

The Study on the Properties of Silicone Hardness and Additives for the Fabrication of Elastography Ultrasound Phantoms

So-Mang Kim¹, Bon-Yeoul Koo², Ji-Won Kim^{3,*}

¹Hanaro Department of Radiology

²Department of Radiology, Vision College of Jeonju

³Department of Radiology, Daejeon Health University

Received: November 27, 2024. Revised: December 27, 2024. Accepted: December 31, 2024.

ABSTRACT

This study aimed to determine the optimal composition of silicone composite materials for use as elastography ultrasound phantom materials by analyzing changes in elasticity based on silicone hardness and additives. The base silicone samples were prepared with hardness levels of 0.1, 0.3, and 0.5. For experimental groups, 5% by weight of activated carbon and titanium dioxide were added to the silicone with a hardness of 0.1. After mixing with a stirrer and curing, the elasticity of the samples was measured using ultrasound. The results indicated significant changes in elasticity depending on the type of additive. Although no significant differences in elasticity and shear wave velocity were observed among the pure silicone samples with varying hardness (0.1, 0.3, and 0.5), the addition of activated carbon and titanium dioxide to silicone with a hardness of 0.1 resulted in enhanced compressibility, characterized by reduced elasticity (85.3 kPa and 77.71 kPa, respectively) and shear wave velocity (5.33 m/s and 5.09 m/s, respectively) compared to pure silicone. Notably, the samples with titanium dioxide exhibited slightly lower elasticity and shear wave velocity than those with activated carbon, suggesting a distinct influence of titanium dioxide on material properties. In conclusion, the properties of silicone vary depending on the type of additive, and titanium dioxide, in particular, enhances compressibility, suggesting its potential use in applications requiring high compressibility.

Keyword: Elastography, Ultrasound phantoms, Silicone, Activated carbon, Titanium dioxide

I. INTRODUCTION

초음파 검사는 방사선 노출 위험이 없고 상대적으로 검사 과정이 간편하며, 통증이 없어서 컴퓨터 단층촬영(Computed Tomography)이나 자기공명영상장치(Magnetic Resonance Imaging)보다 접근성이 높은 장점을 가지고 있다. 건강보험심사평가원 2024년 통계에 의하면 건강검진과 질병의 진단을 목적으로 우리나라의 단순 초음파 검사는 꾸준히 증가하여 2020년 약 290만 건에서 2023년 약 430만 건으로 약 1.5배 가까이 증가하였다^[1].

질병의 진단을 위한 방법 중 축진은 조직의 단단하고 부드러운 정도를 파악하기 위한 평가 요소이지만 객관화된 정보를 얻을 수 없고, 병변의 깊이에 따라 축진 결과는 다르게 평가될 가능성이 있다. 탄성 초음파(Elastography)는 조직의 탄성(Elasticity) 및 강성(Stiffness)을 정량적으로 평가할 수 있는 방법으로 조직이 외부 힘에 어떻게 반응하는지 분석함으로써 조직의 단단함과 탄성도를 평가한다^[2,3]. 특히 암 조직은 정상 조직보다 더 단단한 특성을 가지고 있어 종양의 악성 여부를 평가하는 데 매우 유용한 도구로 사용되고, 간 조직의 단단함 정도를 실시간으로 측정해 섬유화의 진행 상태를 파악할

* Corresponding Author: Kim ji won

E-mail: jw7033@hit.ac.kr

Tel: +82-42-670-9173

수 있다^[4-6]. 이 외에도, 근육이나 인대와 같은 연조직이 손상되거나 염증이 생길 경우, 탄성 특성이 변하는 것을 감지해 손상 부위의 상태나 염증 정도를 평가하는 데 도움이 된다^[7-9].

초음파 팬텀(Ultrasound Phantom)은 초음파 장비의 성능을 검증하고 의료진의 훈련을 위해 실제 인체 조직과 유사한 음향 특성을 가진 모형으로 주요 재료는 폴리비닐 알코올(Polyvinyl Alcohol), 아가로스 젤(Agarose Gel), 폴리우레탄(Polyurethane), 실리콘(Silicone), 젤라틴(Gelatin) 등이 사용된다^[10,11]. 이 중에서도 실리콘은 내구성과 안정성이 뛰어나 장기적인 사용에 적합하며, 다양한 경도와 탄성 계수를 조정하여 실제 생체 조직과 유사한 특성을 구사할 수 있다.^[12] 또한 초음파 전달 특성을 쉽게 조절할 수 있어 근육, 지방, 피부와 같은 다양한 연조직을 효과적으로 모사할 수 있다. 실리콘의 또 다른 장점으로 내구성이 뛰어나 변형이나 손상이 적어 장기간 사용할 수 있고, 다양한 물질과 혼합하여 음향 특성을 세밀하게 조절할 수 있어 실험 조건에 맞춘 팬텀 제작이 가능하다^[13,14]. 이러한 장점으로 실리콘을 활용한 팬텀은 연조직 모사, 의료진 훈련 등 여러 용도로 연구와 교육 분야에 많이 이용되고 있다. 첨가제로 활용되는 활성화탄과 이산화타이타늄은 초음파의 물리적인 성질을 구비하기 위한 목적으로 높은 굴절률로 인해 산란체 역할에 특히 효과적이라는 장점이 있다.^[15] 그러나 탄성 초음파 검사를 위한 초음파 팬텀이 부족한 상황이고 실리콘 경도 및 첨가물에 따른 탄성도를 비교한 연구는 아직 보고되지 않았다.

본 연구는 실리콘을 활용한 탄성 초음파 측정용 팬텀 제작을 위해 실리콘 경도 및 첨가물(활성탄, 이산화타이타늄)에 따른 탄성도를 평가하여 초음파 진단 검사 교육 및 연구에 실용적으로 활용하고, 실리콘 복합재료의 물리적 특성에 대한 이해를 높이고자 하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 재료

재료 실험을 위한 초음파 장치는 GE LOGIQ

MEDICAL P9의 Linear transducer를 사용하였고, 측정 조건은 Frequency 12MHz, Depth 3cm로 설정하였다. 팬텀 제작을 위해 기본 재료로 실리콘(Silicone)을 사용하였고, 경도는 각각 0.1, 0.3, 0.5로 구분하였다. 또한, 실리콘 경도 0.1에 활성화탄(Activated carbon)과 이산화타이타늄(Titanium dioxide)을 각각 첨가하여 추가 실험을 진행하였다. 모든 샘플은 Fig. 1에서 보는 것과 같이 동일한 크기인 세로 10cm, 가로 5cm 두께 1cm로 제작하였다.

2. 방법

2.1. 샘플 제작

본 연구에서는 실리콘의 경도(hardness)와 첨가물에 따른 탄성도(Elasticity) 변화를 평가하기 위해 다양한 실리콘 샘플을 Table 1에서 보는 것과 같이 5개의 실험군으로 제작하였다. 각 군의 실리콘 경도에 따른 비교는 0.1, 0.3, 0.5의 샘플을 제작하였고, 첨가물 종류에 따른 비교는 경도 0.1 실리콘에 활성화탄과 이산화타이타늄을 각각 실리콘 총량의 5% 비율로 첨가하여 실험을 진행하였다. 각 실리콘 혼합물은 정확한 계량을 위해 정밀 저울을 사용하였으며, 균일한 분산을 위해 500rpm의 교반기로 10분간 교반하였다. 혼합 과정에서 첨가물이 실리콘에 고르게 분포될 수 있도록 충분한 시간을 두었다.

준비된 실리콘은 세로 10cm, 가로 5cm 두께 1cm 크기의 직사각형 플라스틱 몰드에 주입하여 실리콘이 흘러나오지 않도록 고정시켰다. 주입된 실리콘은 상온에서 24시간 동안 자연 경화 후, 물리적 성질을 평가하였다. 각각의 실험군 샘플은 3개씩 준비하여 평가하였다.

Table 1. Experimental design based on silicone hardness and additive types

Groups	Hardness of silicone	Types of additives
A	0.1	No
B	0.3	No
C	0.5	No
D	0.1	Activated carbon (AC)
E	0.1	Titanium dioxide (TD)

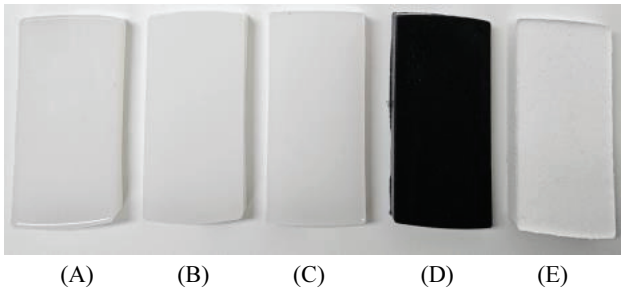


Fig. 1. Phantom production.
 (A) Silicone 0.1, (B) Silicone 0.3, (C) Silicone 0.5, (D) Silicone 0.1+AC, (E) Silicone 0.1+TD.

2.2. 탄성도(Elasticity) 및 전단파 속도(Shear wave speed) 평가

탄성 초음파 검사는 GE LOGIQ MEDICAL P9를 사용하여 Frequency 12MHz, Depth 3cm의 조건으로 측정하였다. 각 샘플은 동일한 조건에서 측정되었으며, 초음파 탐촉자를 실리콘 표면에 수직으로 접촉하여 탄성도(kPa)와 전단파 속도(m/s)를 측정하였다. 탄성도와 전단파 속도는 조직의 강성(stiffness)을 나타내는 값으로 단단할수록 수치가 증가한다. 각 샘플마다 3회 반복 측정하여 평균값과 표준편차 값을 Fig. 2와 같이 도출하였다.

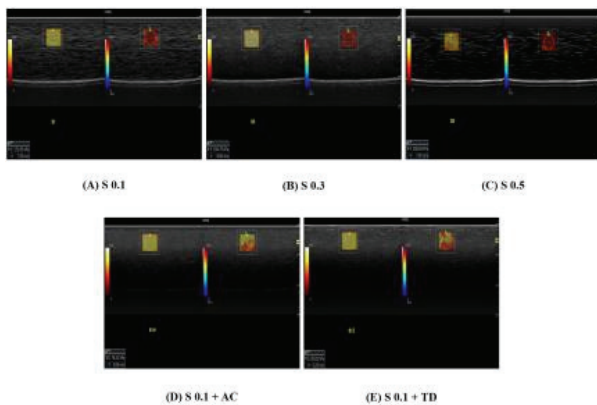


Fig. 2. Ultrasound images with elasticity and shear wave speed measurements.

2.3. 통계 분석

서로 다른 실리콘 경도 및 첨가물(활성탄, 이산화타이타늄)에 따른 탄성도(Elasticity)와 전단파 속

도(Shear wave speed)의 차이를 비교하기 위해 일원 분산분석(One - way ANOVA test)을 사용하였다. 이를 통해 각 조건 간 평균 차이를 평가하고, 첨가물이 실리콘의 물리적 특성에 미치는 유의미한 영향을 검증하였다.

추가적으로, 실리콘 복합재료의 성능 차이를 세부적으로 평가하고 각 조건 간 개별 비교를 하여 그룹 간 유의미한 차이를 명확히 하기 위해 Tukey HS 사후 검정을 실시하였다. 본 연구에서는 통계적 유의성을 $p < 0.05$ 로 설정하여, 연구 결과의 신뢰성을 보장하였다. 이러한 통계 분석에는 SPSS Statistics Version 25를 활용하였다.

III. RESULT

본 실험 결과를 요약하면 다음과 같다. 실리콘의 경도에 따른 탄성도(Elasticity) 차이는 관찰되지 않았으나, 첨가물의 종류에 따라 유의미한 차이를 보였다. 먼저, 실리콘 경도 0.1, 0.3, 0.5의 샘플 간에는 탄성도(각각 182.07 kPa, 184.5 kPa, 183.56 kPa)와 전단파 속도(각각 7.79 m/s, 7.84 m/s, 7.81 m/s)로 Table 2에서 보는 것과 같이 유의미한 차이를 보이지 않았다 ($P < 0.05$). 이는 실리콘 경도 0.1, 0.3, 0.5의 차이는 물리적 탄성도에 큰 영향을 미치지 않음을 시사한다. 그러나 실리콘에 첨가물을 추가한 샘플에서는 Fig. 3과 Fig. 4에서 보이는 것과 같이 명확한 변화가 나타났다. 경도 0.1의 실리콘에 활성탄(activated carbon)을 첨가한 샘플의 경우, 탄성도 85.3 kPa, 전단파 속도 5.33 m/s로 감소하였고, 통계적으로 유의미한 차이를 보였다 ($P < 0.05$). 이 결과는 활성탄이 실리콘의 구조적 성질을 변화시켜 압축성을 향상시켰다고 볼 수 있다. 또한, 이산화타이타늄(titanium dioxide)을 첨가한 실리콘 샘플의 경우, 탄성도 77.71 kPa, 전단파 속도 5.09 m/s로 활성탄을 첨가한 샘플보다 조금 더 유의하게 감소시켰다 ($P < 0.05$). 이는 이산화타이타늄이 활성탄보다 실리콘의 압축성에 조금 더 효과를 나타내는 것으로 보인다. 실험 결과를 앞에서 언급한 통계적 사후 (tukey) 검정 방법을 활용했을 때, 모든 구간에서 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

Table 2. Elasticity and Shear wave speed according to silicone hardness and silicone composites.

Groups	Hardness of silicone	Elasticity (kPa)		Shear wave speed (m/s)	
		Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation
A	silicone 0.1	182.07	9.31	7.79	0.2
B	silicone 0.3	184.5	13.3	7.84	0.28
C	silicone 0.5	183.56	18.0	7.81	0.39
D	silicone 0.1+ AC	85.3	6.64	5.33	0.2
E	silicone 0.1+ TD	77.71	4.35	5.09	0.14

AC: activated carbon, TD: titanium dioxide

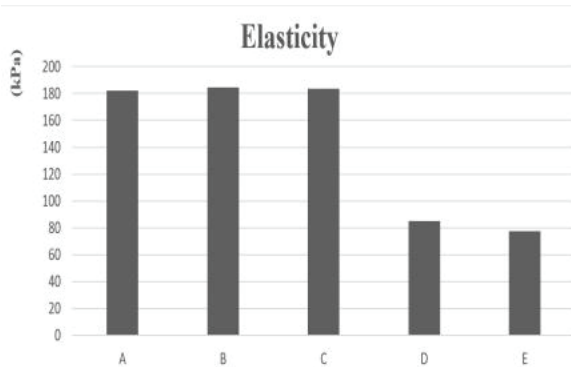


Fig. 3. Elasticity evaluation.

(A) Silicone 0.1, (B) Silicone 0.3, (C) Silicone 0.5, (D) Silicone 0.1+AC, (E) Silicone 0.1+TD.

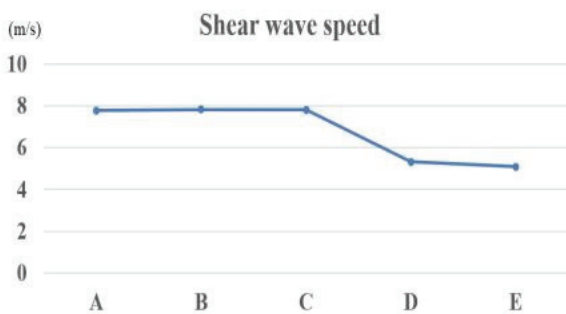


Fig. 4. Shear wave speed.

(A) Silicone 0.1, (B) Silicone 0.3, (C) Silicone 0.5, (D) Silicone 0.1+AC, (E) Silicone 0.1+TD.

IV. DISCUSSION

본 연구의 핵심적인 발견은 실리콘의 탄성도가 첨가물의 종류에 따라 유의미하게 변화한다는 점

이다. 실리콘 경도 차이가 탄성도에 미치는 영향을 조사한 결과, 경도 0.1, 0.3, 0.5 간에는 탄성도 (Elasticity)와 전단파 속도(Shear wave speed) 수치에 뚜렷한 차이가 없었다. 그러나 경도 0.1의 실리콘에 활성탄(activated carbon)과 이산화타이타늄(titanium dioxide)을 첨가한 경우 탄성도가 감소하면서 전단파 속도와 또한 감소하는 현상이 관찰되었다. 이는 활성탄과 이산화타이타늄이 실리콘의 내부 구조에 영향을 미쳐, 실리콘의 압축성을 향상시키고, 동시에 탄성도를 감소시켰다고 해석된다. 이 실험 결과로 첨가물의 종류가 실리콘의 물리적 특성에 영향을 미친다는 점을 확인하였다. 특히 이산화타이타늄과 같은 첨가물이 실리콘의 탄성도를 약화시키면서 압축 변형에 대한 저항성을 감소시키는 역할을 한다는 점을 보여주었다. 이는 첨가물이 실리콘 복합재료에서 응용 분야에 따라 선택적으로 사용될 수 있음을 의미하며, 특정 용도에서 압축성이 요구될 때, 활성탄과 이산화타이타늄이 유용한 첨가물로 작용할 수 있음을 시사한다.

탄성 초음파를 위한 팬텀 제작에 있어 다양한 재료를 활용한 여러 연구들이 있다^[16-19]. Janeiro의 연구에 따르면, 실리콘 오일, 바셀린, 글리세린을 각각 실리콘과 혼합하여 사용했을 때, 음속과 감쇠 계수에 다른 영향을 미치는 것을 관찰했다^[17]. 안동기 등은 플라스틱 경화제와 연화제를 이용하여 탄성도가 각각 5배 7배 차이가 나도록 초음파 팬텀을 제작했다고 보고하였다^[18]. 반면, 본 연구는 실리콘에 활성탄과 이산화타이타늄을 첨가해 탄성도를 분석하였고, 탄성 초음파를 이용해 탄성도 및 전단파 속도를 정량적으로 측정하였다. 연구에서 밝혀진 바와 같이, 실리콘 경도 0.1, 0.3, 0.5 샘플 간은 탄성도와 전단파 속도에는 큰 차이가 없었으나, 이산화 타이타늄과 활성탄을 첨가했을 때에는 수치가 감소하였다. 이는 탄성 초음파를 위한 팬텀 제작에 있어 첨가물의 조합이 실리콘 복합재료의 성능에 중요한 역할을 한다는 점을 시사하며, 실리콘 복합재료의 응용에 있어 첨가물 선택이 결정적인 요소임을 보여준다. 특히 이산화타이타늄과 같은 첨가물은 실리콘 내부 구조를 변화시켜 탄성도와 압축 변형에 대한 저항성을 감소시킨 것으로 분석되며, 압축성이 요구되는 분야에서 매우 유용한 재료

가 될 수 있다.

탄성 초음파 팬텀 재료 중 하나인 실리콘은 내구성과 안정성이 뛰어나 장기적인 사용에 적합하며, 다양한 경도와 탄성 계수를 조정하여 실제 생체 조직과 유사한 특성을 구현할 수 있다. 또한, 초음파 전달 특성을 조절하기 용이해 복잡한 구조 모사에도 적합하다. 그러나 실리콘은 다른 재료에 비해 음파의 전달 속도가 늦고, 비용이 높다는 단점이 있다^[17,20,21]. 이런 장단점을 고려할 때, 실리콘은 장기 사용이 필요한 팬텀 제작에 유리하지만, 초음파 영상의 거리 정확도 및 비용은 주의해야 할 요소이다.

본 연구는 실리콘의 첨가물에 따른 물리적 특성 변화의 원인을 분석하기 위한 추가적인 기계적 테스트를 하지 못했다. 따라서 향후 연구에서는 이러한 원인을 분석해보고, 탄성 초음파를 위한 유방 팬텀 및 간경화도 평가 팬텀을 제작할 예정이다. 이러한 접근은 초음파 팬텀 개발에 기여하고, 산업적 활용의 범위를 확대할 수 있는 기초자료를 제공하여 관련 분야의 발전에 이바지할 것으로 기대된다.

V. CONCLUSION

본 연구에서는 실리콘의 경도와 첨가물이 초음파 탄성도에 미치는 효과를 분석하였다. 그 결과, 실리콘 경도 0.1, 0.3, 0.5로 구성된 순수 실리콘 샘플 간에는 탄성도와 전달 속도에 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 그러나 실리콘 경도 0.1에 활성탄과 이산화타이타늄을 첨가한 경우, 두 첨가제 모두 탄성도와 전달 속도가 현저히 감소하였다. 특히, 이산화타이타늄은 활성탄 보다 상대적으로 낮은 수치를 나타냈다. 이러한 결과는 이산화타이타늄과 활성탄이 실리콘 복합재료의 물리적 특성에 중요한 영향을 미친다는 것을 시사하며, 질병의 진단 시 탄성도의 정량적 평가를 통한 객관화된 물리적 특성을 조성하는 데 중요한 역할을 할 수 있음을 보여준다. 이 연구 결과는 의료 분야에서 초음파 팬텀의 설계 및 제작에 기초자료로 활용되어 초음파 검사 정확성을 향상시키고, 실리콘 기반의 초음파 팬텀 재료 개발 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

This paper was supported by the Meister support project of Daejeon Health University in 2024

Reference

- [1] Health Insurance Review & Assessment Service, HIRA Bigdatas Open portal - Statistics of Medical Procedures (Examinations/Surgeries, etc.), 2024. From URL; <https://opendata.hira.or.kr/op/opc/olapDiagBhvInfoTab1.do>
- [2] Cè, Maurizio, N. C. D'Amico, G. M. Danesini, C. Foschini, G. Oliva, C. Martinenghi, M. Cellina, "Ultrasound Elastography: Basic Principles and Examples of Clinical Applications with Artificial Intelligence—A Review", *BioMedInformatics*, Vol. 3, No. 1, pp. 17-43, 2023. <https://doi.org/10.3390/biomedinformatics3010002>
- [3] L. Pallwein, M. Mitterberger, P. Struve, G. Pinggera, W. Horninger, G. Bartsch, F. Aigner, A. Lorenz, F. Pedross, F. Frauscher, "Real-time elastography for detecting prostate cancer: preliminary experience", *British Journal of Urology*, Vol. 100, No. 1, pp. 42-46, 2007. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1464-410X.2007.06851.x>
- [4] B. S. Garra, "Imaging and estimation of tissue elasticity by ultrasound", *Ultrasound Quarterly*, Vol. 23, No. 4, pp. 255-268, 2007. <http://dx.doi.org/10.1097/ruq.0b013e31815b7ed6>
- [5] H. S. Kim, S. H. Cha, H. H. Chung, K. Y. Lee, B. H. Kim, K. A. Kim, Y. H. Kim, C. M. Park, E. S. Lee, K. S. Byun, "Usefulness of High-Frequency Compound Spatial Sonography in the Assessment of Hepatitis B Virus Related Chronic Liver Disease", *Ultrasonography*, Vol. 26, No. 1, pp. 13-19, 2007.
- [6] S. W. Choo, J. N. Song, C. M. Jeon, J. B. Han, "Early Prediction of Liver Fibrosis Using Shear Wave Elastography", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 17, No. 7, pp. 1057-1065, 2023. <https://doi.org/10.7742/jksr.2023.17.7.1057>
- [7] N. S. Berko, E. F. FitzGerald, T. D. Amaral, M. Payares, T. L. Levin, "Ultrasound elastography in children: establishing the normal range of muscle

- elasticity", *Pediatric radiology*, Vol. 44, No. 2, pp. 158-163, 2014.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00247-013-2793-z>
- [8] Y. N. Feng, Y. P. Li, C. L. Liu, Z. J. Zhang, "Assessing the elastic properties of skeletal muscle and tendon using shearwave ultrasound elastography and MyotonPRO", *Scientific reports*, Vol. 8, No. 1, pp. 17064, 2018.
<http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-34719-7>
- [9] N. Nakanishi, S. Inoue, R. Tsutsumi, Y. Akimoto, Y. Ono, J. Kotani, H. Sakaue, J. Oto, "Rectus Femoris Mimicking Ultrasound Phantom for Muscle Mass Assessment: Design, Research, and Training Application", *Journal of Clinical Medicine*, Vol. 10, No. 12, pp. 2721, 2021.
<http://dx.doi.org/10.3390/jcm10122721>
- [10] M. O. Culjat, D. Goldenberg, P. Tewari, R. S. Singh, "A review of tissue substitutes for ultrasound imaging", *Ultrasound in Medicine and Biology*, Vol. 36, No. 6, pp. 861-873, 2010.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2010.02.012>
- [11] S. C. Ma, "Manufacture and Image Characteristic Changes Observation by Temperature of Ultrasound Tissue Mimicking Phantom", *Journal of radiological science and technology*, Vol. 39, No. 2, pp. 157-161, 2016.
<http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2016.39.2.04>
- [12] B. Gül, "Design and fabrication of silicone-based composite tissue-mimicking phantoms for medical training", *Doctoral dissertation*, Sabancı University, 2018.
- [13] D. V. Pinjari, K. Prasad, P. R. Gogate, S. T. Mhaske, A. B. Pandit, "Synthesis of titanium dioxide by ultrasound assisted sol-gel technique: Effect of calcination and sonication time", *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 23, pp. 185-191, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.10.017>
- [14] G. J. Lee, D. H. Park, T. M. Shin, J. B. Seo, "Analysis of properties and phantom design based on plastic hardener and softener for ultrasonic imaging", *Journal of Biomedical Engineering Research*, Vol. 29, No. 4, pp. 302-306, 2008.
- [15] H. G. Akarçay, S. Preisser, M. Frenz, J. Rička, "Determining the optical properties of a gelatin-TiO₂ phantom at 780 nm", *Biomedical Optics Express*, Vol. 3, No. 3, pp. 418-434, 2012.
<http://dx.doi.org/10.1364/BOE.3.000418>
- [16] D. S. Mix, M. C. Stoner, S. W. Day, M. S. Richards, "Manufacturing Abdominal Aorta Hydrogel Tissue-Mimicking Phantoms for Ultrasound Elastography Validation", *Journal of Visualized Experiments: JoVE*, Vol. 139, pp. 57984, 2018. <http://dx.doi.org/10.3791/57984>
- [17] L. E. Maggi, M. A. Von Krüger, W. C. A. Pereira, E. E. C. Monteiro, "Development of silicon-based materials for ultrasound biological phantoms", 2009 IEEE International Ultrasonics Symposium, pp. 1962-1965, IEEE.
<http://dx.doi.org/10.1109/ULTSYM.2009.5441472>
- [18] D. K. Ahn, M. K. Joung, "Ultrasonic phantom based on plastic material for elastography", *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, Vol. 29, No. 4, pp. 368-373, 2009.
- [19] A. Jawli, W. Aldehani, G. Nabi, Z. Huang, "Tissue-Mimicking Material Fabrication and Properties for Multiparametric Ultrasound Phantoms: A Systematic Review", *Bioengineering*, Vol. 11, No. 6, pp. 620, 2024.
<http://dx.doi.org/10.3390/bioengineering11060620>
- [20] S. A. Armstrong, R. Jafary, J. S. Forsythe, S. D. Gregory, "Tissue-mimicking materials for ultrasound-guided needle intervention phantoms: a comprehensive review", *Ultrasound in Medicine & Biology*, Vol. 49, No. 1, pp. 18-30, 2023.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2022.07.016>
- [21] E. García-Carpintero, E. Naredo, E. Vélez-Vélez, G. Fuensalida, G. Ortiz-Miluy, C. Gómez-Moreno, "Phantoms for ultrasound-guided vascular access cannulation training: a narrative review", *Medical Ultrasonography*, Vol. 25, No. 2, pp. 201-207, 2023. <https://doi.org/10.11152/mu-3711>

탄성초음파 팬텀 제작을 위한 실리콘 경도 및 첨가물에 따른 특성 연구

김소망¹, 구본열², 김지원^{3,*}

¹하나로영상의학과의원

²전주비전대학교 방사선과

³대전보건대학교 방사선과

요약

본 연구는 실리콘의 경도와 첨가물이 초음파 탄성도에 미치는 효과를 분석하고자 한다. 실리콘은 경도 0.1, 0.3, 0.5의 샘플로 제작하였고, 첨가물 종류에 따른 탄성도 비교를 위해 실리콘 경도 0.1에 활성탄과 이산화티타늄을 각각 실리콘 총량의 5% 비율로 첨가하여 제작하였다. 각 샘플은 교반기로 혼합하여 경화한 후, 초음파를 활용하여 탄성도를 측정하였다. 실험 결과, 첨가제의 종류에 따라 탄성도에 유의미한 변화가 나타났다. 순수 실리콘 샘플(경도 0.1, 0.3, 0.5) 간에는 탄성도 및 전단파 속도에 유의미한 차이가 없었으나, 경도 0.1의 실리콘에 활성탄과 이산화티타늄을 첨가한 경우, 탄성도(각각 85.3kPa, 77.71kPa)와 전단파 속도(각각 5.33m/s, 5.09m/s)가 감소하는 특성을 보였다. 특히, 이산화티타늄을 첨가한 샘플이 활성탄을 첨가한 샘플보다 탄성도와 전단파 속도가 더 낮게 측정되어, 이산화티타늄이 재료 특성에 미치는 영향이 뚜렷함을 나타냈다. 결론적으로, 실리콘의 물리적 특성은 첨가제의 종류에 따라 달라지며, 이산화티타늄은 실리콘의 압축성을 향상시키는 특성을 가져 탄성도가 낮게 요구되는 응용 분야에서 유용하게 활용될 가능성이 있음을 보여준다.

중심단어: 탄성초음파, 초음파 팬텀, 실리콘, 활성탄, 이산화티타늄

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	김소망	하나로 영상의학과의원	방사선사
(공동저자)	구본열	전주비전대학교 방사선과	조교수
(교신저자)	김지원	대전보건대학교 방사선과	조교수