

<원저>

초음파 Tissue Mimicking 팬텀의 제작과 온도 변화에 따른
영상 특성 변화 관찰- Manufacture and Image Characteristic Changes Observation by Temperature of
Ultrasound Tissue Mimicking Phantom -

신한대학교 방사선학과

마상철

— 국문초록 —

본 연구에서는 자체 제작한 3종의 초음파 TM 팬텀의 음향학적 특성 및 온도 민감도를 측정하였으며, 초음파 영상학적 특성을 관찰, 평가하였다. TM 팬텀은 폴리우레탄을 주재료로 국제전기표준회의(International Electrotechnical Commission, IEC) 기준안에 따라 제작하였으며 외부 온도 변화 따른 초음파 영상학적 특성은 22℃ 이하에서 온도 감소에 따라 휘도 및 영상투과심도가 비례하여 감소하는 것이 확인되었다. 본 연구를 통하여 산란재 특성이 상이한 TM 팬텀을 제작하는 기초자료를 제공하였으며, TM 팬텀의 사용 온도는 22℃ 이상에서 사용하는 것이 적합한 것으로 판단되었다.

중심 단어: TM팬텀, 폴리우레탄, 휘도, 영상투과심도

I. 서 론

진단용 초음파 팬텀은 정도관리 팬텀(quality assurance phantom)과 트레이닝 팬텀(training phantom)으로 구분한다. 정도관리 팬텀은 초음파진단장치의 항상성을 평가하고, 트레이닝 팬텀은 주사와 생검 연습을 위한 것이다. 이들 팬텀은 tissue mimicking(TM) 물질과 표적물질로 구성한다. TM 팬텀은 인체 연부조직의 모사 물질로 초음파 전달 특성을 연구하거나 교육을 하는 도구로 활용한다. 최근에는 초음파의 적용 대상이 늘어나 사용 목적에 따라 다양한 형태와 규격을 갖는 TM 팬텀에 대한 연구가 이루어지고 있다. TM 물질은 대표적으로 아가(agar), 글리세롤(glycerol), 플라스티졸(plastisol), 폴리우레탄(polyurethane, PU) 등에 흑연분말을 합성하여 하이드로겔(hydrogel) 또는 우레탄

(urethane) 형태로 제작한다^{1,2)}. 이들 물질은 단백질 성분을 포함하고 있어 외부 온도에 민감하여 열성 변화를 갖는다^{3,4)}. 미국초음파의학회(american institute of ultrasound in medicine)는 진단용 TM 팬텀의 항상성 유지를 위해 전파속도, 감쇠계수, 에코양상 등의 기준을 제시하고 있으며, 정도관리 팬텀 활용에서 휘도와 관련한 균질성과 영상투과심도 등에 대한 측정을 규정하고 있다^{5,6)}.

이에 본 연구에서는 기존의 폴리우레탄을 주재료로 흑연분말 산란재에 의해 합성 제작하여 사용하는 TM 팬텀이 주변 환경에 따라 물리화학적 특성 변화가 야기됨을 고려하여, 산란재 특성이 상이한 3종의 TM 팬텀을 자체 제작하여 음향학적 특성을 분석함은 물론, 물리적 외부온도변화에 따른 휘도와 영상투과심도를 측정하여 특성을 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. TM 팬텀의 합성 제작

본 연구에서는 폴리에테란을 기반으로 산란재 특성이 다른 3종의 TM 팬텀을 제작하여 초음파전달 특성과 온도변화에 따른 영상학적 특성 변화를 관찰하였다. 제작한 TM 팬텀은 초음파 조사에 대한 인체 연부조직의 모사물질로 국제전기표준회의(International Electrotechnical Committee, IEC) 음향전달 특성인 음속 1,540 m/s \pm 5%, 밀도 1050 kg/cm³, 감쇠계수 1.5~1.7 dB/cm/3MHz, 음향임피던스 1.6 Rayls와 일치하게 하였다. Table 1은 본 연구에 사용한 TM 팬텀 3종의 산란재 특성을 보여주고 있다.

TM 팬텀의 폴리에테르계 폴리올 합성은 4구 플라스크에 콘덴서(condenser)를 설치하고 에틸렌 글리콜(ethylene glycol) 1.5 mol, (93.20g)과 아디프산(adipic acid) 1 mol, (146.20g)을 첨가하여 반응기 온도를 150 $^{\circ}$ C로 가열하여 에스테르화 반응이 일어나도록 하였다. 폴리에테르계 폴리우레탄 주재료의 합성은 4구 플라스크에 폴리에스터폴리올(polyesterpolyol), 에틸렌글리콜(ethylene glycol), 디메틸폼라미드(dimethylformamid) 용제를 넣고 50 $^{\circ}$ C에서 교반 반응하였다. 폴리에테르계 폴리우레탄 주재료 합성은 폴리에테르폴리올(polyetherpolyol)과 가교제 트리메틸올 프로판(trimethylol propane), 안정제 트리페닐 인산염(triphenyl phosphate)를 60 $^{\circ}$ C로 혼합 교반하였다. 폴리에테란 경화제 합성은 주재료에 가소제와 경화 촉매제를 넣고



Fig. 1 TM phantom of cylinder type(a: PE phantom, b: CPP phantom, c: Talc phantom)

Table 1 Components of TM phantom

TM type	Materials size (μ m)	Specific
PE	5	GP400H6000, 5%, IPDI, PTMG2000, Pb-24 5.0g/kg
CPP	20	GP400H6000, 5%, IPDI, PTMG2000, Pb-24 5.0g/kg
Talc	10	GP400H6000, 5%, IPDI, PTMG2000, Pb-24 5.0g/kg

* PE: polyethylene powder, GP: polypropylene glycol(KPX^사), IPDI: isoporone diisocyanate
PTMG: polytetramethyleneglycol, CPP: copolymer polyol, Talc: talc powder

80 $^{\circ}$ C에서 교반하여 상온에서 장시간 경화 하였다. 이 때 주재료와 폴리에테르폴리올(polyetherpolyol)의 양이 경화시간을 결정하므로 폴리에테란의 경도를 일정하게 유지하였다. TM 팬텀 3종의 반향 균질성은 인체 간과 유사한 에코양상을 유지하기 위해 산란재는 각각 PE 분말, CPP, 활석 분말(talc powder) 등을 사용하였으며, 크기는 5~20 μ m, 용량은 5%로 조절하여 합성하였다. 합성한 TM 물질은 8 \times 20 cm 플라스틱 원통에 충전하였다. Fig. 1은 플라스틱 원통에 충전한 TM 팬텀 3종을 보여주고 있다.

2. 음향학적 특성 분석

TM 팬텀의 음향학적 특성 분석은 수침식 투과스펙트럼 방식을 이용하여 감쇠계수를 측정하였고 주파수 의존 특성은 주파수 구간에 대해 비 감쇠계수 및 거듭제곱에 대한 분석 결과를 바탕으로 3종 TM 팬텀에 대한 조직모사물질로서의 사용 가능한 범위를 분석하였다⁷⁾. 이들 팬텀에 대한 영상학적 분석은 휘도측정 소프트웨어 프로그램을 사용하여 온도변화에 따른 휘도와 영상투과심도를 측정하였다. 휘도는 영상 깊이 2~5 cm 구간에서 관심구역은 640 \times 480으로 측정하였고, 영상투과심도는 휘도값 30을 기준으로 변환 감소하는 깊이를 측정하여 평가하였다. 이 휘도값은 시각적으로 휘도가 급격히 감소하는 임의의 값이다. 초음파 영상 습득은 ALOKA prosound a6, 3.5 MHz convex probe (Hitachi-Aloka medical, Japan)를 사용하였으며 파라미터는 출력 95, 게인 80, 동적영역 100dB, 시간게인보상과 초점 고정 등의 동일조건 하에 주사하였다. TM 팬텀의 온도는 팬텀에 부착한 막대스틱형디지털온도계로 측정하였으며 온도변화의 범위는 14 $^{\circ}$ C부터 31 $^{\circ}$ C로 하였다.

III. 결과 및 고찰

국제전기표준회의(IEC)에서 제시하고 있는 인체 연부조직의 음향학적 특성들은 음속 1,575 m/s, 밀도 1055 kg/cm³, 감쇠계수 0.6 \times f^{1.2}~ 2.24 \times f^{1.2} dB/cm, 음향임피

던스 1.66 Rayls로 규정한다⁸⁾. 이 규격이 제시하는 표준조 직모사물질의 음향학적 특성들은 음속 1,540 m/s±5%, 밀도 1050 kg/cm³, 감쇠계수 1.5~1.7 dB/cm/3MHz, 음향임 피던스 1.6 Rayls로 규정되어 있다^{8,9)}. Table 2는 IEC 규정에 따라 제작한 TM 팬텀 3종의 음속과 음향임피던스를 보여주고 있다.

TM 팬텀 3종의 음속은 산란재의 특성에 따라 1490±3 m/s로 근사값을 보였다. 이는 IEC 기준인 1540 m/s의 기준 값에 대해 상대편차 3% 이내로 인체 연부조직 모사물질과 유사한 음속을 수렴하였다. 음속은 매질을 통과하는 전달속도로 주재와 산란재의 밀도, 탄성도, 압축성, 용적률과 관계한다¹⁰⁾. 일반적으로 음속 변화는 영상정보의 위치를 상이하게 나타내므로 초음파진단장치는 1540±100 m/s에서 영상을 제공하고 있다. 임피던스는 TM 물질의 밀도(kg/cm³)와 음속(m/s)을 곱한 값으로 산란재의 양에 비례하여 증가하는 경향을 보인다¹⁰⁾. 제작한 TM 팬텀 3종의 임피던스는 산란재 특성에 따라 1.62~1.63 Rayls로 나타나 ICE 기준인 1.60 Rayls에 수렴하는 것을 확인하였다. Table 3은 주파수 변화에 따른 TM 팬텀 3종의 감쇠계수를 보여주고 있다.

TM 팬텀 3종의 감쇠계수는 주파수가 증가함에 따라 비례하여 증가하였으며 3.05MHz에서 1.52~1.57 dB/cm 범위로 나타나 IEC 기준안에 수렴하는 것을 확인하였다. 감쇠계수는 산란재 양이 증가할수록 증가하며 감쇠계수의 증가는 영상투과심도를 감소시킨다¹¹⁾. Fig. 2부터 Fig. 4까지는 온도변화에 따른 TM 팬텀의 휘도와 영상투과심도의 변화를 보여주고 있다.

영상투과심도는 온도의 증가에 따라 TM 팬텀 3종 모두 선형적으로 비례하여 증가하였다. TM 팬텀별로 영상투과심도는 약간의 차이를 보이고 있으나 유효할 정도의 변화는 나타나지 않았으며, 23℃ 이상에서 투과심도는 15 cm로 동일한 양상을 보였다. 이러한 결과로 볼 때 TM 팬텀의 영상투과심도는 상온 이하에서 민감한 변화를 보이며, 이러한 온도의 변화는 산란재 보다 주재료에 의해 결정되는 것으로 판단되었다. 한편, 영상 휘도는 온도의 증가에 따라 선형적으로 비례하여 증가하였으며, 22℃ 이상에서는 유사한 휘도 분포가 유지되었다. 이러한 결과를 통하여 온도는 TM 팬텀의 휘도 및 영상투과심도 등의 영상학적 특성에 많은 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었으며, 외부 온도 변화로 TM

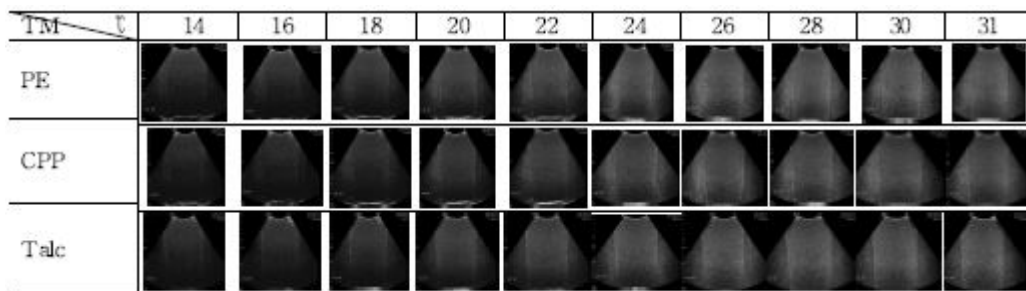


Fig. 2 Image depth penetration of TM phantom by temperature(PE: polyethylene phantom, CPP: copolymer polyol phantom, Talc: talc phantom)

Table 2 Acoustic specific of TM phantom

TM type	Sound speed (m/s)	Density (kg/cm ³)	Acoustic impedance (Rayls)
PE	1490	1090	1.62
CPP	1493	1090	1.63
Talc	1483	1090	1.62

*PE: polyethylene powder, CPP: copolymer polyol, Talc: talc powder

Table 3 Attenuation coefficient

TM	MHz	2,54	3,05	3,56	4,07	4,58	5,09	5,59	6,10	6,61	7,12	7,63
	PE		1,02	1,53	2,05	2,68	3,31	3,99	4,72	5,48	6,34	7,36
CPP		0,93	1,57	2,11	2,79	3,43	4,14	4,86	5,68	6,52	7,58	8,66
Talc		0,99	1,52	2,06	2,67	3,33	4,01	4,75	5,52	6,38	7,42	8,48

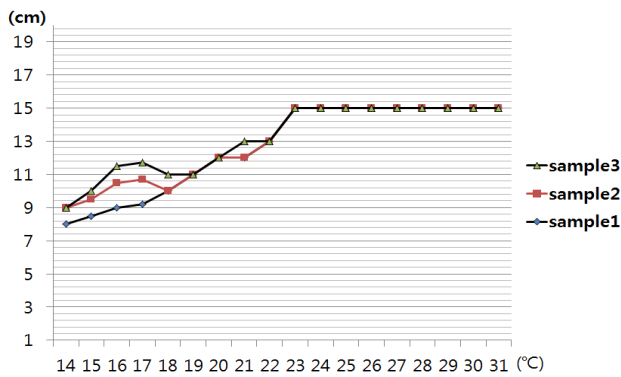


Fig. 3 Image depth penetration change by temperature (sam.1: PE, sam.2: CPP, sam.3: Talc)

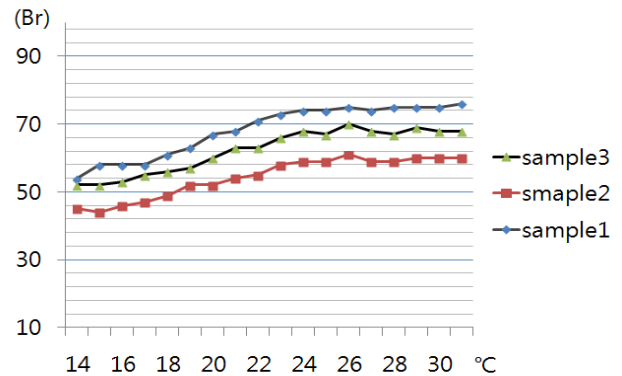


Fig. 4 Brightness change by temperature (sam.1: PE, sam.2: CPP, sam.3: Talc)

팬텀의 온도가 저감됐을 시는 상온에 일정시간 방치 후에 사용해야 할 것으로 판단되었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 TM 팬텀이 외부 환경 변화에 따라 영상학적 특성 변화가 야기됨을 고려하여, IEC 기준안에 따라 산란재 특성이 상이한 TM 팬텀 3종을 제작하여 음향학적 특성과 온도변화에 따른 영상학적 특성 변화를 관찰하였다. 이를 통해 조직모사물질의 음속, 임피던스, 감쇠계수 등의 음향 전달 특성과 휘도, 영상투과심도 등의 영상학적 특성을 고찰하였다. TM 팬텀 3종의 음향학적 특성은 평균음속 1490 ± 3 m/s, 임피던스 1.62~1.63 Rayls, 감쇠계수 1.52~1.57 dB/cm/3.05MHz로써 IEC 기준 범위 이내로 나타나 유용성을 확인할 수 있었으며, 온도 변화에 의한 영상학적 변화는 22°C를 변곡점으로 온도감소에 따라 휘도와 영상투과심도가 비례하여 감소하는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 산란재 특성에 따라 다양한 조직모사물질을 제작하는 기초자료로 활용하여 향후 정도관리 팬텀 및 트레이닝 팬텀을 제작하는데 공헌할 수 있을 것으로 판단하며, 휘도와 영상투과심도의 결과 관찰을 통하여 TM 팬텀은 22°C 이상에서 사용하는 것이 활용도를 높일 것으로 판단된다. 한편 산란재의 종류와 량에 따라 조직모사물질의 특성 변화가 심하여 첨가량에 따른 정량화가 필요할 것으로 보이며, 향후 미세한 에코 차이를 나타내는 산란재를 개발하는 한편 외부 환경의 저항성이 높은 조직모사물질의 합성과 가이드 라인에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. K. Tauer, D. Gau, S. Schulze, et al.: Thermal Property Changes of Poly (N-isopropylacrylamide) Microgel Particles and Block Copolymers, *Colloid Poly Science*, 287(3), 300-303, 2009
2. M. K. Sun, J. Shieh, C. W. Lo, et al.: Reusable Tissue-mimicking Hydrogel Phantoms for Focused Ultrasound Ablation, *Ultrasonics Sonochemistry*, 23(1), 401-403, 2015
3. X. Cheng, H. E. Canavan, M. J. Stein et al.: Surface Chemical and Mechanical Properties of Plasma-polymerized N-isopropylacrylamide, *Langmuir*, 21(17), 7836-7837, 2005
4. A. F. Prokop, S. Vaezy, M. L. Noble et al.: Polyacrylamide Gel as an Acoustic Coupling Medium for Focused Ultrasound Therapy, *Ultrasound in Medicine & Biology*, 29(9), 1353-1355, 2003
5. Betty Bates Tempkin: *Ultrasound Scanning Principles and Protocols 3th ed.*, Saunders, 19, 2009
6. Zagzebski J A, Madsen E L, Flank G R et al.: A Teaching Phantom for Sonographers, *Journal of Clinical Ultrasound*, 19, 34-38, 1991
7. Sang-Chull Ma · Hwa-Sun Kim · Young-Man Ann, The Study on Ultrasound Physical Characteristic and Synthesis of Tissue Mimicking Materials Used New Materials, *Journal of Radiological Science and Technology*, 39(3), 245-252, 2010
8. Goodsitt: Real time B-mode Ultrasound Quality Control Test Procedures, *Med. Phys*, 25(8), 1998
9. A. Jensen: A Model for the Propagation and

- Scattering of Ultrasound in Tissue, *Acoust. Soc. Am.*, 89, 182-191, 1991
10. R. Ortega, A. Tellez, L. Leija et al.: Measurement of Ultrasonic Properties of Muscle and Blood Biological Phantom, *Physics Procedia*, 3(1), 630-633, 2009
11. Sang-Chull Ma · Young-Kun Kong · Young-Man Ann, The Study on Development and Characteristic of Ultrasound Biopsy Training Phantom of Breast, *Journal of Radiological Science and Technology*, 26(3), 19-24, 2003

•Abstract

Manufacture and Image Characteristic Changes Observation by Temperature of Ultrasound Tissue Mimicking Phantom

Sang-Chull Ma

Department of Radiological science, ShinHan university

The purpose of this study is that in measures the acoustic propagate characteristics and temperature sensitivity of ultrasound tissue mimicking phantom(TM phantom). TM phantom manufacture according to the International Electrotechnical Commission(IEC) guidelines for acoustic propagate characteristics of soft tissue. TM phantom was observed to have the image brightness and the image depth penetration decreases changes convergence which was the subject of ultrasound image characteristics in accordance with an external temperature that the change is reduced in temperature below 22°C. This study provide a basis to create another TM Phantom and TM Phantom has been determined that it is appropriate for use in more than 22°C.

Key Words : Tissue mimicking phantom, Brightness, Image depth penetration