

B-모드 심초음파도의 연속 영상 분석에 의한 심근경색증 추출

손 권¹, 조성목^{2*}

Extraction of Myocardial Infarction by Consecutive Image Analysis in B-mode Echocardiogram

Kweon Son¹ and Sung-Mok Cho^{2*}

요약 본 논문에서는 B-모드 심초음파도의 연속 영상을 분석함으로써 정상심근과 경색심근 사이의 차이점을 구별할 수 있는 기법에 대하여 연구하였다. 2차원 심초음파도를 분석하기 위해서 사람의 심장운동 한 주기에 걸쳐 프레임 내 분석과 프레임 간 분석법을 제시하였고, HGE와 LT로 명명한 새로운 분석변수를 제안하였다. 제안한 변수를 사용한 분석기법은 정상 영역과 경색 영역 사이에 정량적으로 두드러진 특징을 보여주었다. 경색부분에서는 심장주기 전체에 걸쳐 훨씬 높은 값을 나타내었고, 정상조직은 변동이 훨씬 심하게 나타남을 확인할 수 있었다. 실험결과에 따라 제안한 변수들은 심장의 한 주기에 걸쳐 심근의 상태를 관찰할 수 있는 좋은 측정지침을 증명할 수 있었다.

Abstract We studied on some techniques which are able to discriminate the difference between normal and infarcted myocardium by consecutive image analysis in B-mode echocardiogram. In order to analyze two-dimensional echocardiogram, we presented inter-frame and intra-frame analysis method throughout the complete heart cycle in closed-chest human and proposed new analysis parameters which are named HGE and LT. The analysis technique using the proposed parameters revealed quantitatively dominant features between normal and infarcted regions. The infarcted areas yield regions of higher intensity throughout the entire cardiac cycle, but normal tissue demonstrates greater variability throughout the entire cardiac cycle. Hence, we could verify that these parameters varying over the entire cardiac cycle are good indicators for the state of myocardium.

Key words : Echocardiogram(심초음파도), Infarcted Myocardium(경색심근), Cardiac Cycle(심장주기)

1. 서론

B-모드 심초음파도는 무침습적인 체외 진단수단의 하나로써 사용이 간편하고 내부 투시가 가능한 장점 때문에 심장질환 진단에 널리 사용되고 있다. 관상동맥에 혈액 공급이 부족하여 심장 조직의 일부가 괴사함으로써 나타나는 심근 경색증은 심초음파도를 통하여 그 진단이 가능하지만 경색심근의 부위가 정상조직에 비해 초음파 반사계수가 별로 크지 않기 때문에 증상의 초기는 물론 중기에 있어서도 숙달된 전문가에 의해서만 발견 될 수 있을 정도로 그 진단이 용이

하지 않고 정량적 진단도 어렵다. 따라서 심초음파도를 컴퓨터로 처리하여 정상심근과 경색심근을 구분하고 증상의 정도를 정량화시켜 자동적으로 진단하려는 연구가 많이 이루어지고 있다.[1-7] 이러한 연구 중에서 콜린즈(Collins) 등은 정상인의 심장조직에 대한 심초음파도의 두 프레임 즉, 심수축기 마지막과 심장 확장기 마지막 시기의 장·단축 단면영상에 대하여 관찰 창의 크기를 가변시키고 관찰 창을 이동시키면서 여러 가지의 회색 레벨 변수를 사용하여 영상조직이 변화하는 정도를 연구하였다.[5] 이 방법에서 주된 관심은 정상인의 심장 확장기 마지막과 심수축기 마지막 시기에서 조직의 구조적 변화가 영상조직의 변화로 나타남을 보이는데 있었으나, 영상조직에 관한 변수 계산이 기준화소와 2, 4, 8 화소만큼 이동한 화소 사이에서 이루어지므로 콜린 등이 사용한 변수들으로써

¹국방과학연구소

²동명대학교 정보보호학과

*교신저자: 조성목(smcho@tu.ac.kr)

는 기준 프레임과 인접 프레임 사이의 영상 조직의 변화량을 추출하기에는 어려움이 발생하게 된다. 또한, 마스트로토타로(Mastrototaro) 등은 경색심근을 갖는 개의 단축 단면영상을 심장운동의 한 주기 동안 경색심근과 맞은편의 정상심근에 대하여 같은 조직을 포함하도록 창의 크기를 변화시키면서 조직을 따라 이동시켰고, 정상심근과 경색심근에서 평균과 분산의 주기적인 변화 형태가 뚜렷이 구분됨을 보였다.[6] 그러나 이들이 제시한 방법에서는 심장운동 한 주기 동안의 평균과 분산 및 자기상관함수의 주기적 변화량이 아닌 절대값의 차이에 의해서 정상심근과 경색심근을 구분하였다. 또한, 위의 방법들은 같은 조직을 포함할 수 있도록 조직의 움직임에 따라 창의 크기와 위치를 관찰자가 주관적으로 가변시켜야 하므로 관찰자간에 차이가 존재할 뿐만 아니라 진단의 자동화에도 상당한 어려움이 따른다.

일반적으로 심근경색증에서는 조직의 과사에 따른 초음파 반사계수의 증가와 아울러 조직이 경직되어 그 심근의 운동량이 정상심근보다 작아지며 운동리듬도 불규칙해진다. 반사계수의 증가로 인한 회색레벨의 증가를 검출하기 위해서는 영상조직의 상태를 조사하는 프레임 내 해석이 필요하고, 심근의 운동량 감소를 검출하기 위해서는 인접 프레임 간의 영상조직 변화를 조사하는 프레임 간 해석이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 콜린즈 등과 마스트로토타로 등의 방법에서 창을 이동시키고 크기를 가변시킬 때 생기는 객관성의 결여와 어려움을 고정된 창을 사용하는 방법을 제안하여 문제점을 해결하였으며, 고정된 창에 대한 영상조직의 프레임 내 해석과 프레임 간의 해석을 시행함으로써 마스트로토타로 등이 제안한 프레임 내 해석보다 심장의 운동에 따른 영상조직의 변화 추출 면에서 더 좋은 결과를 얻고자 하였다.

2. 본 론

경색심근의 진단을 위해 일반적으로 이용되는 심초음파도의 하나인 장축단면영상을 얻기 위하여 트랜스듀스를 심장외부에 위치시키는 방법은 그림 1(a)에서와 같다. 장축단면영상은 심실의 길이방향으로 초음파빔을 입사시켜 얻은 심장의 긴 단면으로서 이의 대표적인 영상은 그림 1(b)와 같다.

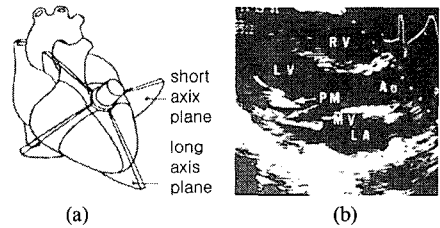


그림 1. (a) 장단축 단면영상 획득을 위한 트랜스듀스의 위치 (b) 장단축 단면영상

그림 1(b)의 심초음파도에서 RV, LV, Ao 및 LA는 각각 우심실, 좌심실, 대동맥 및 좌심방을 나타낸다. 만약 심장의 조직 중 일부가 과사하였다면 과사한 조직에 해당하는 심초음파도는 정상조직에 해당하는 부분보다 더 높은 회색레벨을 나타내며, 과사한 조직의 운동량은 정상조직의 운동량보다 감소한다. 그러나 일반적으로 회색레벨의 차이와 조직의 운동량 감소를 발견하기가 매우 어려우며, 이를 위해서는 연속적인 영상의 분석이 필요하다. 실제로 각 프레임 내의 영상조직은 심박의 매 주기 동안 지속적으로 변화하므로 경색심근 검출의 신뢰도를 높이기 위해서는 좀 더 명확한 정량적 판단 자료가 될 수 있는 추출 변수의 개발과 더불어 한 주기 동안의 전 프레임에 대한 영상조직의 분석이 필요하다. 또한 심근 운동에 따른 경색심근의 특징성분을 효과적으로 검출하기 위해서는 프레임 간 영상조직을 분석할 필요가 있고, 이는 고정된 창과 프레임 간 화소 값 변동에 대한 해석을 병행함으로써 얻을 수 있다.

2.1 프레임 내에서의 영상조직 해석

한 프레임에 대해서 영상조직의 회색레벨이 어떤 분포를 가지는지 알기 위하여 통계적 해석, 동일 회색레벨 런 길이 해석(Gray Level Run Length Analysis) [7] 및 본 논문에서 제안하는 HGE, LT 변수를 사용한 히스토그램 모멘트 해석을 이용하였다. 통계적 해석 방법은 각 프레임에 대하여 평균과 표준편차를 조사하는 방법이다. 본 논문에서는 심장운동의 한 주기 동안 이들 변수 값의 변화를 조사함으로써 정상심근과 경색심근에 대하여 고정된 창에 포함된 영상조직이 심장 운동에 따라 어떻게 변화하는지 조사하였다. 또한 동일 회색레벨 런 길이 해석방법에서는 관심영역 (Region of Interest : ROI)에 대하여 화소 값이 주어진 범위에 속할 때의 런(run)을 i , 같은 런을 가지는 화소의 수를 길이 j , 회색레벨 그룹의 수를 g , 그리고 런의 길이 그룹의 수를 r 로 정의하면 LRE , SRE 및 GLN 은 식 (1), 식 (2) 및 식 (3)과 같이 정의되므로 이들 변

수를 사용하여 심장운동에 따른 변화를 조사하였다.

① Long Run Emphasis(LRE) : 긴 길이의 런이 많을 때 큰 값을 가진다. 식 (1)에서 $m(i,j)$ 는 동일레벨 런 길이 행렬을 나타낸다.

$$LRE = \frac{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^r j^2 m(i, j)}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^r m(i, j)} \quad (1)$$

② Short Run Emphasis(SRE) : 짧은 길이의 런이 많을 때 큰 값을 가진다.

$$SRE = \frac{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^r \frac{m(i, j)}{j^2}}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^r m(i, j)} \quad (2)$$

③ Gray Level Nonuniformity(GLN) : 각 회색레벨에 대해 런의 길이가 골고루 분포하면 작은 값을 가진다.

$$GLN = \frac{\sum_{i=1}^g (\sum_{j=1}^r m(i, j))^2}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^r m(i, j)} \quad (3)$$

또한 본 논문에서는 정상심근보다 경색심근에서 회색레벨이 높게 나타나는 점을 이용하여 화소의 제곱값에 대한 평균과 임계치보다 값이 낮은 화소의 백분율을 계산하는 히스토그램 모멘트 방법을 제안하여 심장운동의 한 주기에 걸쳐 식 (4)와 식 (5)와 같은 변수 값의 변화를 조사함으로써 영상조직에 대한 회색레벨의 주기적인 변화를 측정하였다.

④ High Gray Level Emphasis(HGE) : 높은 회색레벨을 갖는 화소가 많을 때 큰 값을 가진다. 식 (4)에서 N 은 영상조직의 총 화소 수이며, $X(i,j)$ 는 (i,j) 에서의 화소 값을 나타낸다.

$$HGE = \frac{1}{N^2} \sum \sum X(i, j)^2 \quad (4)$$

⑤ Less Than Threshold(LT) : 히스토그램에서 혈액과 조직의 구분이 일어나는 임계치보다 낮은 화소 값의 백분율을 LT로 정의하였다.

실험에서는 동영상의 정량적 해석을 위해 위 변수들의 변화량을 한주기 동안 조사함으로써 화소 값들이 어떤 형태로 변하는지 관찰하게 된다.

2.2 프레임 간의 영상조직 해석

프레임 간의 영상조직변화를 조사하는 방법으로는 두 가지 방법을 제시한다. 먼저 회색레벨 차 통계를 이용한 해석에서는 s 번째 영상에서의 화소 값 $X_s(i,j)$ 와 $s+1$ 번째 영상에서의 화소 값 $X_{s+1}(i,j)$ 의 차이가 d 일 때 k 개의 회색레벨을 갖는 영상에 대하여 k 차원 벡터를 구성할 수 있다. 여기에 확률 $p(d)$ 를 이용하여 식 (5), 식 (6), 식 (7) 및 식 (8)과 같은 4가지 변수 값을 구하고 주기적인 변화를 조사함으로써 프레임 간의 영상조직의 변화를 조사할 수 있다.

① Contrast(CON) : 거친 영상조직에서 낮은 값을 가진다.

$$CON = \sum i^2 p(i) \quad (5)$$

② Angular Second Moment(ASM) : 세밀한 영상조직에서 낮은 값을 가진다.

$$ASM = \sum p(i)^2 \quad (6)$$

③ Entropy(ENT) : 세밀한 영상조직에서 높은 값을 가진다.

$$ENT = - \sum p(i) \log p(i) \quad (7)$$

④ Mean(MEAN) : 거친 영상조직에서 낮은 값을 가진다.

$$MEAN = \frac{1}{N} \sum i p(i) \quad (8)$$

다음으로 각 2차 회색레벨 통계해석을 위해서는 s 번째 영상조직과 $s+1$ 번째 영상조직에서 화소 값의 변화에 대한 상호확률밀도를 구해야 한다. 영상이 k 개의 회색레벨을 가질 때, s 번째 영상의 (m,n) 에 대한 회색레벨 $X_s(m,n)$ 과 $s+1$ 번째 영상의 (m,n) 에 대한 회색레벨 $X_{s+1}(m,n)$ 사이에 회색레벨의 상호밀도는 $k \times k$ 행렬로 구성할 수 있으며, 상호밀도함수 $p(i,j)$ 를

구할 수 있다. 만약 s 번째 영상조직과 s+1 번째 영상 조직이 완전히 동일하다면 행렬에서 주대각 성분만이 존재하게 되므로 식 (9), 식(10) 및 식 (11)을 사용하여 심장운동 한 주기 동안의 프레임 간 영상조직 변화를 측정하게 된다.

⑤ Contrast(CON) : 주대각선에 대한 산포도 측정으로 주대각선 성분만 존재할 때 최소 값이 된다.

$$CON = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (i-j)^2 p(i,j) \quad (9)$$

⑥ Angular Second Moment(ASM) : p(i,j)가 큰 값과 작은 값만으로 구성될 때 큰 값을 가진다. 즉 주대각선 성분이 우세할 때 큰 값을 가진다.

$$ASM = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m p(i,j)^2 \quad (10)$$

⑦ Entropy(ENT) : p(i,j)가 골고루 같은 값을 가질 때 큰 값을 가진다.

$$ENT = - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m p(i,j) \log p(i,j) \quad (11)$$

3. 실험 및 결과

과거의 병력(negative cardiac history)과 2차원 심초음파도를 토대로 정상심근이라고 판정된 사람과 심근경색증을 가진 환자에 대해서 장축단면영상을 트랜스듀스의 주파수가 2.25MHz인 표준 스캐너(Standart Phased-Array Scanner : Meridian, IREX)를 사용하여 획득하였다. 각 사람마다 초음파 진단장치의 이득설정(gain setting)은 회색레벨을 포화시키지 않는 상태에서 최상의 영상상태를 갖도록 조정하였다. ECG(Electrocardiogram) 파형과 함께 녹화된 심초음파도에 대한 정지영상을 획득하기 위해 동적 트래킹 기능이 있는 소니사의 BVH-1100A를 사용하여 녹화하고, 한 프레임씩 재생시켜 양자화 하였다. 정상인과 심근 경색증 환자에 대해 심장 운동의 한주기(ECG 파형의 R파에서 다음 R파까지)에 대하여 1초에 30프레임(64 맥박/분)의 비율로 디지털화 하였다. 각 디지털 영상은 512 × 512 화소에 8비트 회색레벨을 갖는다. 심근 경색증 환

자의 경우 정확한 경색 심근의 위치를 찾기 위하여 전문의의 도움을 받았으며, 창은 첫 프레임에서 조사하고자 하는 조직을 포함하는 크기로 설정하여 한 주기 동안 위치와 크기를 고정하였다. 심근 경색증 환자와 정상인에 대해 비교하기 위하여 같은 조직을 포함하는 동일 크기의 창을 사용하였고, 프레임 내 해석과 프레임 간 해석을 실시하여 표 1, 그림 2, 그림 3, 그림 4, 그림 5 및 그림 6과 같은 실험 결과를 얻었다.

표 1. 한주기에 걸쳐 측정된 각 변수 값의 평균과 표준오차

분석법	변수	경색심근		정상심근	
		평균	표준편차	평균	표준편차
Statistical Analysis	MEAN	133.72	5.54	46.52	21.82
	STD	24.77	5.26	44.27	7.43
Gray Level Run Length Analysis	LRE	9.03	1.79	9.22	2.84
	SRE	0.28	0.04	0.42	0.11
Histogram Moment Analysis	GLN	24.68	2.75	18.10	3.27
	HGE	49.54	3.75	12.39	7.52
2nd Order Gray Level Statistics Analysis	LT	3.42	3.90	68.69	17.64
	CON	433.14	258.44	794.84	488.12
Gray Level Difference Statistics Analysis	ASM	0.01	0.00	0.03	0.02
	ENT	2.21	0.05	2.00	0.18
Gray Level Difference Statistics Analysis	CON	433.14	258.44	794.84	488.12
	ASM	0.06	0.01	0.08	0.03
	ENT	1.41	0.11	1.42	0.15
	MEAN	0.06	0.02	0.07	0.03

실험 결과를 살펴보면 통계적 해석에서의 평균과 본 논문에서 제안한 HGE의 절대 값이 경색심근에서 더 높게 나타남을 표 1에서 확인할 수 있으며, 변화량은 매우 낮게 나타나고 있음을 표 1과 그림 2(a) 및 그림 4(a)에서 확인할 수 있다. 또한 본 논문에서 제안한 임계치보다 적은 화소의 백분율로 정의한 LT에서는 정상심근에서 더욱 높은 절대 값을 가질 뿐만 아니라 그 값의 변화가 크게 나타나고 있음을 표 1과 그림 4(b)에서 확인할 수 있다. 이는 경색심근에서 회색레벨이 더욱 높고 운동량이 감소함으로 인한 것이며, 한 주기에 대한 변수변화 형태가 아닌 절대 값의 차로써만 구분하는 마스트로토다로의 방법과 비교해 볼 때 더 우수한 결과임을 알 수 있다. 또한 콜린wm 등이 행한 동일 회색레벨 길이 해석 방법에서는 창의 크기가 동일조직을 포함하도록 조직에 따라 움직이면서 크기가 변하였으므로 현 조직의 상태를 판별하는 데는 의미를 가질 수 있었지만, 본 논문에서와 같이

위치를 고정시켰을 때에는 각 프레임마다 다른 조직을 포함하므로 큰 의미를 가지지 못함을 그림 3(a), 3(b) 및 3(c)에서 확인할 수 있었다. 프레임 간의 해석을 행한 각 2차 회색레벨 통계해석에 있어서는 정상 심근이 많은 변화량을 나타내었으며, 특히 ASM에서 탁월한 결과를 나타냄을 그림 6(b)에서 관찰할 수 있다. 이는 경색심근의 경우 프레임 간의 영상조직변화가 거의 없음을 의미하며, 여기서 영상조직의 변화폭이 크게 줄어든 것은 심근 조직의 운동량 감소에 의한 것으로 판단된다. 또한 회색레벨 차 해석방법보다는 각 2차 회색레벨 해석방법이 우수한 결과를 나타냄을 그림 5와 그림 6에서 확인할 수 있었다.

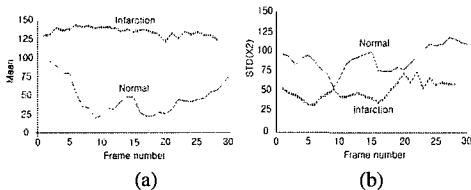


그림 2. 통계적 해석변수인 평균과 표준편차의 변화추이

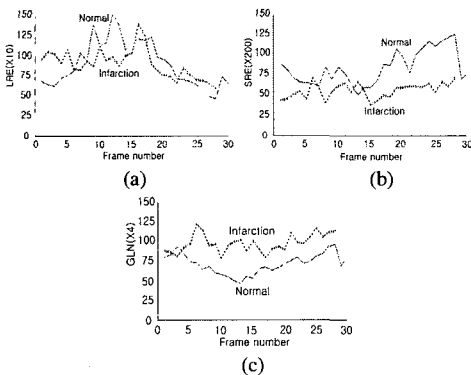


그림 3. 회색레벨 런 길이 해석변수인 LRE, SRE 및 GLN의 변화추이

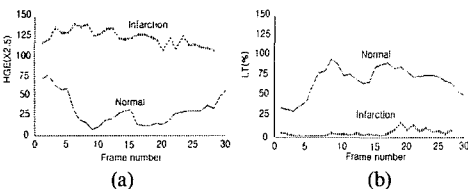


그림 4. 제안한 방법의 해석변수 HGE와 LT의 변화추이

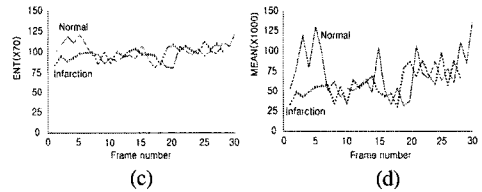
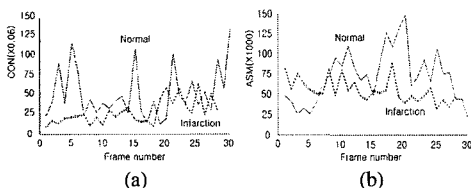


그림 5. 회색레벨 차 해석변수인 CON, ASM, ENT 및 MEAN의 변화추이

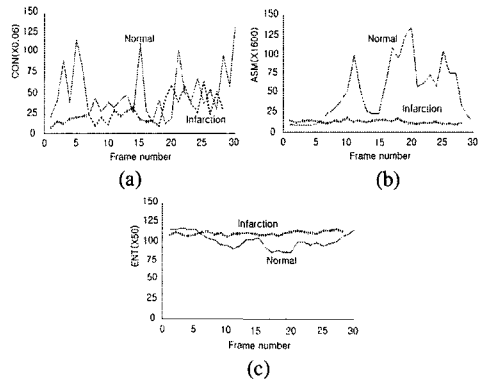


그림 6. 각 2차 회색레벨 통계해석 변수인 CON, ASM 및 ENT의 변화추이

특히, 그림 4에서는 본 논문에서 제안한 프레임 내 해석변수인 HGE와 LT에 대해 실험한 결과 그래프의 한 주기 동안 변화 형태에서 경색심근의 값이 더 높게 나타나는 현상과 경색심근에서 정상심근보다 운동량이 감소함을 쉽게 관찰할 수 있었다. 또한 프레임간 해석에서 각 2차 회색레벨 통계해석이 회색레벨 차 통계해석보다 더 좋은 결과를 나타내었고, 각 2차 모멘트의 한 주기 동안 변화하는 형태에서도 심근의 상태를 판별할 수 있었으며, 심장운동의 한 주기 동안 경색심근의 운동량이 정상심근의 운동량보다 떨어짐을 정량적으로 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 고정된 창을 사용하여 영상조직을 분석함으로써 정상심근과 경색심근을 구별하고자 하였다. 고정된 창을 사용하여 영상조직을 분석함으로써 창의 크기를 가변시키면서 이동시킬 때 발생하는 객관성 결여와 어려움을 해결할 수 있었으며, 영상조직의 프레임 내 해석 및 프레임 간의 해석을 함으로써 기존의 프레임 내 해석보다 운동에 따른 영상조직의 변화를 잘 검출할 수 있었다. 또한 본 논문에서 제안한 HGE와 LT에서도 통계적 해석의 평균방법보다 더

용이하게 정상심근과 경색심근을 구분할 수 있음을 확인하였다. 특히 프레임 간의 해석을 행한 각 2차 회색레벨 통계 해석에서 심근 운동량의 저하를 정량적으로 확인할 수 있었다. 그러므로 통계적 해석에서의 평균과 함께 본 논문에서 제안한 HGE와 LT의 주기적 변화 형태와 절대 값에서 심근의 주기적 운동을 관찰하고, ASM에서 운동량을 조사하면 경색심근을 더 정확히 구분할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] D. J. Skorton et al., "Detection of acute myocardial infarction in closed-chest dogs by analysis of regional two-dimensional echocardiographic gray-level distributions", *Circ. REs.*, vol. 52, pp 36-44, 1983.
- [2] A. N. Liberman et al., "Two-dimensional echocardiography and infarct size : Relationship of regional wall motion and thickening to the extent of myocardial infarction in the dog", *Circulation*, vol. 63, pp. 739-745, 1981.
- [3] D. J. Skorton et al., "Quantitative texture analysis in two-dimensional echocardiography : Application to the diagnosis of experimental myocardial confusion", *Circulation*, vol. 68, pp. 217-223, 1983.
- [4] D. J. Skorton et al., "Variation of left ventricular myocardial gray level on two-dimensional echocardiogram as a result of cardiac contraction", *Circulation*, vol 70, pp. 972-977, 1984.
- [5] S. M. Collins et al., "Quantitative echocardiographic image texture : Normal contraction related variability", *IEEE Trans. on Medical Imaging*, vol. MI-4, pp. 185-192, 1985.

- [6] J. J. Mastrototaro et al., "The use of two-dimensional echocardiograms in the detection of myocardial infarction in canines, *IEEE Trans. on Biomedical Eng.* vol. BME-32, pp. 621-629, 1985.
- [7] J. S. Weszka et al., "A comparative study of texture measure for terrain classification", *IEEE Trans. on Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-6, pp269-285, 1976.

손 권(Kweon Son)

[정회원]



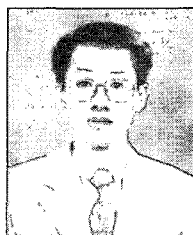
- 1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2005년 3월 ~ : 경북대학교 전자공학과 (박사과정)
- 1991년 3월 ~ 현재: 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야>

소너 시스템, 영상신호처리, 음성신호처리

조 성 목(Sung-Mok Cho)

[정회원]



- 1988년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1995년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재: 동명대학교 정보보학과 조교수

<관심분야>

영상처리, 퍼지이론, 뉴럴 네트워크