

방사선 방호용 에이프런의 경량화와 차폐능 개선

김창복, 김영근*, 구할본**, 이경섭***

동신대학교 전기전자공학과, 광주보건대학 방사선과*, 전남대학교 전기공학과**, 동신대학교 전기전자공학과

Improvement of shieldability and lightweight of radiation protective apron

Chang-Bok Kim, Young-Keun Kim, Hal-bon Ku, kyung-sup Lee

Dongsin Uni., Kwang-ju Health Cal.*, Chunnam Uni.**, Dongsin Uni.

Abstract

방사선 투시조영 촬영 시 사용되는 방호복의 차폐효율 증가와 경량화는 오랜 시간 연구 대상이 되었다. 이러한 방호복의 질적 향상을 위하여 연구한 결과는 다음과 같다. Apron의 규격인 납 당량 0.25mm에 해당하는 투과선량은 5.2%로 나타났으며, 시료 Sn, Ni, Ti, Cu의 방사선 차폐 효율은 Sn이 가장 높게 나타났다. 증착시료 Sn+Pb 방법에서는 Sn 0.18mm와 Pb 0.1mm, Pb+Sn 방법에서는 Pb 0.1mm와 Sn 0.36mm에서 Apron의 규격인 납 0.25mm 두께로 나타났다. 증착시료 Sn+Pb는 Apron의 규격인 0.25mm 납 당량보다 차폐효율이 높고, 면적당 무게가 가벼워 방호복 물질로 적합한 것으로 사료된다.

I. 서 론

중재적방사선시술이나 위장관조영촬영과 같은 투시 검사는 장시간에 걸쳐 검사가 이루어지기 때문에 의료종사자의 방사선방어를 위해 사용되는 방사선 방호복은 작업의 편리성을 위해 경량화가 요구되고 있다. 또한, 이들의 투시 검사는 투과시간과 촬영횟수 등이 증가함에 따라 산란선량도 증가하게 되므로 의료종사자의 피폭 방어를 위해서는 방사선 방호복의 우수한 X선 차폐능도 요구되고 있다¹⁻⁴⁾.

원자번호가 큰 원소인 Pb의 경우는 진단영역의 저 Energy X선에 대한 차폐능이 우수하기 때문에 많이 사용되고 있다. 그러나 종래의 연산화물을 사용한 X선 방호복의 경우 물리적 경량화는 이미 한계에 도달하였다⁵⁾.

최근에는 Pb, Cu, Ba, An, W 등의 여러 가지 원소를 혼합하여 종래의 방호복과 동등한 연당량의 다원소 복합 방호복을 생산하고 있는데, 이는 종래의 방호복과 이들 원소가 동등의 연당량을 유지하면서 경량화를 예측할 수

있기 때문이다^{6,7)}.

다원소 복합 방호복에서는 각각의 원소의 질량 감약계수를 이용하여, "X선 방호용품류 JIS Z 4803-1991"⁸⁾ 관련 규정에 비추어 연당량의 달성은 물론, 경량화도 가능하다. 神技 등은 이들 다원소 복합 방호복용 재료의 특성과 유용성에 관해서 보고한 바 있다^{9,10)}.

본 연구에서는, X선 방호용품류의 납당량 시험방법 KS A 4025-1990¹¹⁾으로 Pb, Sn, Ni, Ti, Cu의 X선 흡수선량을 측정하여 보간법으로 각각의 흡수선량율과 납당량을 산출한 다음, Pb, Sn, Ni, Ti, Cu 등의 다원소 복합 방호복 재료의 특성과 유용성을 분석하여 경량화 가능성과 차폐능의 정도를 알아보고자 한다.

II. 실험 기기 및 방법

2.1 실험 기기 및 재료

1) X-선 발생장치: DRF 500-125

- 2) 선량 측정 장비: Radical Corporation Model 2026
- 3) 피사체용 Phantom: Acryl 10~20 cm
- 4) 6.0mm Pb: 1장, 0.1 mm, Pb: 6장, 0.1 mm Sn: 6장
0.1 mm Ni: 6장, 0.1 mm, Ti: 6장, 0.1 mm Cu: 6장

2. 2. 실험 방법

1) Pb의 투과선량을 측정

Pb의 투과선량을 구하기 위하여 100 kVp 400 mAs의 노출조건으로 Pb이 없는 상태에서의 조사선량과 0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm, 0.4 mm, 0.5 mm, 0.6 mm Pb의 투과선량을 그림 1에서 측정하였다.

그림 1은 X선 방호용품류의 납당량 시험방법 KS A 4025-1990이며, a는 초점과 납의 거리로 1500 mm, b는 납과 선량계간의 거리로 32 mm, c는 선량계와 바닥면까지의 거리로 700 mm, d는 차폐체와 납까지의 거리로 200 mm, 조사야폭은 150 mm × 150 mm, 산란선 차폐체의 두께는 6 mm, 지름은 20 mm로 하였다.

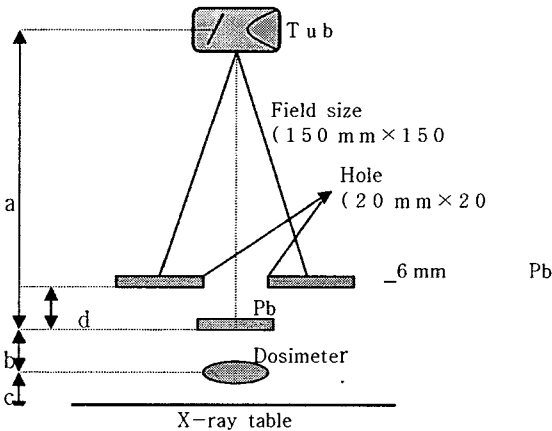


그림 1. Configuration for transmitted dose measurement of Pb

2) Sn, Ni, Ti, Cu의 투과선량과 납당량 측정

Sn, Ni, Ti, Cu의 투과선량과 납당량을 구하기 위하여 100 kVp 400 mAs의 노출조건으로 Sn, Ni, Ti, Cu 재료가 없는 상태에서의 조사선량과 0.1 mm~0.6 mm Sn, Ni, Ti, Cu 재료의 투과선량을 측정하였다. 이때 그림 1의 Pb 시료 위치에 Sn, Ni, Ti, Cu 재료를 두어 납의 투

과선량 측정 실험과 같은 방법으로 실시하였다.

3) Sn + Pb, Pb + Sn의 중첩시 투과선량과 납당량 측정

Sn + Pb의 중첩시 투과선량과 납당량을 구하기 위하여 100 kVp 400 mAs의 노출조건으로 재료가 없는 상태에서의 조사선량과 0.1 mm~0.6 mm Sn과 0.1 mm Pb 순으로 증착된 재료의 투과선량을 측정하였다. 이때 그림 1의 Pb 시료 위치에 Sn + Pb 재료를 놓아두고 납의 투과선량 측정 실험과 같은 방법으로 실시하였다. 그리고 0.1 mm~0.6 mm Sn은 X선관의 방향으로, 0.1 mm Pb은 선량계의 방향으로 놓았다. Pb + Sn의 중첩시 투과선량과 납당량을 구하기 위한 실험은 0.1 mm Pb과 0.1 mm~0.6 mm Sn 순으로 증착하여, Sn + Pb 중첩시 투과선량 측정 실험과 같은 방법으로 실시하였다.

III 실험 결과

Pb의 투과선량의 측정결과는 그림 2와 같다. 구체적으로 살펴보면, Pb이 없는 상태를 100%(175.76 mR)으로 하였을 때, 0.1 mm Pb에서는 33.9 mR(19.287%), 0.2 mm Pb에서는 12.794 mR(7.279%), 0.3 mm Pb에서는 6.84 mR (3.891%), 0.4 mm Pb에서는 4.064 mR(2.312%), 0.5 mm Pb에서는 2.55 mR (1.450%)으로 나타났다. 또한 KS 방호규격인 Apron의 납당량 0.25 mm의 투과선량을 구하기 위하여 보간법으로 산출해 본 결과 투과선량이 5.2%로 나타났다.

1. Pb의 투과선량 측정

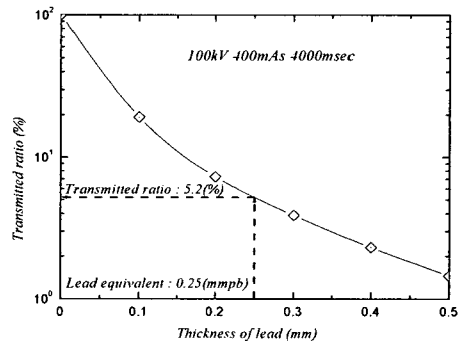


그림 2 Transmitted ratio by thickness change of lead

2. Sn, Ni, Ti, Cu의 투과선량율과 납당량 측정

그림 3은 0.1 mm~0.6 mm Sn의 두께 변화에 따른 투과선량율을 측정된 결과이며, KS 방호규격인 Apron의 납당량 0.25 mm의 투과선량율 5.2%에 해당하는 Sn의 두께를 구하기 위하여 보간법으로 산출하였을 때 0.565 mm Sn으로 나타났다. 그러나 Ni, Ti, Cu 경우는 0.1 mm~0.6 mm의 두께에서 Apron의 납당량 0.25 mm의 투과선량율 5.2%에 해당하는 두께를 산출할 수 없었다.

그림 4, 5, 6, 7은 Sn, Ni, Ti, Cu의 두께가 0.6 mm일 때 투과선량율 측정하여 보간법으로 납의 두께를 산출한 것으로, Sn은 0.3 mmPb, Ni은 0.06 mmPb, Ti은 0.11 mmPb, Cu는 0.13 mmPb 당량으로 나타났다.

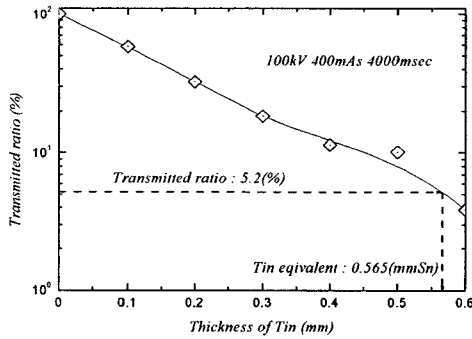


그림 3. Transmitted ratio by thickness change of Tin

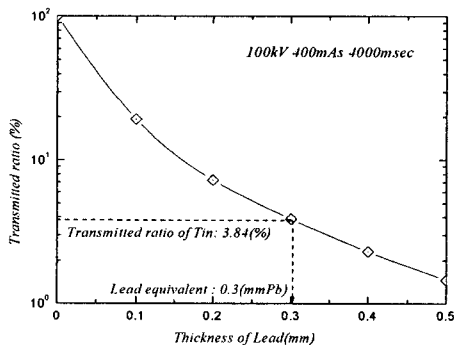


그림 4. Transmitted ratio by thickness change of Tin (0.6 mm)

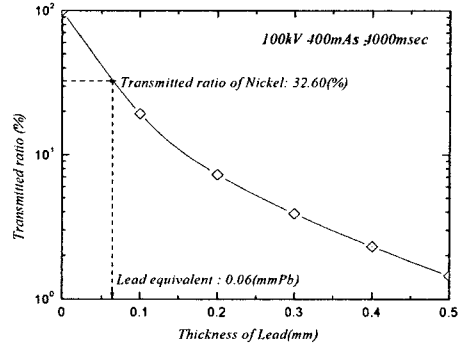


그림 5. Transmitted ratio by thickness change of Nickel (0.6 mm)

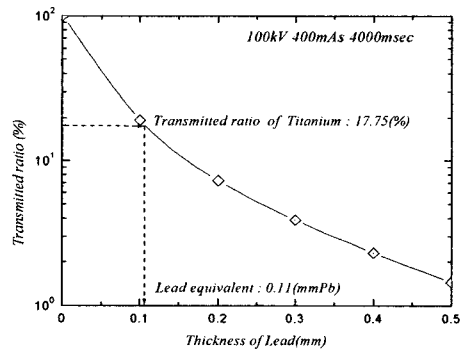


그림 6. Transmitted ratio by thickness change of Ti-tanium (0.6 mm)

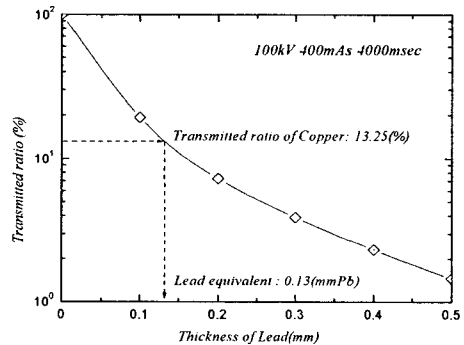


그림 7. Transmitted ratio by thickness change of Copper (0.6 mm)

그림 8은 두께 0.6mm의 Sn, Ni, Ti, Cu의 투과선량을 나타낸 것으로 Ni(32.60%), Ti(17.75%), Cu(13.25%), Sn(3.84%) 순으로 낮게 측정되었다. 따라서 투과선량이 가장 낮은 Sn(3.84%)이 차폐능에 있어 가장 우수한 것으로 나타나 다원소 복합 방호복용 재료로 사용하는 것이 가장 적합할 것으로 생각된다.

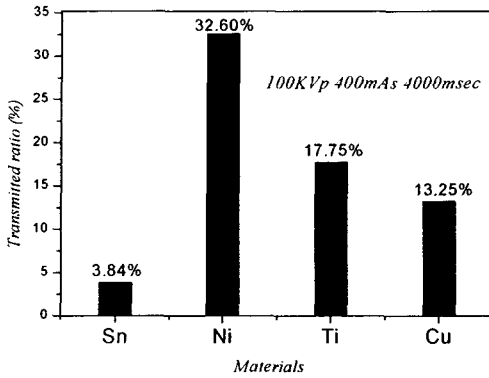


그림 8. Transmitted ratio by materials with 0.6mm thickness

3. Sn+Pb, Pb+Sn의 증착시 투과선량과 납당량 측정

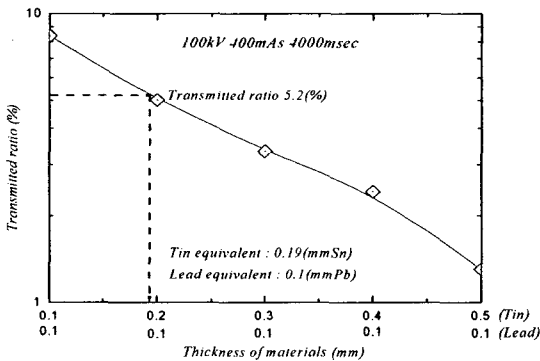


그림 9. Transmitted ratio with combined Tin and Lead

그림 9는 Sn + Pb의 증착시 투과선량과 납당량을 측정

한 것으로, KS 방호규격인 Apron의 납당량 0.25mm의 투과선량을 5.2%에 해당하는 Sn+Pb의 증착 두께는 Sn 0.19mm에 Pb 0.1mm로 나타났고, 그림 10은 Pb + Sn의 증착시 투과선량과 납당량 측정한 것으로 Pb 0.1mm에 Sn 0.37mm로 나타났다.

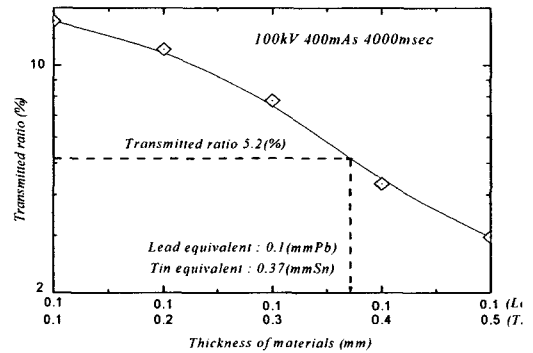


그림 10. Transmitted ratio with combined Lead and Tin

IV. 고찰

현재 병원에서 사용하고 있는 X선 방어용 에이프런은 연산화물을 이용한 X선 방호복과 다원소 복합 방호복을 사용하고 있으나 연산화물 에이프런의 경우, 물리적 경량화의 한계는 물론, 합연시트 부분의 균열과 납성분을 분산시키지 못하는 등의 문제점을 안고 있다.

따라서 최근에는 Pb, Cu, Ba, An, W 등의 여러 가지 원소를 혼합하여 종래의 방호복과 동등한 연당량의 다원소 복합 방호복을 생산하고 있다. 그 이유는 종래의 방호복과 이들 원소가 동등의 연당량을 유지하면서 경량화를 예측할 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 다원소 복합 방호복 재료용 Sn, Ni, Ti, Cu의 K-흡수단과 진단 방사선에 사용되는 에너지와의 관계에서 나타난 각각 원소의 질량 감약계수를 실험이론으로 하여¹³⁻¹⁵⁾, 다원소 복합 방호복 재료용 Sn, Ni, Ti, Cu의 투과선량을 측정하여 투과선량과 납당량을 구하였다. 또한 다원소 복합 방호복 재료용 Sn, Ni, Ti, Cu와 Pb를 증착하여 KS 방호규격인 Apron의 납당량 0.25mm의 투과선량을 5.2%에 해당하는 납당량을 측정하였는 바, Sn과 Pb를 증착한 실험방법이 동등의 연당량을

유지하면서 높은 산란선 차폐를 예측할 수 있었다. 이는 “X선 방호전과 KS A 4025-1990”에 관한 규정에서 연당량을 달성하고 경량화도 예측이 가능하다.

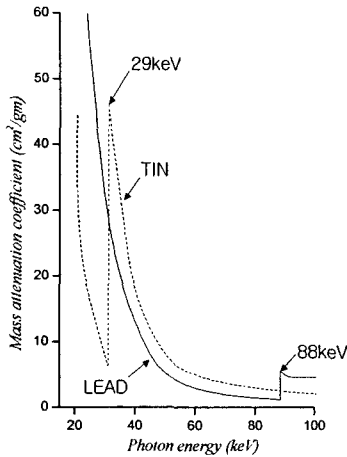


그림 11. Mass attenuation coefficient of Lead and Tin

이러한 실험 결과는 그림 11의 Pb와 Sn의 흡수특성에서 이론적으로 증명되고 있다. Sn의 K-흡수단은 29keV이고, Pb의 K-흡수단은 88keV이다. Pb는 진단영역의 저 Energy X선에 대하여 질량 감약계수값이 높아 차폐능이 우수하나 진단영역의 중심 Energy X선인 30~60keV에 그 값이 낮게 나타나 29keV에서 K-흡수단이 존재하는 Sn보다 차폐능이 낮은 것을 알 수 있었다^{16,17,18)}. 이러한 Sn과 Pb의 흡수특성은 그림 9에서 Sn + Pb의 증착 실험결과 KS 방호규격인 Apron의 납당량 0.25mm의 투과선량을 5.2%에 해당하는 Sn + Pb 증착 재료 두께는 Sn 0.19mm에 Pb 0.1mm로 나타났다.

Sn + Pb 증착 재료의 무게를 구하기 위하여 밀도(Sn: 7.28, Pb: 11.3)와 부피를 곱하여 계산한 결과 1cm³에서 약 13%의 경량화를 가져왔다. 또한 Sn과 Pb의 흡수특성은 교반에 의한 다원소 복합 방호복 보다는 Sn + Pb의 증착 재료에 의한 방호복의 경량화가 가능하다는 것을 그림 9, 10의 실험 결과는 보여주고 있다.

V. 결 론

Pb, Sn, Ni, Ti, Cu 등의 다원소 복합 방호복용 재료의

X선 투과선량을 측정하여 이 원소들의 투과선량율과 납당량을 보간법으로 구한 후, 이 원소들을 납과 증착하여 납당량을 산출한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

KS 방어규격인 Apron의 납당량 0.25mm의 투과선량율은 5.2%로 측정되었고, Sn, Ni, Ti, Cu 등의 투과선량율이 각각 0.6mm일 때 Ni(32.60%), Ti(17.75%), Cu(13.25%), Sn(3.84%) 순으로 낮게 나타났다.

Sn + Pb 증착 재료의 납당량이 Pb + Sn 증착 재료의 납당량 보다는 높게 나타남에 따라 Sn + Pb이 차폐능이 우수하여 복합 방호복용 재료로 적합하며, KS 방호규격인 Apron의 납당량 0.25mm에 해당하는 Sn(0.19mm) + Pb(0.1mm)의 증착 재료는 1cm³에서 약 13%의 경량화가 가능하다.

참 고 문 헌

1. 松野博志: 患者のX線防護に關する實態 調査 報告, Vol. 22, No. 1, pp.90-99, 1987.
2. 青木雄二, 外: X線 防護シートの 基本特性(第 1報), 日本放射線技術學會 第 42 回 總會抄録集, pp.660, 1986.
3. 栗井一夫, 青木雄二, 他: 最近のX線診斷領域における従事者の被曝の問題点と防護衣の在り方檢討班報告, 日放技學誌, Vol. 54, No. 5, pp.687-696, 1993.
4. 金塚敏薫, 他: IV X線防護腹の關する追加資料, INNERVISION, Vol. 9, pp.60-61, 1998.
5. 神奇電二, 剛山昭雄 他: 多元素複合材料を使用しX線防護の有用性, 日放技學誌, Vol. 53, No. 1, pp.25-28, 1997.
6. 青木雄二, 多元素複合防護材料の特性と應用, 極光 X-ray, pp.22-33, 1993.
7. Burgess A. E., "Physical Measurements of Heavy Metal Filter Performance", Med. Phys., Vol. 12, pp.225-231, 1985.
8. 福富辛美, 吉本政弘, 川上壽昭: X線 防護前掛の 性能比較, 日本放射線技術學會 雜誌, Vol. 22, No.1, pp.1844-1849, 1989.
9. 鉛木尙生, 小寺昇, 鉛木信之: Kyokko X線 防護前掛について, 極光 X-ray, No. 26, pp.34-41, 1987.
10. JIS 規格: X線 防護用品類の 鉛當量試驗方法, Z-4803, 1991.
11. KS 規格: X선 방호용품류의 납당량 시험방법, A4 025, 1990.
12. K. Kawatsura, H. Kageyama, R. Takahashi, D.

- Hamaguchi, S. Arai, Y. Aoki, S. Yamamoto, H. Takeshita, H. Naramoto, T. Kambara, M. Oura, Y. Kanai and Y. Awaya, "X-Ray Spectra Measured by a High Resolution Ion-Induced X-Ray Spectrometer", *Radio. Phys. Chem.*, Vol. 49, No. 14, pp.617-622, 1997.
13. Deutsch M, Holzer G, Hartwig J., Wolf J, Fritsch M and Forster E., "K α and K β X-ray Emission Spectra of Copper", *Phys. Rev.*, Vol. 51, pp.283, 1995.
14. Deborah E. Barnes: *Image news*, Innervision, Vol. 7, No. 11, pp.3-5, 1992.
15. Klevenhagen S. C., "Experimentally Determined Backscatter Factors for X-rays Generated at Voltages between 16 and 140 kV", *Phys. Med. Biol.*, Vol. 34, pp.1871-1882, 1989.
16. 김영근, 한재진, 이경섭, "X-선 진단용 조영제의 광전흡수 특성에 관한 연구", *대한방사선기술학회지*, Vol. 21, No. 1, pp.46-51, 1998.
17. 김영근, 구활분, 이경섭, "진단방사선영역에서 증감지의 물성에 관한 연구", *한국전기전자재료학회*, Vol. 12, No. 9, pp.823-825, 1999.
18. A. E. Burgers and G. Pate, "Voltage, Energy and Material Dependence of Secondary Radiation", *Med. Phys.*, Vol. 8, No. 1, pp.38-47, 1981.