บทที่ 5
ผลการวิเคราะห์สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ

จากโปรแกรมการวิเคราะห์สัญญาณกราฟเสียงของหัวใจ (Phonocardiogram: PCG) ที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้ สามารถแสดงสัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจที่เก็บบันทึกไว้ในรูปของข้อมูลซึ่งมีนามสกุล .wav บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ แล้วเลือกเอาสัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจมาประมาณ 1 วินาที หรือ หนึ่งรอบการทำงานของหัวใจ (Cardiac cycle) หรือมากกว่านี้ เพื่อนำสัญญาณมาวิเคราะห์ด้วยขั้นตอนวิธีของวิธีการแม็ชชิงเพิซยูท

โดยทั่วไปนั้นสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจที่นำมาเก็บในฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ มักจะถูกสุ่มตัวอย่างด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sampling rate) ที่ 11,025 หรือ 44,100 ตัวอย่างต่อวินาที (Samples/second) ดังนั้นจำนวนข้อมูลจึงมีมาก ทำให้การประมวลผลด้วยโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้ ประมวลผลได้ช้ามาก จึงจำเป็นต้องลดจำนวนข้อมูลโดยการลดอัตราการสุ่มตัวอย่างสัญญาณ (Decimation of Discrete-time signal) ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.3.6 และเพื่อป้องกันการเกิดการเคลือบแฝง (Aliasing) หรือการผิดเพี้ยนของสัญญาณเมื่อสร้างสัญญาณกลับคืน (Reconstruction signal) ดังนั้นก่อนจะนำสัญญาณมาทำการวิเคราะห์ใดๆนั้น เราจะนำสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำชนิดบัตเตอร์เวร์ท อันดับที่ 8 (8^{th}–order Butterworth Low Pass Filter) ที่ความถี่คัตออฟ 1 กิโลเฮร์ซ (kHz) โดยที่วงจรกรองนี้เขียนขึ้นโดยใช้ซอร์ฟแวร์

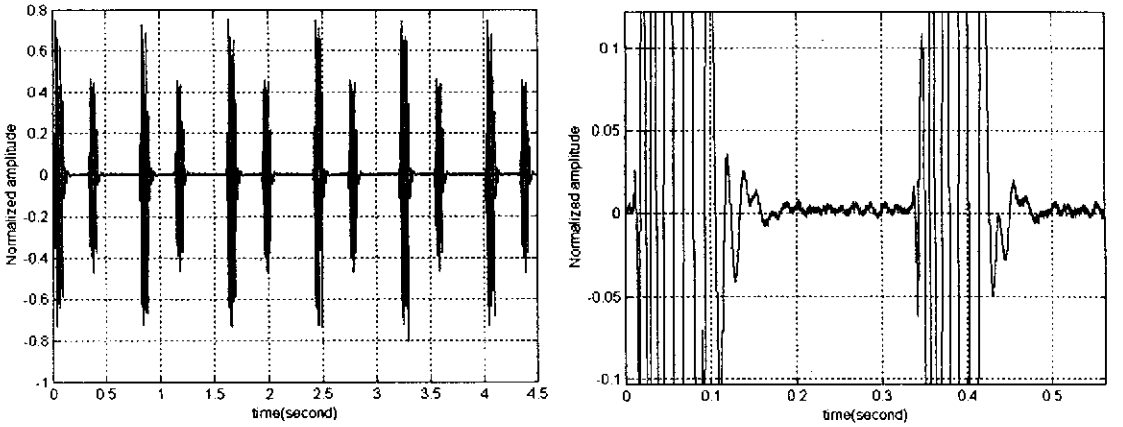
5.1 แสดงผลที่ได้ในแต่ละขั้นตอนของการประมวลผลสัญญาณ

5.1.1 อ่านข้อมูลของสัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ ซึ่งถูกเก็บบันทึกไว้ในรูปของสัญญาณเวลาเต็มหน่วย ด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง fs ตัวอย่างต่อวินาที โดยใช้คำสั่งใน MATLAB ซึ่งขนาดของสัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจที่อ่านได้นั้น เป็นค่าที่ถูกนอร์มอลไลด้วยขนาดสูงสุดของสัญญาณนั้นๆ แล้วแสดงเป็นกราฟบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ดังภาพประกอบที่ 5-1 ดังนั้น ขนาดของสัญญาณที่อ่านได้สูงสุดไม่เกิน ± 1 และบอกคุณลักษณะของสัญญาณได้ดังต่อไปนี้

อัตราการสุ่มตัวอย่าง fs = 11,025 ตัวอย่างต่อวินาที (Samples/second)

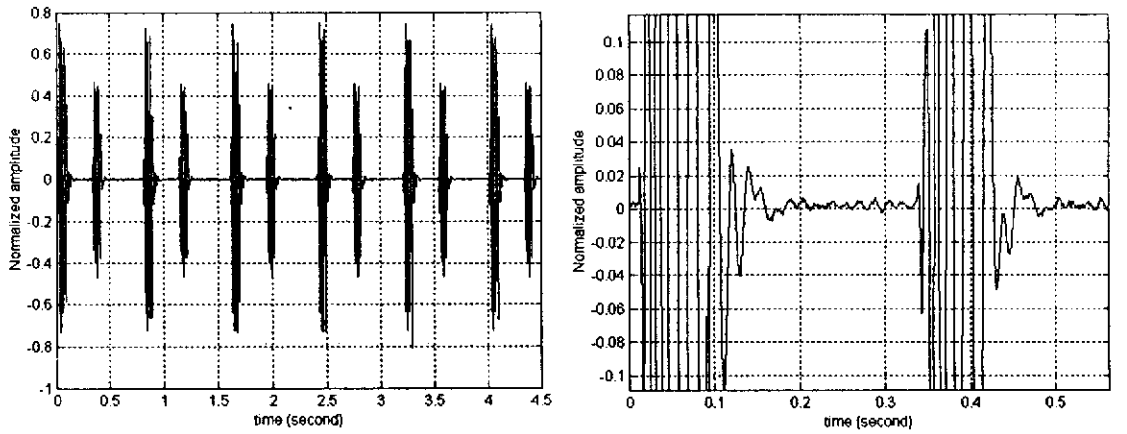
จำนวนข้อมูลที่เก็บไว้ทั้งหมด = 49,408 ตัวอย่าง (Samples)

ความยาวของกราฟสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจ ประมาณ 4.5 วินาที



ภาพประกอบที่ 5-1 สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจซึ่งยังไม่ผ่านวงจรกรอง

5.1.2 นำสัญญาณมาผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำชนิดบัตเตอร์เวร์ท อันดับที่ 8 (8^{th}–order Butterworth Low Pass Filter) ที่ความถี่คัตออฟ 1 กิโลเฮร์ซ (kHz) ได้รูปร่างของสัญญาณดังภาพประกอบที่ 5-2

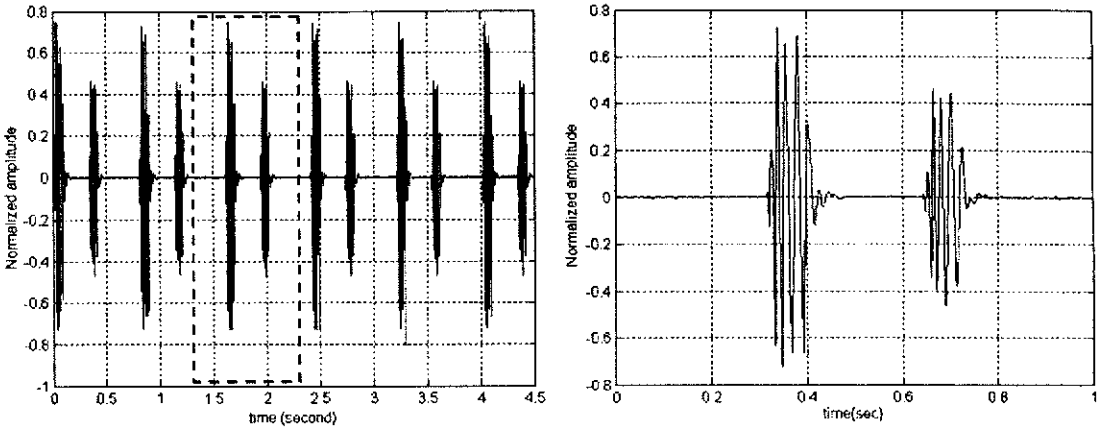


ภาพประกอบที่ 5-2 สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจหลังจากผ่านวงจรกรอง

5.1.3 เลือกช่วงของสัญญาณที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ ซึ่งในการเลือกช่วงของสัญญาณนี้จะเป็นหน้าที่ของแพทย์ซึ่งเป็นผู้วินิจฉัยโรค สำหรับการทดลองนี้จะเลือกสัญญาณมาเพียงหนึ่งรอบการทำงานของหัวใจ โดยคุณลักษณะของสัญญาณที่เลือกมาเพื่อทำการวิเคราะห์ คือ

ความยาวของสัญญาณ ประมาณ 1 วินาที

จำนวนข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์ = 11,025 ตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 5-3 แสดงการเลือกสัญญาณเพื่อนำมาวิเคราะห์

5.1.4 ลดอัตราการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณ (Decimation of Discrete-time signal) เพื่อลดจำนวนข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งมีเงื่อนไขตามทฤษฎีในหัวข้อที่ 3.3.6 ดังนี้

$$fs_{new} = \frac{1}{T'} = \frac{1}{MT} > 2f_{max}$$

ซึ่งสำหรับสัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ เราจะพิจารณาให้ $f_{max} \cong 660$ เฮร์ซ ตามตารางที่ 2-1 ซึ่งอัตราการสุ่มตัวอย่างใหม่ fs_{new} ที่ได้ กำหนดให้ไม่น้อยกว่า 4 เท่าของ fs_{max} คือ

$$fs_{new} \geq 4f_{max} \geq 2{,}640\ Hz$$

ดังนั้นสิ่งที่จะต้องคำนวณหาในขั้นตอนนี้คือ แฟคเตอร์การลดอัตราการสุ่มตัวอย่าง M โดยคำนวณได้จาก

$$M \leq \frac{fs}{f_{max}}$$

ซึ่ง M จะต้องเป็นจำนวนเต็ม ในการเขียนโปรแกรมด้วย MATLAB นั้นสามารถกำหนดได้โดยใช้คำสั่ง

$$fix\left(\frac{fs}{f_{max}}\right)$$

สำหรับในงานวิจัยนี้ การลดอัตราการสุ่มตัวอย่างทำได้โดยใช้คำสั่ง "decimate" ในโปรแกรม MATLAB ถ้าสัญญาณเสียงหัวใจที่เลือกมาวิเคราะห์คือ $f[n]$ ดังภาพประกอบที่ 5-3 ซึ่งเป็นสัญญาณเวลาเต็มหน่วยที่เป็นลำดับของข้อมูลจำนวน 11,025 ตัวอย่าง เมื่อนำลำดับของข้อมูลมาผ่านกระบวนการลดอัตราการสุ่มตัวอย่างแล้วจะได้สัญญาณเวลาเต็มหน่วยที่มีลำดับของข้อมูลใหม่เป็น $f'[n]$ และจำนวนข้อมูลลดลงเป็นจำนวน M เท่า และจากการคำนวณ ได้ค่า $M = 4$ ดังนั้น สามารถแสดงตัวอย่างของการลดอัตราการสุ่มตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้

$f[n]$ = [...,0.023375, 0.017672, 0.0093309, -0.0017662, -0.013659, -0.025057, -0.038017, -0.055781, -0.079695, -0.10411, -0.11913, -0.11771, -0.0999, -0.070395, -0.032609, 0.0095726, 0.049497, 0.084896, 0.11603, 0.13922, 0.15559, 0.16845, 0.17774, 0.18629, 0.19413, 0.19839, 0.19837, 0.19166, 0.17716, 0.15697, 0.13363, 0.11117, 0.088634, 0.055713, 0.006151, -0.060671, -0.14385, -0.2346, -0.32385, -0.40535, -0.47551,....]

ดังนั้นจะได้ลำดับของข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์ดังนี้

$f'[n]$ = [...,0.022893, -0.0081427, -0.086383, -0.094347, 0.0452, 0.16187, 0.19212, 0.18079, 0.090016, -0.13983, -0.46975,....]

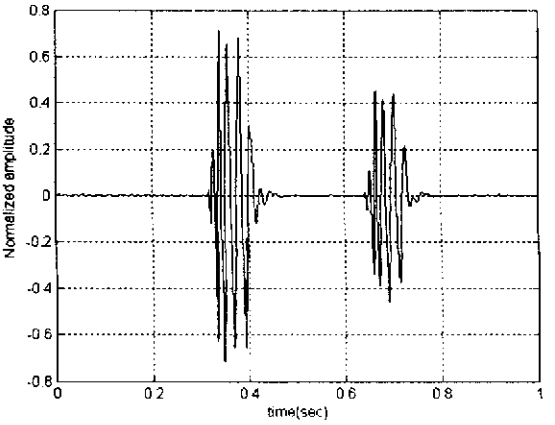
ข้อมูลที่นำไปวิเคราะห์คือ $f'[n]$ มีจำนวนข้อมูล $= \dfrac{\text{จำนวนข้อมูลที่เลือกมาทั้งหมด}}{M}$

$$= fix\left(\frac{11,025}{4}\right) = 2,756 \text{ ตัวอย่าง}$$

ในภาพประกอบที่ 5-4 แสดงสัญญาณเสียงเต้นของหัวใจซึ่งได้ทำการลดอัตราการสุ่มตัวอย่างแล้ว โดยคุณลักษณะของสัญญาณที่ได้ ดังนี้

ความยาวของสัญญาณยังคงเดิม ประมาณ 1 วินาที

จำนวนข้อมูล ของ $f'[n]$ คือ 2,756 ตัวอย่าง



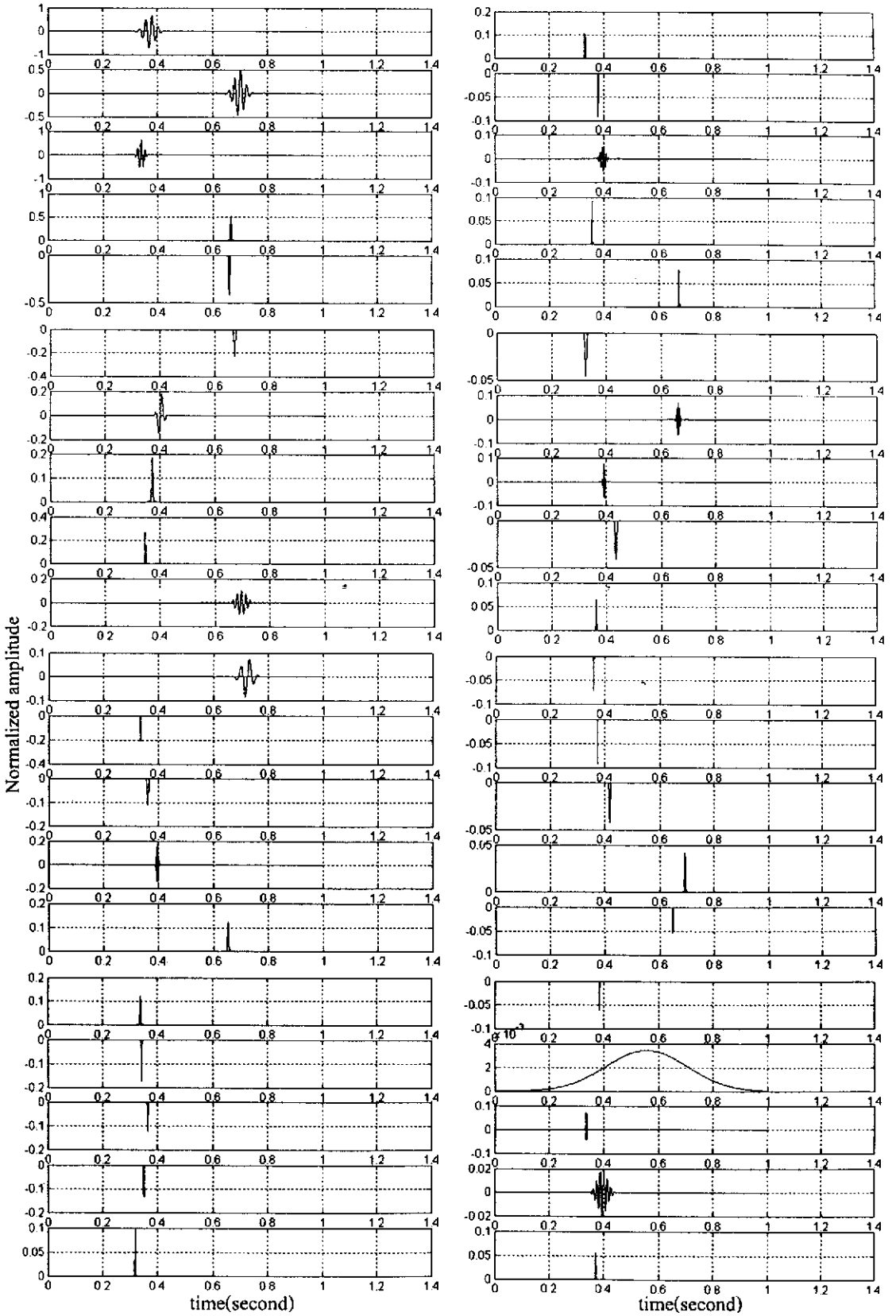
ภาพประกอบที่ 5-4 แสดงช่วงสัญญาณที่เลือกมาวิเคราะห์หลังจากลดอัตราการสุ่มตัวอย่างแล้ว

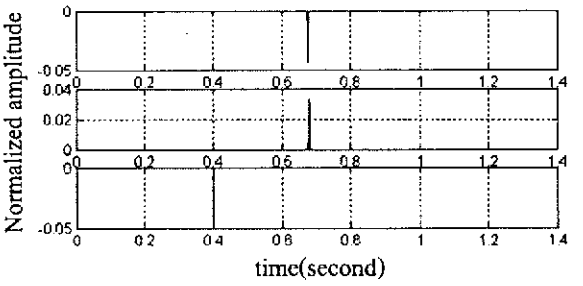
5.1.5 นำสัญญาณที่ลดอัตราการสุ่มตัวอย่างแล้วมาทำการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการของวิธีแม็ชชิงเพิซยูท ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยการทำซ้ำของกระบวนการการวิธีแม็ชชิงเพิซยูทนั้นกระทำเป็นจำนวน m ครั้ง นั่นคือ สัญญาณจะถูกแยกองค์ประกอบเป็นจำนวน m ตัว ซึ่งในแต่ละรอบของการทำซ้ำ ก็จะได้การโปรเจกชันสัญญาณ f ไปบนดิกชันนารี 1 ครั้ง และได้พารามิเตอร์ตัวชี้ตำแหน่งของอะตอมในดันนารี $\gamma = (s, p, \frac{2\pi k}{N})$ มา 1 ตำแหน่ง ตามสมการที่ (3-6) คือ

$$
\begin{aligned}
f &= < f, g_{\gamma_0} > g_{\gamma_0} + R^1 f \\
&= < f, g_{\gamma_0} > g_{\gamma_0} + < R^1 f, g_{\gamma_1} > g_{\gamma_1} + R^2 f \\
&= < f, g_{\gamma_0} > g_{\gamma_0} + < R^1 f, g_{\gamma_1} > g_{\gamma_1} + < R^2 f, g_{\gamma_2} > g_{\gamma_2} + R^3 f \\
&= < f, g_{\gamma_0} > g_{\gamma_0} + < R^1 f, g_{\gamma_1} > g_{\gamma_1} + < R^2 f, g_{\gamma_2} > g_{\gamma_2} + \ldots + < R^m f, g_{\gamma_m} > g_{\gamma_m} + R^{m+1} f
\end{aligned}
$$

$$
f = \sum_{n=0}^{m} < R^n f, g_{\gamma_n} > g_{\gamma_n} + R^{m+1} f
$$

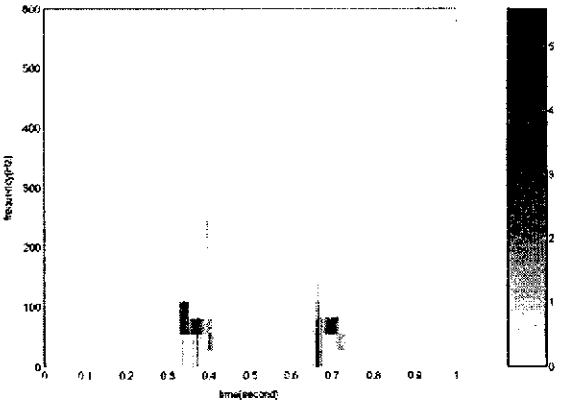
และสามารถแสดงการแยกองค์ประกอบของสัญญาณตามสมการนี้ได้ดังภาพประกอบที่ 5-5 โดยสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์นี้สามารถแยกองค์ประกอบได้เป็น 43 องค์ประกอบ


Normalized amplitude
time(second)
time(second)

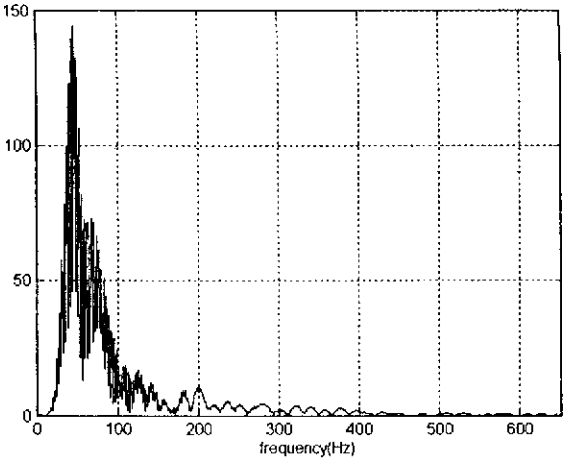


ภาพประกอบที่ 5-5 การแยกองค์ประกอบของสัญญาณด้วยวิธีการแม็ชชิ่งเพิซยูท

และเมื่อทำกระบวนการวิธีแม็ชชิ่งเพิซยูทครบจำนวน m ครั้ง เราก็จะได้ค่าพารามิเตอร์ตัวชี้ $\gamma = (s, p, \frac{2\pi k}{N})$ จำนวน m ตัว ซึ่งพารามิเตอร์ที่ได้เป็นพารามิเตอร์ของสัญญาณที่เป็นสัญญาณเวลาเต็มหน่วย ดังนั้นในการกระจายกำลังงานในแกนของ เวลา-ความถี่ จะต้องแปลงพารามิเตอร์ที่หาได้เหล่านี้ให้เป็นพารามิเตอร์ของสัญญาณเวลาต่อเนื่อง $\gamma = (s, u, \xi)$ ก่อน จึงสามารถนำมาแสดงเป็นรูปกราฟของการกระจายกำลังงานในแกนของเวลา-ความถี่ที่เป็นประโยชน์ต่อการวินิจฉัยโรค และสามารถเปรียบเทียบการกระจายกำลังงานโดยใช้สมการการกระจายกำลังงานของวิกเนอร์และผลการแปลงฟูเรียร์ ดังภาพประกอบต่อไปนี้



ภาพประกอบที่ 5-6 การกระจายกำลังงานในแกน เวลา – ความถี่ ของสัญญาณโดยสมการการกระจายกำลังงานของวิกเนอร์ (Wigner energy distribution)



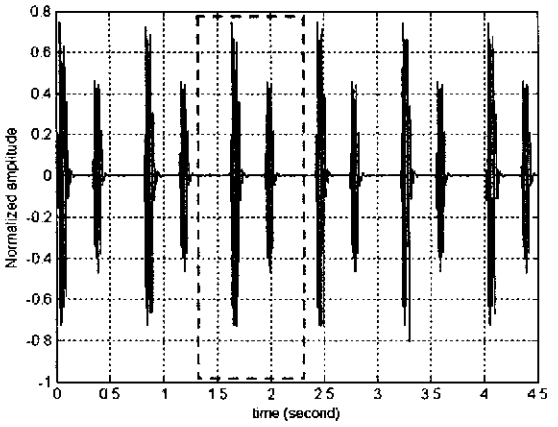
ภาพประกอบที่ 5-7 ผลของการแปลงฟูเรียร์ (Discrete Fourier Transform)

5.2 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ

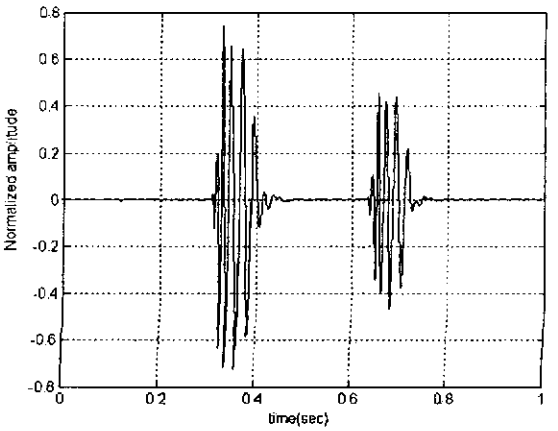
ตัวอย่างของผลการวิเคราะห์สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจต่อไปนี้ เป็นตัวอย่างเสียงเต้นของหัวใจทั้งในคนปกติ และผู้ป่วยโรคหัวใจที่ทราบชนิดของโรค โดยตัวอย่างเสียงเหล่านี้ นำมาจากเวปไซต์ *http://www.3m.com/us/healthcare/professionals/littmann/jhtml/sounds/normal_split_first_heart_sound.jhtml* เมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม 2546 สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

5.2.1 กราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Normal split first heart sound

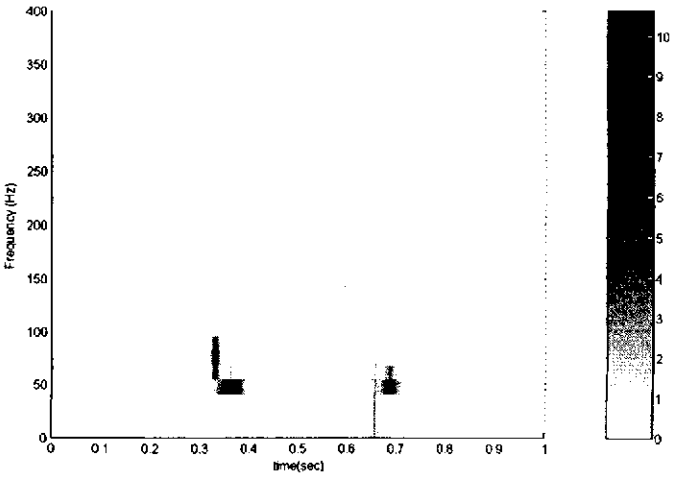
บันทึกด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง fs	= 11,025	ตัวอย่างต่อวินาที
ความยาวของสัญญาณที่บันทึก	≈ 4.5	วินาที
ความยาวของสัญญาณที่เลือกมาวิเคราะห์	≈ 1	วินาที
จำนวนข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์	= 10,952	ตัวอย่าง
ลดอัตราการสุ่มตัวอย่างด้วยแฟคเตอร์ M	= 4	
เหลือจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	= 2,738	ตัวอย่าง
ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด	= 12.7705	ชั่วโมง


Normalized amplitude
time (second)

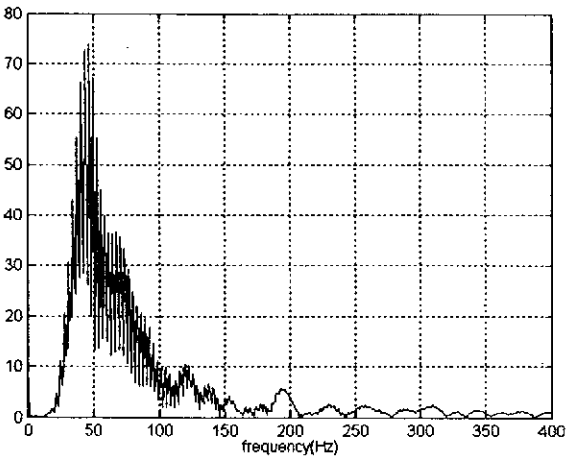
(ก)


Normalized amplitude
time(sec)

(ข)


Frequency (Hz)
time(sec)

(ค)

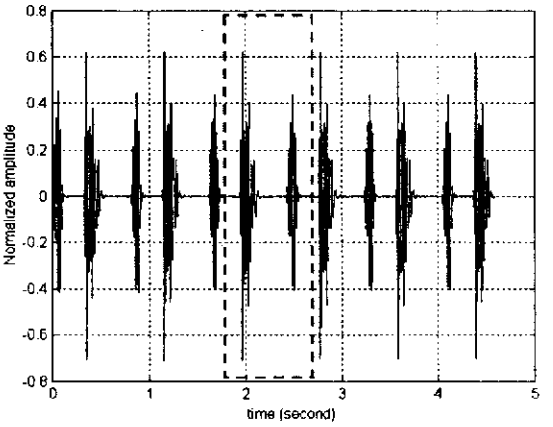


(ง)

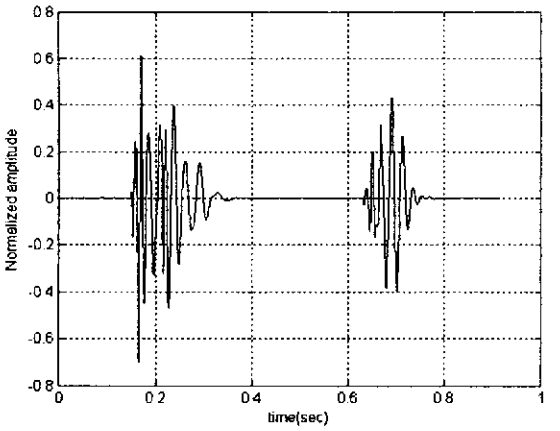
ภาพประกอบที่ 5-8 (ก) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจใจชนิด Normal split first heart sound
(ข) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ 1 รอบการทำงานของหัวใจ
(ค) กราฟการกระจายกำลังงานในแกน เวลา - ความถี่
(ง) ผลของการแปลงฟูเรียร์

5.2.2 กราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Normal split second heart sound

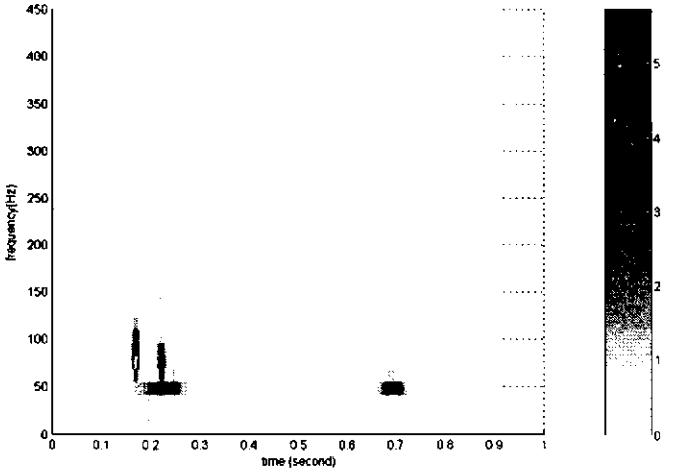
บันทึกด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง fs	= 11,025	ตัวอย่างต่อวินาที
ความยาวของสัญญาณที่บันทึก	≈ 4.5	วินาที
ความยาวของสัญญาณที่เลือกมาวิเคราะห์	≈ 0.9	วินาที
จำนวนข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์	= 10,053	ตัวอย่าง
ลดอัตราการสุ่มตัวอย่างด้วยแฟคเตอร์ M	= 4	
เหลือจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	= 2,514	ตัวอย่าง
ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด	= 10.5334	ชั่วโมง


Normalized amplitude
time (second)

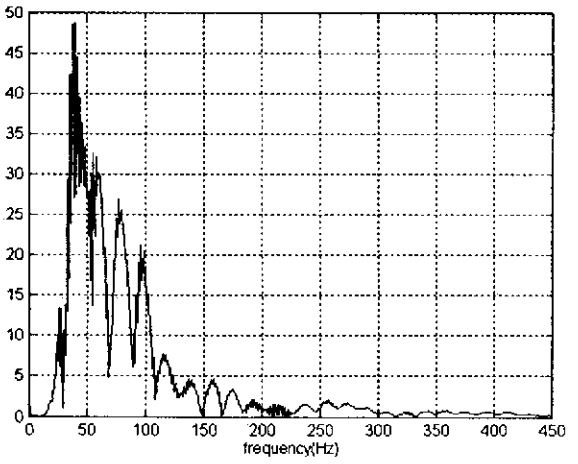
(ก)


Normalized amplitude
time(sec)

(ข)


frequency(Hz)
time (second)

(ค)

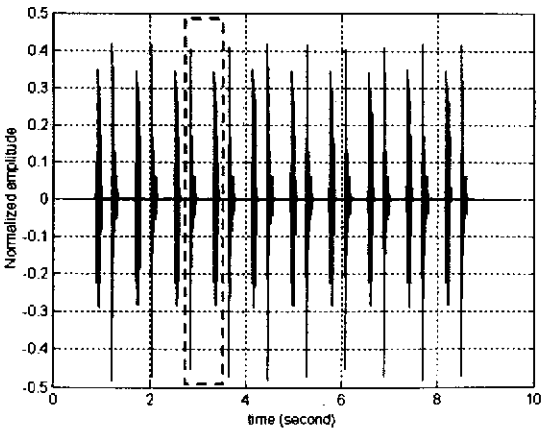


(ง)

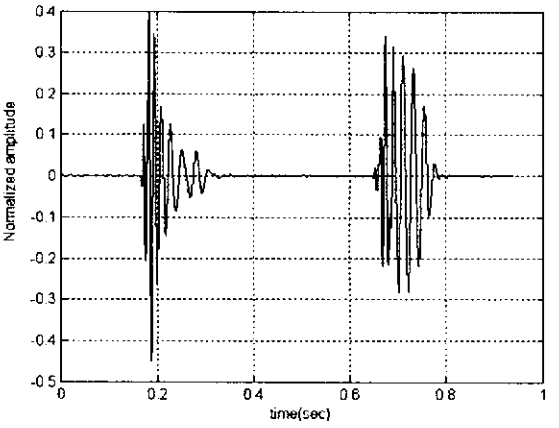
ภาพประกอบที่ 5-9 (ก) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Normal split second heart sound
(ข) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ 1 รอบการทำงานของหัวใจ
(ค) กราฟการกระจายกำลังงานในแกน เวลา - ความถี่
(ง) ผลของการแปลงฟูเรียร์

5.2.3 กราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Normal first and second heart sound

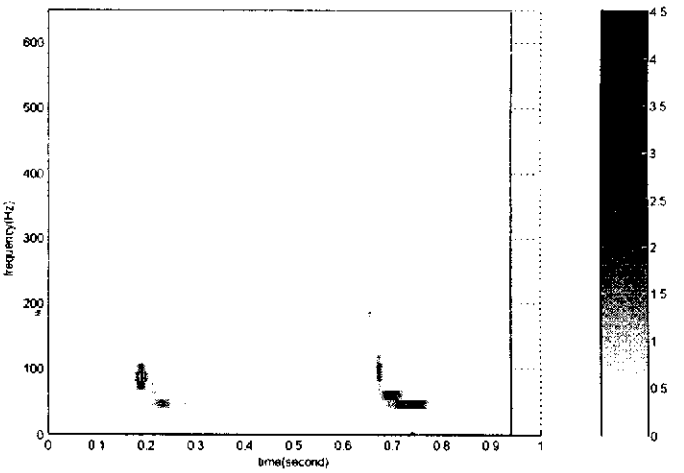
บันทึกด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง fs	= 44,100	ตัวอย่างต่อวินาที
ความยาวของสัญญาณที่บันทึก	≈ 9.8	วินาที
ความยาวของสัญญาณที่เลือกมาวิเคราะห์	≈ 0.95	วินาที
จำนวนข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์	= 41,477	ตัวอย่าง
ลดอัตราการสุ่มตัวอย่างด้วยแฟคเตอร์ M	= 16	
เหลือจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	= 2,593	ตัวอย่าง
ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด	= 9.85021	ชั่วโมง



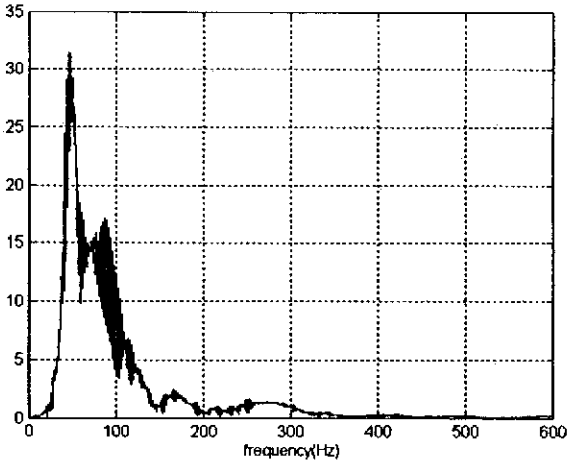
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพประกอบที่ 5-10 (ก) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Normal first and second heart sound

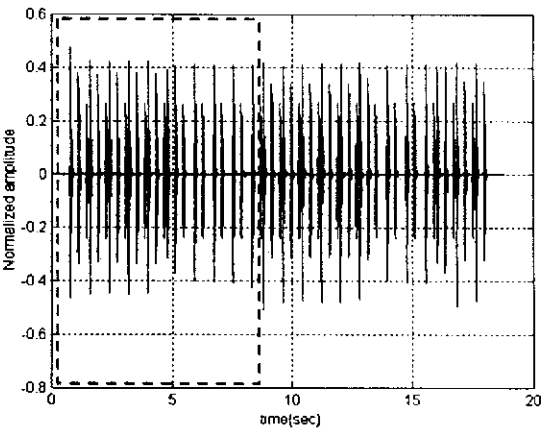
(ข) เลือกสัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ 1 รอบการทำงานของหัวใจ

(ค) กราฟการกระจายกำลังงานในแกน เวลา - ความถี่

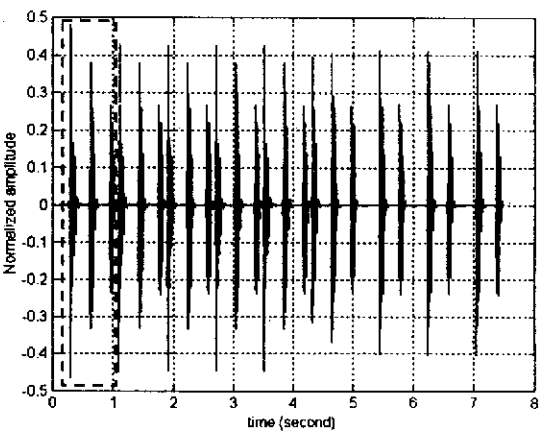
(ง) ผลของการแปลงฟูเรียร์

5.2.4 กราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Third heart sound (S3) ตัวอย่างที่ 1

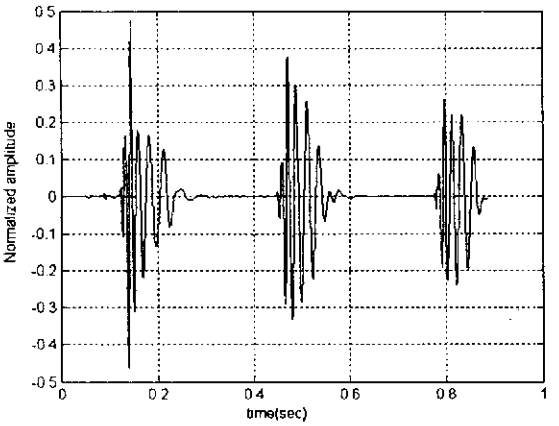
บันทึกด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง *fs*	= 44,100	ตัวอย่างต่อวินาที
ความยาวของสัญญาณที่บันทึก	≈ 18	วินาที
ความยาวของสัญญาณที่เลือกมาวิเคราะห์	≈ 0.9	วินาที
จำนวนข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์	= 39,107	ตัวอย่าง
ลดอัตราการสุ่มตัวอย่างด้วยแฟคเตอร์ *M*	= 16	
เหลือจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	= 2,445	ตัวอย่าง
ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด	= 11.4738	ชั่วโมง



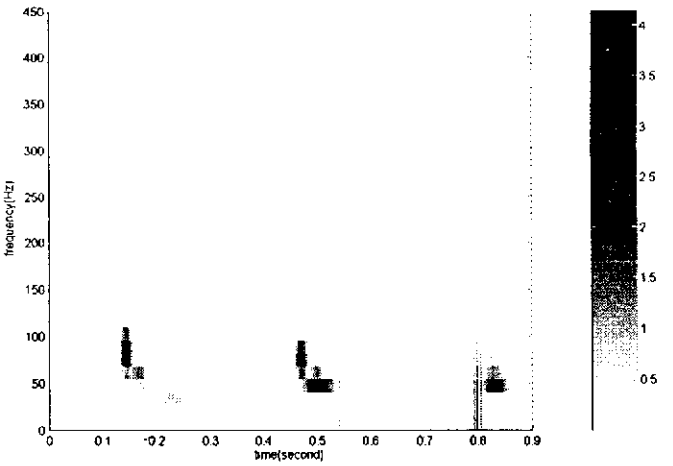
(ก)



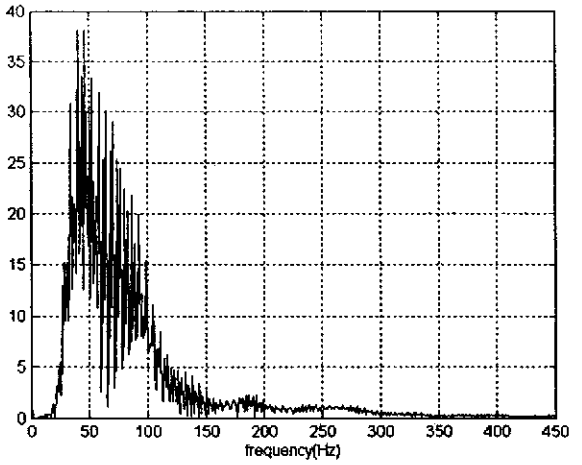
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพประกอบที่ 5-11 (ก) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Third heart sound ตัวอย่างที่ 1

(ข) เลือกช่วงสัญญาณครั้งที่ 1 เพื่อให้เห็นสัญญาณที่ชัดเจนขึ้น

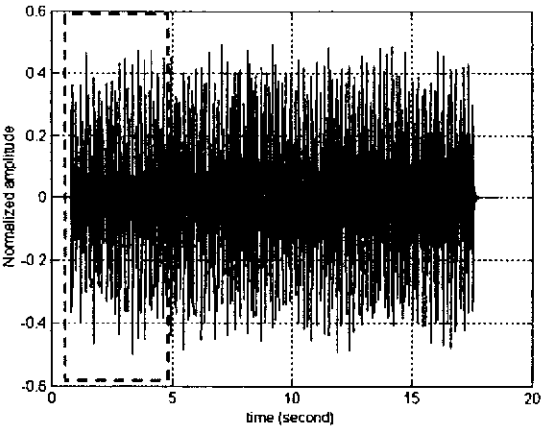
(ค) เลือกสัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ 1 รอบการทำงานของหัวใจ

(ง) กราฟการกระจายกำลังงานในแกน เวลา - ความถี่

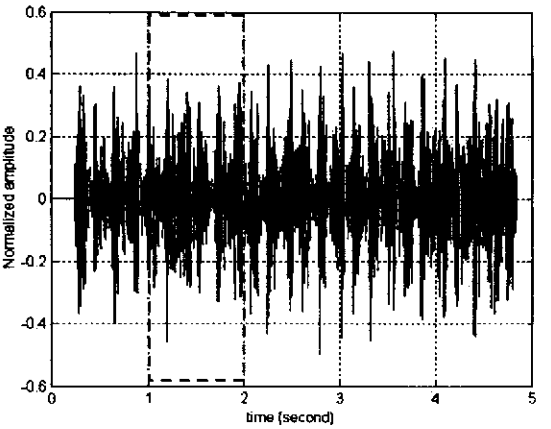
(จ) ผลของการแปลงฟูเร็ียร์

5.2.5 กราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Third heart sound (S3) ตัวอย่างที่ 2

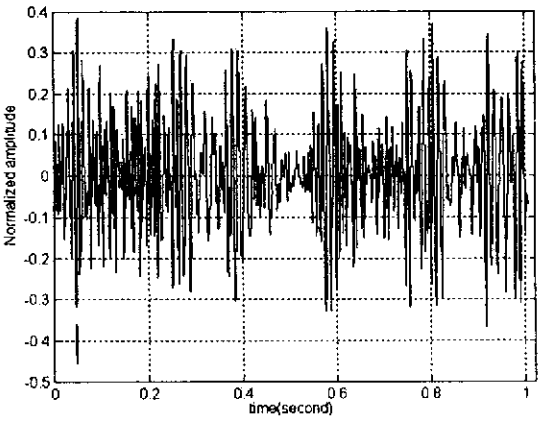
บันทึกด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง *fs*	= 44,100	ตัวอย่างต่อวินาที
ความยาวของสัญญาณที่บันทึก	≈ 18.5	วินาที
ความยาวของสัญญาณที่เลือกมาวิเคราะห์	≈ 1	วินาที
จำนวนข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์	= 44,439	ตัวอย่าง
ลดอัตราการสุ่มตัวอย่างด้วยแฟคเตอร์ *M*	= 16	
เหลือจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	= 2,778	ตัวอย่าง
ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด	= 74.5788	ชั่วโมง



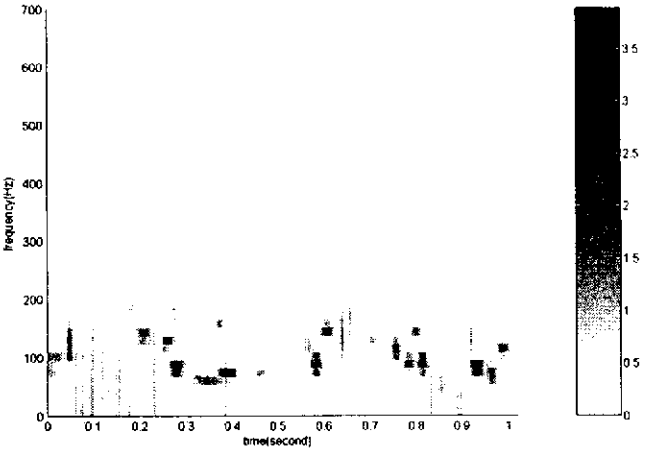
(ก)



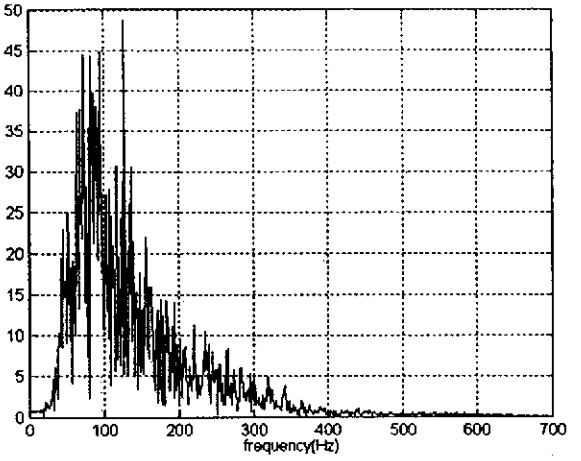
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพประกอบที่ 5-12 (ก) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Third heart sound ตัวอย่างที่ 2

(ข) เลือกช่วงสัญญาณครั้งที่ 1 เพื่อให้เห็นสัญญาณที่ชัดเจนขึ้น

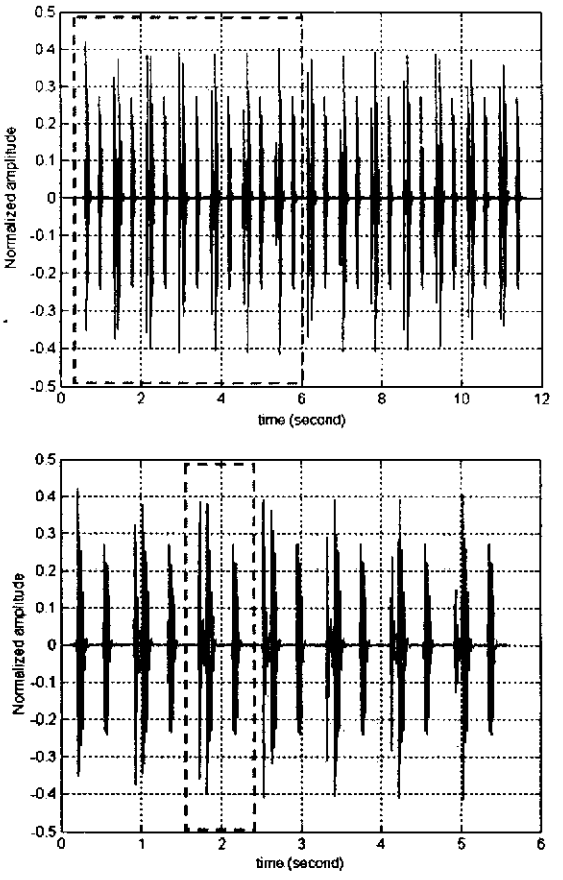
(ค) เลือกสัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ 1 รอบการทำงานของหัวใจ

(ง) กราฟการกระจายกำลังงานในแกน เวลา - ความถี่

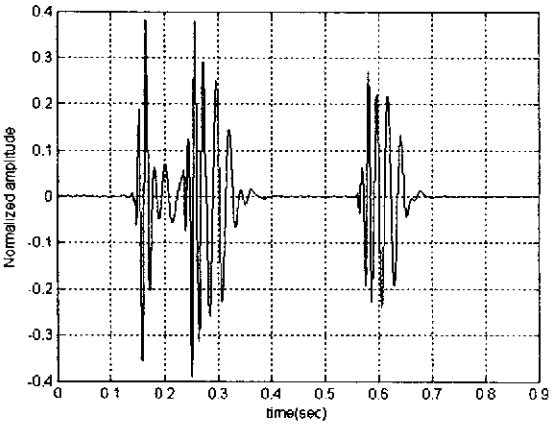
(จ) ผลของการแปลงฟูเรียร์

5.2.6 กราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Forth heart sound (S4) ตัวอย่างที่ 1

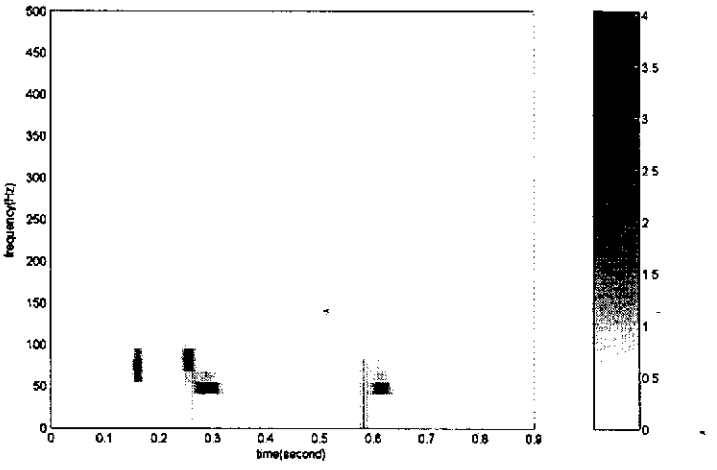
บันทึกด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง fs	= 44,100	ตัวอย่างต่อวินาที
ความยาวของสัญญาณที่บันทึก	≈ 12	วินาที
ความยาวของสัญญาณที่เลือกมาวิเคราะห์	≈ 0.9	วินาที
จำนวนข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์	= 39,615	ตัวอย่าง
ลดอัตราการสุ่มตัวอย่างด้วยแฟคเตอร์ M	= 16	
เหลือจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	= 2,476	ตัวอย่าง
ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด	= 9.35199	ชั่วโมง



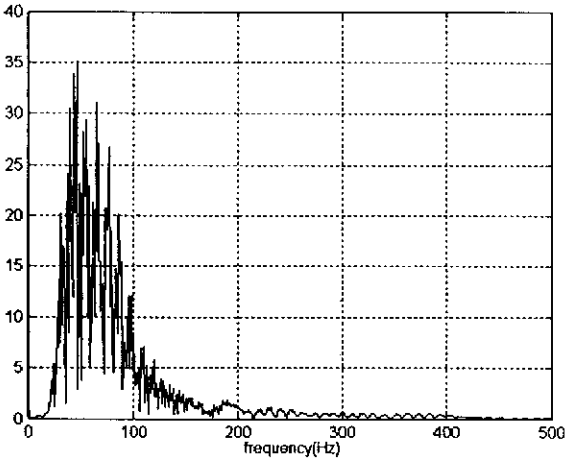
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพประกอบที่ 5-13 (ก) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Forth heart sound ตัวอย่างที่ 1

(ข) เลือกช่วงสัญญาณครั้งที่ 1 เพื่อให้เห็นสัญญาณที่ชัดเจนขึ้น

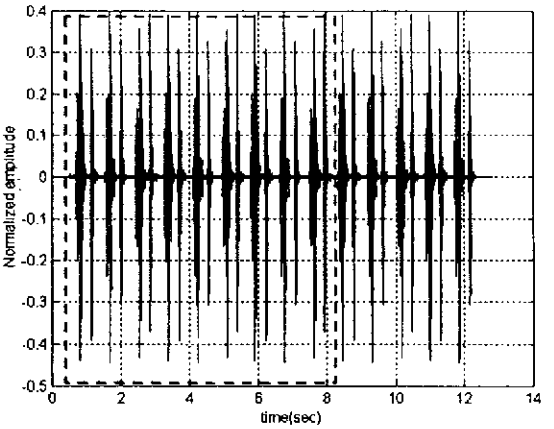
(ค) เลือกสัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ 1 รอบการทำงานของหัวใจ

(ง) กราฟการกระจายกำลังงานในแกน เวลา - ความถี่

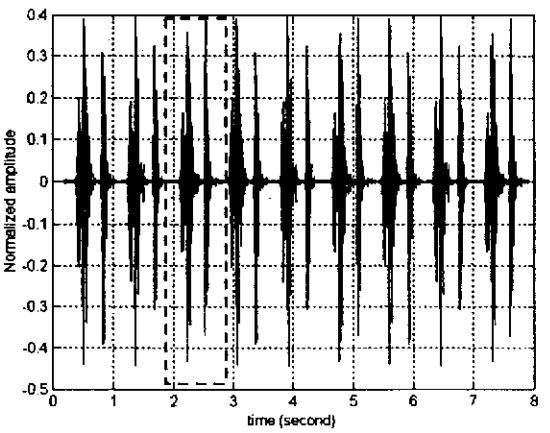
(จ) ผลของการแปลงฟูเรียร์

5.2.7 กราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Forth heart sound (S4) ตัวอย่างที่ 2

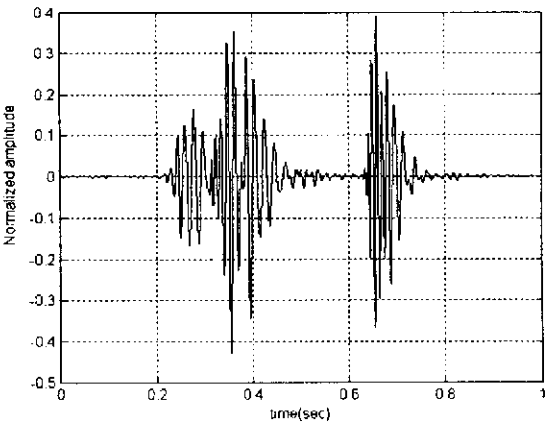
บันทึกด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง fs	= 44,100	ตัวอย่างต่อวินาที
ความยาวของสัญญาณที่บันทึก	≈ 13	วินาที
ความยาวของสัญญาณที่เลือกมาวิเคราะห์	≈ 1	วินาที
จำนวนข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์	= 43,424	ตัวอย่าง
ลดอัตราการสุ่มตัวอย่างด้วยแฟคเตอร์ M	= 16	
เหลือจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	= 2,714	ตัวอย่าง
ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด	= 13.5143	ชั่วโมง



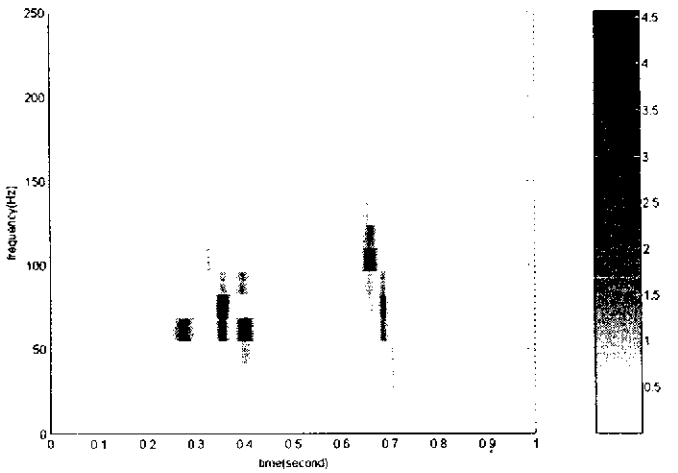
(ก)



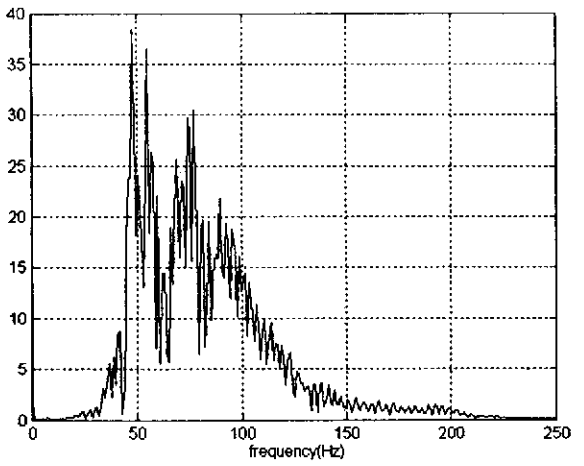
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพประกอบที่ 5-14 (ก) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Forth heart sound ตัวอย่างที่ 2

(ข) เลือกช่วงสัญญาณครั้งที่ 1 เพื่อให้เห็นสัญญาณที่ชัดเจนขึ้น

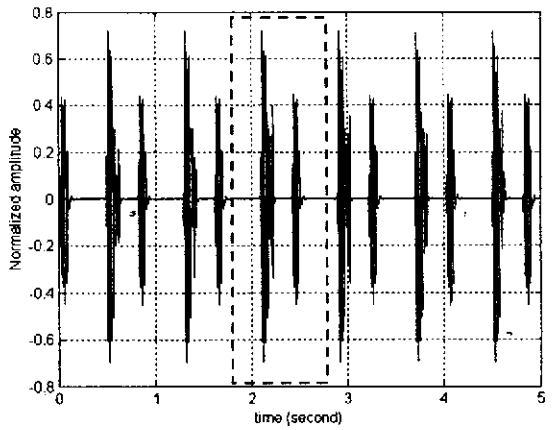
(ค) เลือกสัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ 1 รอบการทำงานของหัวใจ

(ง) กราฟการกระจายกำลังงานในแกน เวลา - ความถี่

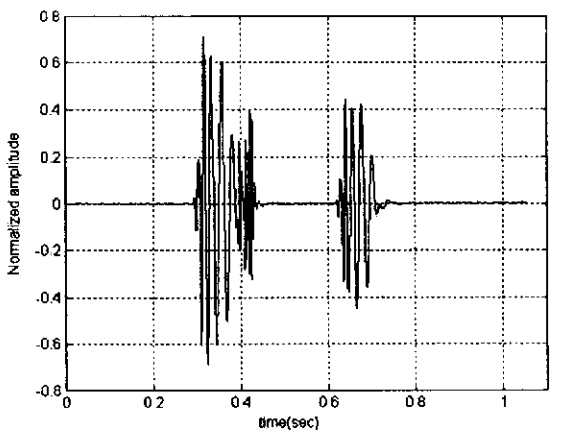
(จ) ผลของการแปลงฟูเรียร์

5.2.8 กราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Ejection Click

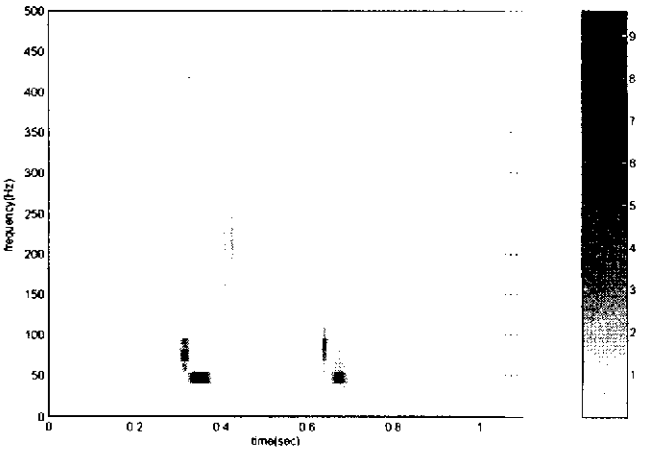
บันทึกด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง *fs*	= 11,025	ตัวอย่างต่อวินาที
ความยาวของสัญญาณที่บันทึก	≈ 5	วินาที
ความยาวของสัญญาณที่เลือกมาวิเคราะห์	≈ 1.05	วินาที
จำนวนข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์	= 11,640	ตัวอย่าง
ลดอัตราการสุ่มตัวอย่างด้วยแฟคเตอร์ *M*	= 4	
เหลือจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	= 2,910	ตัวอย่าง
ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด	= 14.8564	ชั่วโมง



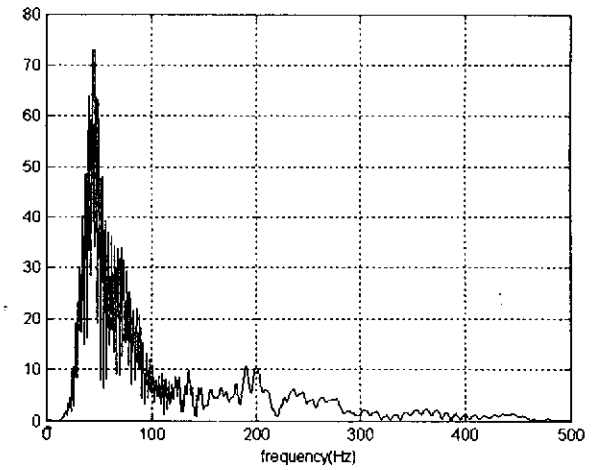
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพประกอบที่ 5-15 (ก) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Ejection Click

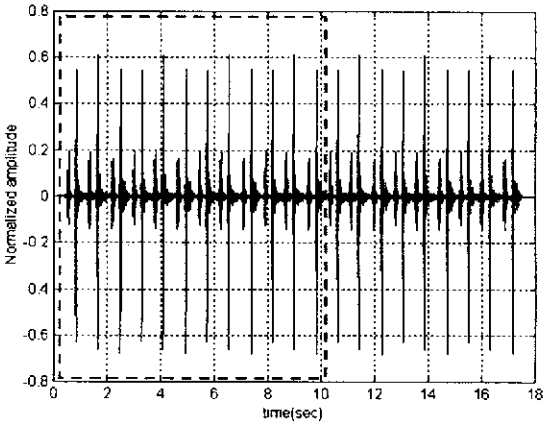
(ข) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ 1 รอบการทำงานของหัวใจ

(ค) กราฟการกระจายกำลังงานในแกน เวลา - ความถี่

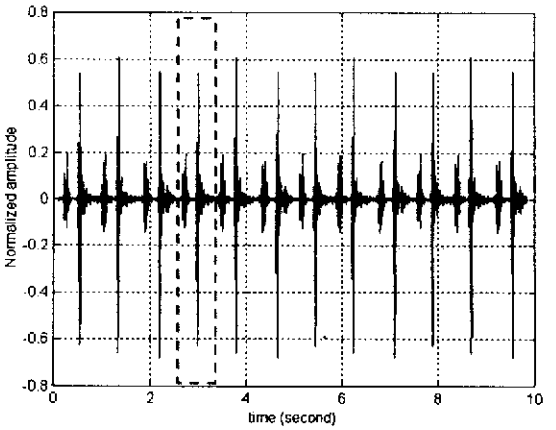
(ง) ผลของการแปลงฟูเรียร์

5.2.9 กราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Early Diastolic Murmur

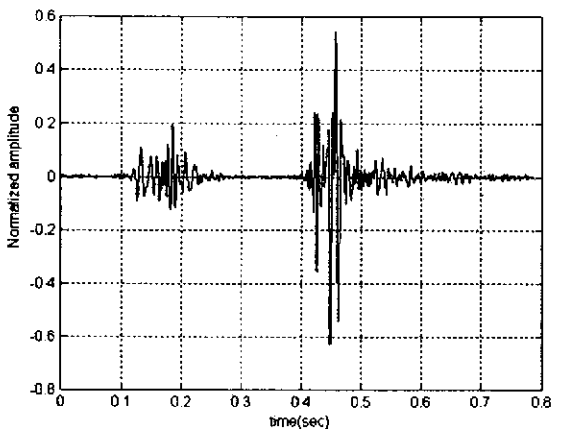
บันทึกด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง *fs*	= 44,100	ตัวอย่างต่อวินาที
ความยาวของสัญญาณที่บันทึก	≈ 18	วินาที
ความยาวของสัญญาณที่เลือกมาวิเคราะห์	≈ 0.8	วินาที
จำนวนข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์	= 34,705	ตัวอย่าง
ลดอัตราการสุ่มตัวอย่างด้วยแฟคเตอร์ *M*	= 16	
เหลือจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	= 2,170	ตัวอย่าง
ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด	= 18.776	ชั่วโมง


Normalized amplitude
time(sec)

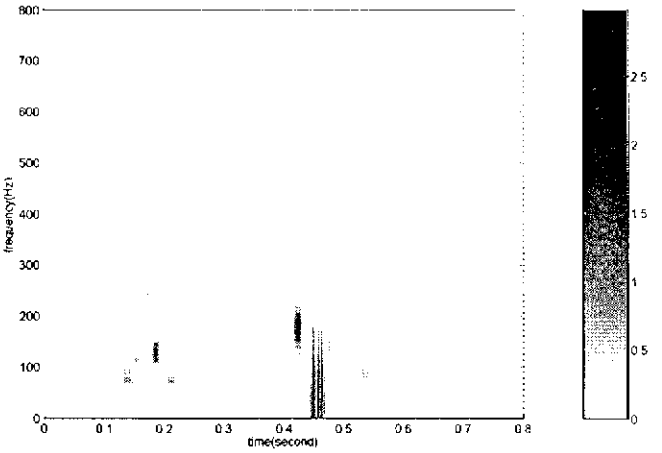
(ก)


Normalized amplitude
time (second)

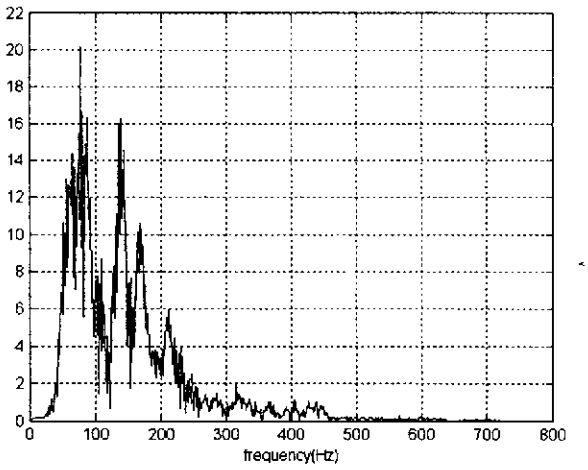
(ข)


Normalized amplitude
time(sec)

(ค)



(ง)



(จ)

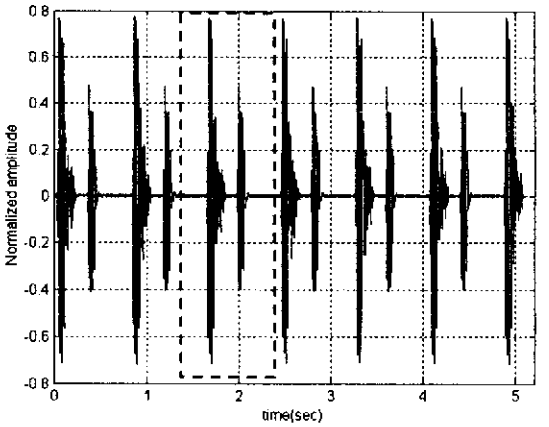
ภาพประกอบที่ 5-16 (ก) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Early Diastolic Murmur
(ข) เลือกช่วงสัญญาณครั้งที่ 1 เพื่อให้เห็นสัญญาณที่ชัดเจนขึ้น
(ค) เลือกสัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ 1 รอบการทำงานของหัวใจ
(ง) กราฟการกระจายกำลังงานในแกน เวลา - ความถี่
(จ) ผลของการแปลงฟูเรียร์

5.2.10 กราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Early Systolic Murmur

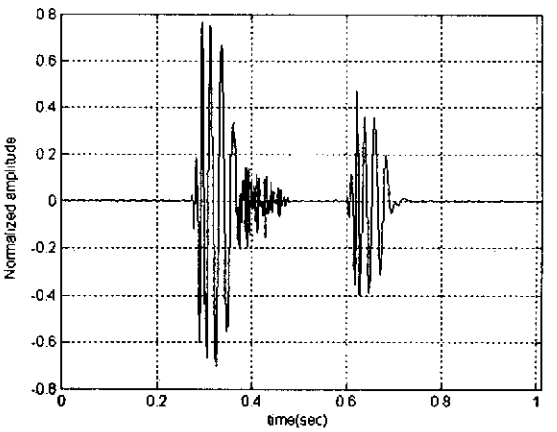
บันทึกด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง *fs*	= 11,025	ตัวอย่างต่อวินาที
ความยาวของสัญญาณที่บันทึก	≈ 5.5	วินาที
ความยาวของสัญญาณที่เลือกมาวิเคราะห์	≈ 1	วินาที
จำนวนข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์	= 11,047	ตัวอย่าง
ลดอัตราการสุ่มตัวอย่างด้วยแฟคเตอร์ *M*	= 4	

เหลือจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ = 2,762 ตัวอย่าง

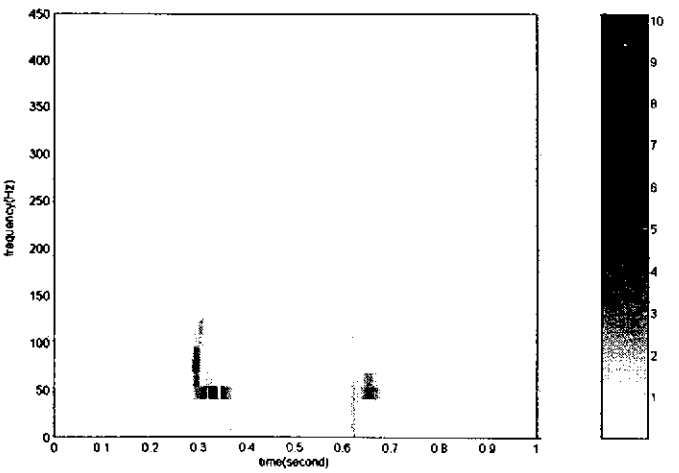
ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด = 15.9438 ชั่วโมง



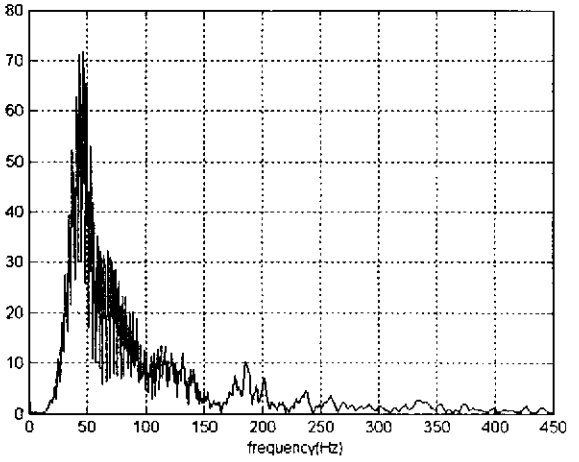
(ก)



(ข)



(ค)

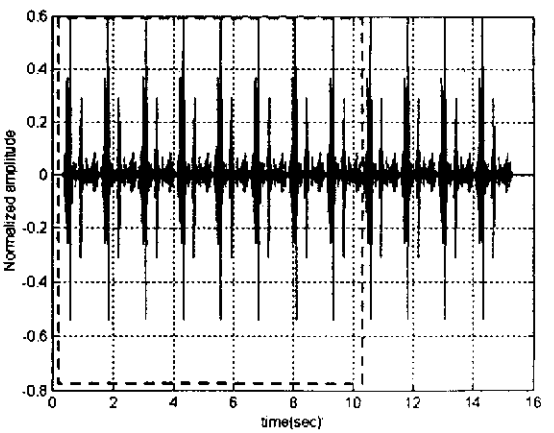


(ง)

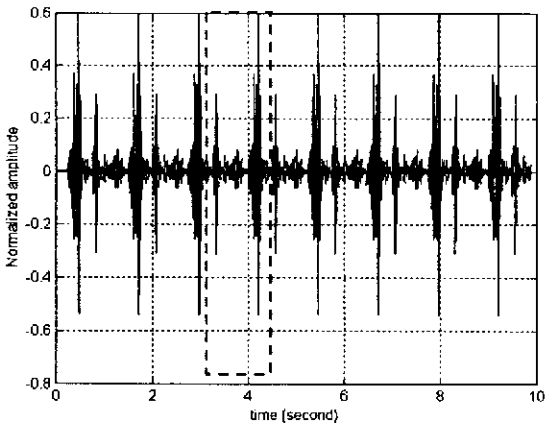
ภาพประกอบที่ 5-17 (ก) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Early Systolic Murmur
(ข) เลือกสัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ 1 รอบการทำงานของหัวใจ
(ค) กราฟการกระจายกำลังงานในแกน เวลา - ความถี่
(ง) ผลของการแปลงฟูเรียร์

5.2.11 กราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Late Diastolic Murmur

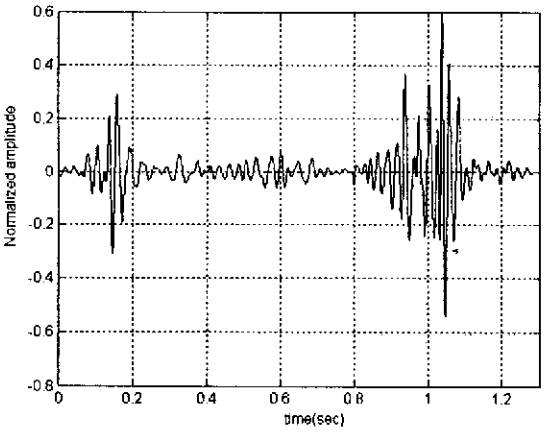
บันทึกด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง fs	= 44,100	ตัวอย่างต่อวินาที
ความยาวของสัญญาณที่บันทึก	≈ 16	วินาที
ความยาวของสัญญาณที่เลือกมาวิเคราะห์	≈ 1.3	วินาที
จำนวนข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์	= 56,713	ตัวอย่าง
ลดอัตราการสุ่มตัวอย่างด้วยแฟคเตอร์ M	= 16	
เหลือจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	= 3,545	ตัวอย่าง
ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด	= 44.8655	ชั่วโมง



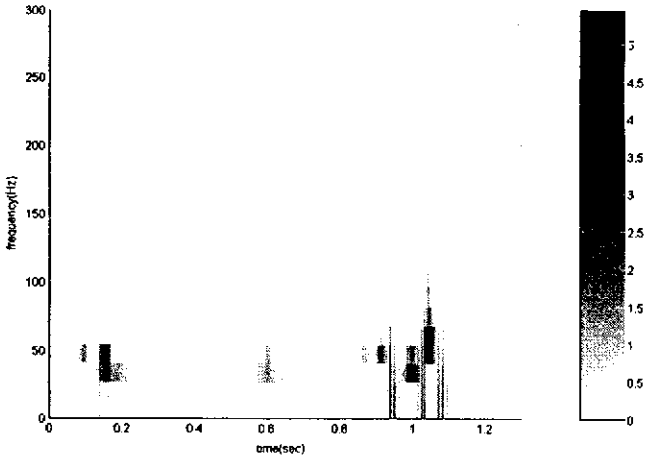
(ก)


Normalized amplitude
time (second)

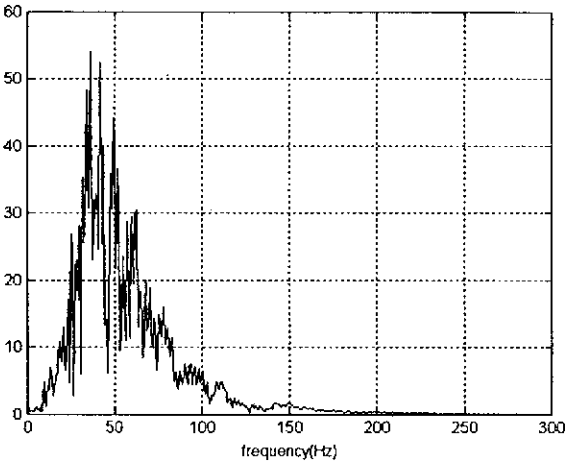
(ข)


Normalized amplitude
time(sec)

(ค)


frequency(Hz)
time(sec)

(ง)

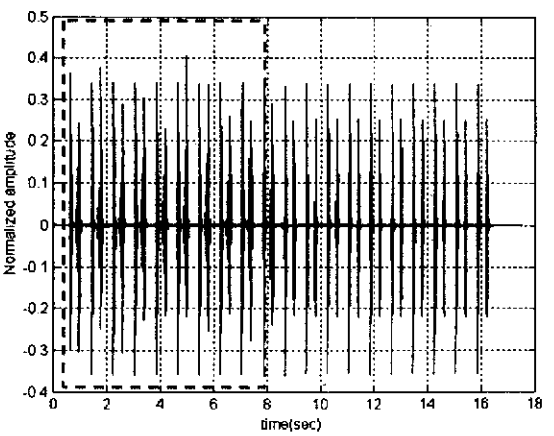


(จ)

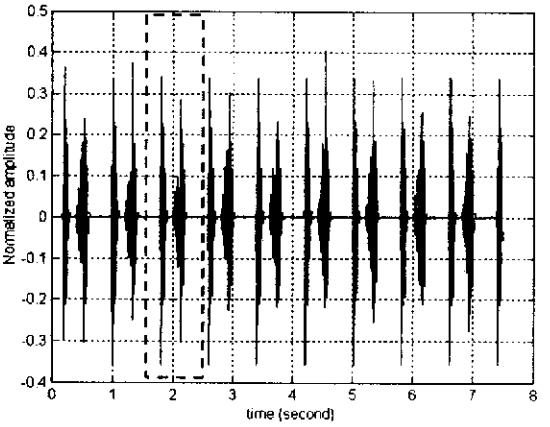
ภาพประกอบที่ 5-18 (ก) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Late Diastolic Murmur
(ข) เลือกช่วงสัญญาณครั้งที่ 1 เพื่อให้เห็นสัญญาณที่ชัดเจนขึ้น
(ค) เลือกสัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ 1 รอบการทำงานของหัวใจ
(ง) กราฟการกระจายกำลังงานในแกน เวลา - ความถี่
(จ) ผลของการแปลงฟูเรียร์

5.2.12 กราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Late Systolic Murmur

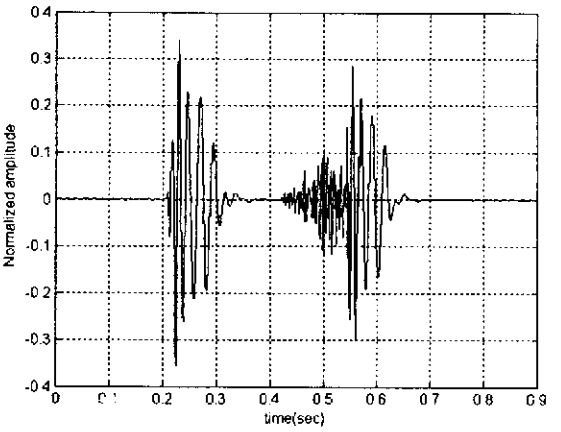
บันทึกด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่าง fs	= 44,100	ตัวอย่างต่อวินาที
ความยาวของสัญญาณที่บันทึก	≈ 17.5	วินาที
ความยาวของสัญญาณที่เลือกมาวิเคราะห์	≈ 0.9	วินาที
จำนวนข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์	= 39,277	ตัวอย่าง
ลดอัตราการสุ่มตัวอย่างด้วยแฟคเตอร์ M	= 16	
เหลือจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	= 2,455	ตัวอย่าง
ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด	= 19.5223	ชั่วโมง



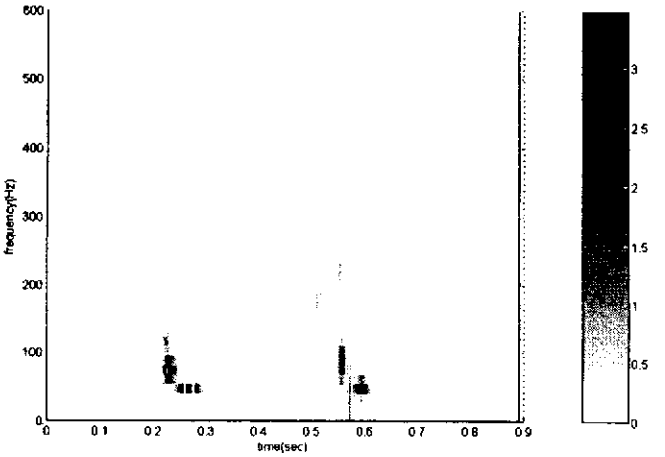
(ก)


Normalized amplitude
time (second)

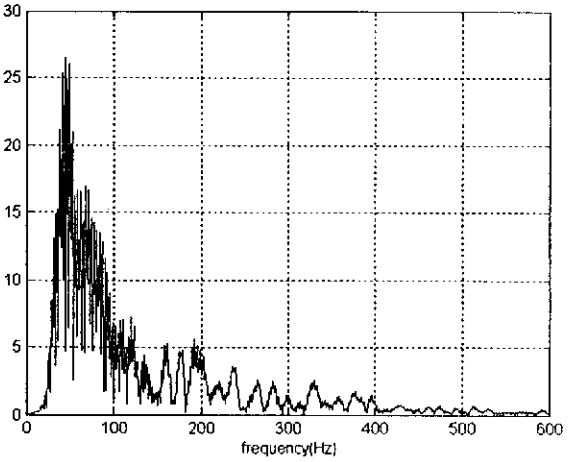
(ข)


Normalized amplitude
time(sec)

(ค)


frequency(Hz)
time(sec)

(ง)



(จ)

ภาพประกอบที่ 5-19 (ก) สัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจชนิด Late Systolic Murmur

(ข) เลือกช่วงสัญญาณครั้งที่ 1 เพื่อให้เห็นสัญญาณที่ชัดเจนขึ้น

(ค) เลือกสัญญาณกราฟเสียงเต้นของหัวใจ 1 รอบการทำงานของหัวใจ

(ง) กราฟการกระจายกำลังงานในแกน เวลา - ความถี่

(จ) ผลของการแปลงฟูเรียร์