

가상 3D 그래픽을 이용한 집속형 초음파 탐촉자 성능평가 방법

이 순 흠[†] · 최 관 순^{††} · 김 동 식^{††}

요 약

초음파 의료 영상기구나 산업용 초음파 검사 시스템의 성능은 초음파 탐촉자의 성능에 의해 크게 좌우된다. 탐촉자의 성능 특성 정보는 보통 제작자가 제공하는 반사원의 초음파 R/F 신호와 주파수 특성에 의해 기술된다. 그러나 집속형 초음파 탐촉자의 경우, 두 자료로는 선명한 C-Scan 이미지를 얻을 수 있다는 것을 보증할 수는 없다. 그래서 집속형 초음파 탐촉자의 성능 평가를 위한 새로운 척도로 상대 초점크기 및 상대 유효초점영역의 모양을 제안한다. 상대 초점의 크기와 상대 유효초점영역의 모양은 쇠구슬로부터 획득된 초음파 R/F 신호를 가상 3차원 영상 복원 프로그램으로 처리하여 얻는다. 제시된 방법은 기존 자료로는 알 수 없었던 탐촉자 성능을 정확히 평가할 수 있었으며, 방법도 간단하여 실제 탐촉자 제작시 불/양품을 쉽게 가려 낼 수 있으며, 탐촉자 경년열화에 따른 성능 저하도 검출할 수 있는 장점을 갖는다. 결과적으로 초음파 영상기구나 산업용 초음파 검사 시스템의 성능을 담보할 수 있다.

키워드 : 초음파 탐촉자, 음장해석, 가상 3D

New Performance Evaluation Method of Focused Ultrasonic Transducers By Using Virtual 3D Graphic

Sunheum Lee[†] · Kwansun Choi^{††} · Dongsik Kim^{††}

ABSTRACT

The performance of ultrasonic testing systems for industrial or medical purpose largely depends on the performance of ultrasonic transducers. Generally, the information about an ultrasonic transducer performance characteristics are expressed by the ultrasonic R/F signal back from a reflector and its frequency characteristics in the data sheet provided by manufacturers. In case of focused ultrasonic transducers, the two pieces of information can, however, hardly assure that the focused ultrasonic transducer would produce well-focused C-scan images. Therefore, we propose the measured size of focal spot and the reconstructed shape of effective focal zone in the focused sound field as novel measures for the performance evaluation of the focused ultrasonic transducers. The process of getting the both measures of the transducers is conducted by the implemented software including sound field scanning and virtual 3D reconstruction functions which requires the echo of a point reflector. The proposed method could, otherwise impossible in the existing method, effectively and simply distinguish superior ones among many transducers made in the same specification and be also used to detect the performance degradation due to the aging of the transducers. Eventually, the quality of performance of the ultrasonic testing systems for industrial or medical purpose is secured.

Key Words : Ultrasonic Transducer, Sound Field Analysis, Virtual 3D

1. 서 론

초음파 의료영상기기[1,2]나 산업용 초음파 검사 시스템의 성능은 초음파 탐촉자의 성능에 의해 크게 좌우된다. 초음파 검사 장비는 초음파를 이용하여 검사체를 파괴하지 않고

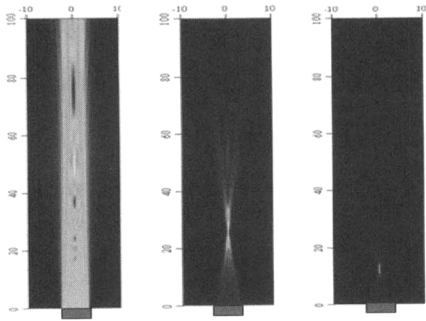
내부를 검사할 수 있는 비파괴 검사장치의 일종으로, 인체의 내부 이미지를 획득하거나 금속, 비금속, 복합소재 등의 건전성 및 특성평가에 응용되고 있는 현대 의료 산업 기술에 반드시 필요한 검사 장치이다.

검사장비의 하드웨어는 Ultrasonic Pulser/Receiver, 고속 A/D Converter, 초음파 탐촉자를 고속으로 이송시키는 Motion Control 장치 등을 포함한다. 검사 장비의 소프트웨어는 하드웨어를 제어하고 수집된 초음파 R/F 신호를 처리하여 A,B,C-Scan 및 3차원 영상 등을 제공한다. 초음파 검

[†] 정 회 원 : 순천향대학교 정보통신공학과 교수

^{††} 정 회 원 : 순천향대학교 전기통신공학과 교수

논문접수 : 2007년 7월 12일, 심사완료 : 2007년 9월 28일



(그림 1) 왼쪽부터 초점거리가 flat, 25 mm, 12mm인 초음파 필드들

사장비는 다양한 검사 소프트웨어의 개발로 검사의 신뢰도가 향상되고 있다[3].

그러나 정밀 초음파 의료 영상기구나 반도체 검사용 정밀 장비의 경우, 검사 결과의 질을 결정짓는 최대 요소는 초음파 탐촉자의 성능이다. 그런데 지금까지 탐촉자 제작자는 A-scan 신호와 주파수 특성에 관한 자료만으로 탐촉자의 성능을 표시하여 왔으며, 탐촉자의 제작과정이 거의 수작업인 관계로 다양한 특성을 지니는 탐촉자의 성능을 A-scan 신호와 주파수 특성이 대표할 수 없는 문제점을 지니고 있다[4]. 이러한 문제를 해결하기 위해 (그림 1)과 같이 초점 영역에서의 초음파 빔의 2차원 영상을 획득하여 탐촉자의 성능을 평가하려는 연구가 있으나 이 역시 초음파 빔의 축방향 한 단면만을 근거로 하기 때문에 정확한 평가가 이루어 질 수 없는 단점을 갖는다[5-7]. 예를 들면 진동자의 곡률이 균일하지 않을 경우, 전혀 다른 성능을 보일 수 있기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 집속형 초음파 탐촉자의 성능 평가를 위한 새로운 척도로 초점크기 및 3차원 유효초점영역의 모양을 제안한다. 초점의 크기와 유효초점영역의 모양은 쇠구슬로부터 획득된 초음파 R/F 신호를 가상 3차원 영상 복원 프로그램으로 처리하여 얻는다. 제시된 방법은 기존 자료로는 알 수 없었던 탐촉자 성능을 정확히 평가할 수 있었으며, 방법도 간단하여 실제 탐촉자 제작시 불/양품을 쉽게 가려 낼 수 있으며, 탐촉자 경년열화에 따른 성능 저하도 검출할 수 있는 장점을 갖는다. 2장에서는 집속형 탐촉자의 음장 이론을 소개하고 실제 제작된 탐촉자의 측정된 A-scan 신호와 주파수 특성을 설명한다.

3장에서는 본 논문에서 제안한 초점의 크기와 유효초점영역의 모양을 측정하는 과정 및 측정 결과를 해석하여 개발된 탐촉자의 성능을 평가한다. 4장에서는 탐촉자의 성능 평가가 유효한지를 검사하기 위해 반도체 시료인 Flip Chip 검사를 시행하여 검사 결과를 비교한다. 5장에서 결론을 내렸다.

2. 음장이론 및 제작된 탐촉자

2.1 집속형 초음파 탐촉자 음장이론

집속형 초음파 탐촉자 중심축에서의 음압분포는 식(1)과

같으며, 본 논문에서 제작한 탐촉자는 직경 3mm, 곡률반경 8mm, 공칭 주파수 110MHz이며, 탐촉자의 불속에서의 중심부 음압분포는 (그림2)와 같다.

식(2), 식(3)에 의해 각각 beam diameter와 focal zone의 이론값을 구할 수 있다.

$$p = p_0 \left| \frac{2}{1 - \frac{Z}{r}} \right| \sin \left[\frac{\pi}{\lambda} \left(\sqrt{(z-h)^2 + \frac{D^2}{4}} - z \right) \right] \quad (1)$$

where $h = r - \sqrt{r^2 - \frac{D^2}{4}}$

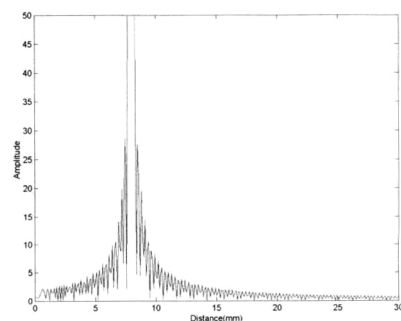
- r = radius of curvature of the oscillator
- Z = distance from the oscillator
- D = oscillator diameter

$$BD_{(-6dB)} = 1.028 \frac{FC}{fD} \quad (2)$$

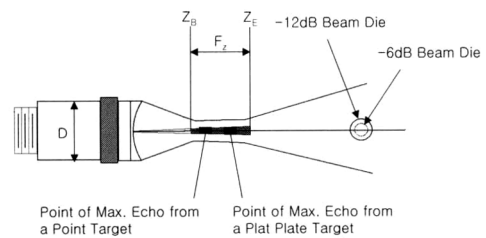
- where, F = Focal Length in Water
- C = Sound Velocity of Material
- f = Frequency of Transducer

$$F_z = NS_f^2 \left[\frac{2}{(1+0.5SF_f)} \right] \quad (3)$$

- where $N = D^2/4$ (Near Field Length)
- $SF = F / N$ (normalized Focal Length)



(그림 2) 곡면 발진기의 축방향 점 반사원에 대한 반사 신호 크기



(그림 3) 유효초점영역

(그림 3)에 초음파 빔의 패턴을 보이고 있는데 탐촉자의 성능은 초점의 크기가 작고 유효초점영역이 균일한 원통의 모양을 띠수록 성능이 좋다.

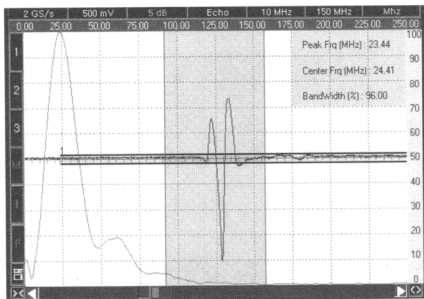
2.2 제작된 집속형 탐촉자의 기본 특성

본 논문에서 제작된 집속형 탐촉자는 2.1 섹션에서 언급한 이론을 기초로 제작되었다. (그림4)는 PVDF(polyvinylidene fluoride film)을 사용하여, 공칭주파수 110MHz, 직경은 3mm, 초점거리 8mm로 설계된 탐촉자 시물이다.[8-13].

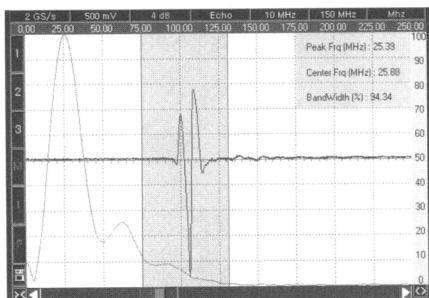
탐촉자는 수작업으로 제작되므로 실제 다양한 특성을 띠게 된다. (그림 4)의 공칭주파수 110MHz의 탐촉자들은 실제 측정 시 물 속에서 감쇄가 되어 측정주파수는 20MHz - 40MHz 범위내에 위치한다. 똑같은 사양으로 제작된 탐촉자 중 4개를 선택하여 각각에 대하여, 제작자들이 제공하는 반사원의 초음파 R/F 신호의 a-scan 신호와 주파수 특성을 측정(그림 5)하였다. 신호 측정에 사용된 반사원은 직경 3mm의 강구를 사용하였다.



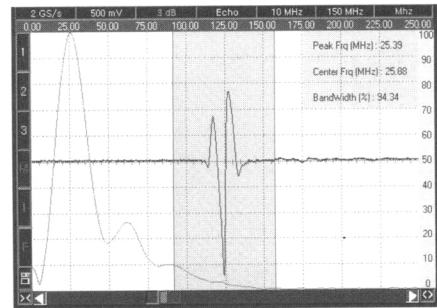
(그림 4) PVDF 탐촉자



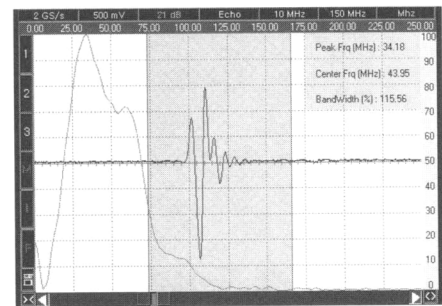
(그림 5(a)) 탐촉자 #1의 피크 시 주파수 23.44 MHz, 중심 주파수 24.41 MHz



(그림 5(b)) 탐촉자 #2의 피크 시 주파수 25.39 MHz, 중심 주파수 25.88 MHz



(그림 5(c)) 탐촉자 #3의 피크 시 주파수 25.39 MHz, 중심 주파수 25.88



(그림 5(d)) 탐촉자 #4의 피크 시 주파수 34.18 MHz, 중심 주파수 43.95 MHz

탐촉자 1번, 2번 3번의 최고 주파수와 중심 주파수가 25MHz 근방에 위치하지만 탐촉자 4번의 경우 최대 주파수 35MHz, 중심 주파수 43MHz이다. 이 측정 결과로는 탐촉자 4번의 성능이 우수한 것으로 예측할 수 있다. 식(2)에서 탐촉자의 주파수가 높을수록 초점의 크기가 작아지기 때문이다. 그러나 실제 사용 시 선명한 영상을 획득할 수 있을 것 이라고 단정할 수 없다. 측정 주파수가 높더라도 탐촉자의 곡률이 일정하지 않은 등의 이유로 성능이 나쁜 경우가 발생할 수 있다. 왜냐하면 초음파 R/F 신호의 a-scan 신호와 주파수 특성 자료만으로는 탐촉자의 이러한 다양한 특성을 판단할 수 없기 때문이다. 실제로 4번 탐촉자로 얻은 영상은 매우 불량한 것으로 확인됐다. 그 이유는 섹션 3에서 설명된다.

3. 초점 크기 및 유효 초점영역 모양 측정

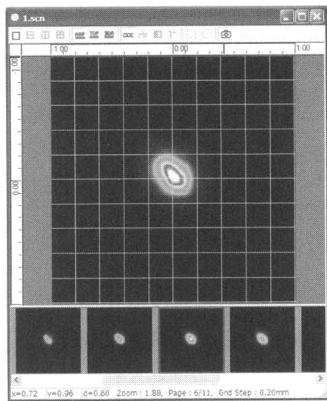
3.1 초점 크기 측정

탐촉자의 실질 초점거리는 반사원으로 직경이 3mm인 강구를 사용하여 다음 과정을 통해 측정된다.

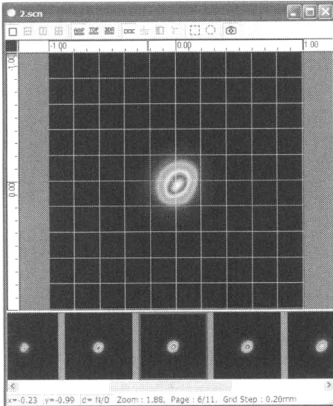
- ① A-Scan 신호를 참조하여 직경 3mm의 강구의 표면의 중심점에 탐촉자의 초점(이론 초점거리 8mm)이 맞도록 탐촉자 상하 위치를 조정한다.
- ② 이때의 수신된 초음파 RF 신호의 진폭을 100% 감도로 설정한다.
- ③ 탐촉자를 1.5mm 만큼 아래로 이동한다.

- ④ 위쪽 3mm 구간을 11 등분하여 탐촉자를 이동시키면서 11장의 C-Scan 영상을 획득한다.

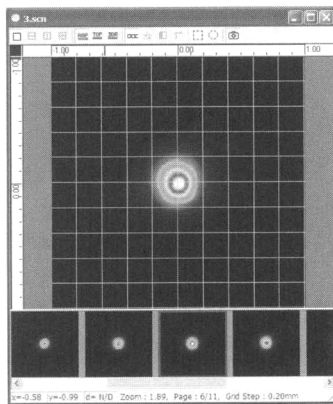
섹션 2.2에서 가장 성능이 좋을 것이라 예측되었던 4번 탐촉자의 초점영역크기가 가장 크고 모양도 타원형을 이루고 있어 초음파가 잘 집속되지 못함을 보여주고 있다(그림 6(d)). 1번, 2번, 3번 탐촉자(그림 6(a,b,c))는 초점영역크기가 같지만 3번 탐촉자의 영상의 모양이 더 원형을 이루고 있어 성능이 더 우수할 것으로 평가된다.



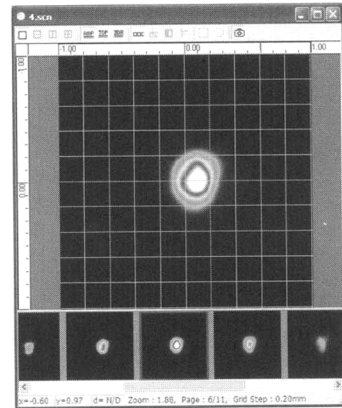
(그림 6(a)) 탐촉자 #1의 초점영역크기 : 0.25mm



(그림 6(b)) 탐촉자 #2의 초점영역크기 : 0.25mm



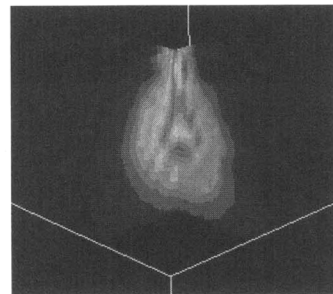
(그림 6(c)) 탐촉자 #3의 초점영역크기 : 0.25mm



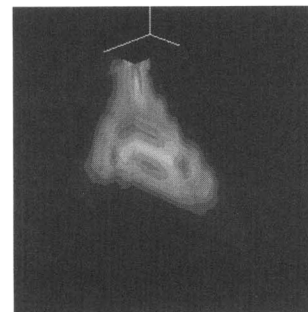
(그림 6(d)) 탐촉자 #4의 초점영역크기 : 0.35mm

3.2 유효 초점 영역의 모양 측정

섹션 3.1에서 획득된 11장의 C-Scan 영상을 사용하여 가상 3차원 영상을 구성하면 탐촉자의 유효 초점 영역의 모양을 측정할 수 있다. 초점 거리에 의해 3번 탐촉자가 4번 탐촉자보다 성능이 우수할 것으로 평가되었으나, 유효 초점 영역 영상을 비교하면 그 이유를 확실히 확인할 수 있다. (그림 7(a))를 보면 중앙 부분에 붉은색으로 표시된 유효 초점 영역이 좌우 대칭의 호리병 모양으로 초음파가 잘 집속되고 있음을 보인다. 그러나 (그림 7(b))를 보면 유효 초점 영역이 찌그러져 있고 대칭을 이루지도 못한 것을 볼 수 있다. 이것은 초음파가 집속되지 못하고 있음을 의미한다. 실제로 4번 탐촉자로는 유효한 검사 영상을 취득할 수 없음을 확인할 수 있었다. 이상에서 탐촉자의 초점 거리와 유효 초점 영역 모양은 탐촉자의 성능을 평가하는 유효한 척도임을 확인할 수 있다.



(그림 7(a)) 탐촉자 #3의 유효초점영역 3차원 영상의 축 방향 단면

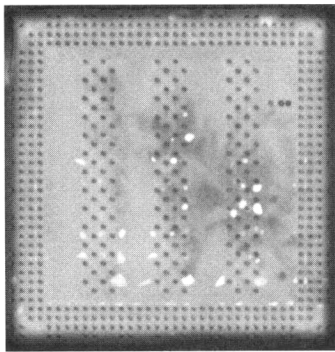


(그림 7(b)) 탐촉자 #4의 유효초점영역 3차원 영상의 축 방향 단면

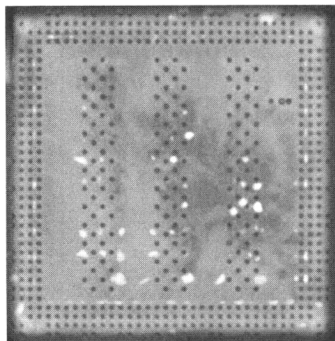
4. 반도체 샘플 측정

섹션 3에서 성능 평가된 탐촉자들을 사용하여 실제 정밀한 시료인 반도체 플립 칩을 대상으로 탐촉자의 성능 평가가 유효한지를 검사하였다. 4번 탐촉자는 유효한 검사 영상을 얻을 수 없었다. 1번 탐촉자와 3번 탐촉자를 사용하여 검사한 영상을 (그림 8)에 보였다. 3번 탐촉자 검사 결과가 1번 탐촉자 결과 보다 훨씬 선명하다. 솔더볼(solder ball)과 에폭시(epoxy)가 채워지지 않은 부분(underfill)이 선명하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 1번 탐촉자에 의한 영상에서는 솔더볼이 약간 타원형으로 왜곡되어 있는 것을 볼 수 있다.

결과적으로 초점거리와 유효 초점영역의 모양이 집속형 탐촉자의 성능 평가 척도로 우수함을 알 수 있다.



(그림 8(a)) 탐촉자 #1에 의한 플립 칩의 C-Scan 영상



(그림 8(b)) 탐촉자 #3에 의한 플립 칩의 C-Scan 영상

4. 결 론

집속형 탐촉자의 실제 성능은 탐촉자 제작자가 제공하는 공칭주파수나 A-SCAN 신호로 주어지는 최고 주파수 또는 중심 주파수 또는 주파수 특성표로는 선명한 C-Scan 이미지를 얻을 수 있는 지를 정확히 예측하기 힘들다. 본 연구에서는 초음파 빔의 초점의 크기(focal spot)와 유효초점영역(focal zone)의 모양을 측정하는 방법으로 집속형 탐촉자의 성능을 평가할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 방법은 가상 3차원 영상 복원 프로그램을 사용하여 쇄구술을 검사하여 얻은 3차원 영상으로부터 초음파 빔의 초점의 크기

(focal spot)와 유효초점영역(focal zone)의 모양을 얻는다. 실제 주파수 특성이 비슷한 탐촉자들도 서로 다른 성능을 보임을 알 수 있었고, 상대적으로 주파수 특성이 좋은 탐촉자도 실제 성능에서는 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

본 방법은 기존 방법으로는 알 수 없었던 탐촉자 성능을 정확히 평가할 수 있었으며, 방법도 간단하여 실제 탐촉자 제작 시 불/양품을 쉽게 가려 낼 수 있으며, 탐촉자 경년열화(aging)에 따른 성능 저하도 검출할 수 있는 장점이 있다. 결과적으로 초음파 의료영상기구나 산업용 초음파 검사 시스템의 성능을 담보할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Tavel. M. E., Brown. K. D., and Shander. D., "Enhanced Auscultation with a New Graphic Display System", ARCH Intern. Med., Vol. 154. pp. 893-898, 1994.
- [2] Fish. P., Physics and Instrumentation of Diagnostic Medical Ultrasound, John Willey & Sons. New York.
- [3] Albert S Birks et al, Nodestructive Testing Handbook, American Society for Nondestructive Testing, 1991.
- [4] Jjosef Krautkramer, Herbert Krautkramer, Ultrasonic Testing of Materials, Springer-Verlag, New York, 1983.
- [5] AASTM E-1065, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03, 1996.
- [6] Hall, K.G., Observing ultrasonic wave propagation by stroboscopic visualization methods, Ultrasonics, Butterworth Press, July, 1982.
- [7] Ducan, K., Computer Simulation of Ultrasonic Testing, Proceedings of Ultrasonics International 85, London, Uk, 1985.
- [8] J.L. Rose, G.H. Thomas.: Microprocessor Utilization in Ultrasonic Nondestructive Inspection System. Material Evaluation, Jan., pp. 66-76, 1980.
- [9] G.P. Singh.: Fundamentals of Data Acquisition for Nondestructive Evaluation. Material Evaluation, Nov. (1990) 1341-1347.
- [10] Bjarne Stroustrup.: The C++ Programming Language 3rdedn.Addison-Wesley1977.
- [11] Jjosef Krautkramer, Herbert Krautkramer.: Ultrasonic Testing of Materials. Springer-Verlag, New Nork, (1983)
- [12] Lews F. Brown and Joel L. Mason.: Disposabile PVDF Ultrasonic Transducers for Nondestructive Testing Applications, IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Vol. 43, No. 4, July (1996) 560-567.
- [13] L. F. Brown, W. Sisson, and C.Guerin.: Custom PVDF transducers for pulse-echo testing of solid rocket motors for detection of propellant to boot-liner unbonds, in 1992 Review of Progress in QuantitativeNDE, NewYork:Pleum1993.

[14] L. F. Brown, Precision gap thickness profile measurements with two-dimensional PVDF ultrasonic blanket array, IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Vol. 42, No. 1, Jan (1995) pp. 120-126.



최 관 순

e-mail : cks1329@sch.ac.kr

1994년 서강대학교 전자공학과 박사.
2007~현재 순천향대학교 전기통신공학과 교수

관심분야: 영상처리, 가상교육, 원격제어

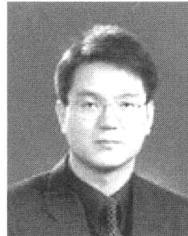


이 순 흠

e-mail : sunheum@sch.ac.kr

1983년 고려대학교 전자공학과(공학사)
1985년 고려대학교 전자공학과(공학석사)
1990년 고려대학교 전자공학과(공학박사)
1991년~현재 순천향대학교
정보통신공학과 교수

관심분야: 멀티미디어 콘텐츠 개발, 임베디드 시스템,
컴퓨터네트워크



김 동 식

e-mail : dongsik@sch.ac.kr

1986년 고려대학교 전기공학과 학사
1988년 고려대학교 대학원 전기공학과 석사
1992년 고려대학교 대학원 전기공학과 박사

1992년~현재 순천향대학교 전기통신공학과 교수

관심분야: 웹기반 가상 및 원격 실험실 개발, 지능제어 및
비선형 제어