

# 정상 및 심질환 소아의 청진음 분석에 관한 연구

## A Study on Stethoscope Signal Analysis for Normal and Heart-diseased Children

김 동 준\*  
(Dong-Jun Kim)

**Abstract** - This study tries to analyze morphology and formant frequencies of linear prediction spectra of stethoscope sounds for heart diseased children. For this object, heart diseased stethoscope sounds were collected in the pediatrics of an university hospital. The collected signals were preprocessed and analyzed by the Burg algorithm, a kind of linear prediction analysis. The linear prediction spectra and the formant frequencies of the spectra for the stethoscope sounds for the normal and the diseased children are estimated and compared. The spectra showed outstanding differences in morphology and formant frequencies between the normal and the diseased children. Normal children showed relatively low frequency of F1(the first formant) and small negative slope from F1. VSD children revealed stiff slope change around F1 to F3. Spectra of ASD children is similar with the normal case, but have negative values of F3. F1-F2 difference of the functional murmur children were relatively large.

**Key Words** : Stethoscope signal, Heart-diseased children, AR spectra, Formant frequency, 1st and 2nd derivatives.

### 1. 서 론

전국 71개의 대학병원과 종합병원 중심으로 조사한 한국심장재단의 선천성 심장질환 보고서[1]를 참고하면, 표 1.1처럼 연도별 선천성 심장병 수술 현황이 지속적으로 늘어나는 것을 알 수 있다. 그래서 소아의 심장질환에 대해 정보를 빠르고 정확하게 파악하는 것이 중요해졌다.

선천성 심장질환으로 사망률은 지속적으로 증가하는 추세이며, 선천성 심장질환은 태어나는 신생아의 경우 약 0.8%의 빈도로 1000명 중 약 8명이 심장질환을 가지며 태어난다. 각종 보고 자료에 의하면 선천성 심장병중 심실중격 결손증(Ventricular Septal Defect, VSD)는 가장 흔한 질환으로 심장 질환의 수술 중 약 1/3을 차지한다는 보고도 있다[1, 2].

심장은 주기적이고 일정한 리듬으로 수축과 이완을 반복하며, 이러한 과정에서 심장의 4개의 판막이 개폐하여 혈액을 전달하는데 있어, 구멍이 생기거나, 불완전한 개폐로 인하여 심잡음(heart murmur)이 발생하게 된다. 심음도의 경우 청진시 들리는 심음을 기록하여 정보를 얻는 것이고, 심전도의 경우 전기적 신호로 정보를 얻어내는 것이라 할 수가 있다[1].

심음도로부터 비정상과 정상을 구별하는데 큰 특징은 제1심음, 제 2심음과 심잡음으로 구분된다. 정상인 경우 제 1심음과 제 2심음으로 구성되는 반면, 비정상인 경우에는 제1심음과 제 2심음

을 기준으로 하여 심잡음이 서로 다른 위치에서 발생하게 된다. 심잡음의 위치에 따라 시간축 상의 발생위치와 지속시간 크기정보를 가지고 환자의 병명을 판단할 수 있다[3].

본 연구에서는 정상 및 심질환 소아 청진음의 선형예측분석 스펙트럼을 추출하여 관찰하고, 이로부터 형성음 주파수를 추출하여 특징을 비교하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 심음 및 심잡음

심장은 전기 자극에 의해 심방(atrium)과 심실(ventricular)이 수축(systolic)과 이완(diastolic)되며 혈액을 심장판막, 혈관 등을 통해 온몸에 전달한다. 이 과정에서 심음이 발생하며, 심장판막의 협착, 불완전한 폐쇄, 혹은 심장 내의 비정상적인 통로 생성으로 인해 정상적인 혈류가 방해받는 경우 생겨나는 소리를 심잡음이라 한다.

심음은 심실이 수축할 때 방실판막이 닫히며 생기는 낮고 둔한 제 1심음(first heart sound), 대동맥판과 폐동맥판이 닫힐 때 들리는 생기는 음으로 높고, 소리의 지속이 짧은 제 2심음(second heart sound) 2개의 큰 심음이 있으며, 이들은 비교적 고주파수에 해당하고, 제 3심음, 제 4심음은 저주파이며, 잘 들리지 않는다[4]. 그림 1은 네 가지 심음 요소를 가진 정상 심음을 나타내고 있다.

심잡음은 혈류가 심장판막이나 혈관을 지나갈 때 간혹 유난히 소란스러운 소리가 나서 청진기로 들리게 된다[7].

\* Corresponding Author : Dept. of Electronic Engineering,  
Cheongju University, Korea.  
E-mail: djkim@cju.ac.kr

Received : November 23, 2016; Accepted : March 10, 2017

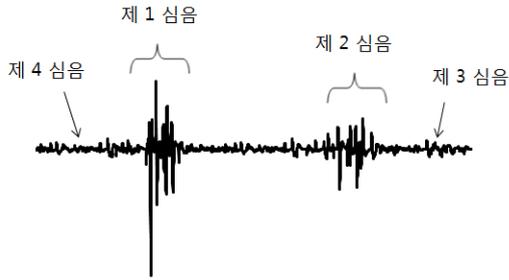


그림 1 정상 심음의 구성  
Fig. 1 Composition of normal heart sound

심잡음 자체를 병이라고 할 수는 없지만, 심장에 어떤 이상이 있다는 신호가 될 수 있으며 따라서 심잡음이 정상에서보다 크게 들릴 때에는 일단 자세한 진찰과 검사가 필요하며 심잡음의 강도, 특징, 잡음이 들리는 위치, 시기, 기간 등으로 심장병의 유무와 심장병의 종류를 판단하게 된다. 심잡음은 기능성(무해성) 심잡음(functional(innocent) murmur)과 구조적(유해성) 심잡음(Structrural(noxious) murmur) 심잡음으로 분류한다[5].

무해성 심잡음이란 혈액이 심장의 판막이나 심장 내 구조물들을 지나면서 만들어 내는 정상적인 흐름에서 발생하는 심잡음을 의미하며, 심박동수가 빠른 소아에게서 많이 발생된다. 유해성 심잡음은 무해성 심잡음과는 반대로, 판막, 심장 내 구조들의 결함에 의해 발생하는 심잡음으로써, 심장이 수축할 때  $s_1$  과  $s_2$  사이 또는 심장이 이완할 때  $s_2$ 와 다음 주기의  $s_1$  사이에서 발생하는 심잡음을 의미한다.

수축성 심잡음(systolic murmur)이란 심장이 심실수축을 하며,  $s_1$  과  $s_2$  사이에서 발생하는 심잡음이다. 수축성 심잡음의 종류로서 대동맥협착증(Aortic Stenosis : AS), 승모판 일탈증(Mitral Valve Prolapse : MVP), 승모판 폐쇄부전증(Mitral Regurgitation : MR), 폐동맥 협착증(Pulmonary Stenosis : PS), 심실중격 결손증(Ventricular Septal Defect : VSD), 심방중격 결손증(Atrial Septal Defect : ASD)이 있다. 그림 2는 발생빈도가 높은 선천성 심질환인 심실중격 결손증(VSD)의 예를 보여주고 있다.

이완성 심잡음(diastolic murmur)이란 심장이 이완할 때  $s_2$ 와 다음 주기  $s_1$  사이에서 발생하는 심잡음이다. 이완성 심잡음의 종류로는 대동맥 폐쇄부전증(Aortic Insufficiency : AI), 승모판 협착증(Mitral Stenosis : MS), 폐동맥 폐쇄부전증(pulmonary

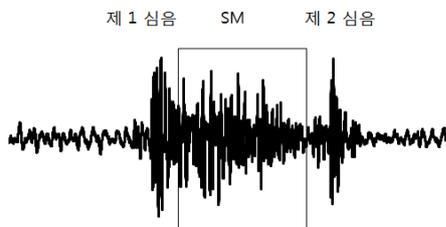


그림 2 수축성 심잡음의 전형적인 예 : VSD  
Fig. 2 Example of typical systolic murmur : ventricular septal defect

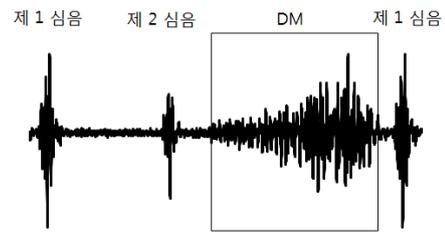


그림 3 이완성 심잡음의 전형적인 예 : AI  
Fig. 3 Example of typical diastolic murmur : aortic insufficiency

insufficiency: PI) 등의 경우 발생한다. 그림 3은 이완성 심잡음의 대동맥 폐쇄부전증(AI)의 예를 보여준다.

기타 심잡음으로는 폐의 마찰음에 의해 측정되는 마찰음과 태아순환에서 태반을 통해 모체로부터 산소를 동맥관으로 받고 출생 후 분리되는데 완전 폐쇄가 일어나지 아닐 때 동맥관 개존증(patent ductus arteriosis : PDA) 등의 질병에 의해 생기는 심잡음이 있다.

## 2.2 심음 특징 추출

본 연구에서는 심음의 특징 파라미터 추출을 위하여 심음 발생 시스템을 선형적(linear)이라고 가정하고, 선형 예측 분석(linear predictive analysis)을 통해 심음 발생 시스템의 전달함수(transfer function)의 계수를 추출하고, 이 계수를 이용하여 파라메트릭 스펙트럼 추정(parametric spectrum estimation)을 통하여 스펙트럼을 구하고, 전달 함수의 극점(pole)에 해당하는 형성음 주파수(formant frequency)를 검출하여 특징 파라미터로서 분석한다.

선형 예측 분석 모델은 식 (1)과 같다[6].

$$E(z) = S(z)A(z) \tag{1}$$

필터  $A(z)$ 는 전-영점 필터(all-zero filter)이고, 전극 모델(all-pole)로 표현된 선형 심음 발생 시스템의 역 필터(inverse filter)이며, 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$A(z) = \sum_{i=0}^M a_i z^{-i} \quad (a_0 = 1) \tag{2}$$

식 (1)을 역  $z$ -변환하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} e(n) &= \sum_{i=0}^M a_i s(n-i) \\ &= s(n) + \sum_{i=1}^M a_i s(n-i) \end{aligned} \tag{3}$$

샘플  $s(n)$ 의  $M$  번째 차의 선형 예측기는 이전의  $M$  개 데이터들의 선형결합을 필요로 한다.  $\hat{s}(n)$ 을 예측된 샘플이라 하면,

$$e(n) = s(n) - \hat{s}(n) \tag{4}$$

여기서,  $e(n)$ 은 실제 데이터 샘플  $s(n)$ 과 예측된 샘플  $\hat{s}(n)$ 과의 예측 오차로 해석될 수 있다.

$-a_i$ 항은 구해진 선형 예측기 계수(linear predictor coefficients)로 정의된다. 음의 부호는 오차가 두 변수의 차에 기초한다는 것을 나타낸다. 본 논문에서는 격자구조를 이용하여 전향 예측 오차(forward prediction error)와 후향 예측 오차(backward prediction error) 제곱의 합을 최소화 하는 10차의 Burg 알고리즘을 이용하였다[6].

Burg 알고리즘의 결과로 나온 반사 계수를 Levinson recursion에 의해 선형 예측 계수로 바꾸고, 이를 파라메트릭 스펙트럼 추정법(parametric spectrum estimation)에 의해 스펙트럼을 구한다.

형성음 주파수는 음성학에서 주로 사용하는 파라미터로서, 성문(glottis)에 있는 조음 기관(articulation organ)의 형태에 따라 발성의 공명강(resonant cavity)의 형태에 의해서 정해지는 특징한 고유주파수이다. 즉, 조음 기관의 형태에 따라 진폭을 극대화하는 공진 특성으로서, 전달 함수의 극점에 해당하여 보통 스펙트럼 곡선에서 파형 기울기가 양에서 음으로 변하는 피크의 형태로 나타난다. 본 연구에서는 심음도 역시 심장의 음원에서 가슴을 통과하는 과정의 전달함수를 거쳐 가슴 표면에 음파로 전달되는 과정에서 음파 전파 과정의 공진과 반공진(antiresonance) 현상이 나타날 것이므로 선형 예측 분석의 적용이 가능할 것이며, 형성음 주파수가 중요한 파라미터로 활용이 가능할 것이라고 가정하였다. 전달 함수의 극점에 해당하는 형성음 주파수는 차수(order)와 비례하여 형성음 주파수의 개수가 나타나야 하지만, 큰 진폭의 형성음 주파수 근처에 인접하여 발생하는 상대적으로 작은 형성음 주파수는 스펙트럼 누설(spectral leakage) 현상에 따라 인접한 작은 진폭의 극점은 이와 중첩되어 파묻히거나 부호 변화 없이 변곡점만 나타내는 정도로 나타나 검출이 어려울 수 있다. 변곡점으로도 나타나는 형성음 주파수를 정확히 검출하기 위해 2차 도함수와 20-point 이동평균 필터(Moving Average filter, MAF)를 활용하는 형성음 주파수 검출법을 개발하였고, 이를 통해 피크 검출법만으로는 검출이 안 되는 형성음 주파수도 안정적으로 검출하는 결과를 얻을 수 있었다[7].

그림 4는 소아 심음의 분석 및 특징 추출 과정을 나타낸 것이다. 증폭기로부터 획득한 청진음 신호에 대하여 임의의 구간에 대하여 윈도우 구간만큼 자르는 전처리 과정으로 구성하였다. 전처리 과정을 통해 얻어진 심음신호에 대하여 신호에 대한 특징을 얻고자 각 구간별로 Burg 알고리즘을 이용하여 선형 예측 스펙트럼을 얻는다. 후 처리 과정으로 선형예측계수를 이용하여 질병

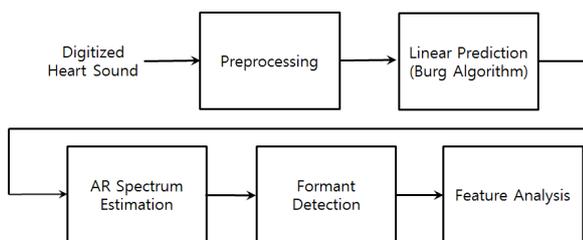


그림 4 심음 분석 실험 구성도  
Fig. 4 Composition of heart sound analysis

별 비교 실험과 스펙트럼에 대한 특징을 얻고자 추출된 스펙트럼에 변곡점의 주파수 대역을 알기 위해서 이동평균필터, 1차, 2차 미분을 통해 얻은 값을 비교하여 변곡점의 위치를 정확히 검출하여 분석할 수 있도록 구성하였다.

A/D 변환된 청진음 신호는 스펙트럼을 추출하기 위해서 선형 예측 Burg 알고리즘을 이용하였다. 이 때 선형예측차수는 음성학에서 많이 사용하는 10차로 설정하였다.

알고리즘을 통해서 AR 스펙트럼이 추출되어지며, 피크 검출(peak-picking)을 통해서 1단계의 형성음 주파수가 검출이 되고, 스펙트럼의 동적인 변화에서 약간의 잡음이나 오차값에 의해서 잘못 검출되지 않도록 20-point 이동평균필터를 걸쳐서 1, 2차 미분을 이용하여 피크 검출을 통해 2단계의 형성음 주파수를 구한다. 1, 2단계의 검출된 형성음 주파수 값 결과를 비교 대조하여 최종적으로 선택한다.

### 2.3 실험 및 결과 고찰

#### 2.3.1 실험

소아 심장 질환의 스펙트럼 및 특징 분류를 위한 청진음 데이터 수집 시스템은 필터 및 심음 증폭기가 내장된 전자청진기, 사운드카드, 컴퓨터로 구성되어 있으며, 이는 그림 5와 같다.

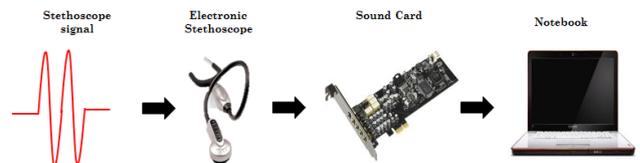


그림 5 청진음 수집 장치의 구성  
Fig. 5 Composition of stethoscope sound acquisition

대학병원 소아과 진료실 환경에서 40명의 소아를 대상으로 1~4회 내방 횟수에 따라 데이터를 수집하였다. 수집된 소아 심음은 증폭 및 필터링되고 사운드 카드의 A/D 변환기를 통해서 8[kHz]의 샘플링 주파수와 16비트 모노의 해상도로 Windows PCM 포맷의 웨이브 파일로 디지털 변환되어 저장된다. 청진음 데이터에서 음성, 기계음, 피부마찰음 등 주변 잡음을 잘라내고, 약 2 주기의 심박이 포함되는 1초를 분석을 위한 윈도우 크기로 설정하였다.

#### 2.3.2 결과 고찰

다음 그림들은 정상과 심질환 소아의 원파형과 스펙트럼의 예를 나타낸 것이다.

그림에서 질병별 스펙트럼마다 유사해 보이지만 약간씩 차이가 있다는 것을 알 수 있다. 그림 7의 VSD 질병 스펙트럼의 경우 F1 주변 경사가 급하고, 이후에도 골곡(F2, F3 등)이 있다. 그리고 정상보다는 F1-F2 간격이 좁으며, F3의 경우 양의 값을 갖는 것을 알 수가 있다. 그림 8의 ASD 질병 스펙트럼의 경우에

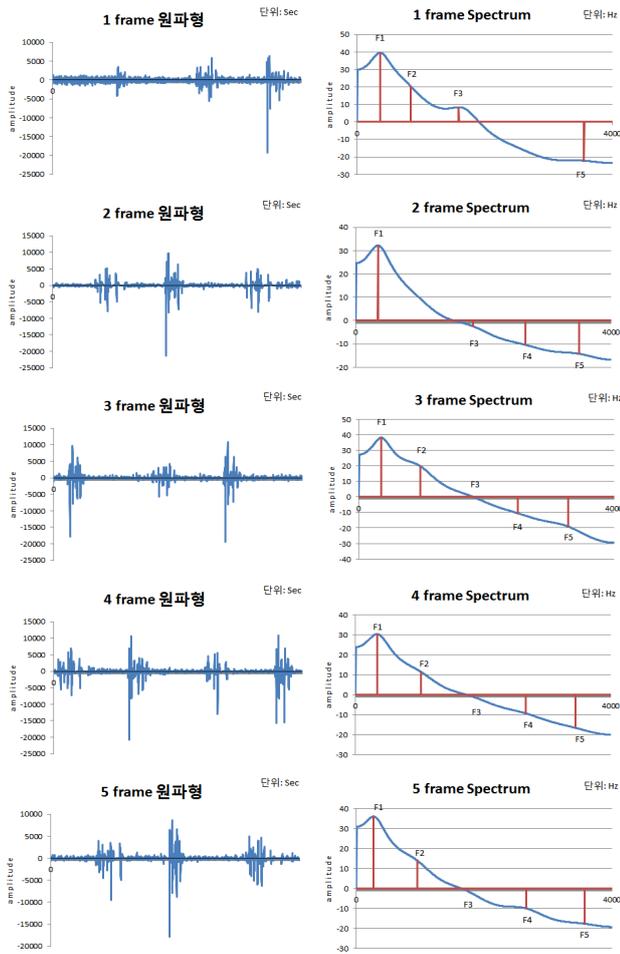


그림 6 정상 피검자의 스펙트럼의 예 : 피검자 SSH  
 Fig. 6 Example of the spectra for normal subject : subject SSH

는 F1 주변이 정상과 비슷하게 주변에서 완만하고, 전체적으로 완만함을 볼 수 있으며, F1-F2 간격은 VSD 질병처럼 간격이 좁고, F3의 경우에는 음의 값을 갖는 것을 알 수가 있다. 그림 9의 기능성 심잡음 스펙트럼의 경우에는 정상과 거의 비슷한데, 주요 특징은 F1-F2 사이의 간격이 정상보다 높다는 것이다. F3도 거의 0 주변에서 검출되는 것을 알 수가 있다.

표 1은 소아의 5개 프레임에서 추출된 형성음주파수를 평균을 구하고, 질병별로 평균결과표를 나타낸 것이며, 단위는 Hz이다.

본 연구에서 소아의 질병별 형성음 주파수의 평균 결과표는 형태학적으로 분석한 결과와 유사하다. normal의 평균값의 경우 F1과 F2의 간격이 482Hz이며, VSD와 ASD보다 약 42Hz 넓고, 기능성심잡음보다 약 80Hz 작음을 알 수가 있다. VSD 질환의 평균값의 경우 평균적으로 다른 질병보다 F1이 284Hz로 높은 형성음주파수를 갖으며, F3은 1549Hz로 낮은 주파수를 갖음을 알 수가 있다. ASD질환의 평균값의 경우 F1은 정상과 거의 비슷한 주파수 분포를 갖으며, F1-F2간격은 VSD질환과 유사하고, F4,F5의 경우 다른 질병보다 약 100Hz 높게 측정됨을 알 수가 있다.

표 1 소아 질병별 형성음 주파수 분포

Table 1 Distribution of formant frequency for child disease (단위: Hz)

class	Subj.	F1	F2	F3	F4	F5
Normal	BDJ	207.6	577.0	1,341.8	2,337.5	3,284.8
	BHA	188.0	757.4	1,797.6	2,677.4	3,529.3
	JHH	204.2	602.7	1,669.8	2,569.5	3,404.6
	SSH	331.0	949.0	1,768.0	2,617.3	3,468.6
	YHS	239.8	748.0	1,683.0	2,470.4	3,609.5
average		234.1	726.8	1,652.0	2,534.4	3,459.4
VSD	KMJ	249.4	849.0	1,360.8	2,660.0	3,513.6
	SGJ	342.4	746.0	1,479.8	2,308.0	3,293.0
	LDM	307.4	658.8	-	2,517.2	3,617.0
	LHJ	246.0	652.5	1,745.0	2,652.5	3,409.3
	JDG	274.8	720.0	1,610.2	2,753.2	3,487.5
average		284.0	724.9	1,549.0	2,577.7	3,464.1
ASD	KSM	230.4	605.0	1,568.3	2,526.8	3,424.3
	KTS	234.0	735.3	1,638.6	2,715.8	3,700.5
	average		232.2	670.2	1,603.5	2,621.3
Functional murmur	BJW	238.4	825.2	1,733.3	2,669.5	3,294.5
	LSJ	200.0	687.3	1,475.0	2,512.8	3,426.7
	JES	244.2	796.2	1,671.5	2,354.2	3,522.8
average		227.5	769.6	1,626.6	2,512.2	3,414.7

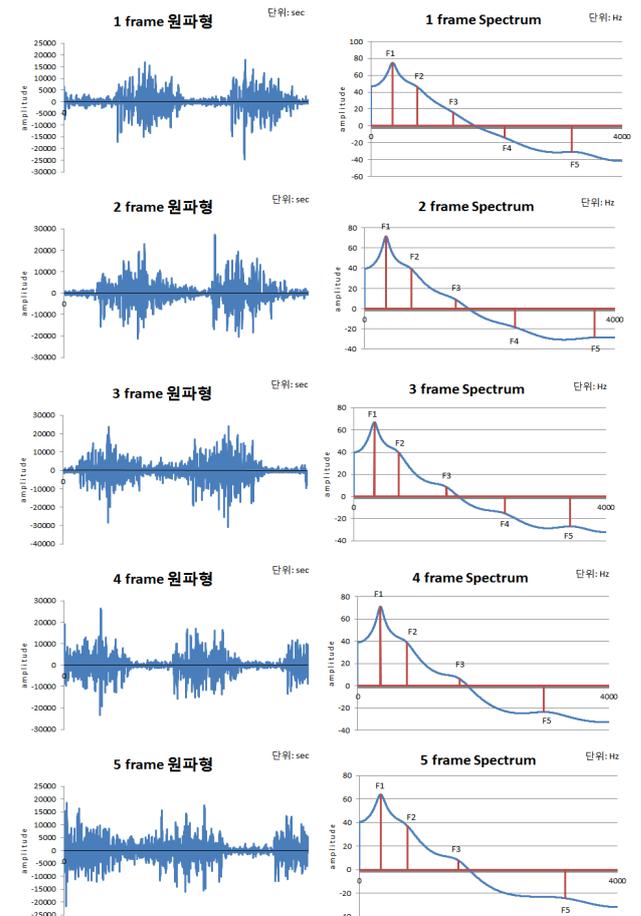


그림 7 VSD 질환자의 스펙트럼의 예 : 피검자 SGJ  
 Fig. 7 Example of the spectra for VSD patient : subject SGJ

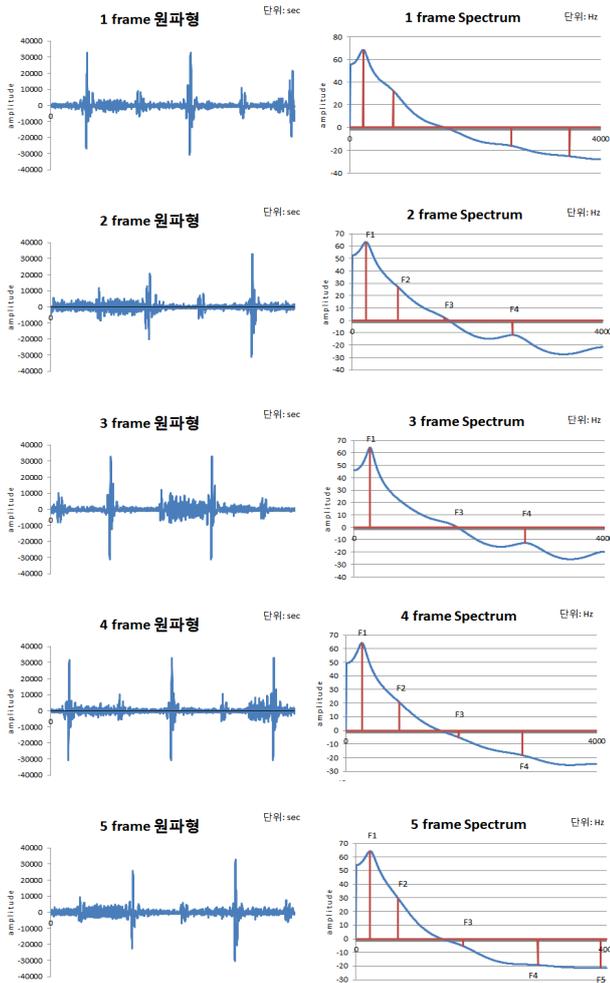


그림 8 ASD 질환자의 스펙트럼의 예 : 피검자 KSM  
 Fig. 8 Example of the spectra for ASD patient : subject KSM

기능성 심잡음의 평균값의 경우 F1이 227.5Hz로 낮은 형성음 주파수를 갖으며, F1-F2 간격이 넓고, F3, F4, F5는 정상과 비슷한 평균주파수 분포의 값을 가짐을 알 수가 있다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 선천성 심장질환을 갖는 환아로부터 얻은 청진음을 이용하여 질병별로 나타나는 특징 및 분류에 대한 평가를 하기 위해서 심장질환을 갖는 환아로부터 청진음 신호를 수집하였다. 질병에 대한 특징을 분석하기 위해 선형예측 Burg 알고리즘을 이용하여 스펙트럼을 추출하고 형태학적으로 분석하고, 형성음 주파수를 추출하여 특징을 비교하는 실험을 하였으며, 얻어진 결론은 다음과 같다.

각 질병별로 스펙트럼에서 얻어진 형성음 주파수는 F1, F2, F3에 대해서 중요한 특징을 가지게 된다. 정상 소아의 경우 F1은 낮은 주파수로 측정되고, 비교적 완만한 경사를 가지게 되며,

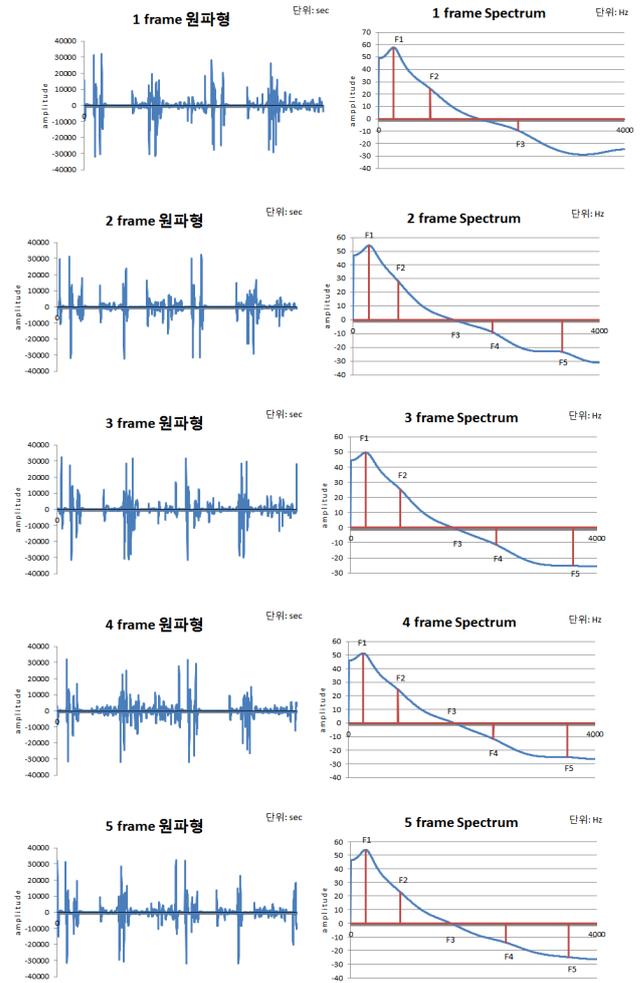


그림 9 기능성심잡음 질환자의 스펙트럼의 예 : 피검자 JES  
 Fig. 9 Example of the spectra for functional murmur patient : subject JES

F1-F2의 간격이 다른 질병보다 넓고, F3는 0의 값 주변에서 측정되었다. VSD의 소아의 경우에는 F1의 주변 경사가 급하며, 이후에도 측정되는 주파수 부분이 굴곡이 있고, F3는 양의 값을 갖는 특징을 보인다. ASD의 소아의 경우에는 정상 소아와 비슷하게 형태적으로는 완만하며, F1-F2의 간격은 VSD와 비슷하게 좁고, F3는 음의 값을 갖는다. 기능성 심잡음의 경우에는 정상이 심음과 비슷하며, F1-F2의 간격이 정상보다는 넓고, F3의 진폭이 0의 값 주변으로 나타내는 형태적인 특징들을 발견할 수가 있었다.

### 감사의 글

이 논문은 2015-2016학년도 청주대학교가 지원하는 연구년으로 연구되었음.

## References

- [1] B. Jin, H. Bae, S. Song and Y. Kim, *Clinical Physiology*, pp. 1~135, Daehakseorim, 1999.
- [2] S. P. Herkole, J. T. Edward, "Spectral Composition of Heart Sounds Before and After Mechanical heart Valve Implantation Using a Modified Forward-backward Prony's Method." *IEEE Trans. on Biomed. Eng. No. 7.* pp. 734~742, July 1996.
- [3] Heart sound, <http://bmsp.chonbuk.ac.kr/%BD%C9%C0%BD.htm>, Sep. 2013.
- [4] N. Jung, *Auscultation and Practice of Heart sound*, Cheongdam, pp. 33-35, 4. 2004.
- [5] <http://medical.amc.seoul.kr/medservice/faq/list.do?SK=SUBJECT&SW=%BD%C9%C0%E2%C0%BD&mainDeptCd=&x=0&y=0>, 2013.10.20.
- [6] S. Furui, *Digital Speech Processing, Synthesis, and Recognition*, Marcel Dekker Inc., 1992.
- [7] D. Kim, "Formant Detection Technique for the Phonocardiogram Spectra Using the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> Derivatives", *Trans. of KIEE*, pp. 1605-1610, Dec. 2015.
- [8] J. Ning, "Quantitative Analysis of Heart Sounds and systolic Heart Murmurs Using Wavelet Transform and AR Modeling", *IEEE EMBS*, pp. 959-961, Sep. 2009.
- [9] P. S. Molcer, "Examination of Formant Frequencies for Further Classification of Heart Murmurs", *IEEE SISY*, pp. 575-578, Sep. 2010.
- [10] Z. Tuel, "Time-frequency Analysis of Heart Sounds in Telemedicine Consulting System for Auscultation", *Intern. Conf. on Information and Automation Shenyang*, pp. 652-657, June 2012.

---

## 저 자 소 개



### 김 동 준 (Dong-Jun Kim)

1988년 연세대 전기공학과 졸업, 1990년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 1994년 동대학원 전기공학과 졸업(공박), 현재 청주대 전자공학과 교수

Tel : 043-229-8460

E-mail : djkim@cju.ac.kr