*Journal of Radiation Industry* 14(4) : 399~405(2020)

# 소아 복부 및 골반 X선 검사 시 나노텅스텐 차폐체의 선량평가에 관한 연구

최 성 현[1] · 류 영 환[2,*]

[1]강동경희대학교병원 영상의학과, [2]동강대학교 방사선과

# A Study on the Dose Assessment of Nanotungsten Shielding Body in Children's Abdominal and Pelvic X-ray Examination

Sung-Hyun Choi[1] and Young-Hwan Ryu[2,*]

[1]*Department of Radiology, Kyung Hee University Hostpital at Gangdong, Sangil-dong, Gangdong-gu, Seoul 05278, Republic of Korea*

[2]*Department of Radiological Science, Donggang University, 50 Dongmundaero, Bukgu, Gwangju 61200, Republic of Korea*

**Abstract - A shield made of nano-sized tungsten particles was fabricated using eco-friendly materials to protect organs and gonads in the abdomen of children who are sensitive to abdominal and pelvic X-ray examination. We would like to evaluate its usefulness through dose evaluation. During the abdominal and pelvic X-ray examination of children, there was a dose reduction of about 60% in ESD values before and after the use of the shield. If the Nano Tungsten shield is commercialized and used, it is believed that exposure doses for pediatric patients' radiation-related tests such as general X-ray imaging, CT examination, and fluoroscopic examination can be reduced.**

**Key words : Pediatric patients, Shielding, Nano particles, Tungsten, Efective dose**

## 서 론

방사선은 1895년 W.C. Roentgen (뢴트겐)에 의해 X선이 발견된 이후 의료 기술과 인류의 보건 복지에 많은 기여를 해 왔으며, 인체 내 정보를 필름이나 검출기를 통해 영상화 할 수 있어 질병을 진단함에 있어 가장 강력한 도구로 사용되고 있다 (ICRP 2007; Choi *et al*. 2012; 식품의약품안전청 2013). 2000년대부터는 PACS (Picture Achieving and Communication System)의 도입으로 F/S (Film/Screen) 시스템을 사용하던 시대가 급속도로 막을 내리며 CR (Computed Radiography)과 DR (Digital Radiography) 등 디지털 방사선 장비가 널리 사용되어 의료 영상 획득이 편리해지고 있다 (Schaefer *et al*. 2008; 이 2011). 이러한 변화로 인해 동일한 시간에 많은 환자들을 검사할 수 있게 되었고 영상의 질적 향상과 더불어 환자 피폭선량 감소 효과를 기대하였으나, Dose Creep 현상으로 피폭선량이 증가되는 현상이 발생하고 있다 (UNSCEAR 2000; David *et al*. 2003). 특히 소아 환자는 체형이 비교적 일정한 성인과는 달리 계속 성장하고 있어 세포들이 활발하게 분열을 하고 있기 때문에 방사선 감수성이 높고, 남은 생애가 길어 방사선 노출의 영향을 오래 받으므로 불필요한 피폭을 줄이는 것이 매우 중요하다 (KFDA 2012). 환자가 연령이 낮을수록 방사선에 의한 위험이 크며 여아들이

* Corresponding author: Young-Hwan Ryu, Tel. +82-62-520-2405, Fax. +82-62-520-2406, E-mail. ryu751207@naver.com

남아보다 2배 정도 더 방사선에 민감하다 (Jung 2011). 그러므로 민감한 장기인 갑상선, 골수 및 생식선 차폐는 X선 검사 시 차폐를 꼭 시행해야 한다 (식품의약품안전청 2010). 하지만 거의 대부분의 의료기관에서 납으로 만들어진 차폐체로 소아 생식선을 차폐해 주고 있다. 이 납은 유해 물질로서 높은 온도 (300°C)에서 액체 상태로 유독가스를 발생시키고 (예 등 2017), 납으로 인해 오염된 토양에서 자라난 식물이나 동물 그리고 빗물로 오염된 지하수는 섭취하는 과정에서 납이 인체에 축척되어 납 중독 (Lead poisoning)으로 인하여 치명적인 질병을 일으킬 수 있다 (Kim *et al*. 2011). 이러한 단점들이 있으므로 친환경 X선 차폐체의 개발이 시급하다.

이에 본 연구에서는 소아 복부 및 골반 X선 검사 시 감수성이 민감한 소아의 복부 내 장기와 생식선을 보호하기 위해 친환경 물질을 이용하여 새로 개발되어진 나노 크기의 텅스텐 입자로 구성된 차폐체를 제작하여 선량평가를 통해 이에 대한 유용성 평가를 해 보고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 장비 및 도구

소아의 복부 및 골반 X선 검사 시 골반강 내의 생식선등 감수성이 높은 장기를 보호하기 위한 목적으로 보론 (B)이 함유된 나노 크기의 텅스텐 (W) 입자로 이루어진 차폐체 시트를 제작하였다. 차폐시트의 제작은 먼저 보론 (B)과 텅스텐 (W) 분말을 나노 크기의 입자로 만들기 위해 밀링볼 (milling ball)과 함께 건식 밀링처리하여 보론 (B)과 텅스텐 (W)을 나노 입자 크기의 파우더로 제조하고 이를 고분자 용융 혼합기 (high polymer hot mixing machine)를 이용하여 고분자 기재와 용융 혼합한 후 압축 성형하는 과정을 통하여 시트 형태로 제작하였다. 차폐에 따른 아티펙트를 고려하여 1 cm 두께의 스폰지 재질을 부착하였다 (Fig. 1).

본 연구에서 사용된 X선 발생 장치는 간접방식 (Indirect Radiography)의 디지털 영상 진단 장치 (Digital Radiography)인 Philips Diagnost VR (IR-1100-150)를 사용하였고 소아 환자를 Acryl phantom으로 대체하였다 (Fig. 2).

실험의 정확한 측정값을 얻기 위해 최종실험 전 진단용 방사선 발생장치의 선질관리 (QC)를 시행하여 얻은 결과는 다음과 같다.

관전압의 백분율평균오차 (PAE: Percent Average Error)는 1.28%로 나와 ±10% 미만으로 설정치에 적합하게 나타났다. 조사선량에 대한 재현성 평가에서 변동계수 (Coefficient of variation; CV)는 기준치인 0.05 이하인 0.0009로 측정되었고, X선관 초점의 크기는 focal spot test tool bar의 형태가 대초점, 소초점 모두 13그룹으로 적합하게 나타났으며, 반가층 시험에서는 최소 반가층 두께인 2.3 mmAl보다 높은 3.78 mmAl의 반가층이 측정되어 적합하게 나타났다 (Table 1).

이와 같이 진단용 방사선 발생 장치의 영상 선질 관리 (QC) 시험 결과, 모든 조건에서 오차 범위 이내로 본 연구의 실험 결과에 대한 객관성과 타당성을 확인하여 연구가 이루

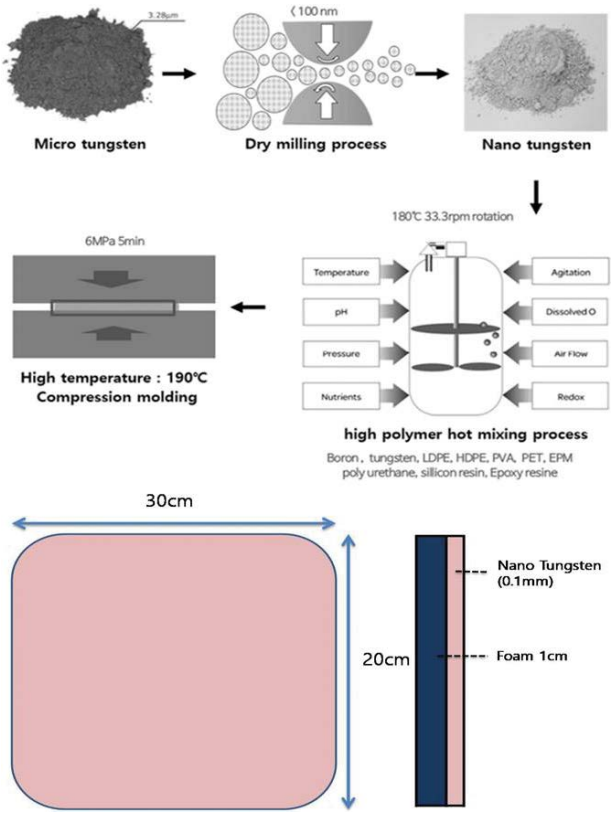
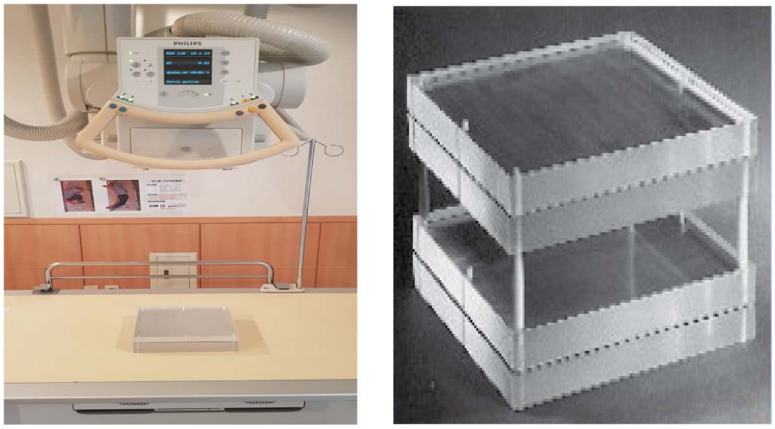



**Fig. 1.** Schematic diagram showing the entire production process of the sheet.

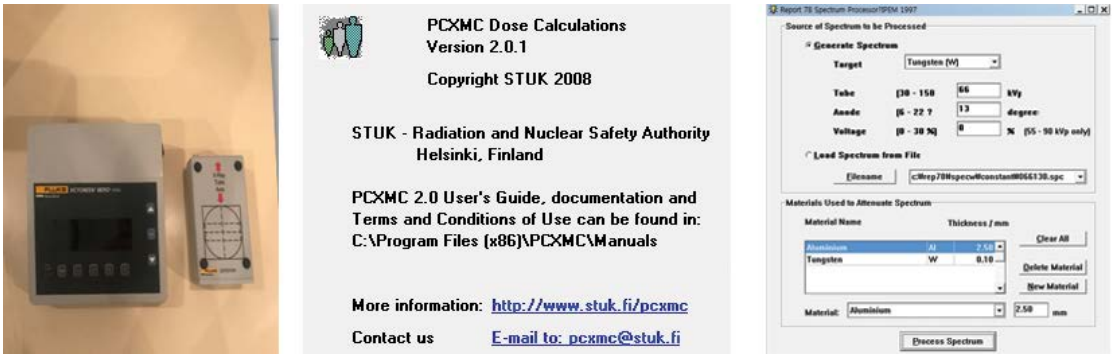
**Table 1.** Quality control test result of diagnostic radiation generator

| Evaluation item | Reference value | Result value |
|---|---|---|
| Average error of tube voltage percentage | ±10% | 1.29% |
| Evaluation of irradiation dose reproducibility | CV: 0.05 or less | 0.0009 |
| Focal spot test | Great focus: 11, Small focus: 13 | Great focus: 13, Small focus: 13 |
| HVL | At 80 kV, 2.3 mm or more | 3.78 mmAl |



(a) (b)

**Fig. 2.** Photo of (a) Digital Diagnostic VR X-ray system and (b) Acryl Phantom.




(a) (b) (c)

**Fig. 3.** Photo of (a) VICTOREEN NERO mAx 8000, (b) PCXMC Dose Calcuations and (c) SRS-78 X-ray Spectrum Simulator.

어졌다. 선량 측정 장비로는 VICTOREEN NERO mAx 8000과 PCXMC Program을 사용하였고, Nano Tungsten 차폐체 사용 유·무에 따라 X선 선질의 변화를 알아보고자 SRS-78 프로그램을 사용하여 X선 에너지 스펙트럼을 구하였다 (Fig. 3). 통계학적 수치의 분석은 Statistical Package for Social Science 18.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, U.S.A.) 프로그램을 사용하였다.

## 2. 실험 방법

소아 복부 및 골반 검사 부위를 Nano Tungsten 차폐체 사용 유·무에 따라 선량값의 오차가 있는지 확인하기 위해 각 10회씩 반복 검사하여 실험하였다 (Fig. 4). 노출 조건은 식약처에서 발간한 "소아 일반 영상의학검사의 표준촬영 가이드 라인"에서 발표된 131개 의료기관에서 쓰이는 평균노출 조건인 66 kVp에 12.5 mAs로 조사하였다 (식품의약품안전청 2013). SID는 110 cm, 조사야는 30 cm × 25 cm으로 하였다. 선량 측정 장비인 VICTOREEN NERO mAx 8000으로 ESD 값을 구하였다. 획득된 ESD 값을 PCXMC Program에서 ICRP 103의 조직가중계수를 적용하여 복부 및 골반 검사 부위를 Nano Tungsten 차폐체 사용 유·무에 따라 주요 장기 유효선량 (Organ Effective dose)과 총 유효선량의 결과값을 비교 분석하였다. 선질을 분석하기 초기 설정은 Target

(a) (b)

**Fig. 4.** (a) Acryl Phantom (b) Using Nano Tungsten shield.

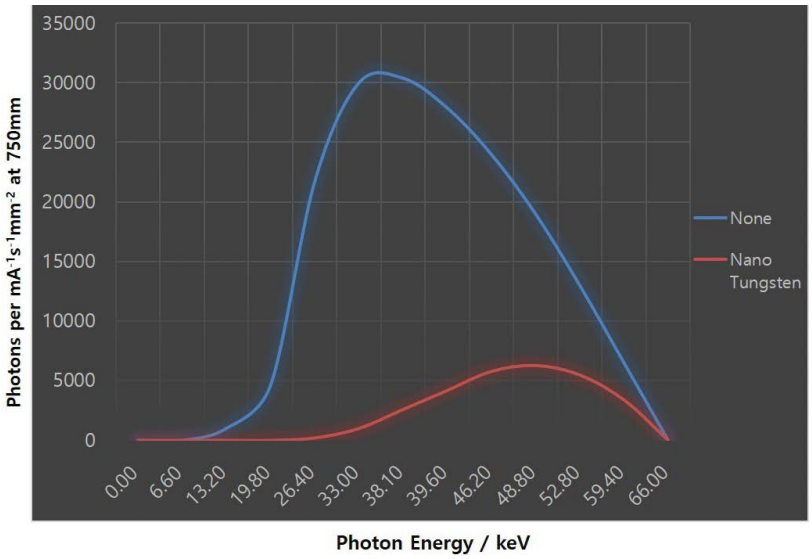



**Fig. 5.** Energy spectrum analysis graphs.

**Table 2.** X-ray tube condition and set value according to the used of Nano Tungsten

| Parameter | None | Nano Tungsten |
|---|---|---|
| Target Anode angle (°) | 13 | 13 |
| Filter Thickness (mm) | × | 0.1 |
| Intrinsic filtration (mmAl) | 2.5 | 2.5 |

**Table 3.** Energy spectrum analysis result of using Nano Tungsten

| Parameter | None | Nano Tungsten |
|---|---|---|
| Mean Photon Energy (keV) | 38.1 | 48.8 |
| Air Kerma (μGy · $mAs^{-1}$ at 750 mm) | 100.5 | 9.793 |
| 1stHVL (mmAl) | 2.547 | 5.822 |

Material은 Tungsten (W)으로 설정하였고, Tube Voltage은 66 kVp로 설정하였다. Anode angle은 13°이고 Voltage ripple은 0%, Attenuation materials에서는 None일 때 고유여과인 Aluminium 2.5 mm로 설정하였고 Nano Tungsten 사용 시 교유여과 Aluminium 2.5 mm + Tungsten 0.1 mm를 추가하여 설정하였다 (Table 2). 통계프로그램인 SPSS 18.0을 사용하여 실험 결과를 기술통계치인 평균과 표준편차 (Mean ± SD)로 표시하였다. Nano Tungsten 차폐체 사용 유·무에 따른 차이 값은 독립 T검정으로 분석하였고 모든 자료의 통계학적 유의성은 ($p < 0.05$)의 범위로 하였다.

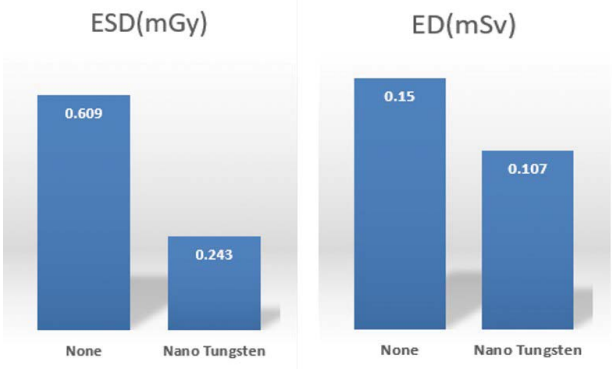



**Fig. 6.** Dose graph according to whether or not Nano Tungsten shield is used when examining Pelvis in children.

## 결 과

### 1. 에너지 스펙트럼 분석

SRS-78 프로그램을 이용하여 Nano Tungsten 차폐 시트 사용 유·무에 따른 에너지 스펙트럼의 Simulation한 결과 아래와 같이 나타났다. 먼저 Photon Energy는 None일 때 38.1 keV, Nano Tungsten 사용 시 48.8 keV로 나타났다. Air Kerma 값은 None일 때 100.5 μGy · $mAs^{-1}$로 나타났고, Nano Tungsten 사용 시 Air Kerma 값은9.793 μGy · $mAs^{-1}$로 나타났다. $1^{st}$HVL은 None일 때 2.547 mmAl, Nona Tungsten 사용 시 5.822 mmAl으로 나타났다 (Table 3, Fig. 5).

### 2. 소아 골반 X선

첫 번째 소아 골반 X선 검사 시 Nano Tungsten 차폐 시트 사용 유·무에 따라 선량 차이를 분석해 본 결과 None일 때 EI

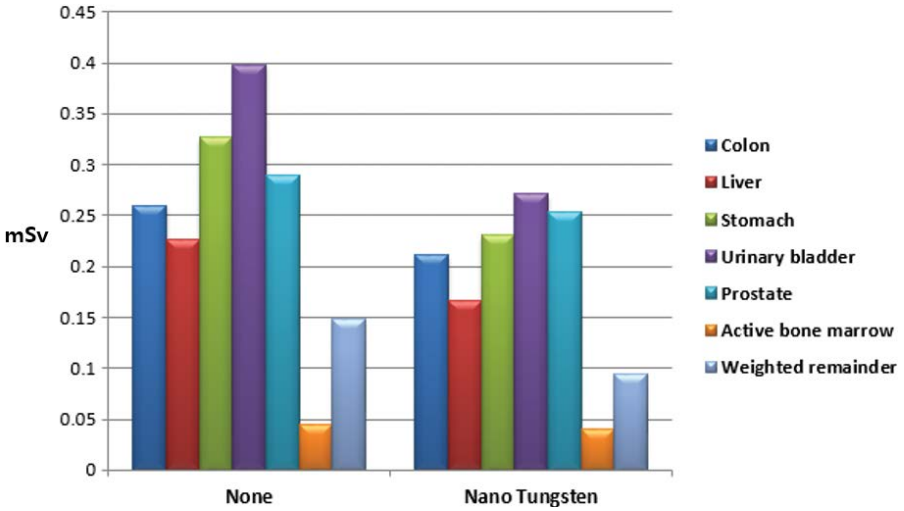



**Fig. 7.** A graph of organ effective dose according to whether Nano Tungsten is used in pediatric Pelvis test.

**Table 4.** Dose value depending on whether Nano Tungsten shield is used when examining Pelvis in children

| Shield | N | kVp | mAs | EI | ESD (mGy) mean ± SD | p* | Effective dose (mSv) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| None | 10 | 66 | 12.5 | 200 | 0.609 ± 0.001 | < 0.001 | 0.150 |
| Nano Tungsten | 10 | | | 800 | 0.243 ± 0.001 | | 0.107 |

*By independent t-test, $\alpha < 0.05$

**Table 5.** The organ effective dose value according to whether or not Nano Tungsten is used in the pediatric Pelvis test

| Shield | kVp | mAs | Organ effective dose (mSv) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Colon | Liver | Stomach | Urinary bladder | Prostate | Active bone marrow | Weighted remainder |
| None | 66 | 12.5 | 0.260 | 0.227 | 0.327 | 0.398 | 0.290 | 0.045 | 0.148 |
| Nano Tungsten | | | 0.211 | 0.167 | 0.231 | 0.271 | 0.253 | 0.041 | 0.095 |

값은 200, Nano Tungsten 차폐 시트 사용 시 800으로 나타났고 ESD 값은 None일 때 0.609 ± 0.001 mGy, Nano Tungsten 사용 시 0.243 ± 0.001 mGy로 나타났다. 총 유효선량 값은 0.150 mSv, 0.107 mSv로 나타났다 (Table 4, Fig. 6). 이는 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

각 장기에 따라 받는 유효선량은 Urinary bladder, Stomach, Prostate, Colon, Liver, Weighted remainder 등의 순으로 높게 나타났다 (Table 5, Fig. 7).

### 3. 소아 복부 X선

두 번째 소아 복부 X선 검사 시 Nano Tungsten 차폐 시트 사용 유·무에 따라 선량 차이를 분석해 본 결과 None일 때, EI

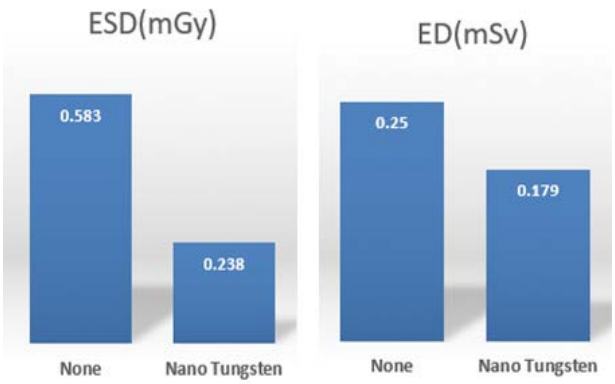



**Fig. 8.** Dose graph according to whether or not Nano Tungsten shield is used when examining Abdomen in children.

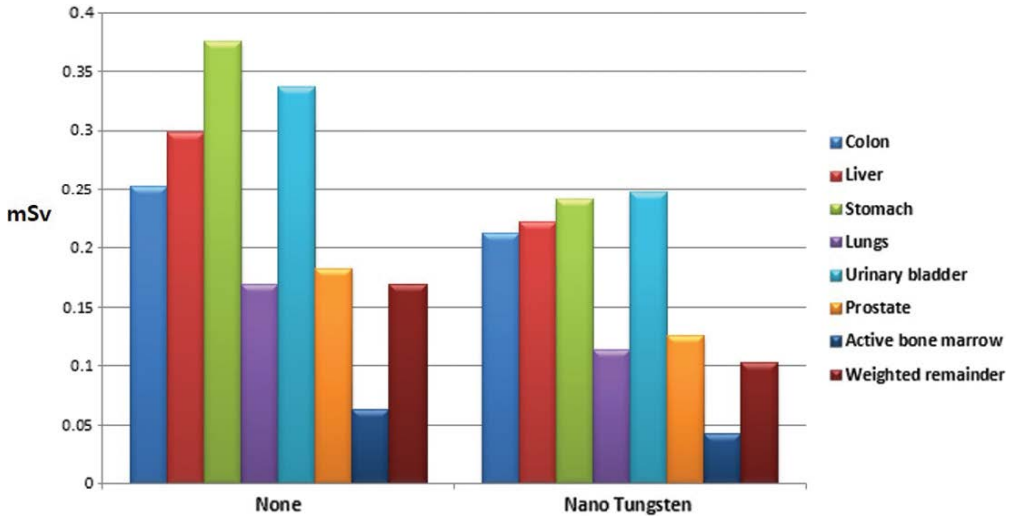



**Fig. 9.** A graph of organ effective dose according to whether Nano Tungsten is used in pediatric Abdomen test.

**Table 6.** Dose value depending on whether Nano Tungsten shield is used when examining Abdomen in children

| Shield | N | kVp | mAs | EI | ESD (mGy) mean ± SD | p* | Effective dose (mSv) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| None | 10 | 66 | 12.5 | 100 | 0.583 ± 0.002 | < 0.001 | 0.250 |
| Nano Tungsten | 10 | | | 250 | 0.238 ± 0.002 | | 0.179 |

*By independent t-test, $\alpha < 0.05$

**Table 7.** The organ effective dose value according to whether or not Nano Tungsten is used in the pediatric Abdomen test

| Shield | kVp | mAs | Organ effective dose (mSv) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Colon | Liver | Stomach | Lungs | Urinary bladder | Prostate | Active bone marrow | Weighted remainder |
| None | 66 | 12.5 | 0.252 | 0.298 | 0.375 | 0.169 | 0.337 | 0.182 | 0.063 | 0.169 |
| Nano Tungsten | | | 0.212 | 0.222 | 0.241 | 0.113 | 0.247 | 0.125 | 0.042 | 0.103 |

값은 100, Nano Tungsten 차폐 시트 사용 시 250으로 나타났고, ESD 값은 None일 때 0.583 ± 0.002 mGy, Nano Tungsten 사용 시 0.238 ± 0.002 mGy로 나타났으며, 총 유효선량 값은 None일 때 0.250 mSv, Nano Tungsten 사용 시 0.179 mSv로 나타났다 (Table 6, Fig. 8). 이는 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

각 장기에 따라 받는 유효선량은 Stomach, Urinary bladder, Liver, Colon, Prostate, Lungs, Weighted remainder 등의 순으로 높게 나타났다 (Table 7, Fig. 9).

## 고 찰

방사선 피폭 시의 연령을 잘 고려해야 한다. 피폭 연령과 피폭된 조직 및 장기에 따라 위험의 정도가 달라지며 소아 피폭의 경우 생애 사망 위험이 성인보다 2~3배 정도 높을 것이다 (ICRP 1990). 소아 환자는 같은 선량을 받는 성인보다 암의 위험도가 평균적으로 더 높고 방사선에 대한 감수성이 높으며, 성장하는 장기나 조직이 방사선 영향에 더욱 민감하여 소아의 긴 기대여명으로 방사선의 해로운 영향이 나타나는 데 좀 더 많은 시간이 주어지기 때문에 검사의 정당성 확보와 촬영 기술의 최적화가 더욱 강하게 요구되며 특정한 방사선 방호 지침이 필요하다 (식품의약품 안전평가원 2013). 소아 환자의 피폭을 줄이는 가장 최선의 방법은 불필요한 검사는 시행하지 않는 것이 좋다. 이로 인하여 검사의 정당성 확보와 촬영기술의 최적화가 더욱 강하게 요구된다. 피폭선량을 결정하는 요인은 노출조건, 격자 사용 유·무, 조사야의 크기, 소아용 AEC mode, 부가여과판 등이 있고, 10세 미만의 소아 환자는

생식선 차폐 등 여러 가지가 있다. 이 중 차폐체는 환자 검사 시 검사 부위에 직접 덮어서 방사선의 연선을 제거하여 피폭을 줄이기 위한 용도로 사용할 수 있다.

이에 본 연구에서는 5세 기준 소아 복부 및 골반 부위의 일반 X선 검사 시 방사선 피폭을 최대한 줄여 민감한 장기들로부터 보호하기 위한 목적으로 차폐체를 제작하였다. 차폐체는 Nano 크기의 입자로 만들어진 Tungsten (W)과 보론 (B)을 이용하여 제작하였고, 실제 검사에서 사용되는 소아 복부와 골반 부위에서의 검사 프로토콜을 적용하여 전체 복부 및 골반을 Nano Tungsten 차폐체 사용 유·무의 선량평가를 정략적으로 비교하여 유용성 평가를 하였다. Karami (Karami *et al*. 2017) 등의 연구에서 비스무트 (Bi)를 사용해 차폐체를 만들어 소아 환자 대상으로 연구 하였는데 본 연구와 동일한 소아 골반 부위 일반 X선 검사에서 비스무트 (Bi) 차폐체 사용 유·무에 따라 ESD가 62% 감소한 것으로 보고되어 있고, 본 연구에서는 Nano Tungsten 차폐체를 사용하였을 시 60%의 감소가 있어 비슷한 결과 값이 나왔다. 하지만 소아 환자의 성별을 구분하여 남아일 경우는 생식선 부위만 차폐를 해 주었고 골반 부위 검사만 연구하였지만 본 연구에서는 성별을 나누지 않고 검사 부위 전체를 덮어 줌으로써 여러 장기 유효선량을 전체적으로 감소시켰다.

소아는 성인보다 피폭에 대한 영향을 많이 받기 때문에 장기를 포함한 신체적인 모든 부위가 민감하다 할 수 있다. 그러므로 소아 일반 X선 검사 시 친환경 소재로 무해하고 소독이 간편하며 가벼운 보론 (B)이 함유된 나노 입자 크기의 텅스텐 차폐체를 사용하여 검사함으로써 소아 환자들의 불필요한 방사선 피폭 선량을 최소화할 수 있을 것으로 사료된다.

## 결 론

본 연구의 결과를 토대로 Nano Tungsten 차폐체가 상용화되어 사용된다면 소아 환자들의 일반 X선 촬영, CT 검사, 투시 조영 검사 등의 방사선에 관련된 검사 시 피폭선량을 저감화할 수 있을 것이며, 친환경 물질로 이루어진 차폐체 연구의 기초자료로 활용될 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌


식품의약품 안전평가원. 2013. 소아 일반영상의학검사의 표준촬영 가이드라인.

식품의약품안전청. 2010. 소아 방사선 촬영을 위한 기술정보. **22**:1-2.

식품의약품안전청. 2013. 소아 일반 영상의학검사의 표준촬영 가이드 라인, 방사선안전관리 시리즈 No. 35.

식품의약품안전청. 2013. 소아 일반영상의학 검사에서의 환자 선량 권고량 가이드라인.

예신희, 김현주, 최정, 김지은, 박신원, 이유민, 하은희. 2017. 리뷰: 화재현장에서 노출될 수 있는 화학적 유해물질과파킨슨병 간의 관련성. 생물정신의학 **24**(1):19-25.

이종웅. 고려대학교 석사학위논문. 2011. Exposure 횟수에 따른 IP 화질 변화의 정량평가에 관한 연구.

Brenner DJ, Doll R, Goodhead DT, Hall EJ, Land CE, Little JB and Ron E. 2003. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: assessing what we really know. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **100**(24):13761-13766.

Choi GN, Jeon JS and Kim YW. 2012. Radiation exposure dose on persons engaged in radiation-related industries. *J. Korean Soc. Radiol.* **6**(1):27-37.

ICRP. 1990. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60.

ICRP. 2007. International Commission on Radiological Protection. Managing patient dose in multi-detector computed tomography. ICRP Publication 102.

Jung AY. 2011. Medical radiation exposure in children and dose reduction. *J. Korean Med. Assoc.* **54**(12):1277-1283

Karami V, Zabihzadeh M, Shams N and Gholami M. 2017. Radioprotection to the gonads in pediatric pelvic radiography: Effectiveness of developed bismuth shield. *Int. J. Pediatr.* **5**(6).

Kim SC and Park MH 2011. Development of radiation shielding sheet with environmentally-friendly materials; II: evaluation of Barum, Tourmaline, silicon polymers in the radiation shielding sheet. *J. Radiol. Sci. Technol.* **34**(2):141-147.

Korean Food and Drug Administration. 2012. CT images obtained legitimacy of the medical examination and optimization guidelines, Radiation Safety Management Series. No 28.

Schaefer-Prokop C, Neitzel U, Venema HW, Uffmann M and Prokop M. 2008. Digital chest radiography: an update on modern technology, dose containment and control of image quality. *Eur. Radiol.* **18**(9):1818-1830.

UNSCEAR. 2000. I Source and Effcets of Ionization Radiation, AnnexD Medical Radiation Exposure. UNSCEAR 2000 Report Vol.


Received: 11 December 2020
Revised: 18 December 2020
Revision accepted: 23 December 2020