

A Comparative Study on the Lens Dose According to the Change of Shielding Material Used in Brain Computed Tomography

Incheol Hwang*, Woonjae Shin**, Eunbo Gang**

*Department of Health and Environment, Kosin University**,
*Department of Radiological Science, Dong-Eui Institute of Technology***

Brain CT에서 차폐 재료 변화에 따른 수정체 선량 비교 연구

황인철*, 신운재**, 강은보**

고신대학교 보건환경학부*, 동의과학대학교 방사선과**

Abstract

The cases of radiographic inspection for medical diagnosis in Korea have been continuously increasing year after year, which pays particularly more attention to CT which occupies over the half of medical radiation exposure. To find an effective alternative for reducing radiation exposure, the researchers conducted comparative experiments using some shields made of bismuth, aluminum 6mm, and silicone 22mm. These shielding materials have been used to reduce the entrance surface dose (ESD) on lenses, maintaining the CT number, noise, and uniformity in brain CT scanning which forms the largest part in CT scanning these days. These experiments showed that the doses in the spiral scan parallel to IOML and the conventional scan in Bismuth were 26.41% and 17.52%, respectively; in Aluminum 18.24% and 9.39%; in Silicone 19.47% and 14.39% lower than compared with those in the cases without any shields. In the items of the CT number, noise, and uniformity, the bismuth shield satisfied exceedingly the standards of the phantom image test while aluminum and silicone were within. To keep the graphic quality and get good shielding effect, we recommend the silicone shield which can be manufactured and purchased with ease.

Keyword : Entrance surface dose, CT number, Noise, Uniformity

요 약

우리나라 국민의 연간 진단용 방사선 검사 건수는 매년 증가하고 있으며, 특히 의료 피폭의 절반이상을 차지하는 CT검사에 대한 각별한 주의가 요구된다. 본 연구에서는 현재 CT검사 중 가장 많은 부분을 차지하는 두부 CT에서 CT Number, Noise, Uniformity를 유지하면서 수정체 부분의 입사표면선량(ESD)을 줄이기 위해, 현재 사용하고 있는 Bismuth 차폐체와 Aluminum 6mm, Silicone 22mm를 비교 실험하였다. 실험 결과 IOML에 평행한 나선형 scan과 고식적 scan에서 차폐체를 사용하지 않을 때의 선량보다 각각 Bismuth 26.41%, 17.52%, Aluminum 18.24%, 9.39%, Silicone 19.47%, 14.39% 감소되었다. 물의 CT Number, Noise, Uniformity 항목에서 Bismuth 차폐체의 경우 팬텀영상 검사 기준을 초과하였으며, Aluminum, Silicone의 경우는 기준내에 포함되었다. 화질의 변화를 줄이면서 차폐의 효과를 보고자 할 때 가공성이 좋고 구입하기 쉬운 Silicone을 이용한 차폐체가 도움이 되리라 생각한다.

중심단어: 입사표면선량, CT 번호, 노이즈, 균일도

I. INTRODUCTION

현재 방사선 영상 검사의 비중은 의료 장비의 발전과 질병 예방의 관심 증대로 점점 확대되고 있다. 식품의약품안전처의 발표에 의하면 2007년부터 2011년의 5년간의 방사선검사 건수가 10억 여건으로 35% 증가하였다. 또한 같은 기간에 국민 일인당 피폭량도 51%의 증가를 보였다^[1]. 의료 피폭의 검사별 비중을 보면 2011년 방사선 검사 건수 총 2억2천만 건 중에서 CT가 차지하는 건수는 600만 건으로 2.8%로 나타났다. 하지만 국민일인당 연간 피폭량 1.4mSv에서 0.79mSv를 차지하며 이것은 의료 방사선 피폭량의 56%에 이른다^[1]. 건강보험심사평가원의 2003년에서 2007년도의 자료에 의하면 두부의 영상 검사 건수가 가장 많은데 2003년 291,525건에서 2007년 633,218건으로 2.2배의 증가율을 보였다^[2]. CT장비의 증가율도 2011년 1,787대에서 2013년 1,891대로^[3] 증가하고 있어 CT로 인한 의료 피폭의 비중은 점차 늘어날 것으로 예상된다.

환자가 받는 선량은 세계보건기구(WHO), 국제식량농업기구(FAO), OECD/NEA, 국제노동기구(ILO), PAHO(Pan American Health Organization), 국제원자력기구(IAEA)가 공동으로 진단엑스선 검사에서 환자가 받는 선량의 Guidance level을 마련하였으며, 1996년에 권고한 Basic Safety Standards(BSS) NO. 115가 있다^[4]. 2003년 환자선량권고량(DRL)에 대해 각국의 공인기관에서 평가한 선량을 토대로 CT 엑스선검사에서의 환자선량 권고량을 ICRP Supporting Guidance 2에^[5] 보고하였으며, 2008년 의료영상을 목적으로 하는 진단 방사선분야에서의 엑스선 검사에 대해서 환자의 방어를 위한 최적화를 위해 환자선량권고량을 적용하도록 ICRP Publication 103에서 권고하고 있다^[6]. 국제방사선방어위원회는 각각의 국가가 자국의 실정에 맞는 환자선량 권고량을 확립하도록 권고하였으며, 국내에서도 2009년 한국의료영상품질관리원에서 CT촬영 시 환자선량 저감을 위한 환자선량 권고량을 설정하고 가이드라인을 마련하였다^[2].

최근 선량 저감화에 대한 인식의 변화로 인하여 두

부, 갑상선, 흉부 CT검사에서 점차 bismuth 차폐체를 이용한 차폐를 하는 병원이 증가하고 있다. 그러나 bismuth 차폐체가 국내에서 생산되지 않아 모두 수입에 의존하는데다가, 고가의 제품 가격으로 인해 중소병원에서는 구입을 부담스러워하여 사용이 제한되고 있다. 게다가 피부 표면에서의 Noise와 CT number의 변화로 인한 문제점이 완전히 해결되지 않아 사용에 다소 어려움이 있다.

본 연구에서는 Bismuth 차폐체와 비슷한 Al 당량에 해당하는 차폐두께를 가지면서 Noise와 CT number의 변화가 작고, 쉽게 구입이 가능한 물질인 Aluminum과 Silicone을 이용하여, 차폐 정도와 CT number, Noise, Uniformity를 측정 비교하여 차폐체로서의 유용성을 조사하고자 하였다.

II. MATERIALS AND METHOD

1. 차폐체 제작

X-선 고관전압장치인 리스탐사의 REX-650R(고유어과 2.4mmAl, 부가어과 1.0mmAl, 총 어과 3.4mmAl)을 사용하여 FFD 100cm, 70kVp, 200mAS, 0.05sec의 조건에서 Multi Function Meter(FLUKE, TNT 12000, USA)를 이용하여 제품으로 판매되는 Bismuth shield의 Al당량과 차폐정도가 비슷한 두께의 차폐물질을 측정하여 Aluminum 6mm와 Silicone 22mm로 수정체의 차폐체를 제작하였다[Table 1]. [Fig. 1]

Table 1. Shielding materials

Shielding materials	mmAl	Thickness(mm)	dose(μ Gy)
non filter	2.2		636.6
Bismuth	5.0		126
Aluminum	4.1	4	208.7
	4.4	5	169.4
	4.8	6	141.4
Silicone	3.5	10	266.2
	4.4	20	143.9
	4.6	22	127.8



a. Bismuth b. Aluminum c. Silicone
Fig. 1. Shielding materials.

2. 측정 장비

인체모형 팬텀은 Whole body phantom PBU-50을 사용하였으며, TLD Reader system은 HARSHAW TLD-3500을 사용하였다. 열형광물질은 TLD-100 (3.175×3.175×0.889mm)을 사용하였다. TLD-100은 LiF를 모체로 하는 TLD 열형광물질 중의 하나로 생체등가물질로 이루어져 있으며, 화학적으로 안정되어 다른 생체등가 물질에 비해서 잠상퇴행이 매우 적다. ^6Li 의 함량비가 천연 Li와 같이 7.5%인 것을 TLD-100이라 하며, LiF: Mg, Ti(TLD-100)은 방사선에 대한 감도는 조금 낮지만, 조직등가이고 잠상퇴행이 매우 적어 표준 TLD로 가장 오래 사용되고 있다^[7]. CT장비는 Brilliance CT 64-channel scanner(Philips, Netherlands)을 사용하였으며, 팬텀은 Philips사의 정도관리 팬텀인 System Phantom(Philips, Netherlands)을 사용하여 물의 CT Number, Noise, Uniformity를 각각 측정하였다.

3. 선량 측정 방법

선량의 측정은 임상에서 사용하는 Brain CT의 scan 방법인 나선형 scan과 고식적 scan의 방법으로 2014년 9월 5일에서 11월 30일까지 측정하였다. Brain CT의 나선형 scan에서 두부 팬텀의 자세는 IOML에 평행하게 하였으며, IOML에 평행한 자세에서 오른쪽 왼쪽 수정체에 각각 TLD를 붙이고 unshield, Bismuth 차폐체, Aluminum 6mm, Silicone 22mm의 순서로 차폐 재료를 변화시키며, 각 차폐체에 5회씩 scan하여 선량을 측정하였다. 고식적 scan에서는 두부 팬텀의 자세에서 IOML과 SOML에 평행하게 각각 scan하였다. IOML과 SOML에 평행하게 팬텀을 위치시키고 오른쪽 왼쪽 수정체에 각각 TLD를 붙이고 unshield, Bismuth 차폐체, Aluminum 6mm, Silicone 22mm의 순서로 차폐 재료를

변화시키며, 각 차폐체에 5회씩 scan하여 선량을 측정하였다.[Fig. 2]

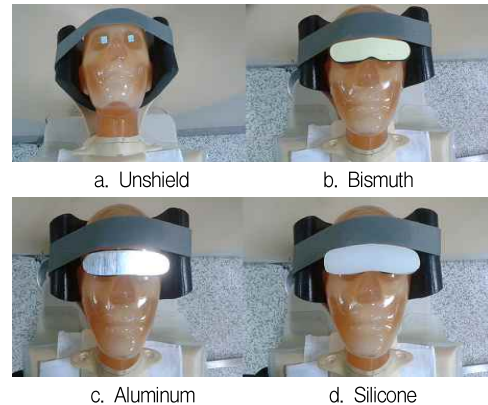


Fig. 2. Dosimetry methods.

Brain CT의 나선형 scan의 촬영 조건은 120kVp, 270mAs/Slice, Rotation time 0.75sec, Collimation 40×0.625mm, Slice thickness 1.0mm, Slice increment 1.0mm, Pitch 0.924, Image matrix 512×512, SFOV 25cm으로 하였다. 고식적 scan의 촬영 조건은 120kVp, 270mAs, Rotation time 0.75sec, Collimation 16×0.625mm, Slice thickness 5.0mm, Image matrix 512×512, SFOV 25cm로 하였다. 팬텀을 이용한 물의 CT Number, Noise, Uniformity를 측정하기 위한 촬영 조건은 특수 의료장비의 팬텀영상검사의 촬영 조건에 해당하는 120kVp, 250mAs, Slice thickness 10mm, SFOV 50cm, DFOV 25cm, standard reconstruction algorithm을 사용하였다^[8]. 물의 CT Number와 Noise는 팬텀의 중앙부에서 6시 방향의 1/4지점에서 측정하였으며, 4×4cm크기의 사각형 커서를 설정한 후 장치의 ROI analysis 기능을 이용하여 측정하였다. Uniformity의 측정은 물의 CT Number와 동일한 방법으로 scan하여 커서를 9시 방향, 12시 방향, 3시 방향의 중앙에서 주변으로 2/3지점에 위치시킨 후 ROI analysis 기능을 이용하여 6시 방향과 각각의 CT Number의 차이를 계산하였다^[8].

III. RESULTS

1. Brain CT 나선형 scan에서 선량 비교

IOML에 평행하게 나선형 scan으로 Brain 촬영을 한 후 오른쪽과 왼쪽 수정체의 5회 선량을 측정된 결과에서 전체 평균 선량을 비교하면 unshield에서 37.6mGy, Bismuth 차폐체에서 27.7mGy, Aluminum 6mm에서 30.7mGy, Silicone 22mm에서 30.3mGy로 측정되었다 [Table 2].

Table 2. Dose Spiral scan(Parallel to the IOML)

Shielded Type	Right lens dose(mGy)					Mean±SD (mGy)
	1	2	3	4	5	
unshield	34.6	39	41.1	37.9	37.8	38.1± 2.4
Bismuth	26.8	26.9	28	27	32.1	28.2± 2.3
Aluminum(6mm)	30.5	31.2	30.1	29	28.2	29.8± 1.2
Silicone(22mm)	31	28.3	32.3	29.3	30.7	30.3± 1.6
	Left lens dose(mGy)					
	1	2	3	4	5	
unshield	33.3	40.9	39.2	34.1	38	37.1± 3.3
Bismuth	28.6	27.7	27.5	24.9	27.2	27.2± 1.4
Aluminum(6mm)	29.5	35.4	30.6	31.7	31.2	31.7± 2.2
Silicone(22mm)	29.1	31.9	32.9	30.6	26.7	30.2± 2.4

각각의 차폐체를 사용해서 측정할 때 선량값은 CTDIvol 38.07mGy, DLP 797.3mGy.cm로 측정되었다.

팬텀 영상의 정확에서 측정한 CT Number와 Noise는 unshield에서 오른쪽 눈확 8.1HU와 9.1, 왼쪽 눈확에서 14.7HU와 9.7, Bismuth 차폐체에서 오른쪽 눈확 30HU와 9.8, 왼쪽 눈확에서 24.5HU와 8.9, Aluminum 6mm에서 오른쪽 눈확 15.1HU와 9.5, 왼쪽 눈확에서 20.5HU와 10.4, Silicone 22mm에서 오른쪽 눈확 13.6HU와 11.7, 왼쪽 눈확에서 13.5HU와 9.5로 측정되었다.[Fig. 3]

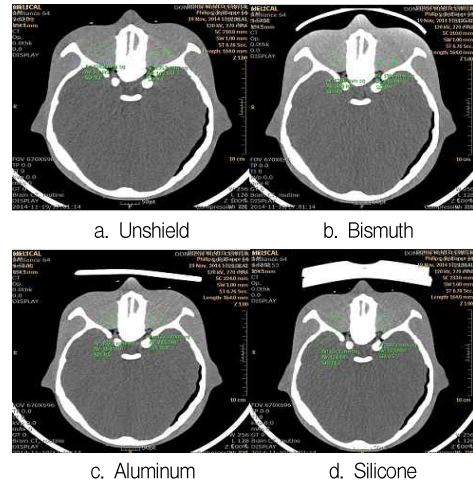


Fig. 2. CT Number and Noise.

2. Brain CT 고식적 scan에서 선량 비교

2.1 IOML에 평행하게 scan

IOML에 평행하게 고식적 scan으로 Brain axial 촬영을 한 후 오른쪽과 왼쪽 수정체의 5회 선량을 측정된 결과에서 전체 평균 선량을 비교하면 unshield에서 41.2mGy, Bismuth 차폐체에서 34mGy, Aluminum 6mm에서 37.3mGy, Silicone 22mm에서 35.3mGy로 측정되었다 [Table 3].

Table 3. Dose Conventional scan(Parallel to the IOML)

Shielded Type	Right lens dose(mGy)					Mean±SD (mGy)
	1	2	3	4	5	
unshield	44	43	44	45.9	40.7	43.6± 1.9
Bismuth	30.3	34.2	38.9	37.4	33	34.8± 3.4
Aluminum(6mm)	34.7	33.9	35.7	37.7	45.2	37.4± 4.6
Silicone(22mm)	34.8	34.8	31.5	38.1	37.7	35.4± 2.7
	Left lens dose(mGy)					
	1	2	3	4	5	
unshield	36.1	38.6	37.7	42.3	39.6	38.8± 2.3
Bismuth	40.8	30.2	30.1	28.8	36.1	33.2± 5.1
Aluminum(6mm)	42.3	32.4	35.4	33.8	42.1	37.2± 4.7
Silicone(22mm)	35	31.2	41.3	33.7	34.7	35.2± 3.7

각각의 차폐체를 사용해서 측정할 때 선량값은 CTDIvol 46.58mGy, DLP 698.6mGy.cm로 측정되었다.

팬텀 영상의 정확에서 측정한 CT Number와 Noise

는 unshield에서 오른쪽 눈확 15.8HU와 5.2, 왼쪽 눈확에서 13.4HU와 4.9, Bismuth 차폐체에서 오른쪽 눈확 19.2HU와 5.2, 왼쪽 눈확에서 17.7HU와 5.6, Aluminum 6mm에서 오른쪽 눈확 16.2HU와 5.8, 왼쪽 눈확에서 11.9HU와 5.8, Silicone 22mm에서 오른쪽 눈확 13.6HU와 7.4, 왼쪽 눈확에서 10.1HU와 5.7로 정정되었다.[Fig. 4]

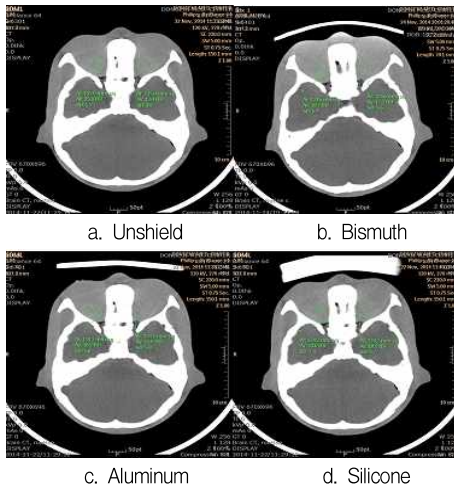


Fig. 4. CT Number and Noise.

2.2 SOML에 평행하게 scan

SOML에 평행하게 고식적 scan으로 Brain axial 촬영을 한 후 오른쪽과 왼쪽 수정체의 5회 선량을 측정한다. 결과에서 전체 평균 선량을 비교하면 unshield에서 7.6mGy, Bismuth 차폐체에서 8.2mGy, Aluminum 6mm에서 8.8mGy, Silicone 22mm에서 9.1mGy로 측정되었다 [Table 4].

Table 4. Dose Conventional scan(Parallel to the SOML)

Shielded Type	Right lens dose(mGy)					Mean±SD (mGy)
	1	2	3	4	5	
unshield	8.2	8.2	7.9	9	6.8	8± 0.8
Bismuth	9	8.7	8	8.7	8.5	8.6± 0.4
Aluminum(6mm)	8.2	9.3	8.8	8.6	8.4	8.7± 0.4
Silicone(22mm)	9.8	8.9	9.4	9.7	8.3	9.2± 0.6
	Left lens dose(mGy)					
	1	2	3	4	5	
unshield	5.5	7.5	8.7	7.1	7.4	7.2± 1.1
Bismuth	8.4	8	7.1	7.5	7.8	7.7± 0.5
Aluminum(6mm)	9.4	7.4	9.7	9	9.2	9± 0.9
Silicone(22mm)	9.7	7.8	9.8	8.5	9	9± 0.8

3. 팬텀을 이용한 물의 CT Number, Noise, Uniformity 측정

팬텀을 사용하여 차폐체를 팬텀위에 위치시키고 특수의료장비의 팬텀 영상 검사 기준과 같은 조건으로 물의 CT Number, Noise를 측정하였으며, Uniformity을 계산하였다[Table 5]. [Fig. 5]

Table 5. Phantom image inspection

Shielded Type	CT number of water(HU)	Noise	Uniformity	
unshield	12 hours Direction	2.6	5.9	3.2
	3 hours Direction	2.2	5.9	
	6 hours Direction	-1.0	6.3	
	9 hours Direction	2.2	6.1	
Bismuth	12 hours Direction	14.8	9.6	4.0
	3 hours Direction	4.6	6.4	
	6 hours Direction	0.6	6.9	
	9 hours Direction	4.6	6.5	
Aluminum (6mm)	12 hours Direction	4.1	7.0	3.2
	3 hours Direction	2.2	6.4	
	6 hours Direction	-1.2	6.9	
	9 hours Direction	4.6	6.5	
Silicone (22mm)	12 hours Direction	0.7	7.0	2.8
	3 hours Direction	1.3	6.6	
	6 hours Direction	-0.9	7.0	
	9 hours Direction	1.9	6.6	

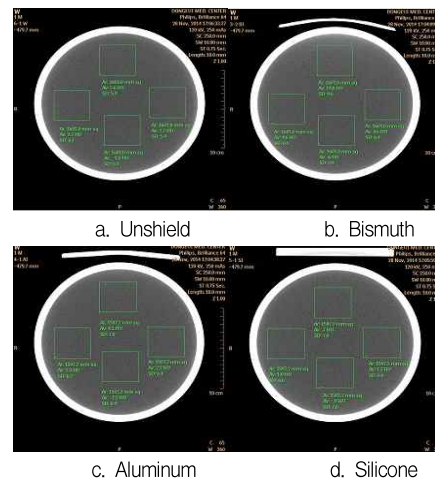


Fig. 5. CT Number and Noise.

IV. DISCUSSION

현재 의료 영상 부분에서 CT장비에 대한 피폭의 위험성이 증가하고 있지만 CT의 임상적인 유용성의 증가로 인해 검사 건수는 급속히 증가되고 있는 것이 현실이다. 국제기구와 각 나라별 환자 선량 권고량을 바탕으로 CT검사의 행위의 정당성을 충족하여야 하고, CT검사에 의한 피폭을 사회적으로 용인 가능한 합리적인 수준으로 최소화하기 위하여 노력해야 한다. 이는 저선량 영역의 생물학적 위험성을 평가할 수 없기 때문이다^[9]. 2007년 The New England Journal of Medicine에 David J. Brenner 등이 발표한 논문에 의하면 미국에서의 암 발생의 1.5~2.0%가 CT의 방사선 노출이 원인이라고 발표하였다^[10]. 본 논문에서는 영상 검사의 수가 가장 많은 Brain CT검사에서 높은 방사선 감수성을 가지는 수정체의 선량에 대해서 차폐 재료의 변화에 따른 차이를 비교하였다. 수정체는 피폭에 의해 만발성 장애로 수정체 혼탁을 일으켜서 시력장애가 발생한다. 방사선에 의하여 발생하는 백내장의 특징으로는 다른 원인에 의한 백내장과는 다르게 수정체의 후면 중앙부에 점상으로 나타나서 점차 커지면서 주위에 작은 과립형으로 불투명한 부분이 나타난다. 백내장의 만성피폭의 역치 선량은 0.15Gy/년이며, 수정체의 혼탁의 만성피폭의 역치는 0.1Gy/년이다^[11]. 현재 수정체의 차폐에는 Bismuth 차폐체가 주로 사용되고 있는데 Bismuth 차폐체는 차폐의 효과가 좋은 반면, 국내에서 쉽게 구입하지 못하고 가격이 비싼 단점과 표재성 장기에 주로 사용하는데, 영상의 화질에 영향을 주는 단점이 있다. 이에 원자번호가 낮은 차폐 재료를 이용하여 선속경화현상이 적게 발생하여 영상 화질 변화가 작고, 방사선에 의한 차폐 능력도 Bismuth 차폐체와 비슷한 Aluminum 6mm와 Silicone 22mm를 가지고 실험을 하였다. 임상에서 적용하는 Brain CT scan은 IOML에 평행한 나선형 scan과 IOML 또는 SOML에 평행한 conventional scan으로 시행되며 본 실험에서도 이를 적용하였다. 실험에서 CTDIvol은 나선형 scan에서 38.07mGy 고식적 scan에서 46.58mGy로 나타났으며, 수정체의 선량은 unshield에서 나선형 scan이 평균 37.6mGy, 고식적 scan에서 평균 41.2mGy로 나선형 scan이 적게 측정되었다. 차폐 재료를 변경

해서 측정한 결과 IOML에 평행한 나선형 scan에서 unshield에 비해 Bismuth 차폐체는 26.41%, Aluminum 6mm는 18.24%, Silicone 22mm는 19.47% 선량이 감소하였다. 팬텀 영상의 눈확에서의 CT number의 변화는 unshield비해 Bismuth 차폐체에서 가장 크게 변화였으며, Aluminum 6mm, Silicone 22mm 순서로 Silicone 22mm에서 변화가 가장 작게 나타났다. IOML에 평행한 고식적 scan에서는 unshield에 비해 Bismuth 차폐체는 17.52%, Aluminum 6mm는 9.39%, Silicone 22mm는 14.39% 선량이 감소하였다. 팬텀 영상의 눈확에서의 CT number의 변화는 unshield비해 Bismuth 차폐체에서 가장 크게 변화였으며, Aluminum 6mm, Silicone 22mm 순서로 Silicone 22mm에서 변화가 가장 작게 나타났다. SOML에 평행한 고식적 scan에서는 unshield에 비해 Bismuth 차폐체는 7.2%, Aluminum 6mm는 15.3%, Silicone 22mm는 19.1% 선량이 증가하였다. 수정체가 직접 조사야에 포함되지 않는 SOML에 평행한 scan에서는 360°회전하면서 조사가 이루어지는 CT의 특성으로 인해 직접 선량은 감쇠가 일어나지만 차폐체의 산란선에 의해 선량이 증가된 것으로 판단된다. 특수 의료장비의 팬텀 영상 검사 기준과 같은 조건으로 시행한 팬텀을 이용한 물의 CT Number, Noise, Uniformity의 측정에서 unshield, Aluminum 6mm, Silicone 22mm는 물의 CT Number 0±7HU이내, noise 7HU이내, Uniformity 5HU이내로 팬텀영상검사의 기준에 적합하게 나타났다^[8]. 그러나 Bismuth 차폐체는 차폐체 부근의 CT number와 Noise가 기준을 초과하여 나타났으며, Uniformity에서도 4.0, 14.2, 4.0으로 5HU 이내로 나타나야 하는 기준을 초과하였다.

본 논문에서는 Bismuth 차폐체와 정확하게 일치하는 mmAl당량을 가진 차폐체를 사용하지 못한 점과 SOML에 평행한 고식적 scan에서 선량이 다소 증가하는 원인을 정확하게 규명하지 못한 아쉬움이 있다.

V. CONCLUSION

실험 결과 Brain CT의 scan에서는 가능하다면 조사야에 수정체를 포함하지 않게 하는 것이 중요하며, 고식적 scan보다는 나선형 scan이 수정체의 선량을 줄일 수 있다. 차폐체의 경우 표재성 장기에 Bismuth 차폐체

를 사용할 경우 차폐 능력은 좋으나 차폐체 부근에서 CT number와 Uniformity에서 팬텀영상검사의 기준을 초과하여 나타났다. 주위에서 쉽게 구할 수 있는 Aluminum이나 Silicone을 사용하여 일정한 두께 이상을 유지한다면 차폐 능력을 어느 정도 가지며, CT Number, Noise, Uniformity을 유지할 수 있어 화질의 저하 없이 영상을 구현하는데 도움이 될 것이라 생각한다.

Reference

- [1] <http://www.mfds.go.kr>
- [2] Radiation Safety Management Series No.19. "Popular amount of patient dose in CT X-ray Inspection Guideliennes", National Institute of food and Drug Safety Evaluation. 2009.9.
- [3] <http://www.kosis.kr>
- [4] IAEA Safety series No.115. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. 1996.
- [5] ICRP: Radiation and Your Patient: A Guide for Medical Practioners, Annals of the ICRP supporting Guidance 2, Pergamon Press, Oxford 2001.
- [6] ICRP Publication 103: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Oxford 2007.
- [7] Doh, S.H., Lee, W.G., Yoo, M.J., Kang, H.D., Kim, D.S., "Thermal Annealing and Fading Characteristics of LiF:Mg,Cu,P TLD" Journal of the Korean sensors society, Vol. 7 No. 5, pp.313-318. 1998.
- [8] Korean Society of Medical Image Information Administrator Association, Medical Image Quality Control Lab, JMK, pp.103-117, 2014.
- [9] Lee S.Y., Kim K.L., Ha H.K., Im I.C., Lee J.S., Park H.U., Kwak B.J., Yu Y.S., "Evaluation of Radiation Exposure Dose for Examination Purposes other than the Critical Organ form Computed Tomography: A base on the Dosse Reference Level (DRL)" Journal of the Korean society of Radiology, Vol. 7, No. 5, pp.121-129, 2013.
- [10] Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography an increasing source of radiation exposure, N Engl J Med., Vol.357 pp.2277-2284, 2007.
- [11] Radiation control Textbook Compilation Committee, Radiation protection & safety, Chung-Gu Publisher, pp169-193, 2014.