

온도 변화에 따른 X-선진단장치의 관전압, 관전류, 조사선량에 관한 연구

A Study of x-ray tube voltage, tube current and dose rate depeding on temperature

전기환*, 황민선*, 최면웅*, 이송이*, 김민지*, 양동일*, 이귀열**

Ki-Hwan Chon*, Min-Seon Hwang*, Myeon-Woong Choi*, Song-Yi Lee*, Min-Ji Kim*,
Dong-Il Yang* and Gwi-Yeol Lee**

요 약

X-ray를 연속하여 촬영함에 따라서 튜브의 내부온도가 올라가게 되고 거기에 비례하여 mA값과 조사선량이 증가하게 된다. 자연히 X-선 방출량도 많아지게 됨에 따라 임상적으로는 물론이고 환자의 피폭선량에 영향을 미치는 결과를 가져온다. 특히 방사선 성능검사에서 합격 혹은 불합격의 오차범위에 영향을 받는다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 온도 차이에 따른 X-선 진단장치의 관전압, 관전류 및 조사선량의 변화에 관한 연구를 수행하였다. X-선 진단장치 검사 중 과도한 사용으로 인한 관전류의 오차를 막고 환자의 피폭을 줄여 보다 효과적으로 X-선 진단장치를 사용하도록 하였다. 연구 결과 튜브의 수명을 연장시킴으로서 병원의 재정에 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

Abstract

This study was function experiment or inspection of diagnosis x-ray unit at the hospital. It's how many changes tube voltage, tube current, DOSE value through the experiment depending on temperature increasing. The study want to know whether which parameter shown out of range or not how about image quality and so on. Increasing tube current and DOSE were not only too many radiation to the patient and radiation workers and make bad images but also the tube should be damaged by heat. This study was recommended proper exposure at intervals of seconds because passed inspection, reduced radiations for patient and the tube used long term. This results in the hospital's finances will be very helpful.

Key words : x-ray, tube voltage, tube current, DOSE, mR(milli Roentgen)

I. 서 론

각 의료법인의 영상학과에서 진단용으로 사용

하는 모든 X-ray 진단장치의 성능검사는 3년마다 정기적으로 검사하게 되어있는데 많은 검사항목 중에서 주요 파라미터는 관전압 [kV], 관전류 [mA], 조사시간 [sec], 조사선량 [dose]이며 지정된 검사기관에서

* 한림성심대학 의료기기정보과

** 한국의료기기평가연구원 검사원장

· 제1저자 (First Author) : 전기환 교신저자 : 양동일

· 투고일자 : 2011년 1월 10일

· 심사(수정)일자 : 2011년 1월 11일 (수정일자 : 2011년 4월 4일)

· 게재일자 : 2011년 4월 30일

현장에 나가 정밀 측정 장비로 측정한 후 값들이 정해진 범위 이상 또는 이하의 값이면 사용을 금하도록 되어있다. 검사기관은 합격, 불합격을 사용 병원에 통보하는데 만약 불합격이면 즉시 관할 보건소와 식품의약품안전청(KFDA) 등에 알려야한다[1].

이러한 측정과정에서 주위환경의 영향은 없으며 특히 온도변화에 따른 각 측정값이 불합격 판정에 변수로 작용할 것으로 예측되어 연구를 수행하게 되었다. 온도가 올라감에 따라 실제 설정치보다 관전류가 증가되고 비례하여 X-선 방출량의 증가로 인하여 환자는 그 만큼 피폭을 더 받게 될 수 있고 X-선량의 차이로 인한 농도가 다르게 되어 화질저하를 초래한다[2]. 또한 방사선 성능검사에도 영향을 받을 뿐만 아니라 과열로 인한 고가의 X-ray 튜브의 수명도 단축된다[3],[4].

방사선 장비에 따른 차이는 있지만 한국에서 생산되는 일반 X-ray 장비의 정격 최대 관전압 125 [kV], 관전류 625 [mA]이 보통 일반병원에서 범용으로 사용하는 650[mA] 장비이며 X-ray 튜브 & support, 고전압 발생장치, 환자(측정)테이블, 제어장치 등으로 구성 되어있다. 측정장비는 직접측정장비로 Dynalyzer, 간접측정장비로는 Unfors의 Xi를 계측기를 사용하였고, 실험방법으로는 X-ray 튜브자체 온도변화 방법을 사용했다.

본 연구는 이를 알아보기 위해 각각의 설정치를 정해주고 튜브에 20 [sec] 간격으로 Exposure 하여 온도에 변화를 주고 관전압은 80 [kV], 조사시간은 1.0 [sec]로 고정하고 관전류를 80 [mA], 100 [mA], 125 [mA]로 증가하면서 각각 측정하여 이 data들이 어떠한 형태로 변화하는가를 비교 분석하였다. 이 data 값들을 두 가지 계측방법 즉 직접측정방법, 간접측정방법으로 동시에 획득하여 저장하였다. 두 방법 중 어느 방법이 더욱 정확하고 서로 간의 얼마의 오차가 발생하게 되는지를 알아보았다. 또한 온도차에 따른 각각의 Parameter에는 어떠한 영향을 미치며, 어떻게 방사선 장비를 사용해야 적당한지를 연구하였다. 또한 앞으로 어떤 방법의 계측을 사용하면 더 신뢰할 수 있는 data이며 또한 실제 현장에서 외부의 어떤 변화 요인이 도움이 되는지에 대하여 연구하였다.

II. 방사선 발생장치와 검사 장비의 구성

2-1 방사선 발생 장치

본 논문에서는 방사선검사기관 한국의료기기평가연구원 내의 기준장비로 사용 중인 국내에서 생산한 625 [mA]의 방사선기기를 사용하였다.

표 1. 방사선 발생장치
Table 1. X-ray unit

Description	Specification	
품명	일반 진단용 엑스선장치	
제조국/제조사/년도	한국/동강의료기기(주)/2009.6.12	
모델번호	ACCURAY-625R	
형식/정류방식	R-630-125/Inverter 정류방식	
X-ray tube	모델	Toshiba E7239X
	정격	125 [kV], 625 [mA]
	초점	Focal spot 1.0, 2.0 [mm]

표 1은 검사 대상 장비의 규격표를 보여주고 있으며 최신 인버터 정류방식으로 종합병원은 물론이고 일반 중소병원에서 일반적으로 범용으로 사용하는 장비로서 구성품은 표 2와 같다.

표 2. 방사선 발생장치 구성품
Table 2. Consist of X-ray system

Description	Model number	Serial number
고전압 발생장치	HX-625H	HU2-9019
제어장치	GX-625H	GU2-9019
환자테이블	TH-22B	SL2-9054
튜브 및 지지대	SF-80B	8J0010

2-2 검사 장비

2-2-1 직접 검사 장비

직접 검사 장비는 검사 대상 장비인 X-ray 기기의 출력인 고전압 케이블을 Dynalyzer III-A high voltage 에 직접 연결하여 측정 장비를 거친 다음 X-ray 튜브로 연결되어진다[5],[6].

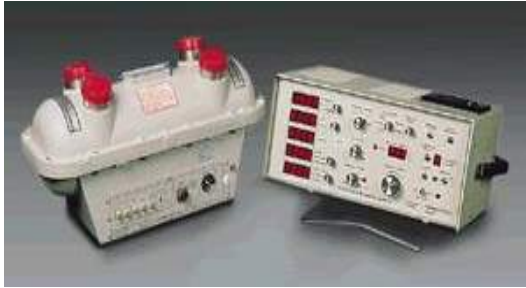


그림 2.1 직접 검사 장비 (고전압과 표시기)
Fig. 2.1 Direct measuring equipment (high voltage and display)



그림 2.2 간접 검사 장비
Fig. 2.2 Indirect measuring equipment

표 2.3 직접 검사 장비(표시기)
Table 2.3 Direct measuring equipment (display)

Description	Specification
품명	Dynalyzer III-A display unit
모델번호	M-96320
제조국/년도	USA/1999. 7.07
제조사/제조번호	Radical corporation/75-1008
용도	[kV], [mA], [sec], [mAs]
교정번호/일자	1000-00342-002/2010. 02. 04



그림 2.3 간접 검사 장비 (노트북 컴퓨터)
Fig. 2.3 Notebook computer of indirect measuring equipment

표 2.4 직접 검사 장비 (고전압)
Table 2.4 Direct measuring equipment (high voltage)

Description	Specification
품명	Dynalyzer III-A high voltage
모델번호	M-96311
제조국/년도	USA/1999. 7. 07
제조사/제조번호	Radical corporation/74-1011
용도	[kV], [mA], [sec], [mAs]
교정번호/일자	1000-00342-001/2010. 02. 04

표 2.5 간접 검사 장비
Table 2.5 Indirect measuring equipment

Description	Specification
품명	방사선 검사 측정기(용도 참조)
모델번호	8201201-B/8202031-C
제조국/년도	SWEDEN/2009. 10. 23
제조사/제조번호	UNFORS/142943, 141800
용도	[kV], [mA], [sec], [mAs]
교정일자	2010. 03. 20

2-2-1 간접 검사 장비

간접 검사 장비는 검사 대상 장비인 X-ray 기기의 측정 테이블 위에 올려놓고 SID(source image distance)를 100 [cm]로 고정한 조준기(collimator)를 디텍터 크기에 맞게 열어 고정시킨다[7]. 디텍터와 본체는 케이블로 접속하고 본체는 노트북 컴퓨터로 연결하여 구성한다. 측정범위는 관전압 R/F 35-160 [kV p] 유방촬영용 20-40 [kVp] 2%이며, 관전류는 0.2-2000 [mA] 1%, 조사시간은 1 [ms] -999 [sec] ±0.5% or 0.2 [ms] 에서 측정할 수 있다.

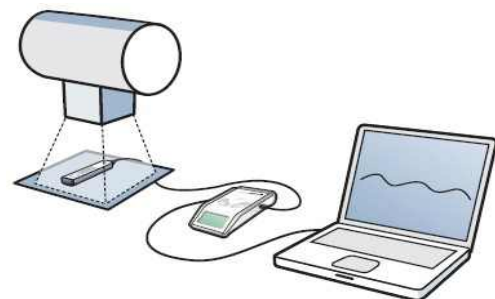


그림 2.4 간접 검사 장비 연결
Fig. 2.4 Connection of Indirect measuring equipment

III. 검사 방법

온도계를 그림 3-1과 같이 X-ray 튜브 +(anode)부분에 부착하고 실내온도는 25 [°C], 습도 50-60%로 유지한다.



그림 3.1 X-ray 튜브에 온도계 부착
Fig. 3.1 Attached temperature on the x-ray tube

(1) 계측기 연결방법

직접 검사 장비인 Dynalyzer III-A high voltage와 X-ray unit의 고압방생장치 사이에 고압케이블을 연결한다. 간접 검사 장비인 방사선 검사 측정기를 검사용 테이블위에 놓고 본체와 노트북 컴퓨터에 연결한다[8],[9].

(2) Exposure time은 20초 간격으로 하여 측정값을 구한다.

20초 간격으로 계속해서 Exposure할 경우에 "tube high temperature"의 Error가 발생하고 더 이상 촬영할 수 없다. 왜냐하면 Cooling time이 필요하기 때문에 20초간격의 Exposure time이 무너져 더 이상 진행할 수가 없고 한 단계의 설정이 종료된다.

(3) 측정 파라메타는 [kV], [mA], [sec], dose(조사선량)의 데이터를 획득한다.

(4) 진단용 방사선 발생장치의 설정값

- 1) 80 [kV], 80 [mA], 1.0 [sec]
- 2) 80 [kV], 100 [mA], 1.0 [sec]
- 3) 80 [kV], 125 [mA], 1.0 [sec]로 하여 각각 Exposure를 단계별로 진행한다.

IV. 결과 분석

4-1 촬영횟수증가에 따른 온도의 변화결과

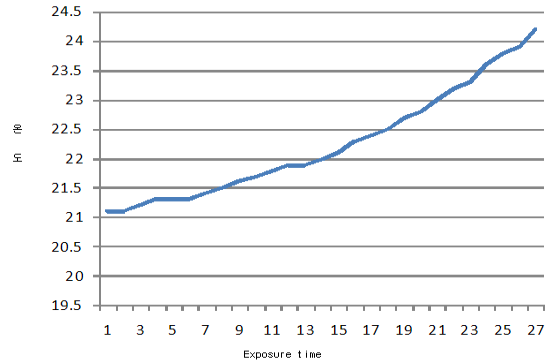


그림 3.2 촬영 횟수증가에 따른 온도의 변화
Fig. 3.2 Temperature change depend on exposure times

그림 3.2는 촬영횟수에 따른 온도변화 그래프인데 촬영횟수가 증가할수록 온도가 선형적으로 변화되는 것을 통계적 유의수준 $p < 0.05$ 로 확인하였다.

4-2 관전압, 관전류, 조사선량의 결과(80[mA])

설정치를 80 [kV], 80[mA], 1,0 [sec]로 맞추고 튜브에 온도계를 부착한 상태에서 Exposure time의 증가에 따른 관전압과 관전류의 변화를 아래 그래프에 나타내 있다.

4-2-1 관전압의 결과

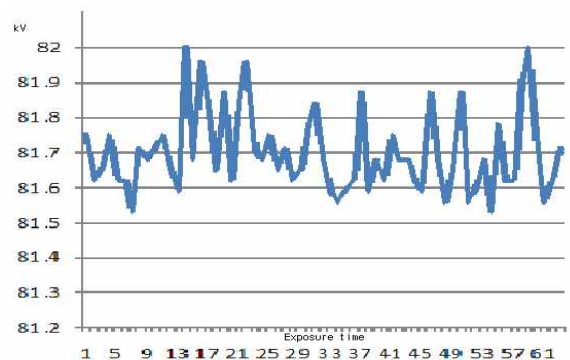


그림 3.3 촬영 횟수증가에 따른 관전압의 변화 80 [mA]
Fig. 3.3 [kV] value depend on exposure times at the 80 [mA]

상기 그래프는 80 [kV], 80[mA], 1.0 [sec] 로 63회를 촬영했을 때 시스템에 에러가 발생하여 더 이상 촬영할 수가 없고 촬영이 종료되었다. 관전압이 80 [kV] 에서 setting 하여 촬영했는데 결과는 81 [kV] 에서 82 [kV] 사이에서 큰 변화를 보이고 있지 않고 거의 기울기가 일직선이다.

4-2-2 관전류의 결과



그림 3.4 촬영 횟수증가에 따른 관전류의 변화 80 [mA]
Fig. 3.4 [mA] value depend on exposure times at the 80 [mA]

그림 3.4는 80 [kV], 80[mA], 1.0 [sec] 로 63회를 촬영했을 때 시스템에 에러가 발생하여 더 이상 촬영할 수가 없고 촬영이 종료되었다. 관전류가 80[mA]에서 setting 하여 촬영했는데 결과는 79- 83.2[mA]까지 비례하여 선형적으로 상승하고 있다. 온도의 상승에 따라서 [mA]도 함께 상승하고 있다.

4-2-3 조사선량의 결과

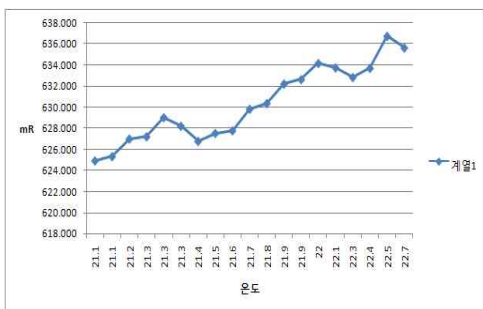


그림 3.5 촬영 횟수증가에 따른 조사선량의 변화 80[mA]
Fig. 3.5 DOS value depend on exposure times at the 80 [mA]

그림 3.5는 조사선량에 대한 결과이며 전체적인 기울기가 [mA]값의 변화와 같이 상승곡선을 그리고

있다. 따라서 조사선량 역시 온도증가에 따라 선형적으로 비례함을 알 수 있다.

4-2-4 직접측정방법과 간접측정방법의 비교

그림 3.6은 직접측정방법과 간접측정방법으로 측정한 온도변화에 따른 관전압의 결과를 나타내고 있는데 직접측정방법이 안정적으로 나타나고 있는 반면에 간접은 심하게 요동치고 있는 것으로 나타났다. 따라서 직접측정방법이 data에 안정적으로 신뢰할 수 있다고 볼 수 있다.

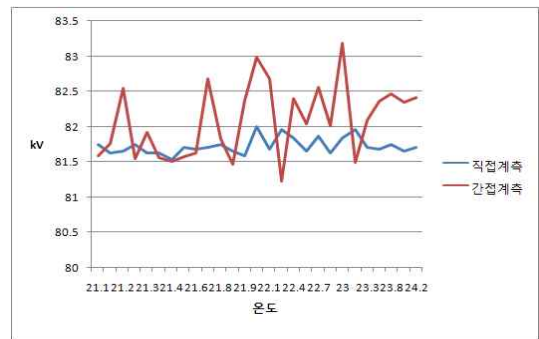


그림 3.6 온도변화에 따른 직접, 간접측정의 변화 80 [mA]
Fig. 3.6 Direct & indirect measured value depend on temperature increasing at the 80 [mA]

4-3 관전압, 관전류, 조사선량의 결과(100[mA])

이번 연구결과는 80 [kV], 100[mA], 1.0 [sec] 로 high "temperature error" 시스템에러가 발생할 때까지 53회의 촬영을 했고 관전압, 관전류, 조사선량과 직, 간접 측정방법에 대한 결과를 분석한다.

4-3-1 관전압의 결과

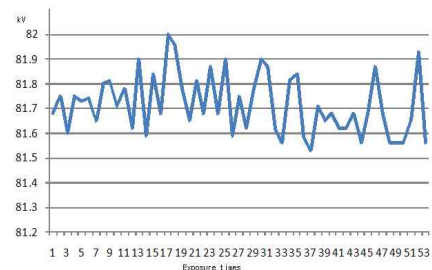


그림 3.7 촬영 횟수증가에 따른 관전압의 변화 100 [mA]
Fig. 3.7 [[kV]] value depend on exposure times at the 100 [mA]

그림 3.7에서도 그림 3.3의 80[mA]의 전 단계 실험과 마찬가지로 같은 결과로 나타났다. 81.5 [kV] 에서 82 [kV] 사이에서 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

4-3-2 관전류의 결과

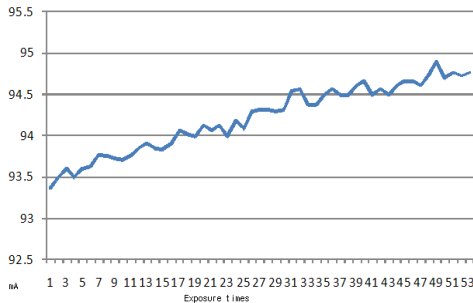


그림 3.8 촬영 횟수증가에 따른 관전류의 변화 100 [mA]
Fig. 3.8 [mA] value depend on exposure times at the 100 [mA]

그림 3.8는 80 [kV], 100[mA], 1.0 [sec] 로 61회를 촬영했을 때 시스템에 에러가 발생하여 더 이상 촬영할 수가 없고 촬영이 종료되었다. 관전류가 100[mA]에서 setting 하여 촬영했는데 결과는 79- 83[mA]까지 비례하여 선형적으로 상승하고 있다. 온도의 상승에 따라서 [mA]도 함께 상승하고 있는 것을 통계적 유의수준으로 ($p < 0.05$)로 확인 하였다.

4-3-3 조사선량의 결과

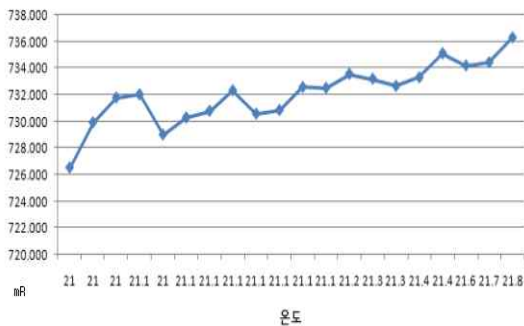


그림 3.9 촬영 횟수증가에 따른 조사선량의 변화 100[mA]
Fig. 3.9 DOSE value depend on exposure times at the 100 [mA]

그림 3.9는 조사선량에 대한 결과이며 전체적인 기울기가 [mA]값의 변화와 같이 상승곡선을 그리고 있다. 따라서 조사선량 역시 온도가 21.1 [°C]에서 21.8 [°C]증가에 따라 726 [mR]에서 736 [mR]까지 선형적으로 비례함을 알 수 있다.

4-3-4 직접측정방법과 간접측정방법의 비교

그림 3.10은 직접측정방법과 간접측정방법으로 측정한 온도변화에 따른 관전압의 결과를 나타내고 있는데 직접측정방법이 안정적으로 나타나고 있는 반면에 간접은 심하게 요동치고 있는 것으로 나타났다. 따라서 직접측정방법이 data에 안정적으로 신뢰할 수 있다고 볼 수 있다.

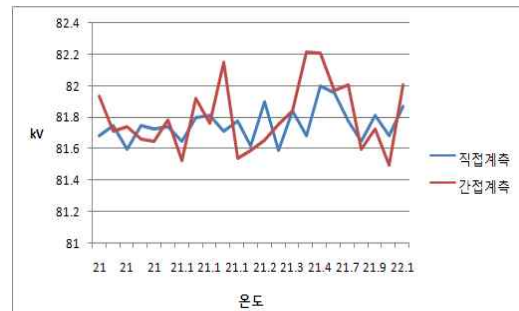


그림 3.10 온도변화에 따른 직접, 간접측정의 변화 100[mA]

Fig. 3.10 Direct & indirect measured value depend on temperature increasing at the 100 [mA]

4-4 관전압, 관전류, 조사선량의 결과(125[mA])

이번 연구결과는 80 [kV], 125[mA], 1.0 [sec] 로 high "temperature error" 시스템에러가 발생할 때까지 17회의 촬영을 했고 관전압, 관전류, 조사선량과 직, 간접 측정방법에 결과를 알아본다.

4-4-1 관전압의 결과

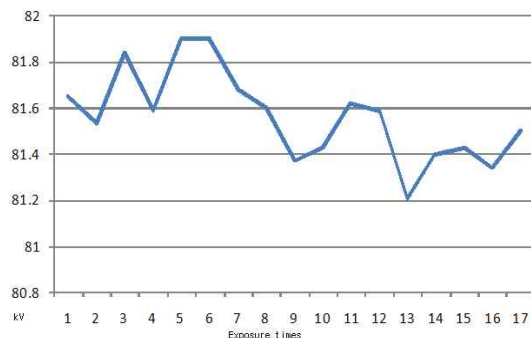


그림 3.11 촬영 횟수증가에 따른 관전압의 변화 125[mA]
Fig. 3.11 [kV] value depend on exposure times at the 125 [mA]

그림 3.11에서도 그림 3.3의 80 [mA]와 그림 3.7의

다.

또한 설정치의 관전류의 크기를 크게 하면 할수록 촬영 횟수가 줄어들고 진단장치 튜브에 과부하를 쉽게 일으킨다는 것을 알 수 있었다.

표 5.2에 나타난 바와 같이 모든 실험에서 직접계 측정방법이 간접계측방법보다 오차가 적고 변동이 적은 결과로 나타남을 알 수가 있었다.

표 5.1 결과 고찰 (차이)

Table 5.1 Result difference of experimentation

Description	80 [mA]		100 [mA]		125 [mA]	
	from	to	from	to	from	to
관전압 [kV]	81.5	82	81.5	82	81.2	81.9
관전류 [mA]	79	83.2	93.3	94.9	117	119.7
조사선량[mR]	625	637	726	737	888	907
간접측정 [kV]	81.2	83.2	81.5	82.2	81.4	82.3
직접측정 [kV]	81.5	82	81.6	82	81.2	81.9

표 5.2 결과 고찰 (값)

Table 5.2 Result value of experimentation

Description	80 [mA]	100 [mA]	125 [mA]
관전압 [kV]	0.5	0.5	0.7
관전류 [mA]	4.2	1.6	2.7
조사선량 [mR]	12	11	19
간접측정 [kV]	2.0	0.7	0.9
직접측정 [kV]	0.5	0.4	0.7

VI. 결 론

본 논문에서는 온도 차이에 따른 X-선 진단장치의 관전압, 관전류 및 조사선량의 변화에 관한 연구를 수행하였다.

초기에 80 [kV], 80 [mA], 100 [ms] 조건으로 설정한 다음 [mA] 부분만 80 [mA], 100 [mA], 125 [mA]로 변화하면서 획득한 data를 분석한 결과는 다음과 같다. 80 [mA]에서는 high temperature error가 발생하기까지 61회까지 exposure를 한 반면, 100 [mA]에서는 53회 그리고 125 [mA]는 17회에서 error가 나타났다. 따라서

[mA]를 올리고 20초 간격으로 연속하여 촬영하면 [mA]가 높을수록 급하게 온도가 상승하는 것으로 측정되었다. 그 이유는 80 [mA]에서 61회 촬영, 100 [mA]에서 53회 촬영을 했으나 125 [mA]에서는 17회에서 에러메시지가 나타났기 때문이다.

20초 간격으로 연속하여 촬영했을 경우 튜브의 온도가 올라가게 되고 비례하여 [mA]값도 선형적으로 설정치 80 [mA]에서 79 [mA]에서 83.2 [mA]로 4.2 [mA]가 상승하는 것으로 분석되었는데 이는 80 [mA]에서는 5.25%이지만 X선 화질 저하를 초래할 수도 있고 관전류와 재현성의 성능검사에도 영향을 받게 된다. 반면에 [kV] 값은 특별하게 변화가 보이지 않는 것으로 나타났다.

온도상승에 따른 조사선량 값(간접측정)도 [mA] 변동과 같은 상승곡선의 그래프로 보여주고 있다.

직접계측방법과 간접계측방법 두 방법 중 [kV] 값을 비교한 결과에서는 서로의 오차는 별로 나지 않지만 직접계측방법이 좀 더 안정되게 나타났으며 간접계측은 좀 더 심하게 상하로 변동하는 결과를 보인다.

결과적으로 일정한 시간간격으로 조사했을 경우 (시작온도 21도부터 20 [sec] 간격으로 조사 했으며 parameter를 ① 80 [kV] 80 [mA] 1.0 [sec] ② 80 [kV] 100 [mA] 1.0 [sec] ③ 80 [kV] 125 [mA] 1.0 [sec] 측정했더니 일정하게 온도가 상승하고 아울러 조사선량 (DOSE) 또한 선형적으로 증가됨을 보이고 있다.

따라서 X-선장치사용 시 알맞은 온도를 유지, 짧은 시간에 많은 측정은 자제 (오차발생)해야 하고 많은 [mA]를 설정해서 촬영하면 온도가 급하게 올라가는 경향이 있어 가능한 낮은 [mA]로 사용하는 것이 바람직하게 보인다.

방사선검사의 방법에 있어서의 직접측정장치인 (Dynalyzer)와 간접측정장치(Xi)와의 차이는 변동이 적은 직접측정장치를 사용하는 것이 정확한 것이다. 또한 검사하면서 다소 시간이 지연되더라도 정확성과 X-ray 튜브의 내구성, 안정성을 생각하여 튜브 cooling time을 고려하여 사용하여야 한다.

실험결과 X-선 진단장치 검사 중 과도한 사용으로 인한 관전류의 오차를 막고 환자의 피폭을 줄여 보다 효과적으로 X-선 진단장치를 사용하도록 하였다. 연

구 결과 튜브의 수명을 연장시킴으로서 병원의 재정
에 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 보건복지가족부령 제156호(2010년 1월 22일 개정),
“진단용방사선발생장치 안전관리에 관한 규칙”,
2010. 2.
- [2] 강세식, “방사선 기기학”, *청구문화사*, 2008.
- [3] 대한의용생체공학회, “의료안전및법규”, *교육개
발연구원*, 2009.
- [4] 강영호, “방사선물리학”, *학문사*, 1982.
- [5] 허준, “X선기술원론”, *고문사*, 1982.
- [6] 대한방사선기술학회 편지, “방사선기기학”, *신평
출판사*, 1990.
- [7] 의공학 교육연구회, “의용계측공학”, *여문각*, 2002.
- [8] 식품의약품안전평가원 고시 제2010-2호(2010년 5
월 26일 개정), “진단용 방사선 안전관리 규정”,
2010. 5.
- [9] <http://blog.naver.com/kriablog/63593308>

전 기 환(全基煥)



2008년 8월 : 강원대학교 이학박사
1998년 3월 ~ 현재 : 한림성심대학
의료기기정보과 교수

관심분야 : 생체신호분석처리, 유헬스케어, 의료영상

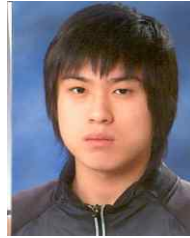
황 민 선(黃旻善)



2006년 ~ 현재 : 한림성심대학
의료기기정보과 재학생
2010년 ~ 현재 : (주)멕아이씨에스

관심분야 : 생체신호분석, 유헬스케어, 진단의료기기

최 면 응(崔勉雄)



2006년 ~ 현재 : 한림성심대학
의료기기정보과 재학생
2010년 ~ 현재 : (주)필메드 의공기사

관심분야 : 의료영상정보, 유헬스케어, 방사선영상기기

이 송 이



2009년 ~ 현재 : 한림성심대학
의료기기정보과 재학생

관심분야 : 의료경영, 유헬스케어, 방사선영상기기

김 민 지



2006년 ~ 현재 : 한림성심대학
의료기기정보과 재학생
2010년 ~ 현재 : 윈클리병원 상담
코디네이터

관심분야 : 의료경영, 병원서비스경영, 유헬스케어

양 동 일(梁東一)



2004년 2월 : 강원대학교 컴퓨터과학과
이학석사
2007년 8월 : 강원대학교 컴퓨터과학과
이학박사
2010년 현재 : 한림성심대학 의료기
기정보과 교수

관심분야 : 소프트웨어공학, 유비쿼터스, 포렌식

이 귀 열(李貴烈)



2006년 ~ 현재 : 한림성심대학
의료기기정보과 교수
2010년 ~ 현재 : 한국의료기기평가
연구원 감사원장

관심분야 : 생체신호분석, 의료영상기기, 방사선기기