

계란 껍데기를 이용한 융합 의료방사선 차폐시트의 가능성 검증

김선철
계명대학교 의용공학과 교수

Verification of the Possibility of Convergence Medical Radiation Shielding Sheet Using Eggshells

Seon-Chil Kim
Professor, Department of Medical Engineering, Keimyung University

요약 경량의 의료방사선 차폐시트를 제작하기 위해 새로운 차폐소재를 검토하였다. 가정에서 음식물 쓰레기로 버려지는 계란 껍데기 분말을 고분자 물질과 혼합하여 차폐재료의 가능성을 검증하고자 하였다. 기존의 경량 소재는 친환경의 조건을 만족하지만 주 재료 정제과정의 비용으로 인해 차폐시트 제작의 경제성에 어려움이 있다. 본 연구는 가정용 폐기물인 계란 껍데기를 이용하여 이러한 문제점을 해결하고자 한다. 고분자 물질인 HDPE를 이용하여 3 mm 두께의 차폐시트를 제작하였으며, 차폐시트 단면 내의 입자 분포상태도 분석하였다. 입자의 모양은 대체로 거칠게 구성되어 입자 간 공극이 있었으며, 단위 면적당 무게는 평균 1.5 g/cm² 로 나타났다. 차폐성능은 저에너지 영역에서는 20%대, 고에너지 영역에서는 10%대의 차폐성능을 보여 저선량 의료방사선 차폐시트의 재료로 가능성을 보여주었다.

주제어 : 차폐재료 융합, 탄산칼슘, 저선량, 방사선 차폐, 차폐시트

Abstract In order to manufacture a lightweight medical radiation shielding sheet, a new shielding material was studied. We tried to verify the possibility of a shielding material by mixing egg shell powder, which is thrown away as food waste at home, with a polymer material. Existing lightweight materials satisfy eco-friendly conditions, but there are difficulties in the economics of shielding materials due to the cost of the material refining process. This study aims to solve this problem by using egg shells, which are household waste. A 3 mm-thick shielding sheet was fabricated using HDPE, a polymer material, and particle distribution within the cross-section of the shielding sheet was also verified. The shape of the particles was rough and there were voids between the particles, and the average weight per unit area was 1.5 g/cm². The shielding performance was around 20% in the low energy area and 10% in the high energy area, showing the possibility of a low-dose medical radiation shielding body.

Key Words : Shielding material fusion, calcium carbonate, low dose, radiation shielding, shielding sheet

*This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government (Ministry of Education) (NRF. 2020R111A3070451).

*Corresponding Author : Seon-Chil Kim(chil@kmu.ac.kr)

Received May 13, 2021

Accepted June 20, 2021

Revised June 1, 2021

Published June 28, 2021

1. 서론

의료기관에서 치료나 검사를 위한 의료방사선 사용량이 점차 늘어남에 따라 방사선 차폐와 관련하여 많은 연구가 활성화되고 있다[1]. 특히, 방사선 노출의 위험이 큰 환자나 의료인을 보호하기 위한 여러 가지 차폐제품이 개발되고 있다[2,3].

방사선 차폐물질로 가장 많이 사용되고 있는 납은 금속원소로 전자밀도가 높아 방사선 차폐제로 우수한 조건을 지니고 있다[4]. 그러나, 납은 가공과 보관, 사용에 있어서 중금속으로 인체에 유해하며, 폐기 시 독성의 영향으로 환경을 오염시키는 문제점을 가지고 있다[5]. 무엇보다 의료기관에서 사용할 경우 증량감에 의해 활동에 제약이 있으며, 장기간 사용 시 허리 등 신체에 부정적인 영향을 주고 있어 사실상 경량의 친환경 제품을 사용자 입장에서 지속적으로 검토하고 있다. 따라서, 납을 대체할만한 방사선 차폐재료가 필요한 실정이다. 최근 친환경 소재로는 텅스텐, 산화비스무트, 황산바륨 등이 이미 많이 차폐재료로 이용되고 있으나, 아직 납의 방사선 감쇠 계수에는 단독으로 미치지 못한다[6,7].

이로 인해, 최근 연구에서는 친환경 차폐재료의 혼합물질을 사용하여 이러한 문제점을 해결하는 방안을 찾고 있다. 또 한 새로운 차폐물질로서 활용하고자 하는 연구가 전반적으로 진행되고 있다[8,9].

본 연구에서는 최근 폐기물을 이용한 건축재료의 콘크리트에 혼합재료로 이용되는 폐각류에 관심을 두고, 일상생활에서 발생하는 가정용 폐기물 중 하나인 계란 껍데기를 이용하여 방사선 차폐물질로서의 가능성을 검증하고자 한다[10,11].

계란 껍데기의 성분은 주로 탄산칼슘으로 구성되어 있으며, 차폐성능의 주요한 역할을 수행한다. 따라서 차폐시트 내의 입자 분산구조에 따라 시트의 내구성과 강도 등을 제시할 수 있으며, 이러한 분산구조는 밀도에도 영향을 줄 수 있어 차폐성능과 직접적인 관계가 있다[12]. 이러한 매개변수들을 분석하여 방사선 차폐재료의 밀도를 높일 수 있다면, 방사선 차폐물질로서 가능성을 검토할 수 있다고 본 연구에서는 가정하였다. 현재 계란 껍데기의 방사선 차폐성능에 관한 연구는 시작단계에 있으며, 독립적인 형태보다는 재료의 용합을 통해 차폐성능을 높이는 연구가 진행되고 있다[13]. 또한, 콘크리트 재생재료가 활용되는 모르타르에 혼합하여 방사선 차폐효과를 높이는 연구도 보고 되고 있다[14].

본 실험에서는 순수한 갈색 계란 껍데기를 이용하여

고분자 물질과 혼합하여 차폐시트를 제작한 후 의료방사선 차폐실험을 진행하였다. 납과 비교하여 차폐성능을 검증하였으며, 제작된 차폐시트의 단면 구조를 통해 입자 분산형태로 관찰하였다. 이를 통해 가정용 폐기물인 계란 껍데기가 새로운 친환경적인 방사선 차폐물질로서의 가능성을 보여줄 수 있다는 것을 검증, 제안하고자 한다.

2. 실험방법 및 재료

Fig. 1(a)과 같이 가정에서 사용한 뒤 버려지는 계란 껍데기를 수집하였으며, 수집한 계란 껍데기 외부에 존재하는 불순물을 제거하기 위해 증류수로 세척하였다. 세척한 계란 껍데기는 25~30 ℃의 상온에서 공기 중에 건조하였다. 건조한 계란 껍데기를 믹서기를 이용하여 분말 형태로 갈고 마이크로론체로 걸러 Fig. 1(b)와 같이 얻었다.



Fig 1. Eggshell processed to be used as a shielding material

본 연구에서 차폐성능 평가를 파악하기 위해 방사선 차폐시트를 직접 제작하였다. 제작 과정 중 차폐물질과 교반하기 위해 혼합되는 고분자 물질은 고밀도 폴리에틸렌(HDPE; High Density Polyethylene)을 선택하였다. HDPE는 강도가 우수하여 주로 일회용 플라스틱 제품으로 많이 이용되고 있다[15]. 본 연구에 사용된 PE는 분자량이 400만 이상이고 밀도가 0.91 g/cm³의 제품을 사용하였다. 고체상태의 폴리머를 사용하기 위해서 용매는 N-dimethylformamide(DMF, 99.5%)을 사용하여

캐스팅 용액을 만들었다. DMF를 10 wt% 내외의 비율로 교반기에 폴리에틸렌을 녹이고 완성된 캐스팅 용액에 계란 껍데기 가공 분말 70 wt% 을 첨가한 뒤, 5000 rpm 으로 교반하여 입자를 분산시켰다. 차폐시트 내부의 공극을 제거하기 위하여 사용된 가소제는 Diisononyl phthalate(DINP)를 0.85~0.95 wt% 를 사용하였다. 최종 캐스팅 용액의 균일한 차폐성능을 유지하기 위해서 이물질을 필터링을 통해 제거하고, 탈포 과정을 거친 후 압착 성형의 카렌더 공정으로 마무리 하였으며, 최종 차폐시트의 크기는 150 mm × 150 mm × 3 mm 로 Fig. 2와 같이 제작하였다.



Fig. 2. Shape of the Shielding material sheet

차폐물질 입자 크기와 분산성은 차폐시트의 박막 절편을 통해 광학현미경(FESEM ; Field emissions scanning electron microscope, Hitachi, S-4800)으로 관찰하였다. 차폐시트는 차폐성능 검사를 위한 실험방법으로 한국산업표준에 X선 방호용품류의 납당량 시험방법(KS A 4025 : 2017)과 동일한 실험 방법을 적용하여 Fig. 3 과 같은 기하학적 조건을 설정하였으며, 차폐시트의 차폐율 계산은 $(1-W/W_0) \times 100$ 으로 하였다[16]. 이때 W

는 엑스선관과 Dosimeter 사이에 차폐시트가 있을 경우에 측정된 선량이며, W0는 엑스선관과 Dosimeter 사이에 차폐시트가 없을 경우에 측정된 조사선량 값으로 산정하였다. 엑스선 발생장치(E7239, Toshiba, Japan)를 이용하여 실험하였으며 결과의 평균값을 이용하였다. 선량 검출기는 DosiMax plus 1(iba, Dosimetry, Japan)로 검, 교정 후 사용하였다.

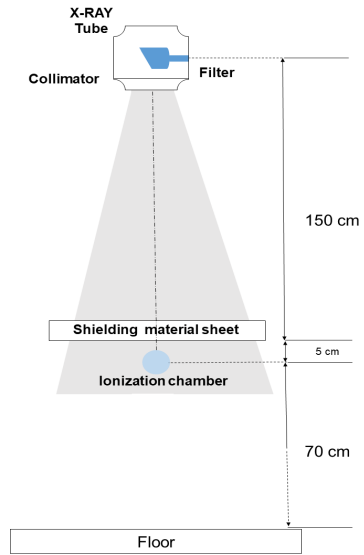


Fig. 3. Measuring arrangement for Radiation shielding

3. 결과

계란 껍데기 분말과 고분자 혼합재료의 의료방사선 차폐시트의 차폐성능을 평가하기 위해 일정 크기와 카렌더 공정을 통해 제작한 차폐시트의 성능은 Table 1과 같이 나타났다. 두께는 3 ± 0.05 mm 이며, 단위 면적당 무게

Table 1. Result of the radiation shielding tests

Tube voltage[kVp]	Shielding sheet	a_IRD	Lead (0.1mm)		Eggshell shielding sheet (10mm)	
			a_TD	SR	a_TD	SR
40		106.90	5.85	94.53	84.47	20.98
60		381.63	61.06	84.00	320.83	15.93
80		799.70	212.63	73.41	702.13	12.20
100		1318.33	457.80	65.27	1180.67	10.44
120		1648.33	620.03	62.38	1484.67	9.929

* a_IRD means Average Irradiation Dose.[Unit: μ R]
 * a_TD means Average Transmission Dose.[Unit: μ R]
 * SR means the shielding rate.[Unit: %]

는 1.5 g/cm^3 으로 경량으로 나타났다. 높은 강도나 낮은 강도의 의료방사선 에너지 범위에서 일관성 있는 차폐율이 나타났으며, 차폐율은 대체로 낮은 수치를 나타내었다. 다만, 3 mm 두께를 고려한다면 40 kVp 에서 20%의 차폐율을 나타내었다. 이는 종전의 황산바륨을 이용한 차폐섬유와 유사한 차폐율로 보여지고 있다[16].

고강도 방사선 에너지에서 차폐는 10%의 차폐율을 나타내고 있으며, 이는 낮은 차폐율이지만, 향후 차폐섬유와 같이 저선량 방사선 차폐재료로 충분한 가능성을 보여주고 있다.

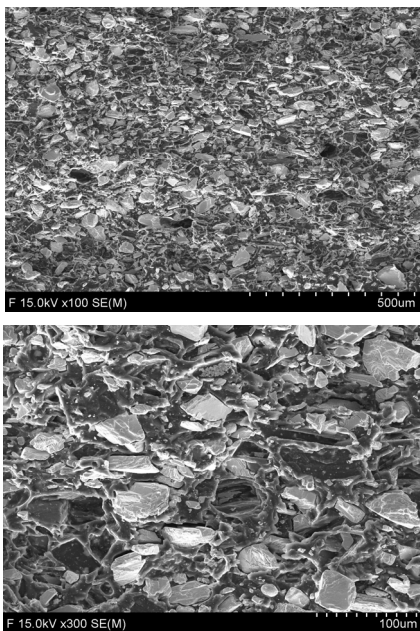


Fig. 4. Cross-sectional structure of egg shell shielding sheet

차폐시트의 단면을 광학현미경으로 촬영한 사진은 Fig. 4와 같다. 입자의 모양이 상당히 거칠게 되어 있으며, 입자 간 공극도 매우 큰 것으로 관찰되었다. 입자 간 간격이 크면 전체적으로 차폐율이 떨어지고 고분자 물질과의 친화성이 낮아져 차폐시트의 강도도 약해질 수 있다. 본 연구용 차폐시트는 두께 3 mm를 기준으로 제작되었다.

4. 고찰

계란 껍데기의 주요 성분은 96%가 무기물이며, 대부

분 탄산칼슘(Calcium carbonate, CaCO_3), 미량의 마그네슘, 인 등으로 구성되어 있으며, 3%의 단백질, 수분 그리고 기타 성분으로 구성되어 있다[17]. 따라서 방사선 차폐의 주요역할은 탄산칼슘으로 이해할 수 있다. 탄산칼슘은 녹는점이 $825 \text{ }^\circ\text{C}$ 이며, 밀도가 2.71 g/cm^3 로 11.34 g/cm^3 의 밀도를 가진 납에 비하면 매우 낮은 상태이다[18]. 그러나 차폐재료로 이미 사용하는 황산바륨은 밀도가 4.49 g/cm^3 로 큰 차이가 없어 단독으로 이용하기에는 차폐재료로 부족하지만, 기존의 재료와 혼합하여 차폐성능을 높일 수 있는 가능성이 있다. 차폐성능 평가의 실험에서도 낮은 강도영역에서 차폐율이 20%로 저선량 차폐에는 도움이 될 수 있는 것으로 판단된다.

의료기관의 방사선 차폐체는 직접선을 차폐하는 목적으로 제작되어 납당량 0.5 mm, 0.25 mm 기준으로 시트가 제작되고 있다. 본 실험은 표준납 0.1 mm를 기준으로 계란 껍데기 분말 차폐시트의 차폐성능을 비교 분석하였으나, 납은 저선량과 고선량 모든 영역에서 차폐성능이 우수하게 나타났다. 따라서 납은 직접선과 간접선 모든 영역에 적절히 사용이 가능하지만, 고선량 영역에서 10% 대의 차폐성능을 보인 계란 껍데기 분말과 고분자 용합 차폐시트는 차폐성능이 많이 부족하다.

따라서 계란 껍데기의 차폐성능은 있으나, 투시 의료기기와 같이 직접선 영역이 아닌 간접선 영역의 차폐체인 수술용 장갑, 내피용 방사선 차폐섬유 등의 재료로 충분히 활용이 가능한 것으로 설명할 수 있다. 본 연구는 단순히 고분자 액상 폴리머를 이용하여 차폐시트를 제작한 후 차폐성능을 비교하였고, 계란 껍데기 분말의 함량 조절에 따른 차폐성능에 대한 비교가 없어 연구의 한계점으로 인식된다. 또 한 타 차폐재료와 혼합하여 동등한 차폐성능을 나타낼 수 있다면 친환경 차폐재료의 경제성 문제도 해결할 것으로 사료된다. 다만, 본 연구는 계란 껍데기 분말이 방사선 차폐재료로의 가능성을 검증하였다. 이것으로 버려지는 가정용 폐기물인 계란 껍데기를 활용하여 경제성을 높이는 저선량 방사선 차폐시트 제작이 가능할 것으로 사료된다.

5. 결론

가정용 폐기물에 해당되는 계란 껍데기 분말 70 wt%에 고분자를 혼합하여 3 mm 두께의 방사선 차폐시트를 제작하였다. 차폐시트의 단면 구조를 관찰한 결과 입자가 거칠게 형성되어 있었으며, 차폐성능에서는 저선량역

역에서는 20%, 고선량 에너지영역에서는 10%의 차폐율을 나타내었다. 차폐성능은 부족하지만, 타 차폐물질과 혼합하거나, 차폐섬유 등의 저선량 차폐체 제작에는 도움이 될 것으로 생각되며, 이는 새로운 방사선 차폐물질의 대안으로 계란 껍데기의 사용 가능성을 보여준 것으로 사료된다.

REFERENCES

- [1] E. Al-Sarraya, İ. Akkurta, K. Günoğlub, A. Evcinc & N.Ç. Bezira. (2017). Radiation Shielding Properties of Some Composite Panel. *Acta physica polonica A*, 132(3), 490-492.
DOI : 10.12693/APhysPolA.132.490
- [2] J. P. McCaffrey, H. Shen, B. Downton & E. Mainegra-Hing. (2007). Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments. *Medical Physics*, 34(2), 530-537.
DOI : 10.1118/1.2426404
- [3] E. Al-Sarray. (2018). Shield against beta radiation and gamma of polymer compounds, melanterite and eggshells. *Journal Port science research*, 1(1), 1-4.
DOI : 10.13140/RG.2.2.17344.43523
- [4] A. Alalawi et al. (2020). Influence of lead and zinc oxides on the radiation shielding properties of tellurite glass systems. *Ceramics International*, 46(11), 17300-17306.
DOI : 10.1016/j.ceramint.2020.04.017
- [5] M. S. Al-Buriah & K. S. Mann. (2019). Radiation shielding investigations for selected tellurite-based glasses belonging to the TNW system. *Materials Research Express*, 6(10), 105206-.
DOI : 10.1088/2053-1591/ab3f85
- [6] D. Adlienëa, L. Gilysa & E. Griškonisb. (2020). Development and characterization of new tungsten and tantalum containing composites for radiation shielding in medicine. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 467, 21-26.
DOI : 10.1016/j.nimb.2020.01.027
- [7] N. J. AbuAlRoos, M. N. Azman, N. A. B. Amin & R. Zainon. (2020). Tungsten-based material as promising new lead-free gamma radiation shielding material in nuclear medicine. *Physica Medica*, 78, 48-57.
DOI : 10.1016/j.ejmp.2020.08.017
- [8] H. Binici, O. Aksogan, A. H. Sevinc & E. Cinpolat. (2015). Mechanical and radioactivity shielding performances of mortars made with cement, sand and egg shells. *Construction and Building Materials*, 93, 1145-1150.
DOI : 10.1016/j.conbuildmat.2015.05.020
- [9] N. J. AbuAlRoosa, N. A. B. Amina & R. Zainon. (2019). Conventional and new lead-free radiation shielding materials for radiation protection in nuclear medicine: A review. *Radiation Physics and Chemistry*, 165, 108439-.
DOI : 10.1016/j.radphyschem.2019.108439
- [10] J. N. Z. Jasmine et al. (2019). Study of radiation attenuation ability of clay and cement mixture with added eggshell. *Journal of Physics: Conference Series*, 1497, 012010-.
DOI : 10.1088/1742-6596/1497/1/012010
- [11] U. G. Ezeh, J. C. Ezeh & B. I. Eziefula. (2018). Properties of seashell aggregate concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 192, 287-300.
DOI : 10.1016/j.conbuildmat.2018.10.096
- [12] B. Ahmed, G. B. Shah, A. H. Malik, Aurangzeb & M. Rizwan. (2020). Gamma-ray shielding characteristics of flexible silicone tungsten composites. *Applied Radiation and Isotopes*, 155, 108901-.
DOI : 10.1016/j.apradiso.2019.108901
- [13] E. Al-Sarray & A. Jabbar. (2018). Investigate the Ability of the Eggshell to Attenuate the Gamma and Beta Rays as Compared with Composite FeSO4.7H2O. *Nuclear Science*, 3(1), 16-22.
DOI : 10.11648/j.ns.20180301.13
- [14] H. Hamada, B. Tayeh, F. Yahaya, K. Muthusamy & A. Al-Attar. (2020). Effects of nano-palm oil fuel ash and nano-eggshell powder on concrete. *Construction and Building Materials*, 261, 119790-.
DOI : 10.1016/j.conbuildmat.2020.119790
- [15] B. L. F. Chin, S. Yusup, A. A. Shoaibi, P. Kannan, C. Srinivasakannan & S. A. Sulaiman. (2014). Comparative studies on catalytic and non-catalytic co-gasification of rubber seed shell and high density polyethylene mixtures. *Journal of Cleaner Production*, 70, 303-314.
DOI : 10.1016/j.jclepro.2014.02.039
- [16] S. C. Kim. (2021). Construction of a Medical Radiation-Shielding Environment by Analyzing the Weaving Characteristics and Shielding Performance of Shielding Fibers Using X-ray-Impermeable Materials. *Applied Science*, 11(4), 1705.
DOI : 10.3390/app11041705
- [17] M. Ketta & E. Tümová. (2016). Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors in laying hens: a review. *Czech Journal of Animal Science*, 61(7), 299-309.
DOI : 10.17221/46/2015-CJAS
- [18] M. M. H. Al Omari, I. S. Rashid, N. A. Qinna, A. M. Jaber & A. A. Badwan. (2016). Calcium Carbonate. Profiles of Drug Substances, *Exipients and Related Methodolog*, 41, 31-132.
DOI : 10.1016/bs.podrm.2015.11.003

김 선 칠(Seon-Chil Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 고려대학교 의료정보기
기학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 경북대학교 의료정보학
과 (의료정보학박사)
- 2003년 3월 ~ 2015년 8월 : 대구보
건대학교 방사선과 교수
- 2015년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 의

용공학과 교수

· 관심분야 : 방사선 차폐, 의료기기, 의료정보

· E-Mail : chil@kmu.ac.kr