

신소재를 사용한 인체조직모사물질의 합성과 초음파 물리적 특성에 관한 연구

— The Study on Ultrasound Physical Characteristic and Synthesis
of Tissue Mimicking Materials Used New Materials —

신흥대학 방사선과 · 안산1대학 방사선과¹⁾ · (주)삼성포리머 연구소²⁾

마상철 · 김화선¹⁾ · 안영만²⁾

— 국문초록 —

본 연구는 주제인 폴리우레탄(polyurethane, PU)과 새로운 형태의 n-type 산란재를 사용하여 합성한 조직 모사물질(tissue mimicking materials : TMM)에 대해 국제표준규격 IEC 60601-2-37(2007)의 Annex D,D가 권고한 인체 연조직(soft tissue)의 음향학적 특성 기준에 준해, 전파속도, 임피던스, 감쇠계수 특성 등을 분석하였으며, 영상특성은 SONOACE 9900C PRIME(MEDESON Co.), 3.5 MHz 컨벡스 프로브(2.5-5.0 MHz)로 초음파 휘도와 최대투과심도를 분석·평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

주제인 prepolymer와 polyol mixture를 혼합하고 n-type 산란재를 0~8%로 점차 증가하여 합성하였을 때,

1. 조직모사물질의 전파속도는 산란재가 증가할수록 연조직에 더 가깝게 수렴(convergence)하였다.
2. 음향임피던스는 산란재가 감소할수록 연조직에 더 가깝게 수렴하였다.
3. 감쇠계수는 산란재가 증가할수록 증가하였다.
4. 영상 평균휘도는 산란재가 증가할수록 증가하였으나 역치가 있었다.
5. 최대투과심도는 산란재 6% 조직모사물질에서 연조직에 가깝게 수렴하였다.

중심 단어: 폴리우레탄, 산란재, 조직모사물질, 컨벡스 프로브, 최대투과심도

I. 서 론

초음파검사는 방사선 피폭 없이 추적검사가 가능하며, 비 침습적이고 장치가 간단하여 가장 일반적인 영상의학 검사법으로 알려져 있다. 그래서 영상의학과는 물론 내

과, 산부인과, 외과, 한방병원 등에서 다양하게 사용한다. 하지만 초음파는 x-선에 비해 파장이 길고 영상습득과 처리과정이 복잡해 영상 분해능(image resolution)이 현저히 낮다¹⁾. 그럼에도 현재 유방촬영장치와 컴퓨터전산화 단층촬영장치(CT) 등의 x-선발생장치는 특수의료장비로 분류되어 의무적으로 정도관리(quality assurance : QA)를 시행하나 초음파진단기기는 제외되어 있다. 하지만 초음파검사는 2013년 국민건강보험이 시행 예고되어 있고, 이 시기에 맞춰 초음파진단기기의 정도관리 시행을 위한 과정이 진행되고 있다. 초음파진단기기의 정도관리에는

*접수일(2010년 4월 2일), 1차 심사일(2010년 5월 7일), 2차 심사일(2010년 8월 9일), 확정일(2010년 9월 15일)

교신저자: 마상철, (480-701) 경기도 의정부시 호원동 117번지
신흥대학 방사선학과
TEL: 031-870-3415, FAX: 031-870-3419
E-mail: scma@shc.ac.kr

일정 규격의 초음파 팬텀을 사용한다. 그러나 현재 초음파 인체 조직모사물질(tissue mimicking materials : TMM)의 합성 및 팬텀제작 그리고 정도관리에 대한 국내 연구는 저조하고, 초음파에 관련한 모든 팬텀은 전량 수입에 의존하고 있다.

초음파 팬텀은 performance test phantom과 previous phantom으로 대별한다²⁾. 이러한 팬텀들의 공통적인 구성은 인체의 연조직(soft tissue)과 유사한 조직모사물질인 TMM, 표적물질(target materials) 그리고 하우징(housing) 등이다. TMM은 이들 구성에서 가장 핵심적인 고분자 물질로 국제표준규격 IEC 60601-2-37(2007) “Particular requirement of the basic safety and essential performance ultrasonic medical diagnostic and monitoring equipment”의 Annex D.D가 권고한 인체 연조직의 음향학적 특성 기준에 의하면 전파속도 1,575 m/s, 밀도 1,055 kg/m³, 감쇠계수 $0.6 \times f^{1.2} \sim 2.24 \times f^{1.2}$ dB/cm, 음향임피던스 1.66 MRayl 등의 값을 갖는 것으로 규정하고 있다³⁾. 이 규격에서 제시하고 있는 표준 조직모사물질의 음향학적 특성은 전파속도 1,540 m/s, 밀도 1,050 kg/m³, 감쇠계수 1.5 dB/cm/3.5 MHz, 음향임피던스 1.6 MRayl 등이다⁴⁾. 이를 충족하기 위해 근래 TMM의 주제는 폴리우레탄(polyurethane : PU), 산란재는 흑연분말(graphite powder)을 사용하는 것으로 알려져 있으나⁵⁾, 산란재의 특성이 TMM의 성능을 결정하는 중요한 요소이기 때문에 실제 TM팬텀에 적용하는 산란재의 종류, 양, 직경 그리고 형태 등은 팬텀 특성의 노하우(know-how)로써 이에 대한 자세한 자료를 공유하기가 용이하지 않다.

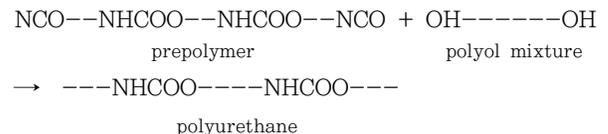
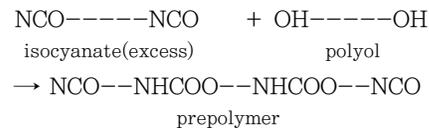
미국초음파의학회(America Institute of Ultrasound in Medicine : AIUM)의 TM팬텀 영상평가기준에 의하면 휘도는 정상 간 정도의 에코(normal liver echo pattern), 최대투과심도(sensitivity)는 ~ 18 cm/3.5 MHz, 영상균질성은 consistent intensity를 제시한다⁶⁾. 하지만 TMM 합성과정에서 산란재의 종류, 직경, 주제의 종류, 직경, 밀도, 경도, 점도, 촉매제 등의 다양한 요소들이 상호작용하기 때문에 연조직과 유사한 휘도를 보이는 TMM을 합성하는 데는 많은 과정과 숙련이 필요하다. 특히 간과 유사한 휘도를 나타내기 위해서는 산란재의 종류와 형태가 중요하고, 그 양을 조절하여 휘도를 자유자재로 조절할 수 있어야 한다⁷⁾. 그러나 산란재 양이 증가하면 TMM의 감쇠가 같이 증가해 최대투과심도가 감소하고, 산란재 양이 감소하면 간과 유사한 휘도를 나타내지 못하는 문제가 있다. 따라서 본 연구는 PU를 주제

로 새로운 형태의 n-type 산란재를 사용하여 보다 쉽게 국제표준규격 IEC 60601-2-37(2007)의 Annex D.D의 권고보다 개선된 TMM을 합성하고, 그 음향학적 성질과 영상 특성을 분석하여 보고하고자 한다. 이는 국내 TMM의 합성에 대한 기초자료와 기술력을 제공하고 나아가 다양한 초음파 팬텀을 국내에서 제작하는데 기여할 수 있을 것이다.

II. 연구 방법

1. TMM의 합성 방법

TMM은 PU를 합성한 후 n-type 산란재를 분산시켜 제작하였다. PU는 보통 2액형으로 주재료인 isocyanate 또는 prepolymer와 경화제인 polyol mixture로 각각 구분하여, 주제와 경화제를 정확한 양으로 측정하여 혼합하고 경화과정을 거쳐 완성하였다. 이 과정의 화학 반응식을 아래에 나타내었다.



Isocyanate는 경도와 취급의 편의성 등을 고려하여 prepolymer 형태로 만들어 사용하였으며, 본 실험에서는 NCO prepolymer를 합성하여 사용하였다. 이때 excess로 사용된 isocyanate는 TDI, MDI, IPDI, polyol은 PTMG, PP-1000 등의 폴리에테르 폴리올을 사용하여, 질소로 치환된 환경에서 $80 \pm 2^\circ\text{C}$, 3시간 동안 반응시켰다. Polyol mixture로는 에테르 폴리올은 분자량 3000-6000, 에스테르 폴리올은 분자량 1000-2000을 사용하였다. 에테르와 에스테르 폴리올을 사용할 때 가교제, 실리콘 정포제, 촉매를 첨가한 후 교반기로 충분히 섞었다(agitation). 산란재는 주제와 경화제를 혼합한 후, 각각 0%, 2%, 4%, 6%, 8%를 첨가한 후 충분히 섞었으며, 이후 70°C 오븐에서 경화시켜 5종의 TMM을 합성하였다.

2. TMM의 특성 분석 방법

1) 음향학적 특성 측정 방법

TMM은 PU와 경화제 그리고 70 μm 의 n-type 0~8% 산란재를 각각 사용하여 직경 5.0 cm, 두께 1.0 cm ($\text{SD} \pm 0.14$)로 합성하였다. 이 때 경도는 모든 표본에서 20(압입 경도측정, indentation hardness test)으로 하였다. TMM의 상세 구성 성분은 Table 1에 나타내었다.

먼저, 합성한 5종 TMM의 음향학적 특성을 측정하기 위해 TMM 표본의 두께와 비중을 산출하였다. TMM의 전파속도, 임피던스와 감쇠계수 등의 측정은 수침식 투과 스펙트럼을 사용하였으며, 이들에 대해 사용 가능 주파수 범위를 분석하였다. 주파수 의존특성은 측정된 주파수 구간에 대해 비 감쇠계수(specific attenuation coefficient) 및 거둬제곱에 대해 분석하였다.

Table 1. Component of tissue mimicking materials

TMM	prepolymer(%)	Scatter(%)	Size(μm)	Polyol mixture	Hardness
#1	NCO 5	0.0%	-	Mw=3000	20
#2	NCO 5	2.0%	70	Mw=3000	20
#3	NCO 5	4.0%	70	Mw=3000	20
#4	NCO 5	6.0%	70	Mw=3000	20
#5	NCO 5	8.0%	70	Mw=3000	20

Mw=3000 : 폴리테트라 폴리올, 가지수=2 혹은 3

polyol mixture : 폴리테트라 폴리올에 가교제, 정포제, 촉매가 혼합되어 있는 혼합물

2) 영상학적 특성 측정 방법

TMM은 음향학적 특성을 분석한 것과 동일한 방법으로 합성하였다. 단지, 직경 10.0cm, 두께 20.0 cm로 제작하였다. 이것을 SONOACE 9900C PRIME(MEDESON Co.), 3.5 MHz convex probe(2.5~5.0 MHz)로 주사하였으며, 영상 습득 과정에서 gain 80, power 100, TGC와 focus는 고정하였다. 영상 휘도와 최대투과심도는 정지 화면에서 자체 개발한 Super sono brightness program을 이용하여 평가하였다. 휘도 측정 방법은 각각의 TMM에 대해 x축은 TMM의 전체를, y축은 1.0 cm 레벨의 관심영역(region of interest : ROI)를 설정하여 평균 휘도값을 측정하였다. 최대투과심도는 y축의 5.0, 10.0, 15.0 cm의 깊이에서 각각 평균 휘도값을 측정하여 평가하였다. Fig. 1에 y축 10.0 cm 깊이에 ROI를 설정하여 평균 휘도 값을 측정할 예를 제시하였다.

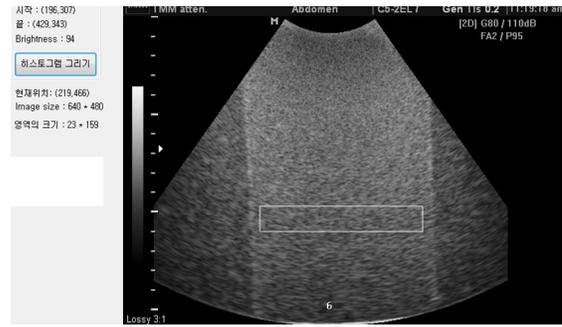


Fig. 1 Measurement of brightness average in ROI

III. 연구 결과

1. TMM의 음향학적 특성 측정 결과

Table 2는 합성한 5종 TMM에 대한 두께(s,t)와 비중(s,g)의 측정값을 보여준다. 이들의 두께는 0.84~0.99 cm 범위이며, 비중은 TMM #1은 1.09, TMM #2~#5는 모두 1.10을 나타내었다. 이것을 근거로 TMM의 가용 주파수 범위에 대한 전파속도의 측정 결과를 Table 3의 결과로 보면 산란재를 첨가하지 않은 TMM #1의 전파속도(V_g : propagation velocity)는 1,490 m/s, 산란재 4%를 첨가한 TMM #3은 1,502 m/s, 산란재 8%를 첨가한 TMM #5는 1,545 m/s로 측정되어 산란재가 증가할수록 전파속도가 증가하여 연조직에 더 가깝게 수렴하였다. 그리고 임피던스 $Z = s \cdot g$ (specific gravity(kg/m^3)) $\cdot V_g$ (propagation velocity)의 수식으로 계산한 결과 TMM #1은 1,624 MRayl, TMM #3은 1,654 MRayl, TMM #5는 1,700 MRayl 등으로 나타났다.

감쇠계수는 수침식 투과 스펙트럼 방법으로 측정하고, 이를 비 감쇠계수 및 거둬제곱 분석으로 주파수 의존 특성을 분석하였으며, 이를 국제표준규격 IEC 60601-2-37

Table 2. Specific gravity and thickness of sample

TMM	s,g	s,t
#1	1.09	0.90
#2	1.10	0.84
#3	1.10	0.93
#4	1.10	0.84
#5	1.10	0.99

s,g : sample specific gravity(kg/m^3)

s,t : sample thickness(cm)

Table 3. Sound speed of TMM sample

	#1	#2	#3	#4	#5
Vp(m/s)	1,492	1,496	1,500	1,519	1,532
Vg(m/s)	1,490	1,495	1,502	1,514	1,545
Z(MRayl)	1,624	1,645	1,652	1,665	1,700

Vp : phase velocity
 Vg : propagation velocity
 Z : impedance

Table 4. Attenuation coefficient of TMM sample

	#1	#2	#3	#4	#5
A	0.1958	0.1725	0.1510	0.1601	0.2152
B	1.8449	2.0933	2.2729	2.3850	2.4240
R	0.9998	0.9994	0.9982	0.9956	0.9913

A : invariable
 B : FB (F : frequency)
 R : curve fitting(신뢰수준: 1이 최대, 0이 최소)

(2007)의 Annex D.D가 권고한 인체 연조직의 감쇠계수 범위를 만족하는 하한 주파수와 상한 주파수 값으로 도출하였다. 그 결과 산란재를 첨가하지 않은 TMM #1의 감쇠계수는 Table 4와 Fig. 2(a)의 결과로 볼 때, curve fitting의 결과는 적용방정식 $\alpha = A \cdot f^B$ 를 대입할 때, $A = 0.1958$, $B = 1.8449$, $R = 0.9998$ 로 나타났으며, 가용주파수 범위는 7.0~20.0 MHz로 분석되었다. TMM #2의 경우, Table 4와 Fig. 2(b)의 curve fitting의 결과에서 $A = 0.1725$, $B = 2.0933$, $R = 0.9994$ 로 나타났으며, 가용주파수 범위는 5.0~17.0 MHz로 분석되었다. TMM #3의 경우, Table 4와 Fig. 2(c)의 curve fitting의 결과에서 $A = 0.1510$, $B = 2.2729$, $R = 0.9982$ 로 나타났으며, 가용주파수 범위는 4.5~12.0 MHz로 분석되었다. TMM #4는 Table 4와 Fig. 2(d)의 curve fitting의 결과에서 $A = 0.1601$, $B = 2.3850$, $R = 0.9956$ 로 나타났으며, 가용주파수 범위는 4.0~9.0 MHz로 분석되었으며, 산란재를 8%로

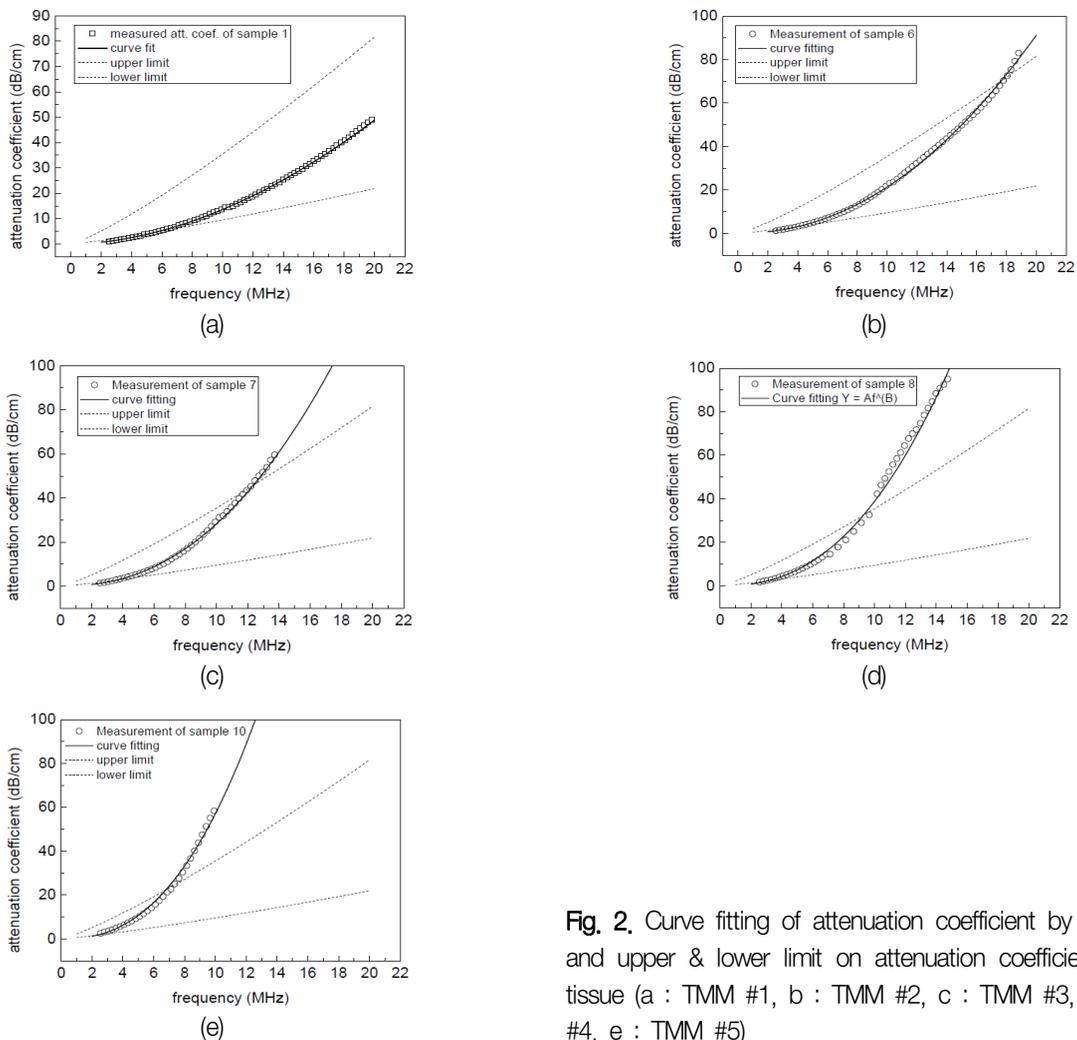


Fig. 2. Curve fitting of attenuation coefficient by frequency and upper & lower limit on attenuation coefficient of soft tissue (a : TMM #1, b : TMM #2, c : TMM #3, d : TMM #4, e : TMM #5)

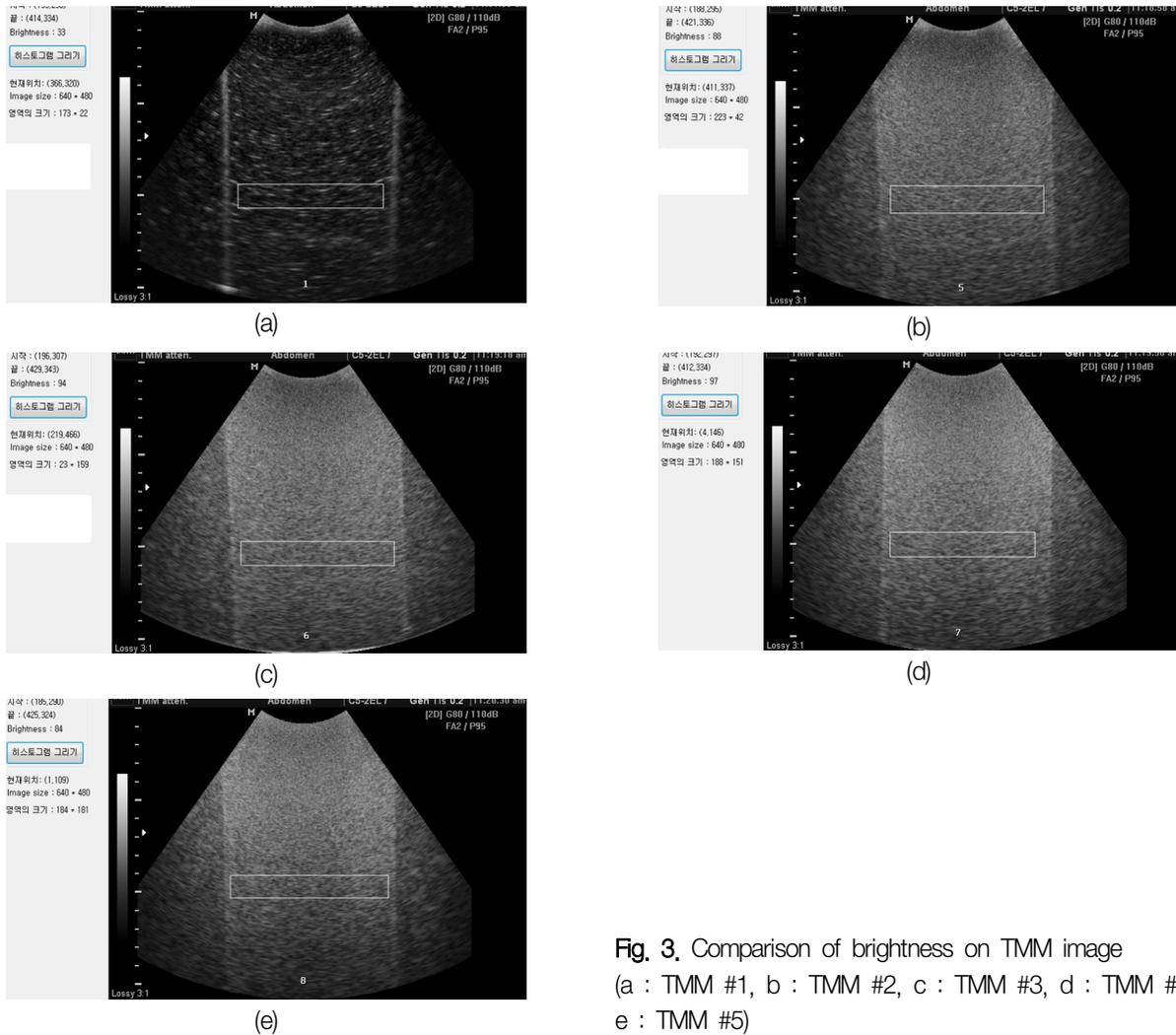


Fig. 3. Comparison of brightness on TMM image (a : TMM #1, b : TMM #2, c : TMM #3, d : TMM #4, e : TMM #5)

합성한 TMM #5는 Table 4와 Fig. 2(e)의 curve fitting의 결과에서 $A = 0.2152$, $B = 2.4240$, $R = 0.9913$ 으로 나타났으며, 가용주파수 범위는 3.5~8.0 MHz로 분석되었다. 이는 산란재 증가에 따라 B값(FB)이 점차 증가하고, R값(curve fitting)은 낮아지는 결과로써, 산란재가 증가하면 감쇠계수가 증가하고, 최소와 최대 가용 주파수 범위는 좁고 낮아지는 것을 알 수 있다.

2. TMM의 영상학적 특성 측정 결과

합성한 5종 TMM에 대해 영상의 균질성과 깊이에 따른 평균 휘도값을 구하여 최대투과심도를 관찰하였다. 이를 Fig. 3의 결과로 보면 산란재를 첨가하지 않은 TMM #1은 육안으로 볼 때 매우 불균질한 에코양상을 보였으며, 산란재를 첨가한 TMM #2, #3, #4, #5는 상대적으로 균질한 에코양상을 관찰할 수 있었다. 그리고 y축(TMM 표

면)으로부터 각각 5.0 cm, 10.0 cm, 15.0 cm 깊이에서 1.0 cm 레벨의 ROI를 설정하여 평균 휘도값으로 최대투과심도를 측정하는 바, 이를 Table 5의 결과로 보면, 5종의 TMM 모두 y축의 깊이가 증가할수록 평균 휘도값이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 또한 산란재 양이 증가하면 모든 깊이에서 평균 휘도값이 비례적으로 증가하였으나, 산란재 양을 8% 첨가한 TMM #5은 산란재 양을 6% 첨가한 TMM #4에 비해 평균 휘도값이 낮게 나타났다. 이는 PU의 주재 NCO 5에 산란재 양을 증가시키면 반사파가 증가하여 평균 휘도값이 증가하나, 그 이상의 산란재 양을 첨가하면 휘도의 증가보다 감쇠가 증가하여 평균 휘도값이 낮아지는 결과로 보인다.

Table 5. Brightness valve on TMM depth

TMM cm	#1	#2	#3	#4	#5
5	40	105	116	123	120
10	33	90	95	98	84
15	28	64	68	74	50

IV. 고찰

1. TMM의 음향학적 특성에 대한 고찰

전파속도는 음파가 매질을 통과하는 속도로 전파속도 $c = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$ (B : hardness, ρ : density g/cm^3)로써 매질의 밀도에 반비례하고 경도에 비례한다. 그 외의 변화인자는 매질의 상태, 압축성, 점도, 온도 등이 기인하다⁸⁾. 연조직에서의 초음파 평균 전파속도는 1,540 m/s이다. 이를 기준으로 했을 때 Table 3의 근거에서 5종 TMM의 전파속도는 1,490~1,545 m/s의 범위로 상대편차 4% 이내에 분포하였으며, TMM 제작 시료의 산란재 양이 증가할수록 전파속도는 조직모사물질에 더 가깝게 수렴하였다. 음향임피던스 $Z = \rho \cdot c$ (ρ : density, c : sound speed)로 매질의 밀도와 전파속도에 의해 결정된다. 1 Rayl = $kg/m^2/sec$ 이다⁹⁾. Annex D.D가 권고한 인체 연조직의 음향학적 특성 기준에 의하면 음향임피던스는 1.66 MRayl 값을 갖으며, 표준조직모사물질의 음향학적 임피던스는 1.6 MRayl의 값을 갖는 것으로 규정하고 있다. 본 연구에서 합성한 5종 TMM의 임피던스는 Table 3의 결과에서 보는 바와 같이 1,624~1,700 MRayl의 범위로서 음향임피던스는 기준 값에 비해 상대편차 8% 이내에 분포하였다. 그리고 TMM 제작시료의 산란재 함량이 감소할수록 음향임피던스는 조직모사물질에 더 가깝게 수렴하였다. 감쇠계수는 $dB = \alpha(dB/cm) \times distance(cm)$ 로써 연조직에서 주파수에 비례해서 발생한다¹⁰⁾. 표준 조직모사물질의 감쇠계수는 1.5 dB/cm/3.5 MHz로 규정한다. 본 연구에서 감쇠계수 측정은 TMM 샘플이 각각 다른 산란재 양을 가지므로 이를 다시 추세선으로 맞추어 감쇠계수와 주파수 의존 특성을 가지는 모재 대비의 양을 유추하였다. 여기서 산란재를 첨가하지 않은 TMM #1의 감쇠계수는 $(2.0 \pm 0.01) \times f^{(1.85 \pm 0.01)}$ 을 이용하였다. 이는 주파수 1.0 MHz에서 상대편차가 약 5%, 20.0 MHz에서 상대편차가 약 8.2%에 해당한다. 또한 Table 4의 결과로 보면 산란

재 양이 증가할수록 감쇠계수가 증가하고, curve fitting의 최소 최대 가용주파수 범위가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 감쇠계수는 매질의 종류와 그것을 통과하는 거리의 곱에 의해 증가하므로, 산란재 양의 증가는 감쇠를 증가시키고 가용주파수의 증가는 투과심도를 낮게 하므로 산란재 양이 증가할수록 curve fitting이 가파른 것으로 파악된다.

2. TMM의 영상학적 특성에 대한 고찰

초음파 반사는 매질의 임피던스 $Z = s, g \cdot Vg$ (s, g : specific gravity(kg/m^3), Vg : (propagation velocity)에 관여하며, Z 값이 높을수록 반사파 강도가 강해져 영상의 휘도가 증가한다¹¹⁾. 반사파는 입사파에서 투과파를 제외한 것으로 매질을 통과한 투과파는 다시 반사와 투과 현상을 반복하며 진행한다. 이 과정에서 초음파 강도는 감쇠(attenuation)하며, 이는 감쇠계수(specific attenuation coefficient)에 의존한다¹²⁾. 따라서 매질의 임피던스 차가 크면 반사파가 증가하고 반사파가 증가하면, 투과파가 감소하여 최대투과심도가 감소한다. 최대투과심도는 초음파가 최대로 투과하여 영상으로 표현할 수 있는 깊이로써 영상투과심도라고도 한다¹³⁾. 따라서 매질의 감쇠계수와 최대투과심도는 반비례한다. 그러므로 TMM을 합성할 때, 에코 양상은 물론 최대투과심도와 감쇠를 만족하는 범위에서 제작되어야 하며, 특히 민감도는 연조직과 유사한 ~18 cm/3.5 MHz를 유지하여야 한다¹⁴⁾. 이러한 이유로 본 연구에서는 영상학적 특성 분석을 위해 깊이 20 cm, 5종의 원통형 TMM을 제작하여 각각의 TMM에 대해 균질성과 평균 휘도값을 측정하여 최대투과심도를 평가하였다. 일반적으로 산란재는 tungsten powder 또는 TiO_2 를 사용하는 것으로 보고되고 있으며, TMM의 균질한 에코 양상은 산란재의 직경과 형태, 합성 시 주제와 산란재의 분산이 중요한 요소로 알려져 있다. 본 연구에서 사용한 n-type 70 μm 의 산란재는 Fig. 3의 결과로 보면 산란재를 첨가한 모든 TMM에서 균질한 에코 양상을 관찰할 수 있었다. 이것은 산란재의 특성이 주제인 pre-polymer와 polyol mixture 등과 잘 반응하여 영상측면에서 균질하게 작용한 것으로 파악된다. 또한 TMM의 평균 휘도값은 모든 TMM에서 원거리 영역으로 갈수록 점차 저하하는 것으로 나타났지만, 이것은 Fig. 2의 결과로 볼 때, 매질에서 초음파의 진행거리(path distance)에 따른 감쇠의 증가 때문인 것으로 파악된다. 그리고 Table 5의 결과로 볼 때 산란재양의 증가는 평균 휘도값을 증가시키

는 것을 알 수 있는데, 이는 Table 3의 결과에서 산란재 양의 증가가 임피던스의 증가를 가져오는 결과와 부합한다. 한편, TMM #4의 평균 휘도값은 y축 5.0 cm에서 123, 10 cm에서 98, 15 cm에서 74로 다른 TMM의 같은 깊이에 비해 높은 휘도값을 나타내어 표준 조직모사물질에 더 가깝게 수렴하였다. 이는 산란재에 의한 반사(산란 포함)가 전체적으로 균등하게 나타나면서 다른 TMM에 비해 감쇠가 적었다는 것을 의미한다. 그러나 TMM #5는 산란재 양이 증가하였음에도 TMM #4의 평균 휘도값 보다 낮게 나타났다. 이는 Fig. 2(e)의 결과에서 주파수와 감쇠계수의 curve fitting이 급격하게 나타난 것에서 알 수 있듯이, 산란재 양의 증가가 감쇠를 증가시켜 투과심도를 낮게 함으로써 원거리 영역으로 갈수록 평균 휘도값이 저하한 것으로 파악된다.

V. 결 론

초음파검사는 x-선검사에 비해 많은 장점을 가진 검사 방법으로 모든 병·의원에서 시행하고 있으나 분해능과 인공 음영에 의한 단점을 갖고 있어 영상 측면에서 지속적인 정도관리가 요구된다. 초음파 정도관리는 팬텀이 필요하며, 팬텀은 TMM의 성능에 의해 결정된다. 그러나 TMM의 합성 재료 및 방법에 따라 상이한 TMM이 제작되므로 본 연구는 주제인 PU와 신소재 n-type 산란재를 사용하여 TMM을 합성하였다. 그리고 국제표준규격 IEC 60601-2-37(2007)의 Annex D.D가 권고한 인체 연조직의 음향학적 특성 기준에 준해, 전파속도, 임피던스, 감쇠계수 특성 등을 분석하였으며, 영상특성은 SONOACE 9900C PRIME(MEDESON Co.), 3.5 MHz 컨벡스 프로브(2.5-5.0 MHz)로 영상화하고 super sono brightness program으로 초음파 휘도와 최대투과심도를 분석·평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

주제인 PU와 경화제를 혼합하고 n-type 산란재를 0%, 2%, 4%, 6%, 8%로 점차 증가하여 5종의 TMM을 합성·분석하였을 때,

1. 조직모사물질의 전파속도는 산란재가 증가할수록 연조직에 더 가깝게 수렴하였다.
2. 음향임피던스는 산란재가 감소할수록 연조직 더 가깝게 수렴하였다.
3. 감쇠계수는 산란재가 증가할수록 증가하였다.
4. 영상 평균휘도는 산란재가 증가할수록 증가하였으나

역치가 있었다.

5. 최대투과심도는 산란재 6% 조직모사물질에서 연조직에 가깝게 수렴하였다.

이와 같은 결론은 저렴한 가격으로 양질의 초음파 TMM을 제작하여 사용할 수 있는 자료가 되었다고 사료되며, 특히 전량 수입에 의존하는 초음파 팬텀을 국내에서 제작하여 사용할 수 있는 실용적인 근거가 될 것으로 본다.

참 고 문 헌

1. Zwiebel·Pellerito: Introduction to vascular ultrasonography, Saunders, 20-21, 2005
2. Miahale R. Willianson: Essentials of ultrasound, Saunders, 27-28, 1996
3. Gammex RMI: The QA cookbook for ultrasound, Gammex, 44-48, 1994
4. Carol M. Rumack: Diagnostic ultrasound, Mosby, 33-34, 2005
5. Willian D. Middleton: The requisites ultrasound, 2nd ed., 23, 2004
6. Betty Bates Tempkin: Ultrasound scanning principles and protocols 3th ed., Saunders, 19, 2009
7. David H. Evans: Doppler ultrasound physics, instrumentation and signal processing, 2nd ed., 27, 2000
8. Frederick Kremkau: Diagnostic ultrasound principles and instruments 6th ed., Saunders, 29-20, 2002
9. Sandra L. Hagen-Ansert, Textbook of Diagnostic Ultrasonography, 7th ed., Modby, 32, 2001
10. K. Kirk Shung: Diagnostic ultrasound, Taylor & Rrancis, 92, 2006
11. John P. McGahan: Diagnostic ultrasound, Infoma, 25, 2008
12. K. Kirk Shung, Gray A. Thieme: Ultrasonic Scattering in biological Tissue, CRC press, 23, 1993
13. Diane M. Kawamura: Abdominal and superficial structures, 2nd ed., Lippincott, 23, 1997
14. James A. Zagzebski: Essentials of ultrasound physics, Mosby, 48, 1996

• Abstract

The Study on Ultrasound Physical Characteristic and Synthesis of Tissue Mimicking Materials Used New Materials

Sang-Chull Ma · Hwa-Sun Kim¹⁾ · Young-Man Ann²⁾

Dept. of radiological technology, Shinheung college & university ·

¹⁾Dept. of radiological technology, Ansan college · ²⁾R&D center of Samsung polymer co. Ltd.

This study analyzed speed of sound, impedance, attenuation coefficient in accordance with acoustic characteristic standard of body soft tissue corresponding with Annex DD of IEC standard 60601-2-37(2007) which is about tissue mimicking materials (TMM) synthesized by polyurethane as a main material and new type of n-type scatter materials.

This study reached the following conclusion after analyzing and evaluating image characteristic with SONOACE 9900 c PRIME (MEDESON Co.) and brightness, maximum penetration with convex probe (2.5~5.0 MHz).

When n-type scatter materials are increasingly synthesised 0~8% with prepolymer as a main material and polyol mixture as a catalyst,

1. The more scatter materials are increased, the more sound speed of TMM becomes closely similar to soft tissue.
2. The more scatter materials are decreased, the more acoustic impedance becomes closely similar to soft tissue.
3. The more scatter materials are increased, the more attenuation coefficient is increased.
4. The more scatter materials are increased, the more average brightness of images is increased, but there is threshold.
5. The maximum penetration becomes closely similar to soft tissue at the 6% TMM as a scatter material.

Key Words : Polyurethane, Scatter materials, Tissue mimicking materials, Convex probe, Maximum penetration