

# 채널별 음장분포 분석을 통한 진단용 초음파 어레이 프로브의 평가방법에 관한 연구

유병철<sup>1</sup>, 최흥호<sup>1,2</sup>, 노시철<sup>1,2</sup>, 민해기<sup>1</sup>, 권장우<sup>3</sup>

<sup>1</sup>인제대학교 의용공학과 의용초음파 연구실

<sup>2</sup>인제대학교 BK21 바이오 조직 재생 사업팀

<sup>3</sup>동명대학교 컴퓨터공학과 인공지능 연구실

(Received August 2, 2006. October 16, 2006)

## A Study of Testing Method for Diagnostic Ultrasonic Array Probe through Pattern Analysis of Acoustic-Fields with Probe Channel Division

B. C. Yoo<sup>1</sup>, H. H. Choi<sup>1,2</sup>, S. C. Noh<sup>1,2</sup>, H. K. Min<sup>1</sup>, J. W. Kwon<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Biomedical Engineering, College of Bioscience Engineering, Inje University, Obang-dong, Gimhae, Korea

<sup>2</sup>BK21 Bio-Organ Tissue Regeneration Project Team, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

<sup>3</sup>Dept. of Computer Engineering, College of IT, Dongmyong University, Youngdang-dong, Busan, Korea

### Abstract

The acoustic field analysis method is the superior calibration method for rectifying the ultrasonic probe sensitivity. This method also can be applied to evaluate the probe performance in clinical fields without numerical analysis and precise measurements. In this paper, we propose the method of acoustic field pattern analysis with probe channel division for the evaluation of diagnostic ultrasound probe characterization. In order to verify our purpose, we performed a set of experiments. We measured the acoustic-field pattern of the three inferiority probes by channel division to evaluate an acoustic field distribution and impulse response characteristics. By comparing the results of acoustic field measurement method with that of conventional method such as impulse response and live image test for linear array probes, it is demonstrated that the ultrasound field measurement method is more effective than conventional method in detection of defective elements.

Key words : ultrasound imaging, probe performances, acoustic-field pattern by channel distribution, probe test method

### 1. 서 론

진단용 초음파 프로브는 인체에 초음파를 조사하고 그 반사파를 획득하는 장치로서 진단장비의 성능을 좌우하는 매우 중요한 요소이다[1].

초음파 프로브의 성능은 제작물질의 개발, 제조공정의 개선, 새로운 진동자 배열방법의 시도와 이에 수반되는 신호처리 기술의 발전에 맞추어 지속적으로 발전되어 왔다[2]-[6]. 진단용 초음파 프로브는 기계적인 진동을 통해 다수의 엘리먼트를 여기시킴으로

서 초음파를 발생 또는 수신한다. 그러나 엘리먼트들은 배열의 상태가 흐트러지거나 기계적으로 파괴되는 열화의 가능성이 있고, 열화된 엘리먼트는 영상의 질을 저하시킬 뿐만 아니라 효율적인 진단을 방해하는 결정적인 요인으로 작용할 수 있다.

일반적으로 진단용 프로브에서 열화된 엘리먼트가 4개 이상 발생될 때, 프로브는 빔의 강도가 떨어지고, 분해능이 저하된다. 또한 열화된 엘리먼트는 도플러장비의 경우 혈류측정 에러의 원인이 되기도 한다[7]. 한국표준협회는 초음파장비에 대해 KS P 1216 규격을 제안하여 초음파 진단장치의 시험을 권고하고 있으며 이 규격에는 안전에 관한 시험, 종합감도, 분해능, 주파수특성, 초음파 출력 등의 성능시험이 포함되어 있다[8]. 그러나 현재의 성능시험 기준으로는 엘리먼트간 정렬 불균형, 엘리먼트간 간격 불균형과 같은 비정상 엘리먼트로부터 발생하는 프로브의 성능저하가 판별되지 않는 경우가 존재한다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2004-000-10325-0) 지원으로 수행되었음.

Corresponding Author : 노시철  
(621-749) 경남 김해시 어방동 607, 인제대학교 의용초음파 연구실  
Tel : 055-320-3639 / Fax : 055-329-3292  
E-mail : musblue@bse.inje.ac.kr

비정상 엘리먼트에 의한 진단영상의 왜곡은 임펄스 응답특성 평가에서는 나타나지 않는 경우가 있고, 이와 반대로 임펄스 응답특성 평가에서 나타난 이상이 팬텀영상과 진단영상에서는 확인되지 않는 경우도 있다. 따라서 프로브의 전체적인 전파 특성을 평가하고 기존의 방법들로 확인되지 않는 이상들을 분석할 수 있는 평가법이 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 수중청음기를 이용한 음장측정 장치를 구현하고 음장평가방법[9]을 사용하여 프로브의 채널별 음장분포 패턴을 획득하였다. 그리고 현재 많이 사용하고 있는 프로브 평가방법인 임펄스 응답특성 평가를 통해 엘리먼트의 이상여부를 확인하였으며, 성인의 경동맥의 영상을 획득하여 비정상 엘리먼트가 실제 진단영상에 미치는 영향을 비교하였다.

그 결과, 임펄스 응답특성 평가법, 진단영상 평가법에 비해 음장분포 평가방법이 비정상 엘리먼트검출에 있어 우수한 방법임을 확인하였다.

## II. 관련이론

### A. 엘리먼트에 의한 불량요인

그림 1은 진단 초음파영상에 영향을 미치는 엘리먼트의 불량요인을 표시한 것이다. 그림 1에 (a)로 표시된 이상요인은 엘리먼트 자체의 파괴 또는 케이블 단선에 의한 송·수신 신호의 감소를 나타낸다. (b)는 엘리먼트간 간격불균형에 의한 음파중첩의 왜곡을 나타내며, (c)는 엘리먼트간 정렬 불균형에 따른 초음파 신호의 송·수신 방향이 틀어지는 현상을 나타내고 있다.

이러한 불량요인은 대부분이 프로브 제작공정 단계에서 발생하지만, 임상적용 후 관리적 문제 또는 소모적인 사용에 의해서도 발생하기 때문에 지속적인 성능평가가 필요하다.

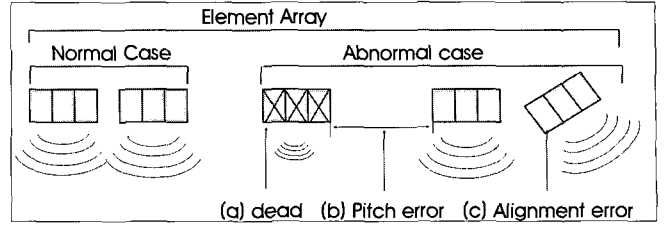


그림 1. 프로브성능에 영향을 미치는 엘리먼트의 일반적인 이상요인 : (a) 엘리먼트의 파괴, (b) 엘리먼트간 간격 불균형, (c) 엘리먼트간 정렬 불균형

Fig. 1. Typical defects of elements affecting the probe performance : (a) dead case, (b) pitch error case, (c) alignment error case

### B. 진단용 프로브의 성능평가 방법

진단용 프로브의 성능평가 방법으로 프로브 성능변수를 분석하는 방법, 진단 장비를 이용하여 획득한 영상의 질을 평가하는 방법과 음장분석 방법이 사용된다.

프로브의 성능변수 분석법은 각 엘리먼트들이 가지는 방사 전력, 공진주파수, 임피던스 대역폭, 전기기계결합계수 등을 조사하는 방법이다. 구체적인 평가법으로는 개발단계에서 수행하는 유한요소 해석 등을 이용한 시뮬레이션 방법과 개발 후 측정용 표적에 가해진 방사 전력을 측정하는 방법, 송·수신 음향필스파형에 대한 임펄스응답 특성을 분석하는 방법 등이 있다.

진단 장비를 이용한 진단영상 평가법은 AIUM 팬텀 또는 인체에 조사된 영상을 이용하여 영상내 표적에 대한 측방향 분해능, 축방향 분해능 및 영상의 밝기를 검사하는 방법이다. 이 방법은 평가에 소요되는 시간과 평가절차 및 분석의 단순성과 같은 이점으로 인해 현재 임상에서 가장 널리 활용되고 있다. 음장분석 방법은 진단용 프로브의 감도를 보정하기 위해 사용되는 최상위의 성능평가 방법으로서 프로브가 생성하는 공간적 음장특성, 임펄스 응답특성

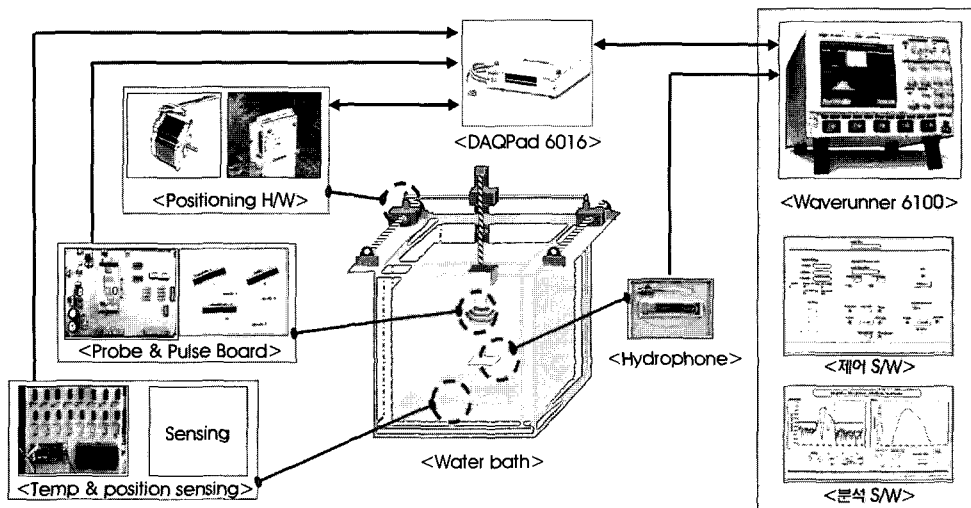


그림 2. 임펄스응답과 음장분포 측정을 위한 실험장치의 구성

Fig. 2. Experimental setup for the measurement of impulse response and acoustic field distribution

을 모두 확인할 수 있고 정밀한 분석이 가능하다는 장점을 지닌다. 그러나 평가절차가 복잡하고, 다른 평가법과 비교해서 분석에 소요되는 시간이 긴 단점이 있다.

### III. 실험

본 논문은 진단용 프로브의 채널별 음장분포와 진단영상의 특성을 비교하기 위해 개발단계에서 불량으로 판정된 선형 배열형 프로브 샘플을 이용하여 두 가지 실험을 수행하였다. 첫 번째 실험은 수중청음기를 이용한 임펄스 응답특성과 음장을 측정하는 실험으로서, 프로브의 모든 엘리먼트에 대해 음향펄스 파형의 진폭특성을 획득하였고, 프로브 각 채널의 공간적 음장분포 패턴을 확인하였다. 두 번째는 프로브 샘플을 이용한 진단영상 실험으로서, 근거리 감도영상과 성인 남성의 경동맥 영상을 획득하였다. 실험이 수행된 후 각각의 결과를 비교 분석하였다.

#### A. 장치구성 및 시스템 사양

그림 2는 임펄스응답특성 실험과 음장측정 실험에 사용한 측정 시스템의 모식도이며, 표 1은 실험에 사용된 시스템의 사양을 나타낸다. 실험에 사용한 수조는 아크릴을 이용하여 600×600×600mm 규격으로 제작하였고, 위치제어 시스템은 Prime Driver사의 2D24M 스텝모터 드라이버와 Sanyo Denki사의 Type 103-718-0841 스텝모터를 사용하여 구성하였다. 위치제어 프로그램은 NI사의 LabVIEW 7.0으로 구현하였으며, 6016 DAQ 패드를 이용하여 측방향, 측방향으로 각각 0.01mm/step 이동이 가능하도록 개발하였다.

위치제어 프로그램은 수중청음기와 프로브의 정렬 교정을 위한 조그모드, 채널별 음장분포 측정을 위한 음장측정 모드, 엘리먼트의 임펄스 응답특성 측정을 위한 임펄스 측정모드, 시스템 세팅을 초기화하는 초기화 모드 등 총 4가지 모드로 동작하도록 설계하였다.

표 1. 실험구성 요소의 사양

Table 1. Specifications of instruments

장 치	사 양
스텝모터	Type 103-781-0814, Sanyo Denki 사
모터드라이버	2D24M, Prime Driver 사
컨트롤 보드	DAQ6016 패드, NI 사
수신장치	PVDF 수중청음기 (φ : 1mm), Genex 사
데이터획득	Wave-runner 6100 오실로스코프, Lecroy 사
영상장치	Solidus Live, Medison 사
초음파 펄서	여기펄스 : -200V, 여기시간 : 1μs

초음파 펄서는 여기펄스가 -200V, 여기시간이 1μs를 가지도록 제작하였으며, 프로브에서 발생하는 음향펄스는 0.5MHz~15MHz 대역특성을 가지는 PVDF 수중청음기를 이용하여 수신하였다. 수신된 음향펄스 파형은 Lecroy사의 Wave-runner 6100 디지털 오실로스코프를 통해 저장하였다.

실험에 사용한 프로브 샘플은 경동맥과 같이 비교적 근거리 측정용으로 개발된 Digital-Echo사의 리니어 5-9 프로브이다. 이 샘플들은 개발단계에서 불량판정을 받은 것으로서 표 2에 각각의 프로브 샘플이 불량판정을 받게 된 내용을 나타내었다.

표 2. 리니어 5-9 프로브 샘플의 불량내용

Table 2. Inferiority details of Linear 5-9 samples

샘 플	불량판정 내용	
	임펄스 응답특성	진단영상 평가
샘플 1	-	영상의 비정상
샘플 2	104번 엘리먼트 불량	영상의 비정상
샘플 3	106번 엘리먼트 불량	-

그림 3은 리니어 5-9 프로브의 엘리먼트들의 배열구조를 보여주

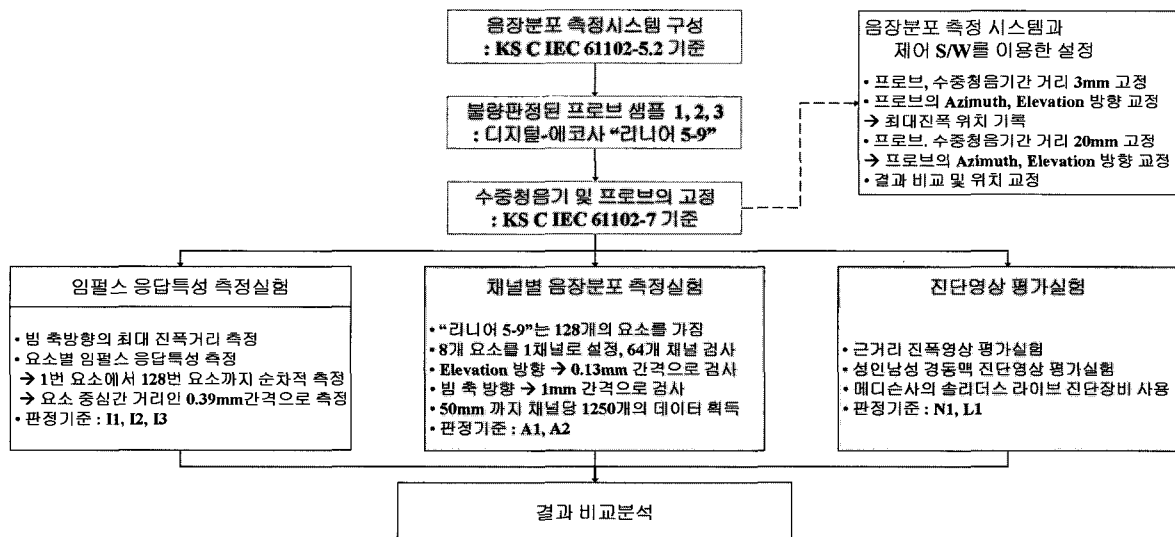


그림 4. 실험과정의 플로우 차트

Fig. 4. Flow chart for experimental procedure

고 있다. 프로브 샘플은 총 128개의 엘리먼트로 구성되며 1개의 엘리먼트마다 3개의 보조엘리먼트로 구성되어 있다. 엘리먼트의 폭과 엘리먼트 중심간 거리는 각각 0.39mm이고 엘리먼트의 길이는 4mm이다.

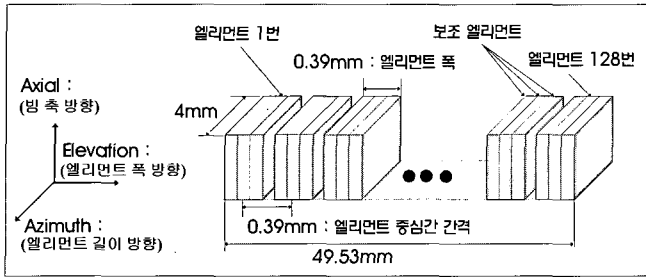


그림 3. 리니어 5-9 프로브의 구조와 치수  
Fig. 3. Structure and dimensions of Linear 5-9

**B. 실험 방법**

그림 4는 본 연구에서 수행한 실험 순서 및 방법에 대한 플로우 차트를 나타내고 있다. 프로브의 임펄스특성 실험과 음장분포 측정실험은 국가표준원이정한 기준인 KS C IEC 61102의 5.2항에 부합하는 초음파음장 측정시스템[12]을 구성하여 수행하였다.

초음파음장 측정시스템을 이용한 음장분포 측정실험과 임펄스 응답특성 측정실험은 수중청음기 및 프로브의 고정에 관한 표준인 KS C IEC 61102-7항목의 내용에 따라 개발된 위치제어 프로그램을 이용해서 교정한 후 실험을 진행하였다.

음장분포 측정실험은 8개 엘리먼트를 1채널로 하여 총 64개 채널에 대한 음장분포 데이터를 획득한 후 그 결과를 컬러영상으로 나타내었다. 모든 채널별 음장분포 데이터는 프로브와 수중청음기의 간격을 3mm로 정렬시키고, 채널의 첫 번째 엘리먼트를 기준으로 엘리먼트의 폭방향은 0.13mm/step씩 25개, 빔 축방향은 1mm/step씩 50개, 총 1250개의 데이터를 획득하였다. 음장분포 측정실험은 음장분포의 왜곡을 분석하는 것을 목적으로 하기 때문에 수치 값을 제외한 음장분포 영상을 결과로 제시하였다.

임펄스 응답특성 실험은 3개의 샘플 프로브를 1번부터 128번까지 엘리먼트를 차례대로 구동하고 수중청음기를 이용하여 음향펄스 파형을 순차적으로 측정하였다. 수중청음기에 수신된 음향펄스 파형 데이터는 개발된 프로그램을 이용하여 분석하였고, 펄스파형의 진폭감도를 결과로 제시하였다.

진단영상 실험은 Medison사의 Solidus Live 진단장비를 사용하여 각각의 프로브 샘플들에 대해 근거리 감도영상과 진단영상을 획득하였다. 근거리 감도영상은 프로브 음향렌즈에 니들을 밀착하고 음향렌즈와 니들 사이의 다중 반사 영상을 측정하는 방법으로, 영상의 왜곡이 나타난 위치는 N1으로 표시하였다. N1은 정상 엘리먼트의 감도측정 결과와 비교하여 -3dB이하의 휘도를 나타내는 지점으로 결정하였다. 진단영상은 성인 남성의 경동맥을 측정하고 영상의 왜곡이 나타난 위치에 L1으로 표시하였다.

표 3. 비정상 엘리먼트 판별을 위한 기준표

Table 3. Reference table for abnormal element detection

임펄스 응답결과	
I1 (양호)	평균진폭의 80% 이상의 진폭특성을 나타내는 엘리먼트
I2 (비정상)	평균진폭의 50% 이상 80% 미만의 진폭특성을 나타내는 엘리먼트
I3 (불량)	평균진폭의 50% 미만의 진폭특성을 나타내는 엘리먼트
음장결과	
A1	최대진폭이 2.5V이하인 채널
A2	채널별 음장영상에서 왜곡을 나타내는 위치
진단영상결과	
L1	진단영상 평가실험에서 영상밖기의 왜곡
N1	근거리 진폭 영상 실험에서 밝기 왜곡

표 3은 본 연구에서 수행한 실험의 결과들을 서로 비교하기 위해 정상 · 비정상의 판별기준을 분류한 기준표이다.

**IV. 실험결과 및 고찰**

**A. 임펄스 응답특성 평가**

표 4와 그림 5는 프로브 샘플들에 대한 임펄스 응답특성 실험의 결과를 정리한 것으로서, 그림의 X축은 각 1~128번까지의 엘리먼트를 나타내고 Y축은 각 엘리먼트의 진폭을 나타낸다.

표 4. 임펄스 응답특성 결과표

Table 4. Results of impulse response

	프로브샘플 1	프로브샘플 2	프로브샘플 3
평균진폭	5.792mV	5.725mV	5.820mV
I2를 나타낸 엘리먼트	-	102, 103, 105	10, 12, 23, 106
I3을 나타낸 엘리먼트	-	104	-

프로브 샘플 1은 임펄스 응답특성 실험결과, 엘리먼트들의 평균 진폭이 5.792mV로 나타났다. 프로브 샘플 1번에서는 I2와 I3는 발생하지 않았지만, 엘리먼트 9~13번에서 평균보다 약한 진폭의 감소가 확인되었다. 그러나 이는 I2의 기준인 평균진폭의 80% 이상이므로 정상으로 판정하였다.

프로브 샘플 2번은 임펄스 응답특성 실험결과, 엘리먼트 102, 103, 105 번에서 I2가 확인 되었으며, 104번은 I3가 발생되었다. 그 외의 다른 엘리먼트들은 양호한 측정결과를 보였고, 평균진폭은 5.725mV로 나타났다.

프로브 샘플 3번은 임펄스 응답특성 실험결과에서 10, 12, 23, 106번 엘리먼트가 I2로 확인되었고 평균진폭은 5.820mV로 양호하게 나타났다.

임펄스 응답특성 평가의 결과는 표 2에 나타낸 프로브 샘플들의 불량내용과 같은 결과를 보이고 있음을 확인할 수 있다.

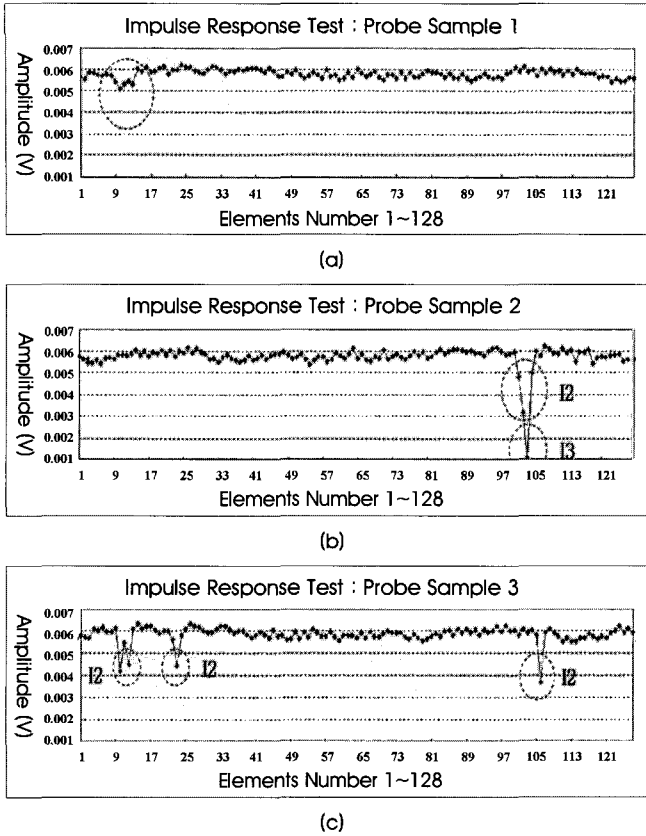


그림 5. 각 샘플별 임펄스 응답특성: (a) 프로브 1, (b) 프로브 2, (c) 프로브 3  
 Fig. 5. Impulse response for each samples : (a) probe 1, (b) probe 2, (c) probe 3

**B. 진단영상 평가**

그림 6은 프로브 샘플 1의 평가결과로서 (a)는 근거리 감도영상의 결과이고, (b)는 경동맥 진단영상의 결과를 나타낸다. 프로브 샘플 1은 8, 12, 18, 27, 48번 엘리먼트에서 N1이 발생하였고, 경동맥 진단영상은 엘리먼트 8~14번 사이에서 L1으로 판단되는 영상의 왜곡이 확인되었다. 그러나 48번 엘리먼트에서 나타나는 N1은 진단영상 평가에서 L1으로 확인되지 않았다. L1이 발생한 위치는 임펄스 응답특성 실험에서 I2에 가까운 결과를 나타낸 9~13번 엘리먼트의 위치이다. 이 결과는 임펄스 응답특성 실험에서 판별되지 않은 엘리먼트들의 진폭감소가 실제 진단영상의 왜곡을 일으킬 수 있음을 보여주고 있다.

그림 7은 프로브 샘플 2의 평가결과로서 (a)는 근거리 감도영상의 결과이고, (b)는 경동맥 진단영상의 결과를 나타낸다. 프로브 샘플 2는 40~44, 52~54, 68~70, 95, 102~105번 엘리먼트의 위치에서 N1이 발생하였고, 7-(b) 남성경동맥 측정영상에서 L1으로 판단되는 명확한 영상의 왜곡이 확인되었다. L1이 발생한 위치는 프로브 엘리먼트의 배열 상 102~105번으로서 임펄스 응답특성에서 I2와 I3가 발생한 위치와 같다. 프로브 샘플 2번은 임펄스 응답특성 실험과 진단영상 평가실험에서 확인한 엘리먼트 이상을 확인할 수 있기 때문에 불량으로 판정하였다.

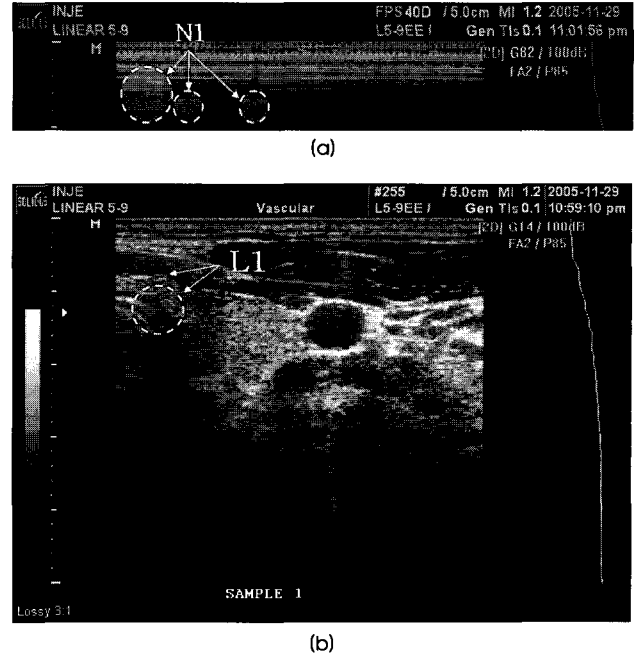


그림 6. 프로브 샘플 1의 영상평가: (a) 근거리 진폭특성 (b) 남성 경동맥 측정 영상  
 Fig. 6. The image test of probe sample 1 : (a) near amplitude test, (b) human carotid artery image

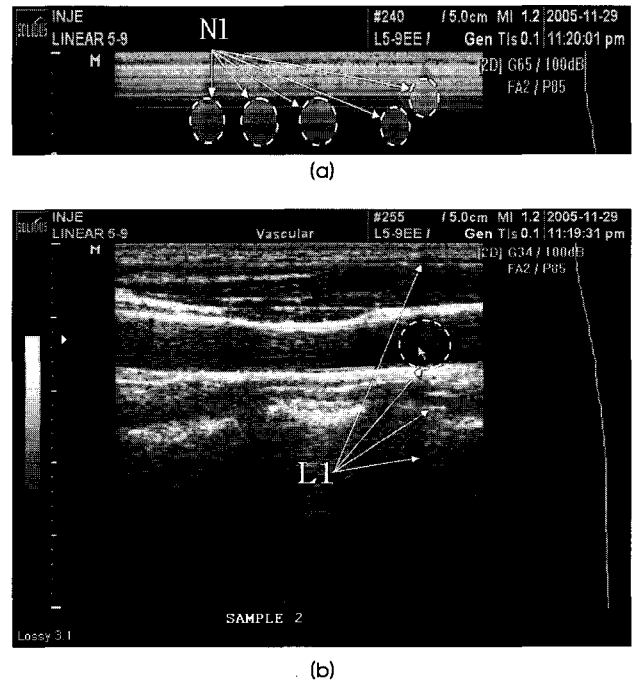


그림 7. 프로브 샘플 2의 영상평가: (a) 근거리 진폭특성 (b) 남성 경동맥 측정 영상  
 Fig. 7. The image test of probe sample 2 : (a) near amplitude test, (b) human carotid artery image

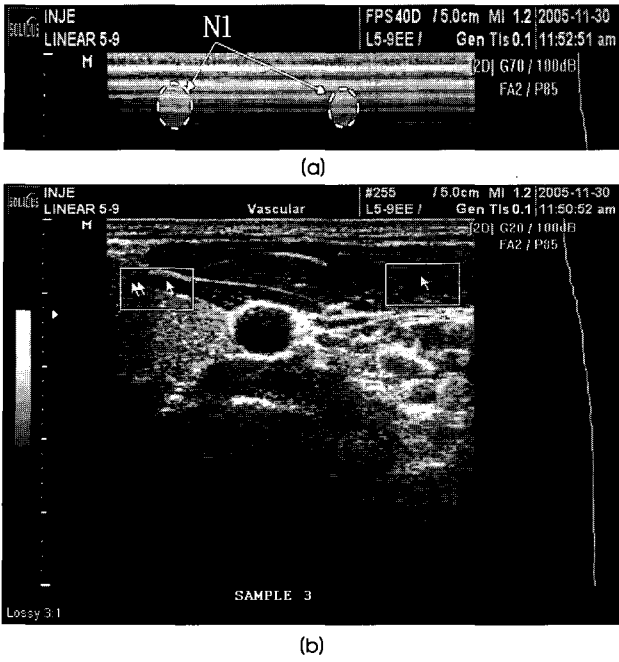


그림 8. 프로브 샘플 3의 영상평가: (a) 근거리 진폭특성 (b) 남성 경동맥 측정 영상

Fig. 8. The image test of probe sample 3 : (a) near amplitude test, (b) human carotid artery image

그림 8은 프로브 샘플 3의 평가결과로서 (a)는 근거리 감도영상의 결과이고, (b)는 경동맥 진단영상의 결과를 나타낸다. 프로브 샘플 3은 26, 27, 82번 엘리먼트의 위치에서 N1이 발생하였고, 경동맥 진단영상은 진단영상 평가결과는 매우 양호하게 나타났다. 그림 8-(b)의 화살표는 임펄스 응답특성 실험에서 I2가 발생한 위치를 나타낸 것이다. 이 결과는 임펄스 응답특성 실험에서 I2를 나타내는 엘리먼트가 있음에도 진단영상 실험에서는 그 결과가 양호하게 나타나는 경우가 발생함을 보여준다.

C. 음장분포 패턴 평가

그림 9는 정상적인 음장분포를 나타낸 프로브 샘플 1, 채널 41번에 대한 실험결과이다. 비정상 엘리먼트가 발견되지 않은 정상적인 채널들은 모두 채널 41번의 결과와 같이 가우시안 분포를 가진 음장이 형성하였다.

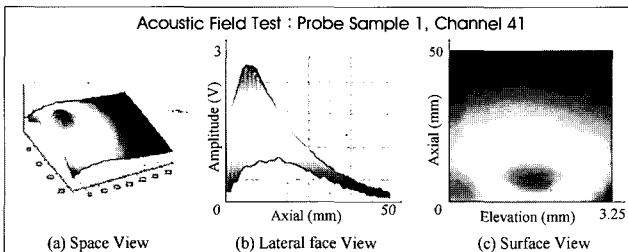


그림 9. 정상 음장분포 패턴을 나타낸 채널 : 프로브 샘플 1, 채널 41  
Fig. 9. The normal acoustic field patterns : probe sample 1, channel 41

그림 10은 프로브 샘플 1, 2, 3의 음장분포 측정 결과 중 비정상적인 음장을 형성하는 채널들에 대한 결과를 나타내고 있다.

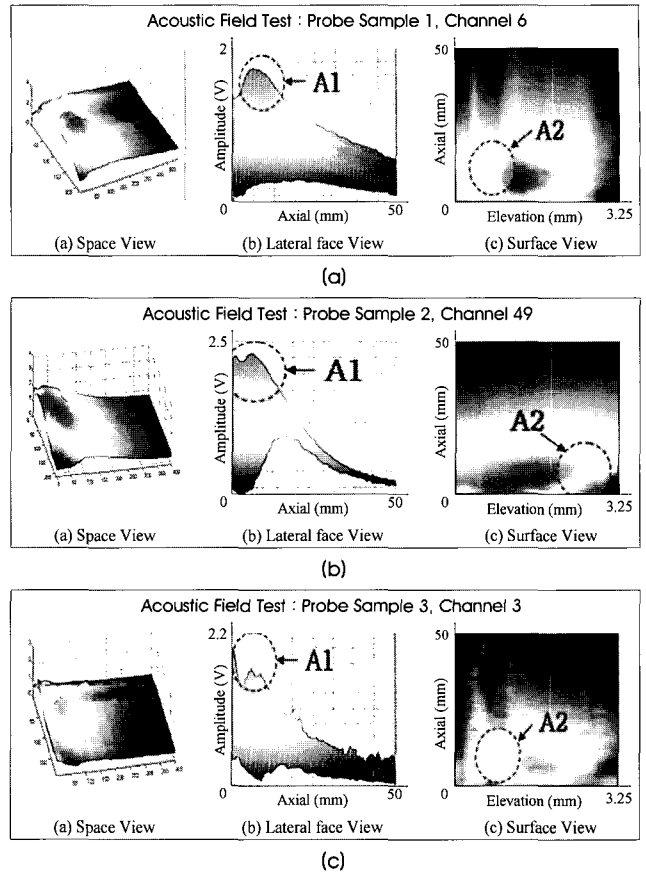


그림 10. 비정상 음장패턴을 나타낸 채널들: (a) 프로브 샘플 1, 채널 6 (b) 프로브 샘플 2, 채널 49 (c) 프로브 샘플 3, 채널 3  
Fig. 10. The abnormal acoustic field patterns: (a) probe sample 1 : channel 6, (b) probe sample 2 : channel 49, (c) probe sample 3 : channel 3

그림 10-(a)는 프로브 샘플 1의 채널 6번에 대한 음장분포 측정 결과를 나타내고 있다. 채널 6번은 임펄스 응답특성 실험에서 정상적인 음향특성을 나타냈지만, 진단영상 평가실험에서는 L1이 발견되었던 13, 14번 엘리먼트를 포함한 채널이다. 채널 6번의 음장분포는 앞서 설명한 정상적인 채널의 음장분포가 가우시안 형태로 나타나는 것에 비해 가우시안 형태를 갖지 못하고 왜곡되어 있음을 확인할 수 있다. 즉 (a)의 좌측 그림에서 그림의 좌측 부분에서 음압이 낮게 형성되었고, 그림의 중심에서 발생되어야 할 최고 음압이 좌측으로 치우쳐져 있음을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 채널 6의 일부 엘리먼트가 구조적으로 균일하게 정렬되어있지 않아 발생한 결과로 해석할 수 있다.

엘리먼트간 정렬의 불균형과 같은 구조적인 결함을 가지고 있는 엘리먼트는 채널음장의 불균일성을 유발하며, 불균일하게 중첩된 음장은 그림 6과 같이 진단영상에 왜곡을 나타낼 수 있다. 이는 임펄스 응답특성 실험에서 나타나지 않는 프로브의 구조적 문제도

음장분포 측정 방법에서는 음장이미지를 가시화하는 것만으로도 검출이 가능하다는 것을 의미한다.

그림 10-(b)는 프로브 샘플 2의 채널 49번에 대한 음장분포 측정 결과를 나타내고 있다. 채널 49번은 임펄스 응답특성 실험에서 I3를 나타내고 진단영상 실험에서 L1의 왜곡을 나타냈던 106번 엘리먼트를 포함한 채널이다. (b)의 좌측 그림에서 음장분포를 보면 채널의 우측아래, 즉 106번 엘리먼트에서 음장이 거의 형성되지 않고 있음을 확인할 수 있기 때문에 49번 채널은 그림의 우측에 위치하는 엘리먼트들이 거의 동작되지 않는 것으로 판단할 수 있다. 특히 106번 엘리먼트는 앞서 수행하였던 모든 실험에서 명백한 왜곡을 나타내고 있다. 따라서 이는 엘리먼트의 열화, 또는 케이블의 단선에 의한 불량으로 판정이 가능하다. 채널의 우측 엘리먼트들에 대하여 불량으로 판정할 수 있음에도 음장의 최고음압 부분이 좌측에서부터 채널의 중심까지 넓게 분포하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이것은 I2, I3로 인해 채널의 최고음압이 낮게 형성되었고 I2를 나타낸 엘리먼트 102번이 99번 엘리먼트 쪽으로 비틀려 있는 엘리먼트간 정렬 불균형이 발생했기 때문으로 판단할 수 있다. 프로브 샘플 2번의 실험 결과를 범용적인 프로브 평가방법인 임펄스 응답특성 실험, 진단영상 평가실험에서 모두 비정상상으로 나타난 경우 음장분포 측정에서도 같은 결론이 도출됨을 확인할 수 있다.

그림 10-(c)는 프로브 샘플 3의 채널 3번에 대한 음장분포 측정 실험 결과이다. 엘리먼트 7~14번으로 구성된 채널 3번은 임펄스 응답특성 실험에서 I2를 나타낸 10번과 12번을 포함하고 있다. 그러나 진단영상 평가실험에서는 채널 3번의 영향으로 인한 L1은 발견되지 않았다. (c)의 중앙에 있는 그림은 측 방향에서 확인한 채널의 음장분포로서 정상적인 채널분포에 비해 프로브의 최고음압 지점이 앞쪽에서 발생되며, 빔 축 방향의 빔 프로파일의 분포가 고르게 형성되지 못함을 확인할 수 있다. 또한 (c)의 좌측 그림을 보면, 채널이 형성하는 최고음압 영역이 전체적으로 낮게 형성됨을 알 수 있다. 채널 3번의 음장분포 실험은 각 엘리먼트에서 발생하는 음장이 I2를 나타내는 엘리먼트에 의해 불균일하게 중첩된 결과로 판단된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 음장분포 측정 시스템을 제작하고, 불량 판정을 받은 진단용 프로브 샘플 3개에 대한 채널별 음장분포 측정실험을 수행하였다. 그리고 현재 진단용 프로브의 평가방법으로 많이 사용되는 임펄스 응답특성 실험과 진단영상 실험을 수행하여 각각의 실험결과를 비교분석하였다.

그 결과, 임펄스 응답특성 실험과 진단영상 측정실험결과에서 모두 정상이거나 모두 비정상상을 나타낸 경우, 음장분포 측정실험에서도 같은 결과를 확인할 수 있었으며, 기존의 평가방법에서 불량 이유가 명확하거나 프로브의 동작이 정상인 경우, 음장분포 측정실험이 재현성을 가짐을 확인할 수 있었다. 또한, 임펄스 응답 특성 실험으로는 확인하기 어려운 엘리먼트간 정렬 불균형이 진단

영상과 음장분포에 미치는 영향과 진단영상에서 문제를 가짐에도 불구하고 임펄스 응답특성 실험에서 확인되지 않는 비정상 엘리먼트들을 음장분포 측정실험에서는 분석이 가능함을 확인하였다. 임펄스 응답특성 실험 결과에서 비정상 엘리먼트가 확인되었지만 진단영상에서 문제를 나타내지 않은 경우에도 비정상 엘리먼트가 공간적 음장분포에 미치는 영향을 확인할 수 있었다.

진단영상의 왜곡에 영향을 주지 않는 엘리먼트라도 임펄스 특성과 음장 특성이 이상을 나타낼 경우, 열화가능성이 높고, 측정부위나 진단장비의 설정에 의해 왜곡현상을 일으킬 수 있기 때문에 불량을 판별해야할 필요가 있음을 확인하였다.

현재까지의 실험결과를 바탕으로 프로브 엘리먼트의 이상요인에 의한 음장분포의 왜곡을 정량적으로 검토하는 연구를 진행할 것이며, 추후 이를 포함한 프로브의 정량적 평가방법에 관한 연구 결과를 발표할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] K. R. Erikson, F. J. Fry, and J. P. Jones, "Ultrasound in medicine - A review," *IEEE Trans. Sonics Ultrason.*, vol. SU-21, pp. 144 - 170, 1974.
- [2] [http://www.bipm.org/enus/2\\_Committees/](http://www.bipm.org/enus/2_Committees/)
- [3] Mills, D. M, "Medical Imaging with capacitive micromachined ultrasound transducer(cMUT) array," in *Proc. IEEE Ultrason. Symp.*, pp. 384-390, 2004.
- [4] F. V. Hunt, *Electroacoustics: The Analysis of Transduction, and Its Historical Background.*, New York, USA: Acoustical Society of America, 1982.
- [5] W. A. Smith, "The role of piezocomposites in ultrasonic transducers," in *Proc. IEEE Ultrason. Symp.*, 1989, pp. 755 - 766
- [6] S. W. Smith, H.G. Pavy, Jr., and O. T. von Ramm, "High-speed ultrasound volumetric imaging system - Part I: Transducer design and beam steering," *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr.*, vol. UFFC-38, pp. 100 - 108, Mar. 1991.
- [7] O. T. von Ramm, S. W. Smith, and H. G. Pavy, Jr., "Highspeed ultrasound volumetric imaging system - Part II: Parallel processing and image display," *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr.*, vol. UFFC-38, pp. 109 - 115, Mar. 1991.
- [8] Korean Standards Association, KS P 1216, MANUAL SCANNING B-MODE ULTRASONIC DIAGNOSTIC EQUIPMENT, 2001.
- [9] S. D. Sagong, M. J. Jo, B. Y. Choi, "Design of the calibration system for determining the sensitivity of ultrasonic transducer," *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 200-207, 1999.
- [10] S. Holm, "Bessel and Conical Beams and Approximation with Annular Arrays," *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect., and Freq. Contr.*, vol. 45, no.3, pp. 712-718, 1998.
- [11] L. Azar and S. C. Whoo, "Experimental Characterization of Ultrasonic Phased Arrays for the Nondestructive Evaluation of Concrete Structures," *Materials Evaluations.*, vol. 75, no. 2, pp. 134-140, 1999.
- [12] Korean Standards Association, KS P IEC 61102, Measurement and characterization of ultrasonic fields using hydrophones in

the frequency range 0.5MHz to 15MHz, 2004.

[13] H. H. Choi, *Medical Ultrasound : Interscience*, 2002.

[14] James A. Zagzebski, *Essential of Ultrasound Physics*, 2nd ed. Mosby-Year Book, 1996.

[15] A. Macovski, "Ultrasonic Imaging Using Arrays", in *Proc. IEEE*, vol. 67, no. 4, pp. 484-495, 1979.

[16] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, New York, USA : McGraw Hill Inc., 1996.

[17] R. Krimholtz, J.D. Fraser and G.S. Kino, *New Equivalent Circuits for Elementary Piezoelectric Transducer*, Electronics Letters6, 1970, pp. 398-399.

[18] G. R. Harris, "Hydrophone measurement in diagnostic ultrasonic fields," *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec., Freq. Contr.*, UFFC-35, pp. 87, 1988.

[19] J. A. Jensen, *A new calculation procedure for spatial impulse responses in ultrasound* : In press, JASA, 1999.

[20] D. R. Bacon, "Ultrasonic Schlieren using a pulsed gaslaser," *IEEE trans. Sonics Ultrason.*, vol. 43, pp. 282-285, 1971.

[21] B. Schneider and K. K. Shung, "Quantitative analysis of pulsed ultrasonic beam patterns using a Schieren System," *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr.*, vol. 43, pp. 1181-1186, 1996.

[22] J. Meunier, "Ultrasonic texture motion analysis: theory and simulation," *IEEE Transactions on medical imaging*, vol. 14, pp. 293 ~ 300, 1995.