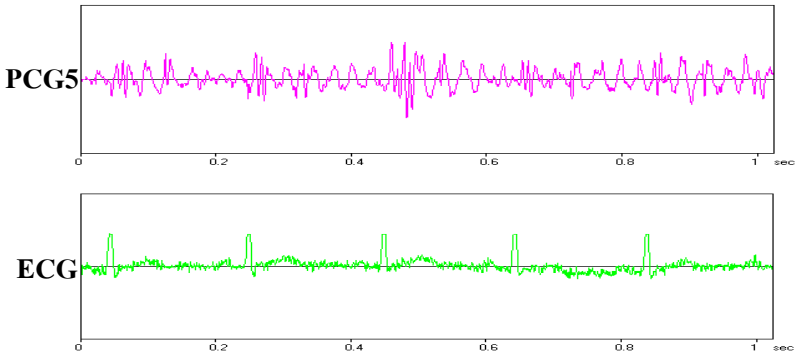

ภาพประกอบ 5-18 แสดงภาพ PCG2 และ ECG



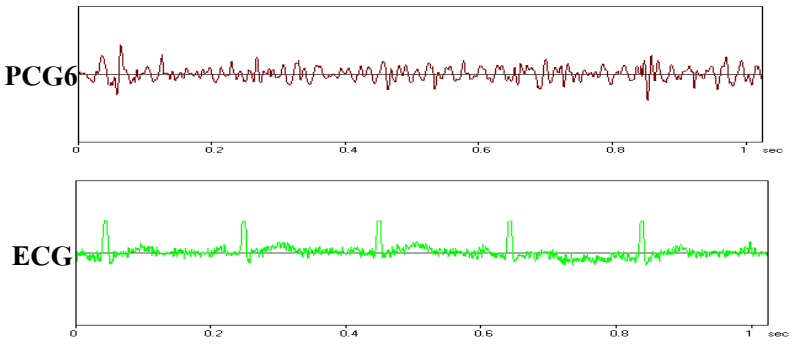

ภาพประกอบ 5-19 แสดงภาพ PCG3 และ ECG




ภาพประกอบ 5-20 แสดงภาพ PCG4 และ ECG




ภาพประกอบ 5-21 แสดงภาพ PCG5 และ ECG

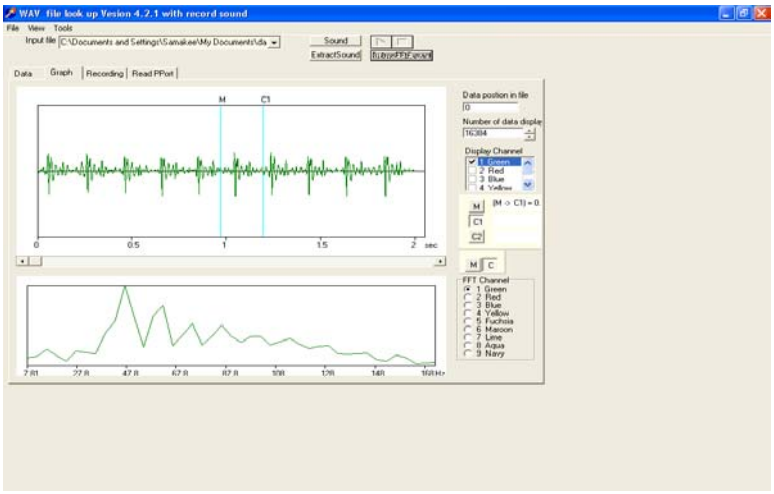



ภาพประกอบ 5-22 แสดงภาพ PCG6 และ ECG

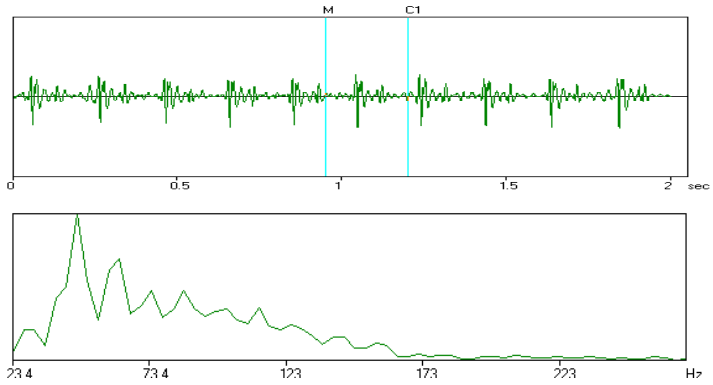
## 5.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่ของสัญญาณ

ในโปรแกรมสามารถทำการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่ในสัญญาณดิจิตอลได้ โดยใช้ขั้นตอนวิธี(alorithm) FFT (Fast Fourier Transform) ซึ่งผู้ใช้จะต้องกำหนดในโปรแกรมว่าจะเอาส่วนไหนของสัญญาณดิจิตอลในไฟล์ไปคำนวณหาองค์ประกอบเชิงความถี่ โดยในรูปกราฟสัญญาณให้คลิกขวา เพื่อคลิก check ที่ Time-domain Marker Panel ใช้เพียง 2 ปุ่มคือ ปุ่ม M และปุ่ม C1 เมื่อคลิกให้ปุ่มใดปุ่มหนึ่งจมแล้ว ไปคลิกบนกราฟจะได้ Marker เป็นสัญญาณแนวตั้งบนกราฟมีชื่อตามปุ่มที่กดอยู่ สามารถเลื่อน Marker นี้ไปมาบนกราฟได้ด้วยการใช้ Mouse ชี้ไปบนกราฟแล้วคลิกซ้ายบน Mouse แช่ไว้พร้อมกับเลื่อน Mouse ไป

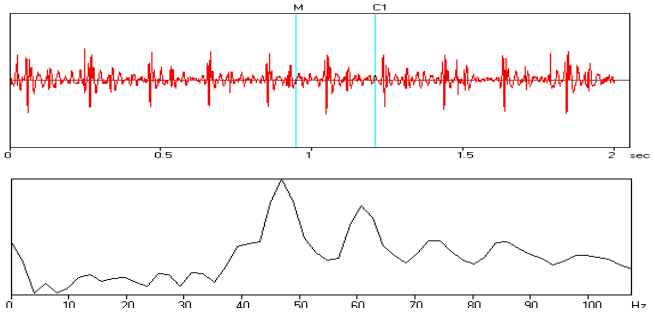
ให้ทำการลาก marker M และ C1 ลงบนกราฟ ให้ช่วงของสัญญาณที่ต้องการหาองค์ประกอบ เชิงความถี่อยู่ระหว่างเส้น marker ทั้งสอง ซึ่งจะมีปุ่ม [FFt Extract] คลิกปุ่มจะได้กราฟเชิงความถี่ซึ่งพล็อตค่าขนาดของ Discrete Founier Transform ของสัญญาณดิจิตอลที่อยู่ระหว่าง Marker ทั้งสองกับความถี่ โดยพล็อตจำนวนครึ่งหนึ่งของทุกค่าที่คำนวณได้ ส่วนที่เป็นแกนนอนได้ใช้ Sampling fregnecy ทำการสเกลให้ได้ความถี่เป็นของสัญญาณอานาลอก ส่วนแกนตั้งนั้นใช้ค่าสูงสุดของค่าขนาดที่ได้ จากการคำนวณแสดงอยู่สุดขอบสูงสุดของกราฟ กราฟเชิงความถี่ที่ได้สามารถขยายเพื่อดูรายละเอียดให้ชัดขึ้นได้ โดยการไปลาก Marker ชื่อ M และC ลงบนกราฟสำหรับรายละเอียดของสัญญาณที่บันทึกได้ การลากเส้นลงบนกราฟและการวิเคราะห์หาองค์ประกอบเชิงความถี่ แสดงดังภาพประกอบ 5-23



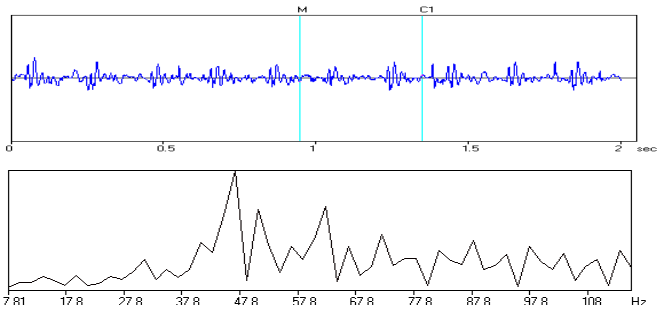

ภาพประกอบ 5-23 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการลากเส้นลงบนกราฟวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงความถี่



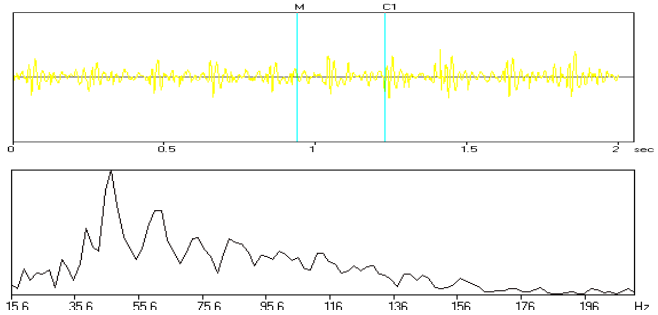

ภาพประกอบ 5-24 กราฟองค์ประเชิงความถี่ของสัญญาณ PCG1



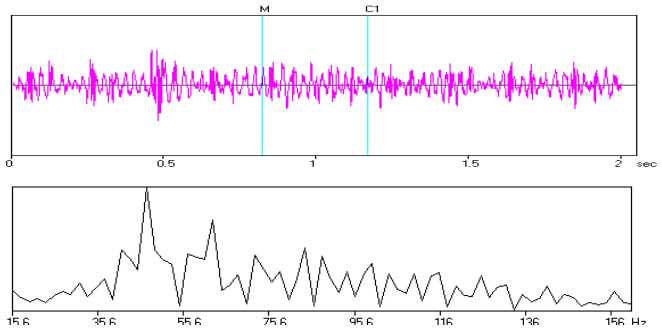

ภาพประกอบ 5-25 กราฟองค์ประเชิงความถี่ของสัญญาณ PCG2



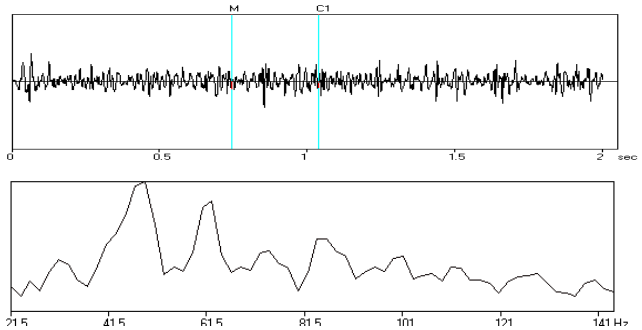

ภาพประกอบ 5-26 กราฟองค์ประเชิงความถี่ของสัญญาณ PCG3




ภาพประกอบ 5-27 กราฟองค์ประเชิงความถี่ของสัญญาณ PCG4




ภาพประกอบ 5-28 กราฟองค์ประเชิงความถี่ของสัญญาณ PCG5




ภาพประกอบ 5-29 กราฟองค์ประเชิงความถี่ของสัญญาณ PCG6