

탄소섬유강화수지 (CFRP) 카세트와 알루미늄 카세트의 비교

고려대학교의료원 구로병원 방사선과
신동철 · 정승철

동아엑스선기계 (주) 방사선기술연구소
이선숙 · 허 준

A Comparison of the Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) Cassette and Aluminum Cassette

Dong Chul Shin, Seung Chul Jung

Dept. of Radiology, Guro Hospital, Korea University Medical Center

Sun Sook Lee, Joon Huh

Institute of Radiological Technology, Dong A X-ray Co., LTD.

I. 서 론

X선 촬영에서 카세트는 필름을 가시광으로부터 보호하고 증감지와 필름을 밀착 시키는데 있다. 예전에는 카세트의 전면판 소재로써 베이클라이트가 대부분이었으나, 현재는 알루미늄이 많이 사용되고 있으며, 최근에 알루미늄보다 가볍고 견고한 소재로써 탄소섬유 강화수지(carbon fiber reinforced plastic) 카세트가 개발되어 그 이용이 증대되고 있다^{1~4)}.

Carbon 소재로 제작된 카세트의 특징은 가볍고 X선투과성이 좋은 외에 카세트에서 발생하는 산란선이 작은 것 등이 보고되어 있으며⁴⁾ 그 이용도는 증가되고 있다.

본 연구에서는 carbon 재료를 쓴 카세트를 포함하여 알루미늄제제의 카세트 등 3종류의 카세트에 대해서 물리적인 특성과 사진특성에

대해서 비교검토를 하였다. 카세트의 물리적인 특성으로는 카세트 전면의 투과선량과 전방산란선 함유율 그리고 후방산란 선량비를 구하고 사진대조도, 피폭선량 감소율 등을 측정하였다. 사진특성으로써는 test phantom과 임상사진 등을 시각적으로 평가하였다.

II. 사용기기

1. 사용기기

X선장치:동아 DXG 525 (125KV, 500mA)

형광량계:Model F-II, Alco Electric Co.
LTD.

농도계:Konica PDA-81

피사체:아크릴판 (30cm×30cm×1cm, 20매)
Radiographic phantom (Model 170B,

RMI)

선 량 계: Rad check (Model 06-526, Victoreen INC.)

증 감 지:Konica KF

필 름 :Fuji HR-G

격 자:대홍(8:1, 85lines/inch, Focal distance 100 cm)

자동현상기:두산 DSP 5000 (34°C, 90sec)

2. 카세트

실험에 사용한 카세트의 종류와 기본적인 구성은 표1과 같다.

Table 1. Physical parameter of the cassettes evaluated.

Cassette	Front material	Front thickness(mm)
Toshiba Carbon cassette	C.F.R.P.	1.26mm
Okamoto cassette	Aluminum	1.32mm
Soyee cassette	Aluminum	1.85mm

카본제는 Toshiba제로써 carbon fiber reinforced plastic으로 제작되었으며, 카세트 전면의 두께는 1.26 mm 이다. Okamoto사의 카세트 전면은 1 mm 두께의 알루미늄에 얇은 레저를 부착하였으며, Soyee사의 카세트 전면 두께는 1.6 mm 의 알루미늄에다 PVC로 표면처리되어 있다.

카세트 후면의 안쪽 면에 후방산란선을 제거하기 위한 납판은 Soyee 카세트에만 부착되어 있고 나머지는 없다.

II. 실험방법

1. X선투과선량

카세트 전면소재의 X선투과선량을 측정하기 위해서 형광량계를 사용하였으며 실험의 기하학적 배치도는 그림 1과 같다. 카세트 전면을

형광량계 위에 수평으로 놓고 그 위에 피사체로 아크릴판을 놓았다.

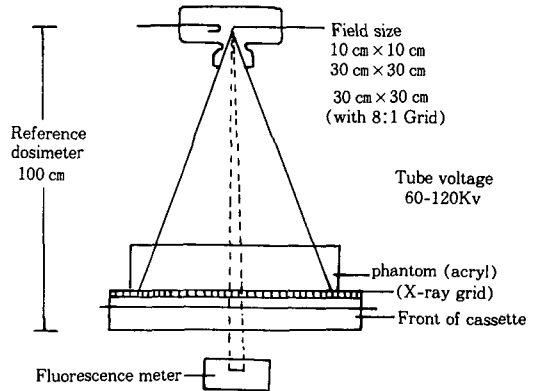


Fig 1. Experimental arrangement with exposure condition radiation field size are 10 cm × 10 cm, 30 cm × 30 cm, and 30 cm × 30 cm with X-ray 8:1 grid.

X선 발생장치는 단상전과정류를 사용하였으며(500mA, 150KV) X선관과 형광량계간 거리는 100 cm, 아크릴판 두께는 5,10,15,20 cm, 관전압 60,80,100,120 KV, 조사야는 10 cm × 10 cm 과 30 cm × 30 cm 이며 30×30 cm 에서는 격자가 없을 때와 8:1 격자 사용시의 투과선량을 측정 하였다.

2. 전방산란선 함유율

실험의 기하학적 배치도는 그림 2와 같다. 전방 산란선량을 측정하기 위해 형광량계의 상방에 직경 10 mm, 두께 3 mm 의 원형납판을 놓았다.

이때 산란선 함유율 F는 $I'_{1p+1s} / I_p \times 100$ 에 의해 구했다.

납판은 피사체가 없는 상태에서 X선을 조사했을 때 형광량계가 0이 되는 위치에 고정 하고, 피사체가 없을 때와 아크릴 두께 5,10,15,20 cm 시 측정 하였다. 이때 관전압은 80KV로 일정 하게 하고, 조사야는 역시 10 cm × 10 cm, 30 cm 량을 측정하였다.

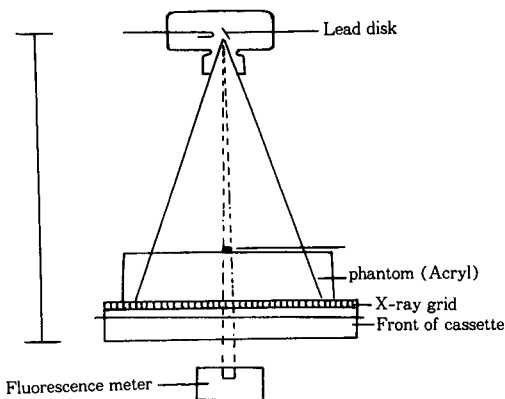


Fig 2. Experimental arrangement with exposure condition for scatter fraction. The lead-disk is set just above the fluorescence meter. Diameter of the lead disk is 10mm and thickness is 3 mm

3. 후방산란 선량비

실험의 기하학적 배치도는 그림 3과 같다.

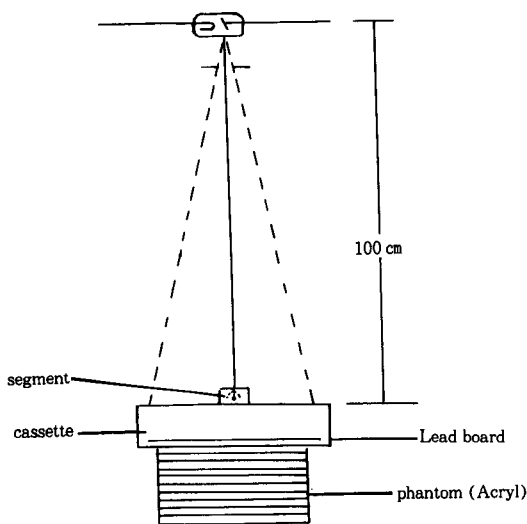


Fig 3. Experimental arrangement for back scatter fraction. Lead foil is set between the back screen and the back of the cassette. (Thickness of lead foils are 0.1, 0.2, 0.3 mm.) Radiation field size is 30×30 cm.

연판이 부착되어 있지않은 CFRP 카세트와 Okamoto 카세트, 그리고 연판이 부착되어 있

는 Soyee 카세트에 대하여 측정 하였다.

관전압은 80KV로 일정하게 하고 후방산란체로 아크릴판을 놓고 산란체의 두께를 0~20 cm 까지 5 cm간격으로 변화 시켰다. 또 후면 증감지의 이면에 후방 산란선을 차폐하는 납을 0 mm 부터 0.3 mm 까지 0.1 mm 간격으로 변화시켜 후방산란선량을 측정하여 후방산란선량비를 구했다.

4. 사진 대조도

사진 대조도를 구하기 위해서 RMI의 radiographic phantom을 촬영하여 bone step의 농도를 측정 하였다. 이때 관전압은 50KV와 70KV에서 소지농도는 1.5 ± 0.1 이내가 되게 mAs량을 조정하였으며 증감지는 Konica KF, 필름은 Fuji HR-G를 사용하였다.

5. X선사진의 시각적인 평가와 피폭선량

카세트에 따르는 사진효과를 검토할 목적으로 관전압 50KV와 70KV에서 radiographic phantom을, 관전압 50KV로 수지판을 촬영하여 육안으로 관찰하였으며 증감지-필름은 KF/HR-G를 사용하였다.

III. 결 과

1. X선 투과선량

카세트별 X선 투과선량을 조사야 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$, $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$, $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ (with grid) 일 때 각기 피사체의 두께를 아크릴 0.5, 10, 15, 20 cm 에서 측정한 결과 그림 4~6과 같이 나타났다. 종축에는 투과율(%), 횡축에는 관전압을 나타냈다.

총선량 투과율은 피사체의 두께가 얇을수록, 조사야가 넓을수록, 관전압이 증가할 수록 크게 나타났다.

조사야 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 에서는 관전압 증가시 카세트 종류별 총선량투과율은 CFRP 카세트

가 가장 우수하였으며, 관전압이 증가하고 피사체의 두께가 두꺼워질수록 CFRP 카세트와

Al 카세트의 총선량 투과율의 차가 점차 줄어들었다(그림 4-5 참조).

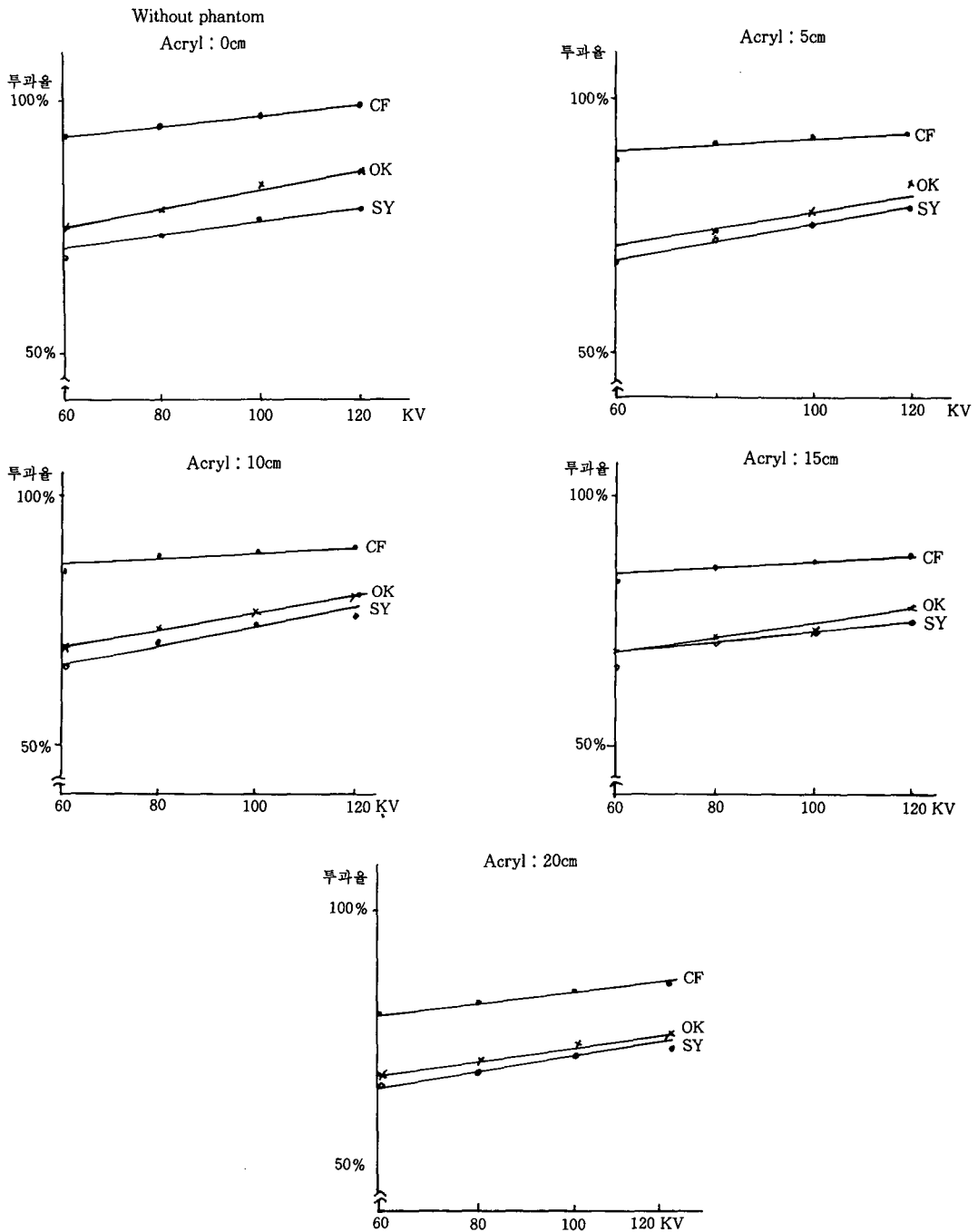


Fig 4. Total experimental radiation transmission

조사야 30 cm × 30 cm 에서 관전압이 60~120KV로 변화시 총선량 투과율은 카세트별로 두께가 얇은 5 cm 인 경우 68~97%, 두께가 두꺼운 아크릴 20 cm 에서의 투과율은 67~93%로 나타나 조사야 증가시 총선량 투과율은 증가하는 경향을 나타냈다(그림 5 참조). 조사야

30 cm × 30 cm 에서 8:1격자를 사용시는 아크릴 5 cm 에서는 카세트 별로 99~72%, 아크릴 20 cm 에서는 67~93%로 나타나 피사체의 두께가 얇은 부위와 저관전압 촬영시 CFRP 카세트의 총선량 투과율이 큰 것을 알 수 있었다(그림 6 참조).

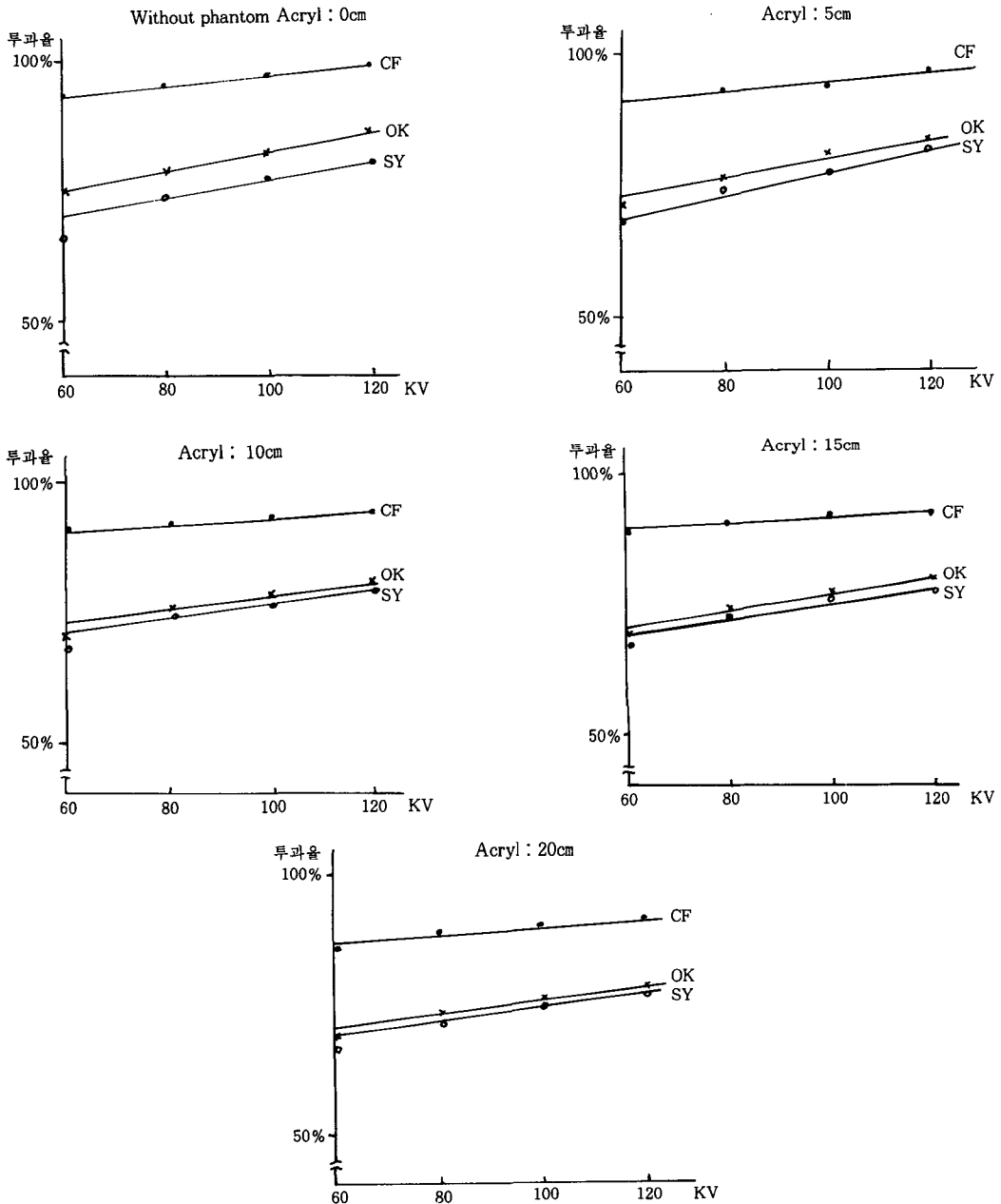


Fig 5. Total experimental radiation transmission

따라서 총선량 투과율은 피사체의 두께가 얇을수록, 조사야가 넓을수록, 관전압이 증가할수록 크게 나타났다.

카세트 별로는 CFRP 카세트가 가장 크게 나타났으며, 피사체의 두께가 두꺼워질수록 CFRP 카세트와 Al 재질 카세트의 총선량 투과율의 차이는 점차 줄어들었다.

특히 Al제의 카세트는 선질의존성이 큰데 반하여 CFRP 카세트는 별로 없어서 관전압이 올라가도 투과율곡선은 완만하게 나타나고 있다.

한편 관전압에 따른 카세트의 총선량 투과선량비의 관계는 그림 7과 같다.

FCD : 100cm Field size : 30×30cm (With 8 : 1 Grid)

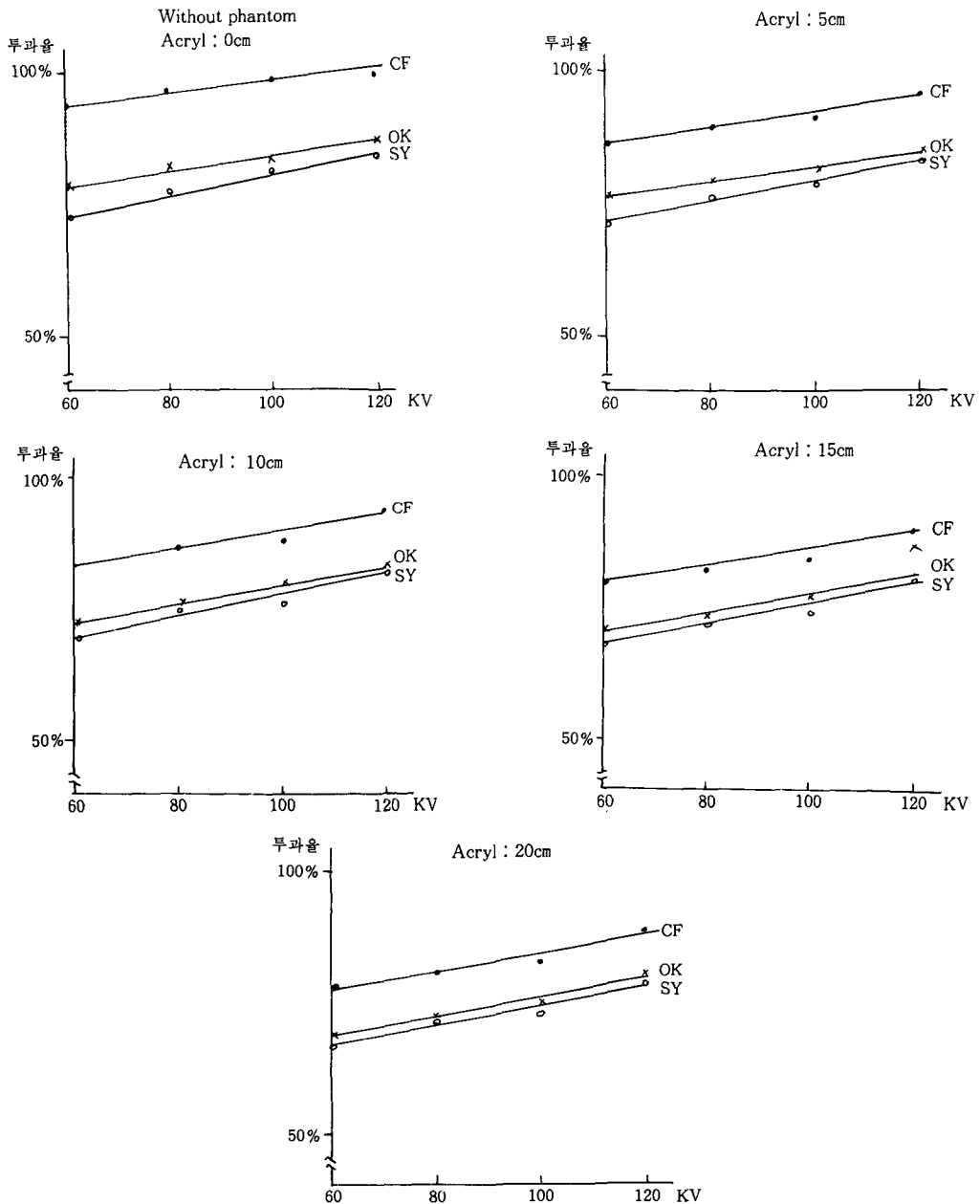
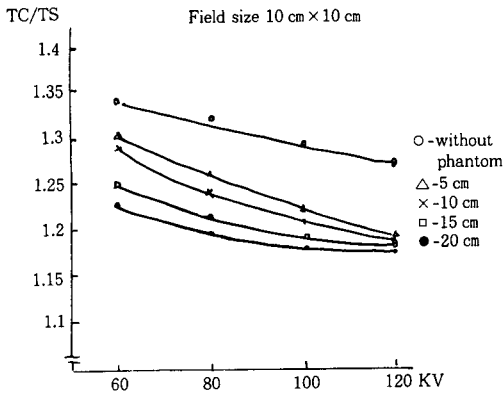
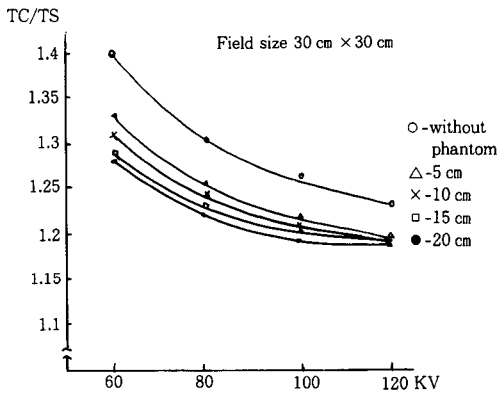


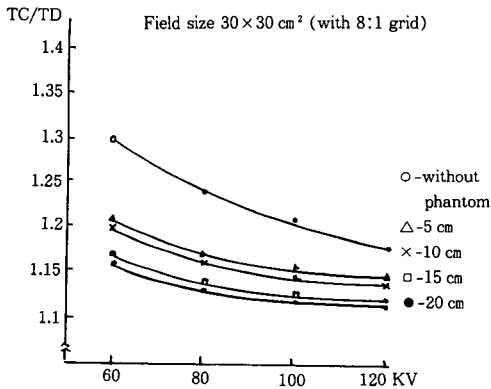
Fig 6. Total experimental radiation transmission



(a)



(b)



(c)

Fig 7. Radiation transmission factor of CFRP and Soyeer product Al cassettes, as a function of Kv and phantom thickness. Tc is the x-ray transmission dose of the CFRP cassette and TS is the transmission dose of the Soyeer cassette. (a) radiation field size of 10 cm × 10 cm (b) 30 cm × 30 cm (c) 30 cm × 30 cm² with an 8:1 x-ray grid.

중축은 CFRP 카세트의 투과선량(Tc)와 Soyeer 카세트의 투과선량(Ts)과의 비 T_c/T_s 를 나타낸다. 즉 T_c/T_s 치가 클 수록 CFRP 카세트의 총선량 투과율이 Soyeer 카세트에 비해 큰 것을 알 수 있다(그림 7 참조).

Okamoto 카세트의 X선 투과선량(T_o)와 Soyeer 카세트의 X선 투과선량(T_s)의 비는 그림 8과 같으며 Okamoto 카세트의 총선량 투과율이 더 크게 나타났다.

이상의 결과, 특히 저관전압에서 피사체의 두께가 얇을수록 T_c/T_s 와 T_o/T_s 는 높게 나타나고 있었다. 이는 井手口의 보고와 일치하고 있었다³⁾.

조사야의 크기가 30 cm × 30 cm, 관전압 60KV, 피사체로 두께 5 cm의 아크릴판을 투과했을 때의 CFRP 카세트의 X선 투과선량은 Al 카세트에 비해서 약 1.34배로 조사선량은 약 26%로 감소되고, 홍부를 120KV로 촬영할 때의 투과선량은 1.14배로 증가되어 조사선량은 13%로 감소시킬 수 있었다.

카세트별로 총선량 투과율은 CFRP 카세트, Okamoto 카세트, Soyeer 카세트의 순으로 나타나고 있으며, CFRP 카세트는 Soyeer 카세트에 비해 약 1.25배로 조사선량은 약 20%로 감소시킬 수 있다. Soyeer 카세트의 총X선 투과율은 같은 Al판을 소재로한 Okamoto 카세트에 비해서 약간 저하되고 있었다. 카세트의 소재에 따르는 차이는 피사체가 얇고 관전압이 떨어질수록 크게 나타나고 있어 비교적 저관전압으로 연부조직을 촬영할 때에는 CFRP 카세트를 사용하는 것이 바람직하다.

2. 전방산란선 함유율

관전압 80KV에서 피사체의 두께에 따른 cassette별 전방산란선 함유율은 그림 9와 같다. 조사야 10 cm × 10 cm 일 경우 피사체 두께를 5~20 cm로 변화시 전방산란선 함유율은 CFRP 카세트시 27~59%, Okamoto 카세트는 26.2%~53%, Soyeer 카세트는 25.5~50%로

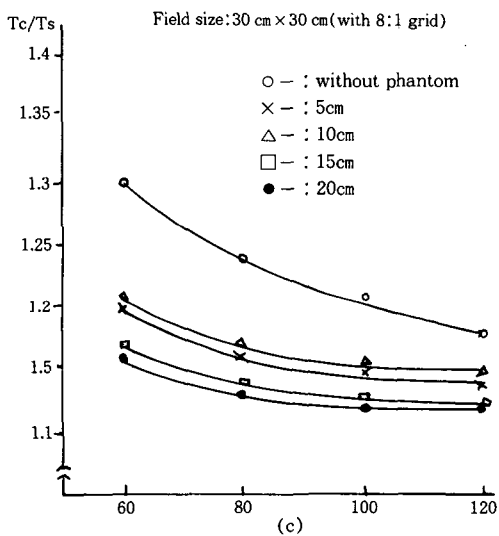
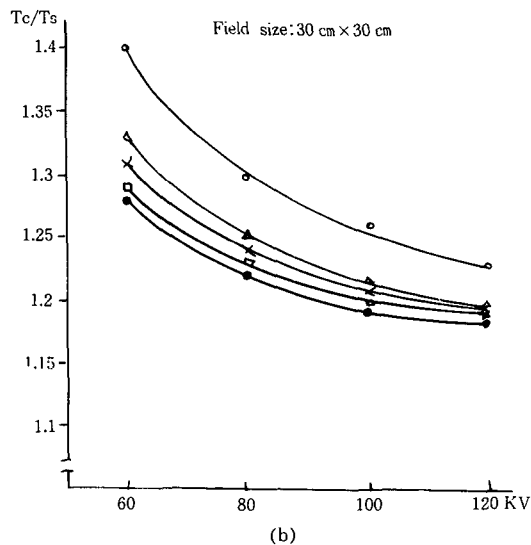
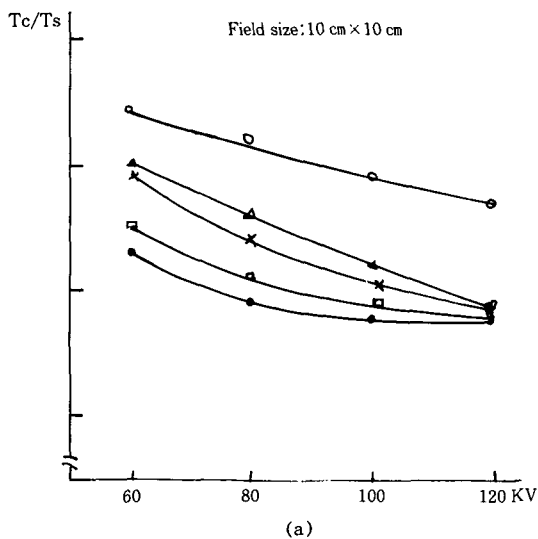


Fig 8. Radiation transmission factor of Soye product Al and Okamoto of Al cassettes, as a function of Kv and phantom thickness.

To is the x-ray transmission dose of the Okamoto cassette and Ts is the transmission of the Soye Al cassette. Radiation field size of 30 × 30 cm²

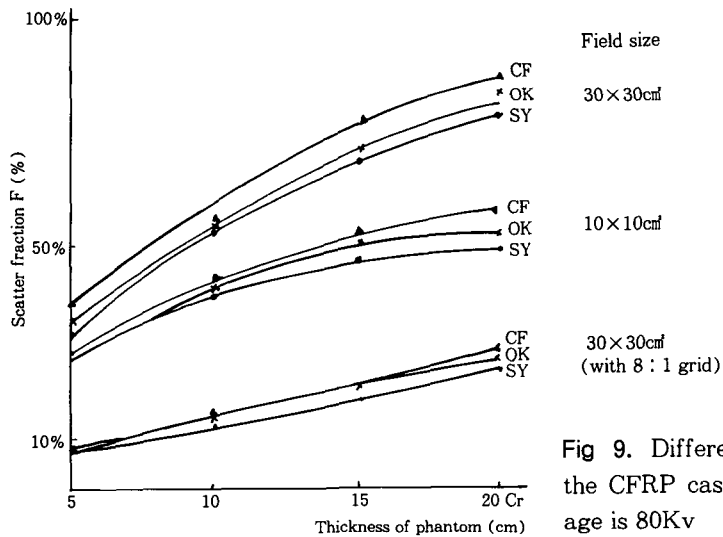


Fig 9. Difference in scatter fraction between the CFRP cassette and Al cassette. Tube voltage is 80Kv

나타났고, 조사야 30 cm × 30 cm 에서는 CFRP 카세트시 38~87%, Okamoto 카세트는 34~83.5%, Soyee 카세트는 31~78%로 나타났다. 그리고 조사야 30 cm × 30 cm 에서 grid를 사용했을 경우에는 CFRP 카세트시 8~29%, Okamoto 카세트는 7.5~27%, Soyee 카세트는 7~25%로 나타나 피사체의 두께가 두꺼울수록 조사야가 클수록 전방산란선 함유율은 증가하였으며, grid 사용시는 전방산란선이 1/3로 감소되는 것을 알 수 있었다.

井手口³⁾에 따르면 카세트 종류별의 전방산란선 함유율은 유의한 차이는 없으며, 증감지-필름계로 실험한 결과에서는 CFRP 카세트가 Al 카세트에 비해서 약간 감소되고 있었으나 본 실험에서는 반대로 CFRP, Okamoto, Soyee 카세트 순으로 나타났으나 큰 차이는 없었다.

3. 후방산란 선량비

1) 후방산란체 두께변화에 따른 후방산란선량비

관전압을 80KV로 일정하게 하고 후방산란체인 아크릴 두께의 변화에 따른 후방산란선량비를 구한 결과 그림 10-A와 같이 나타났다.

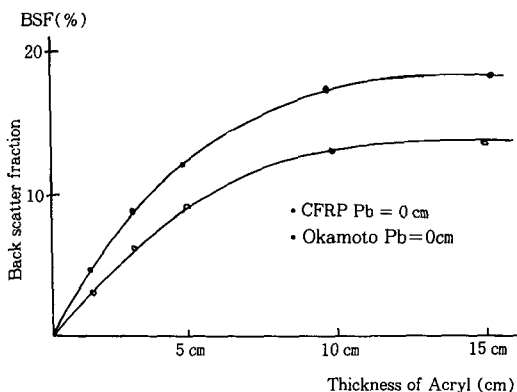


Fig 10-A. Difference in back scatter fraction between the CFRP and the Al cassette. Back scatter fraction for each thickness phantom in a 80KVP

후방산란선 차폐용납이 없을 때의 후방산란선량비는 후방산란체의 두께 10 cm 부근에서 대부분 최대치를 나타내 CFRP 카세트시 약 18%, Okamoto 카세트는 약 14%로 나타났다. 이때 Okamoto 카세트가 CFRP 카세트 보다 후방산란 선량비가 적게 나타난 것은 Okamoto 카세트 후면의 Al이 에너지가 낮은 후방산란선을 흡수하기 때문이라 사료되며, 아크릴 두께가 10 cm 까지는 증가되고 있으나 그 이상의 두께에서는 포화를 나타내고 있다. Soyee 카세트는 후방산란선을 제거하기 위한 Pb판이 부착되어 있어 후방산란선량이 0으로 나타났다.

2) 관전압변화에 따른 후방산란선량비

Acryl 두께를 15 cm로 일정하게 하고 관전압 50KV에서 140KV, 후방산란 차폐납을 0 mm 부터 0.3 mm 까지 변화시켰을 경우의 BSF는 그림 10-B와 같다.

후방산란선을 차폐하는 납이 0 mm 일 경우 BSF는 관전압의 상승과 함께 증가하는 경향을 나타내 CFRP와 Al 카세트 모두 관전압 100KV에서 최대로 나타나 CFRP는 약 19%, Al 카세트는 약 16%로 나타났다.

차폐납 0.1 mm 를 부가했을 경우 관전압 50~100KV 까지는 0%로 나타났으나, 관전압 120

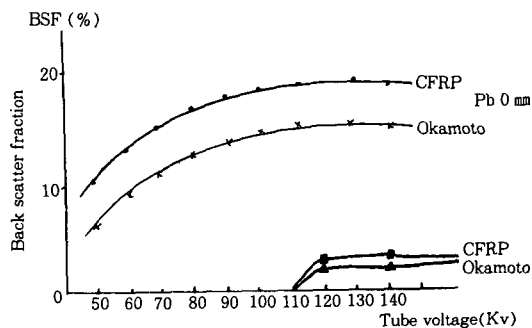


Fig 10-B. Back scatter fraction for each voltage in a 15 cm thickness phantom. Both the CFRP cassette and the Okamoto cassette reach a plateau at 100Kv.

~140KV에서의 후방산란 선량비는 CFRP는 4%, Al카세트는 3%로 나타났으며, 차폐납의 두께로 0.2, 0.3 mm로 부가했을 때는 CFRP, Al 카세트 모두 후방산란 선량비는 0%로 나타났다. 현재 진료에 사용되는 Al 카세트의 후면에는 KSA 4905의 규정⁵⁾에 따라 0.2mm의 차폐용납판이 후면중감지의 뒷면에 부착되어 있기 때문에 후방산란선의 영향은 거의 무시해도 좋다고 생각된다.

4. 사진대조도

카세트 종류에 따른 사진대조도를 관찰하기 위해 R.M.I radiographic phantom을 촬영하여 bone step의 사진대조도를 비교한 결과 관전압 50KV에서는 CFRP, Soyee, Okamoto 순으로 나타났고, 관전압 70KV일 경우에는 Soyee가 약간 우수하였으나 큰 차이는 없었다(표2 참조).

표 2. Image contrast of bone steps for image produced at 50KV and 70KV with KF/HR-G

cassette	KV	
	50	70
CFRP	0.044	0.031
Okamoto	0.039	0.034
Soyee	0.041	0.042

저관전압의 50KV로 촬영한 test phantom의 사진에서 wire, 건조골 등의 사진대조도의 차이는 있으나 관전압 70KV에서는 육안적으로 거의 차이를 찾아볼 수 없었다.

Soyee가 약간이나마 우수한 경향을 나타내고 있는것은 X선 투과율이 좋으면 피사체에서 발생하는 산란선을 투과시키게 되어 사진대조도가 저하된다고 사료된다⁴⁾. 따라서 산란선 함유율이 작은 조건에서 CFRP 카세트를 사용하는 것이 유효하다고 하겠다(그림 11 참조).

5. X선사진의 시각적 평가와 피폭선량

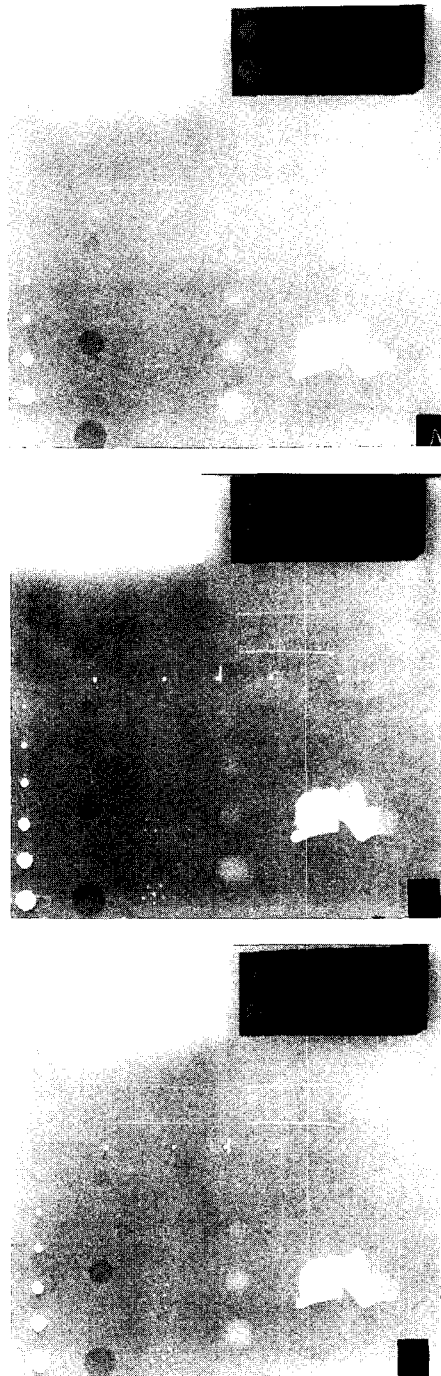


Fig 11. Comparison of test object images obtained with (A) Soyee, (O) Okamoto, and (C) CFRP cassette.

Test object were exposed without a phantom 50Kv.

Radiographic phantom을 촬영하여 시각적으로 관찰한 결과 수지골 촬영시 CFRP 카세트, Okamoto 카세트, Soyee 카세트 순으로 사진대조도가 우수하게 나타났으며, 척추골 사진에서는 Soyee 카세트가 우수하게 나타났으며, CFRP 카세트와 Al 카세트 간에는 시각적으로 큰 차가 없게 나타났다(그림 11 참조).

그림 12는 실지 수지골을 촬영한 X선상으로 CFRP 카세트 사용시 사진대조도가 우수한 것을 확인할 수 있었으며, 이때의 피폭선량을 측정한 결과 CFRP 카세트시 10.8mR, Okamoto 카세트시 11.75mR, Soyee 카세트시 13.5mR으로 나타났다(그림 12 참조).

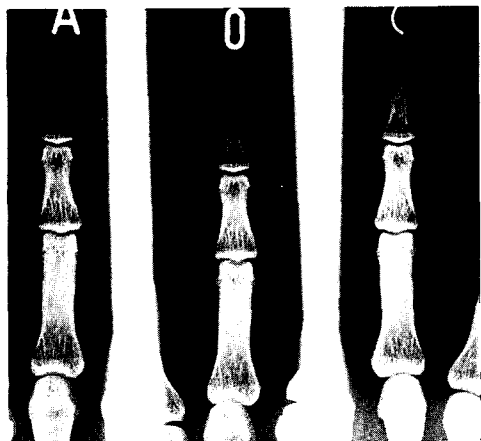


Fig 12. Comparison of bone radiographs obtained with (A) Soyee, (O) Okamoto, and (C) CFRP cassette.

Exposure dose for each radiograph were (A) 13.5 mR, (O) 11.75mR, (C) 10.8mR.

이상과 같은 결과로 보아, CFRP 카세트 전면의 1차 X선 흡수는 Al제에 비해서 작고, 선질의존성이 좋은 특성을 가지고 있다.

Phantom의 두께가 얇고 저관전압 영역에서 CFRP 카세트가 피폭선량의 감소율이 크나, phantom이 두껍고 관전압이 증가할수록 피폭선량의 차이는 작아진다. 이것은 phantom과 격자 등을 투과함에 됨으로 선질이 경해져서 카세트 재질에 다른 X선흡수차가 작아지는 고로 결과적으로 피폭선량의 경감을 효과적으

로 하기 위해서는 피사체 두께가 얇고 저관전압 영역에서 사용하는 것이 효과적이라 하겠다.

IV. 결 론

CFRP 카세트와 Al 카세트의 물리적특성과 X선사진특성을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 총선량투과율은 CFRP 카세트가 Al 카세트에 비해 저관전압과 피사체의 두께가 얇은 경우 증가되었고, 고관전압과 피사체의 두께가 두꺼울 경우 그 차이는 줄어들었다.

2. 전방산란선 함유율은 Al 카세트가 CFRP 카세트에 비해 약간 감소하였으나 큰 차이는 없었다.

3. 후방산란선량비는 CFRP 카세트와 Al 카세트간의 큰 차이는 없게 나타났으나, CFRP 카세트 후면에 0.2mm 두께 정도의 납판을 부착하여 후방산란선에 의한 영향을 줄이는 것이 좋겠다.

4. X선사진 특성중 사진대조도는 저관전압에서 X선흡수가 적은부위 촬영시 CFRP 카세트가 우수하게 나타났다.

이상의 실험결과, CFRP 카세트는 Al 카세트에 비해서 가벼워 취급이 용이하고 투과선량이 많아서 조사선량을 경감시킬 수 있어 촬영시간을 단축시킬 수 있었다. 그 효과는 특히 사지골 등 두께가 얇은 부위에 특히 유효하다.

참 고 문 헌

1. 許 俊·崔鍾學·田萬鎭·姜世植 : X線필름용 카세트의 性能에 관한 檢討 : 韓放技研誌, 5(1) : 35~43, 1982.
2. 部利彦 : 炭素纖維強化樹脂(CFRP)使用カセツテシステムについて, 日本放射線技術學會雜誌, 36(3):329~339, 1980.
3. 井手口 忠光·稻津博外 4名 : 炭素纖維強化

樹脂(CFRP)とアルミニウムカセットの物理的評価, 日本放射線技術學會雜誌, 44(1): 38~48, 1988.

4. 勝田昇・東田善治: 外4名: X線診断領域に

おけるCFRPカセットの評価, 43(5)621~628, 1987.

5. KS A 4905, 방사선용 필름카세트, 1981-12-24