

## &lt;원저&gt;

## 초음파 프로브에서 인접 단위 소자군(SAE) 결함이 도플러 영상에 미치는 영향

## - Influence to the Doppler Images by the Defects of SAE in the Probe of Medical Ultrasonic Scanners-

제주한라대학교 방사선과

이경성

## — 국문초록 —

초음파 진단기에서 프로브는 화질에 차지하는 비중이 크면서도 결함 발생 빈도가 높다. 그러므로 초음파 QA에 있어서는 프로브 관리를 중심으로 수립되어야 한다. 이를 위해서는 초음파 프로브의 성능이나 결함이 초음파 화질에 미치는 영향에 대한 선행 연구가 요구된다.

본 연구는 초음파 프로브 소자의 결함이 도플러 영상에 미치는 영향을 평가하고자 한 것이다. 프로브 소자 결함이 발생하는 여러 유형 중에서 본 연구에서는 동시에 단선된 일정 단위의 인접한 프로브 소자군(a set of adjacent elements: SAE)의 결함이 도플러 영상에 미치는 효과를 평가하였다.

실험 결과를 보면 프로브 소자 결함은 그 크기가 클수록 도플러 활동 소자군 중심부에 위치할수록 도플러 영상의 밝기 및 도플러 속도를 크게 감소시키는 것으로 나타났다. 결함이 증가할수록 도플러 속도와 영상의 밝기의 분산이 더 커지는 것으로 나타났다. 결함 소자의 수와 위치에 따라 스펙트럼에서 강도와 속도는 일치하지 않은 것을 알 수 있었다. 그리고 일정 수준 이상의 프로브 소자의 결함은 도플러 모드에서 활성화 되는 소자군 부근에서 도플러 속도에 영향을 주고 있는 것을 확인할 수 있었다. 초음파 QA, 초음파 프로브 소자 결함, SAE, 도플러 영상

**중심 단어:** 초음파 QA, 초음파 프로브 소자 결함, SAE, 도플러 영상

## I. 서 론

이제는 우리나라 사람들도 과거와는 달리 서구화된 식습관과 사회구조적 스트레스 등으로 인해 심혈관계 질환이 늘어나고 있다. 이에 따라 초음파 도플러 영상을 이용한 혈관 초음파 검사가 증가하고 있다. 초음파 도플러 영상에 있어서 화질은 검사결과에 많은 영향을 미친다.

초음파 진단기에서 화질에 영향을 미치는 중요한 인자로 초음파 프로브를 들 수 있다. 프로브와 초음파 화질과의 상관성에 대해서 Kang et al<sup>1)</sup>, Weigang et al<sup>2)</sup>의 연구를 보

면 프로브의 성능에 따라 화질이 변화하고 있는 것을 보여주고 있다. 따라서 프로브의 성능과 상태가 초음파 화질을 좌우한다고 볼 수 있다.

초음파 장비의 결함이 발생하는 유형 중에서 프로브가 차지하는 비중이 가장 크다. 초음파 진단 특성상 초음파 프로브는 움직임이 많아 문제 발생 확률이 높다. 그러므로 초음파 검사 QA(Quality Assurance)에 있어서는 프로브 관리를 중심으로 수립되어야 할 것으로 여겨진다. 프로브가 화질에 차지하는 비중이 크면서도 결함 발생 빈도가 높기 때문이다<sup>3)</sup>. 초음파 프로브에 기반을 둔 초음파 검사 QA를 수

\* 본 논문은 제주대학교 대학원 박사학위 논문 중 일부내용을 발췌 수정한 것입니다(2008).

교신저자: 이경성 (690-708) 제주시 한라대로38 제주한라대학교 방사선과. Tel: 02-940-2824 / E-mail: minbogun@korea.ac.kr  
접수일(2015년 01월 31일), 심사일(2015년 02월 11일), 확정일(2015년 03월 16일)

립하기 위해서는 초음파 프로브의 성능이나 결함이 초음파 화질에 미치는 영향에 대한 선행 연구가 요구된다.

본 연구는 이러한 배경아래에서 초음파 진단 장치의 핵심 부분인 초음파 프로브 소자의 결함이 도플러 영상에 미치는 영향을 평가하고자 한 것이다. 초음파 프로브 소자결함 유형의 경우 수는 다양하기 때문에 일률적으로 말할 수 없다. 다양한 형태의 소자결함을 실험하여 도플러 영상에 미치는 효과를 살펴보아야 한다. 결함이 발생하는 여러 경우 중에서 본 연구에서는 동시에 단선된 일정 단위의 인접한 프로브 소자군(a set of adjacent elements: SAE)의 결함이 도플러 영상에 미치는 효과를 평가하고자 하였다. 일반적으로 소자결함은 프로브를 취급하다가 물리적인 충격 등으로 인해 일정부분이 인접하여 그룹으로 결함이 나타나기 때문이다.

이처럼 여러 형태의 소자 결함과 화질과의 관계에 대한 연구가 진행된다면, 연구의 내용은 향후 초음파 프로브에 기초한 초음파 QA를 위한 실용적인 도구로 활용될 수 있을 것이다.

## II. 실험 장비 및 방법

### 1. 실험장비

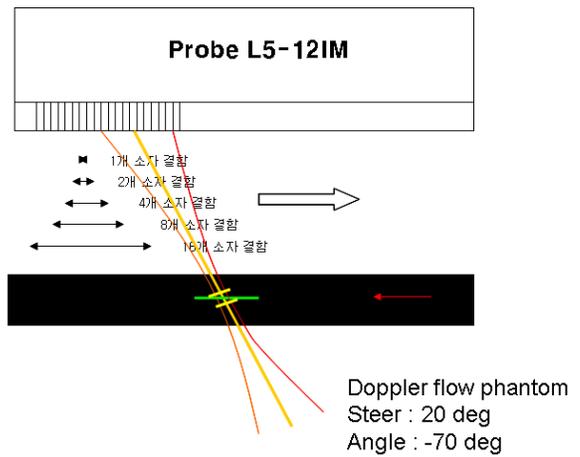
본 실험에서 장비는 초음파 진단기(SA-9900 PRIME, Medison, Korea) 및 선형 초음파 프로브(5-12 MHz Linear Probe)를 사용하였다. 실험의 표준화를 위해 QA용 도플러 팬텀(Gammex 1425A LE Doppler Flow System, GAMMEX Inc., Middleton, WI 53562-0327, USA)을 가지고 다양한 형태의 혈류(모드 및 속도)를 실험적으로 구현하여 영상을 얻었다. 초음파 프로브 소자의 결함은 소자를 인위적으로 전기적인 단선으로 구현하였다<sup>4)</sup>. 이를 위해 초음파 장비 본체에서 소자로 가는 신호를 중간에서 단선하여 소자를 통한 초음파 송수신을 불가능하도록 만든 특수한 패널을 제작하였다.

### 2. 실험 방법

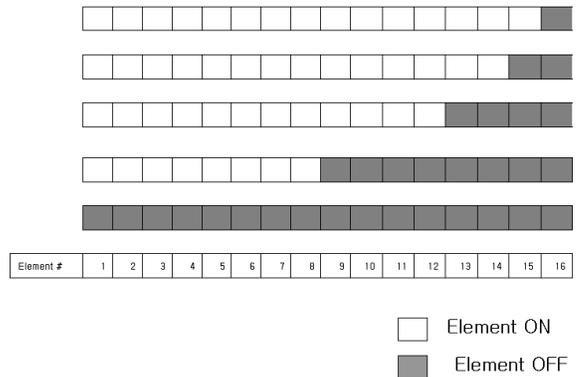
프로브에서 소자의 결함은 프로브를 취급하다가 물리적인 충격(cracks) 등으로 인해 발생하는 경우이므로 몇 개의 소자가 그룹으로 발생한다. 이처럼 인접단위 소자군의 결함이 도플러 영상에 미치는 효과를 평가하기 위해, 동시에 단선된 일정 단위의 인접한 프로브 소자군(a set of adjacent elements: SAE)의 결함을 실험적으로 구성하였다.

SAE는 단위 결함 소자의 수가 1개, 2개, 4개, 8개, 16개로 하였으며, 이 프로브 소자의 결함을 왼쪽에서 오른쪽으

로 순차적으로 이동하면서 도플러 영상을 얻었다 (Figure 1). SAE의 위치를 설정하기 위해 SAE의 오른쪽 끝 소자 즉 번호가 가장 높은 소자를 기준으로 하였다(Figure 2). 실험용 팬텀의 혈류흐름 속도는 50cm/sec로 하였고, 팬텀에서 혈관의 위치는 2cm 깊이에 위치하며 도플러 각은 70도로 설정하여 실험을 수행하였다. 선형 프로브를 가지고 실험하였으므로 경동맥 초음파검사와 동일한 설정을 사용하였다<sup>5)</sup>.



**Figure 1** Process of acquiring Doppler images as was moving a set of disconnected elements from the left to the right.



**Figure 2** The highest number of the element in SAE was taken as reference for locating it. The all SAE shown in the picture are regarded to be located at the number of 16.

### 3. 통계 분석

통계분석은 SPSS V20(IBM Corp, US)을 사용하여 빈도 분석과 집단별 평균분석, 경향성 분석, 상관관계 분석을 시행하였다.

### III. 실험 결과 및 토의

#### 1. 실험 결과

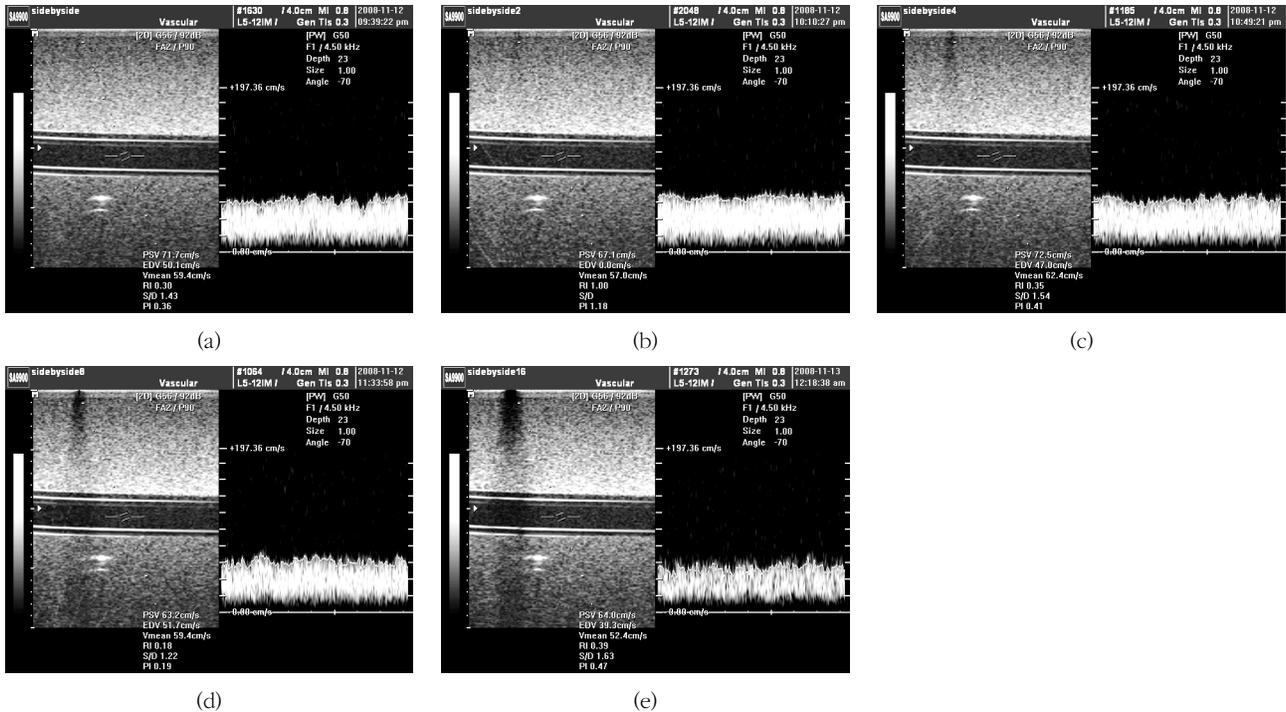
SAE 결함이 도플러 영상에 미치는 효과를 평가하기 위해, SAE를 1개, 2개, 4개, 8개, 16개 단위로 단선한 결함을 순차적으로 이동하면서 도플러 영상을 얻었다. Figure 3은 프로브 소자가 1개, 2개, 4개, 8개, 16개의 5가지 단위로 연속하여 단선된 SAE 결함이 프로브의 좌에서 우로 이동할 때 얻은 도플러 영상중 하나이다. Figure 4는 5가지 SAE 결함의 위치가 이동할 때 도플러 영상의 밝기 평균(즉 도플러 신호크기의 평균)의 변화를 비교한 것이다.

Figure 3에서 보여주듯이 SAE 결함의 개수가 증가하면 도플러 영상의 밝기가 전체적으로 감소한다. 단위 결함의 위치가 도플러 모드에서 작동하는 소자군(Elements activated in Doppler mode: EAD, 도플러 활동 소자군)에 진입하면서 도플러 영상의 밝기는 서서히 감소하다가 SAE 결함의 위치가 도플러 소자 군을 벗어나면서 다시 서서히 회복한다. 영상의 밝기(도플러의 신호의 크기)가 최저점이 되는 위치는 단위 소자군의 수가 16, 8, 4, 2로 감소할 때 각각 소자

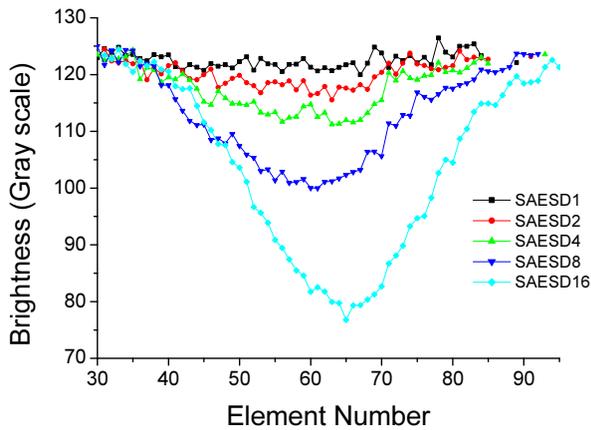
번호 67, 63, 63, 61로 변화하고 있다. 단위 소자군의 수가 1개인 경우는 위치에 따른 밝기의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

Figure 5는 SAE(1개, 2개, 4개, 8개, 16개)의 결함을 소자 번호 20부터 오른쪽으로 이동하며 얻은 도플러 영상으로부터 측정된 도플러 속도 변화를 보여준다. SAE 결함의 수가 크지 않을 때(4개 이내), 도플러 속도의 변화는 유의하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 SAE 결함의 수가 8개 이상으로 증가하면, 도플러 속도는 SAE 결함의 위치가 도플러 소자군 부근에서 크게 감소하고 있다.

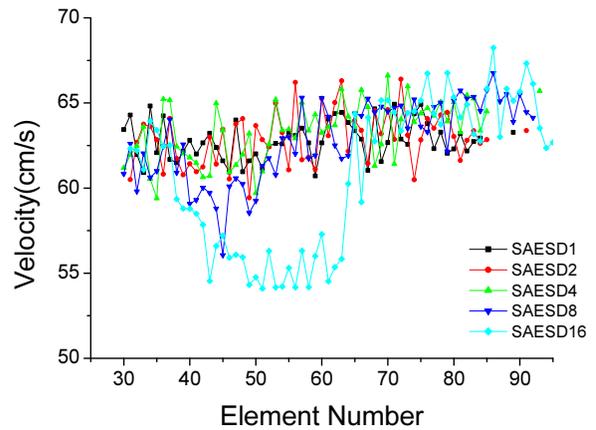
Figure 4와 Figure 5에서 독립적으로 도시한 도플러 신호의 크기와 도플러 속도를 동시에 표현하면 Figure 6과 같다. Figure에서 볼 수 있듯이 SAE 결함의 위치에 따라 반응하는 도플러 신호의 크기와 속도는 약간 다르다. 즉 도플러 속도는 도플러 크기에 비해 먼저 급격히 감소하며, 도플러의 크기가 최저점에 이르기 전에 다시 급격하게 상승하여 본래의 값을 회복하고 있다.



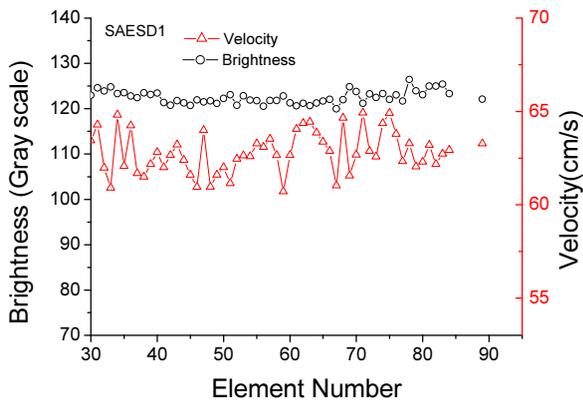
**Figure 3** Examples of the Doppler images obtained using the probe with a set of adjacent elements (1, 2, 4, 8, 16) simultaneously disconnected (SAESD) moving from the left to the right, (a) SAESD 1 of the element 59 disconnected, (b) SAESD 2 of the element 58 and 59 disconnected, (c) SAESD 4 of the 4 elements from 57 to 60 disconnected, (d) SAESD 8 of the 8 elements from 55 to 62 disconnected, (e) SAESD 16 of the 16 elements from 50 to 65 disconnected.



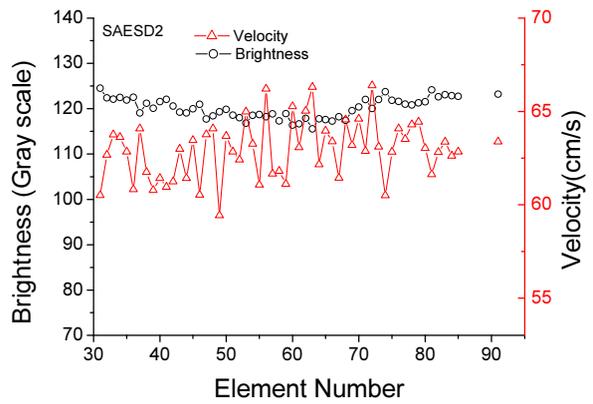
**Figure 4** Variations of the mean brightness of the Doppler images obtained using the probe with a set of adjacent elements (1, 2, 4, 8, 16) simultaneously disconnected (SAESD) moving from the left to the right at the flow rate of 50 cm/sec set in the Doppler phantom.



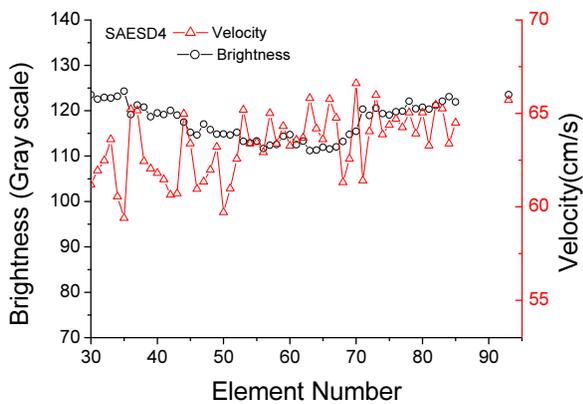
**Figure 5** Variations of the mean Doppler velocity measured from the Doppler spectra obtained using the probe with a set of adjacent elements (1, 2, 4, 8, 16) simultaneously disconnected (SAESD) moving from the left to the right at the flow rate of 50 cm/sec set in the Doppler phantom.



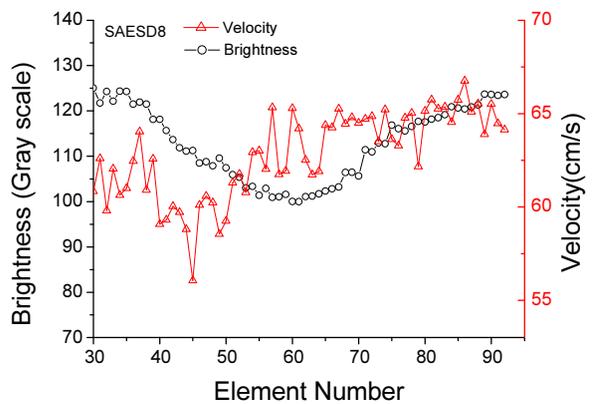
(a)



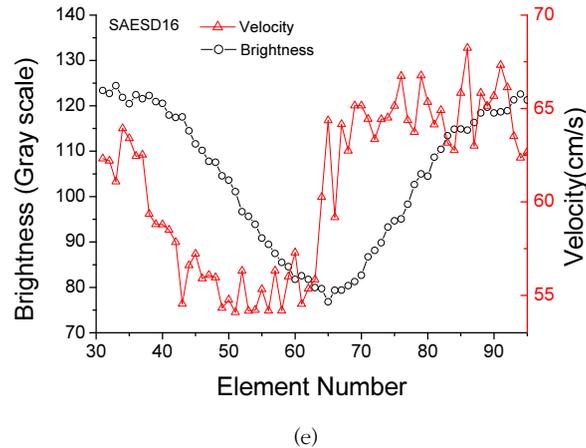
(b)



(c)



(d)



**Figure 6** Variations of both the mean Doppler velocity measured and the Doppler spectra obtained using the probe with a set of adjacent elements (1, 2, 4, 8, 16) simultaneously disconnected (SAE-SD) moving from the element number 30 to 95 at the flow rate of 50 cm/sec set in the Doppler phantom. (a) SAE-SD 1, (b) SAE-SD 2, (c) SAE-SD 4, (d) SAE-SD 8, (e) SAE-SD 16.

## 2. 토 의

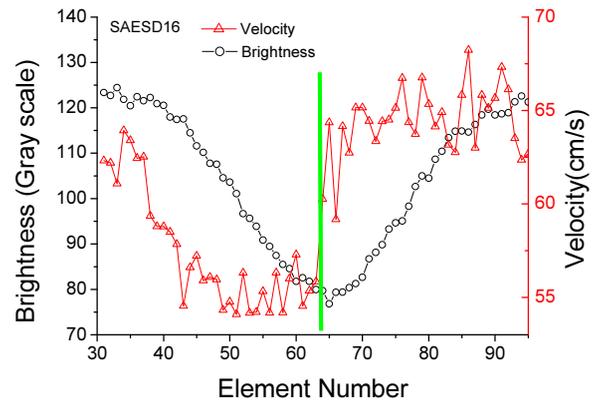
일반적으로 수백 개로 구성된 프로브 소자의 결함은 종종 다른 위치에 있는 1개 단위로 나누어 있는 경우보다는 인접한 여러 개의 단위 소자 군에 결함이 모여 있는 경우가 많다. 본 연구에서는 인위적으로 1, 2, 4, 8, 16개의 SAE를 단선한 후 위치를 이동하며 도플러 영상에 미치는 영향을 평가하였다<sup>6)</sup>. 본 실험에서 SAE의 위치를 정할 때의 기준은 SAE에서 번호가 가장 높은 소자, 즉, 소자 군에서 가장 우측이 위치하는 소자로 하였다(Figure 2). SAE의 위치가 도플러 소자군 범위를 벗어나도 일부 소자들이 도플러 소자군 범위 내에 잔존하여 결함 개수가 작은 경우보다 넓은 영역에서 영향을 미치게 된다.

Figure 6은 SAE를 30번 소자 위치에서 95번까지 이동하면서 얻은 도플러 영상을 분석한 것이다. Figure에서 볼 수 있듯이 SAE의 크기가 증가할수록, 위치가 도플러 소자군 영역 중심부에 근접할수록 도플러 영상의 밝기 및 속도는 크게 감소한다. 영상의 밝기 및 도플러 속도의 최저값의 위치는 SAE 결함의 크기에 따라 다르게 나타났다. 도플러 영상에서 속도와 밝기는 약간은 다른 형태로 SAE의 결함에 반응한다. 도플러 영상의 밝기는 일반적으로 도플러 속도보다 SAE의 결함에 더 민감하게 반응하고 있다<sup>7)</sup>. 도플러 영상에서 측정된 도플러 속도는 결함이 도플러 소자 군을 향해서 이동할 때 도플러 영상의 밝기보다 먼저 반응한다. 도플러 속도는 도플러 영상의 밝기가 최저점에 도달하기 전에 이미 최저점을 지나 급격히 정상 값을 회복하고 있다. 이러한 특성은 Figure 7과 같이 시간 평균 도플러 속도 프로

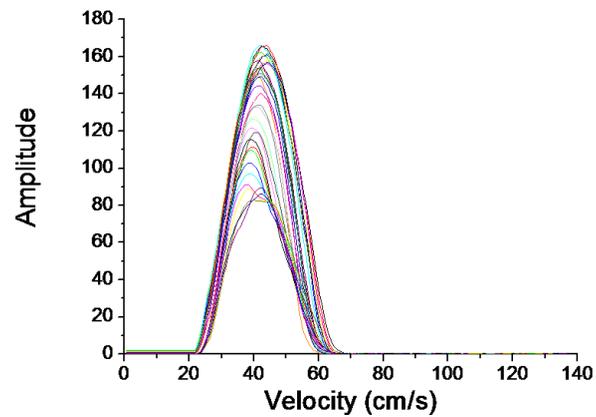
파일(time average Doppler velocity profile: TADVP)을 이용하여 도시할 수 있다<sup>8)</sup>. Figure 7에서 보면 16개의 SAE 결함을 이동하면서 TADVP가 65번 소자 위치 이후에서는 반대로 전환되는 것을 볼 수 있다.

도플러 속도와 영상의 밝기(강도)사이의 상관성은 Figure 8을 통해 좀 더 가시화될 수 있다. Figure 8은 5가지 SAE의 결함이 소자 번호 30에서 95로 이동하면서 측정된 도플러 속도와 영상의 밝기를 직교좌표 상에 도시한 것이다. Figure 8은 SAE 결함이 증가할수록 속도와 밝기의 분산이 더 커지는 것을 보여준다. Figure 8 (e)에서 보여주는 SAE 16개인 결함에 대해, 도플러 소자군 영역이 시작되는 A지점에서는 도플러 속도와 밝기가 비슷하게 유지하다가 SAE 결함의 위치가 점차 도플러 소자군 중앙부로 접근하는 B지점에서 속도는 급격히 감소한다. SAE 결함의 위치가 도플러 소자군 중앙부에 도달하면서 밝기는 점차 떨어지면서 C지점으로 이동하지만 속도는 비슷하게 유지되고 있다. C지점을 경계로 밝기는 거의 같은 수준을 유지하지만 도플러 속도는 급격히 상승하여 정상 값을 회복하여 D지점으로 이동한다. 이어서 밝기가 점점 회복되어 A지점으로 이동한다.

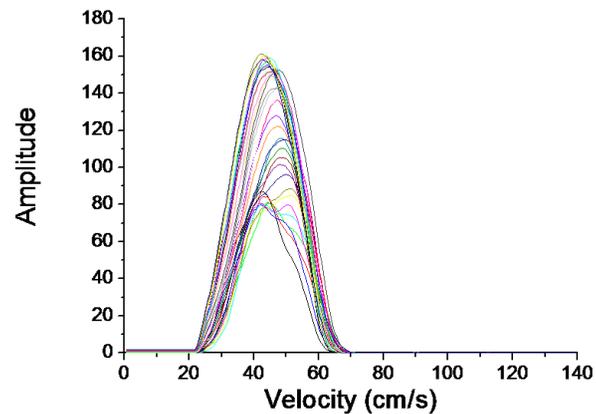
Figure 9의 (a)와 (b)는 SAE의 위치가 소자 번호 64에 있을 때 SAE 크기에 따른 도플러 영상의 밝기와 도플러 속도 변화를 보여준다. Figure에서 알 수 있듯이 SAE의 개수가 증가함에 따라 도플러 영상의 밝기와 속도는 선형적으로 낮아진다 (영상의 밝기:  $R=-0.99804$ , 도플러 속도:  $R=-0.95153$ )<sup>9)10)</sup>.



(a)

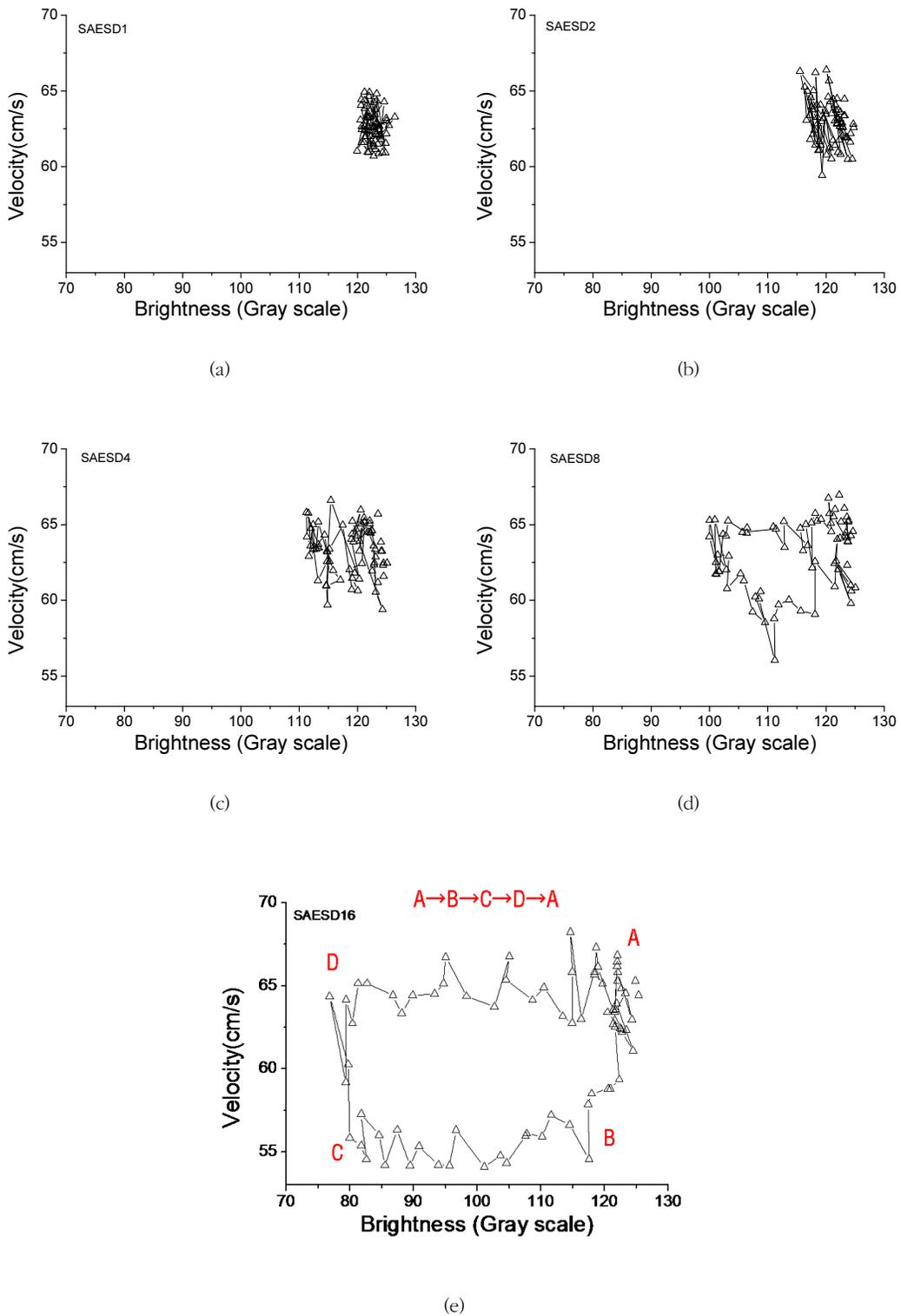


(b)

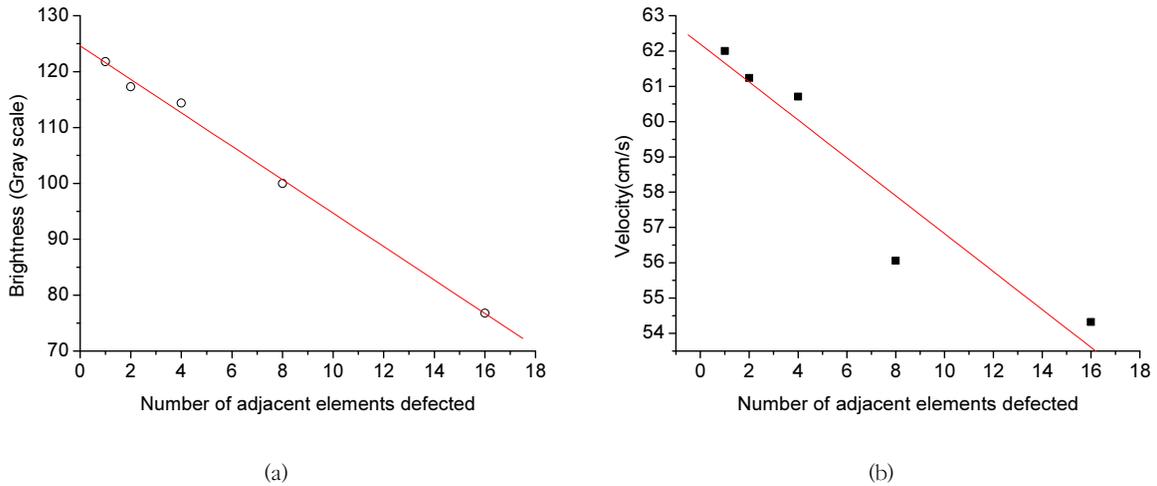


(c)

**Figure 7** (a) Mean Doppler velocity measured and brightness of the Doppler images obtained using the probe with a set of adjacent 16 elements simultaneously disconnected (SAE-SD) moving from the element number 30 to 95 at the flow rate of 50 cm/sec set in the Doppler phantom (the same as Figure 6 e). (b) TADVP before the element 0 to 64, (c) TADVP before the element 65 to 95.



**Figure 8** Relationship of the mean Doppler velocity and the mean brightness of the Doppler images obtained using the probe with 5 set of adjacent elements (SAE) simultaneously disconnected (SAE-SD) moving from the element number 30 to 95 at the flow rate of 50 cm/sec set in the Doppler phantom. (a) SAE-SD 1, (b) SAE-SD 2, (c) SAE-SD 4, (d) SAE-SD 8, (e) SAE-SD 16.



**Figure 9** Doppler images obtained using the probe with a set of adjacent 16 elements simultaneously disconnected at its location of the element number 64 at the flow rate of 50 cm/sec set in the Doppler phantom, (a) brightness of the image, (b) Doppler velocity.

#### IV. 결 론

본 연구는 프로브 소자에서 SAE 결함이 도플러 영상에 미치는 영향을 실험적으로 고찰한 것이다. 실험 결과를 가지고 추론하여보면 프로브 소자 결함은 그 크기가 클수록 도플러 활동 소자군 중심부에 위치할수록 도플러 영상의 밝기 및 도플러 속도를 크게 감소시키는 것으로 나타났다. 즉 도플러 활동소자 영역밖에 있는 소자 결함은 도플러 영상에 영향을 주지 못하고 있다. 결함이 증가할수록 도플러 속도와 영상의 밝기의 분산이 더 커지는 것으로 나타났다. 결함 소자의 수와 위치에 따라 스펙트럼에서 강도와 속도는 일치하지 않은 것을 알 수 있었다.

그러므로 일정 수준 이상의 프로브 소자의 결함은 도플러 모드에서 활성화 되는 소자군 부근에서 도플러 속도에 영향을 주고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 프로브에 소자의 결함이 생겼을지라도 결함의 위치가 도플러 활성 소자군 부근이 아니면 도플러 영상에 영향을 주지 않는다는 것을 의미한다<sup>11)</sup>.

본 연구에서 언급한 도플러 활동 소자군은 실험에서 사용한 초음파 진단기의 빔 포밍 알고리즘에 대한 정보를 필요로 하는 부분으로 제작자들이 공개하지 않고 있는 부분이다. 향후 도플러 소자 군에 대한 정보를 정확히 알 수 있다면 결함의 위치에 따른 도플러 영상의 변화에 대해 좀 더 명확한 해석을 할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 이 부분은 연구자들에게 실험 결과를 해석하기 위해 도움을 주는 자료이기는 하지만 QA 관점에서 반드시 필요한 정보는 아니다<sup>12)</sup>.

경제적인 초음파 QA를 위해 초음파 프로브에 대한 관리는

필요하다. 이를 위해서는 초음파 프로브의 성능 또는 결함이 초음파 화질에 미치는 영향에 대한 선행 연구가 요구된다. 본 연구의 내용은 이의 도구로 활용하기 위한 단계 중 하나이다.

#### 참고문헌

1. Kang G S, Choi M J, Park S S, Paeng D G, Gibson N M and Coleman A J : Deterioration of the quality of ultrasonic images caused by probe defects, Proc. Acoust. Soc. Kor. Conference 2005, 24, 165-168, 2005
2. Weigang B, Moore G W, Gessert J and Schafer M : The effect and mechanisms of ultrasound transducer degradation on the quality and clinical efficacy of diagnostic ultrasound examinations, Sonora Medical Systems, Longmont, USA (<http://www.4sonora.com>), White Paper 2008
3. Moore G W, Gessert J and Schafer M : Perspectives On Image Performance Assessment II : The Impact of Compromised Elements Within An Ultrasound Transducer On Image and Doppler Quality, American Association of Physicists in Medicine (AAPM) 45th Annual Meeting, San Diego, California, USA, 10~14 Aug 2003
4. Cho Yeong-hwan, Sung Keong-Mo : Design and Fabrication of Linear Array Transducer for

- Ultrasonic Medical Imaging System, Spring conference of The Korean society of Medical & Biological Engineering, collected papers 29–32 May 1990
5. Northeast Asia sales clinical team of Medison : Carotid ultrasound, Medison co, 2005
  6. Choi M J, Kang K S, Lee K S, Yang J H, Paeng D G , Kim C C, Rhim S, Gibson N and Coleman A : Low Contrast Sensitivity of B-mode Images against Ultrasonic Probe Defects, The World Federation for Ultrasound in Medicine & Biology, KOEX, Seoul, Korea, 28 May ~ 1 June 2006
  7. Chivers R C and Parry R J : Ultrasonic velocity and attenuation in mammalian tissue. *J Acoust Soc Am*, 63, 940–953, 1978
  8. Lee Kyung-Sung : Influence to the Doppler images by the defects of piezoelectric elements of the probe of medical ultrasonic scanners (Focusing on the impact of an increase in the defects of piezoelectric elements), *J. Radiological Science & Technology*, 37(2), 117–124, 2014
  9. Burns P N : The physical principles of Doppler and spectral analysis. *J. Clinical Ultrasound*, 15, 567–590, 1987
  10. Hoskins P R, Sherriff S B and Evans J A (ed) : Testing of Doppler Ultrasound Equipment, The Institute of Physical Sciences in Medicine (IPSM), Report No.70: York, UK, 1994
  11. Alkinson P and Woodcock J P : Doppler ultrasound and its use in clinical measurement, Academic Press: New York, 1982
  12. Browne J E, Watson A J, Gibson N M, Dudley N J and Elliott A T : Objective measurements of image quality. *Ultrasound in Med. & Biol.*, 30, 229–237, 2004

•Abstract

## Influence to the Doppler Images by the Defects of SAE in the Probe of Medical Ultrasonic Scanners

Kyung-Sung Lee

*Department of Radiotechnology, Cheju Halla University*

A ultrasonic probe is very important in medical ultrasonic image, but the frequency of probe defects are often. Therefore practical tools for probe based ultrasonic QA should be developed. Advanced research on the effects of the probe defects on the quality of ultrasonic images is required. This study has investigated the effects of the defects in the probe elements influence Doppler images in the medical ultrasonic scanners. Especially the defects in a set of adjacent elements(SAE) electrically disconnected influence Doppler images were tested.

The results show Doppler brightness and velocity became rapidly reduced as the defected elements is located centrally, as the defected elements is activated. The more the defected elements increased, the more Doppler brightness and velocity increased. As a set of the element disconnected moved, it appeared Doppler velocity starting to decrease and then was followed by brightness. The strength is not consistent with the velocity in the number and location of the defected elements. The defects in the probe elements influence Doppler velocity when the defected elements got out of the elements activated at Doppler mode.

**Key Words :** Ultrasonic QA, SAE, Defected elements, Doppler image