Journal of Radiological Science and Technology, 39(3), 435-441
eISSN 2384-1168 ISSN 2288-3509
http://dx.doi.org/10.17946/JRST.2016.39.3.19

<원저>

국산 프로토타입 면적선량계 SFT-1의 성능평가

- Performance Evaluation of Domestic Prototype Dose Area Product Meter SFT-1 -

[1]고려대학교 바이오융합공학과·[2]한국전기연구원·[3](주)에스에프테크놀로지·[4]규슈대학교

이호선[1]·한성규[1]·노영훈[1]·임현종[1]·김정민[1]·김종욱[2]·채현식[3]·윤용수[4]

— 국문초록 —

현재 시중에 설치되어 있는 의료용 X선 장치는 선량표시를 할 때 일반적으로 DAP(Dose Area Product) meter를 부착한다. 그러나 DAP meter가 전부 수입에 의존하고 있기 때문에 고가의 설치 비용 등의 문제가 있다. 본 연구에서는 서울시의 지원을 받아 순수 국산기술의 DAP meter 프로토타입을 제작하였고, 이 프로토타입의 성능을 독일산 I사의 제품과 비교하여 평가하였다.

평가 항목은 전자포집효율, 선량의존성, 선질의존성, 재현성, 자체흡수율, 광투과율 6개 항목으로 IEC 60580를 평가 기준으로 삼았다. 평가 결과 전자포집효율이 고유오차 9.5%, 선량의존성이 선형성 99%, 재현성이 변동계수 2%, 자체흡수율이 9%로 각각 합격기준을 만족시켰으나, 선질의존성이 변동한계 29%, 광투과율이 55%로 합격기준에 미달하였다.

아직 프로토타입이기에 앞으로 개선될 여지가 많다. 회로부터 재료까지 국산기술로 개발하고 있기 때문에 합격기준에 미달하는 항목은 추후 해결 가능할 것으로 사료된다.

중심 단어: 면적선량계, 국산화, 프로토타입, 성능평가

Ⅰ. 서 론

International Electrotechnical Commission (IEC) 60601-1 3판이 2005년 발효되었다[1-2]. 공통규격 60601-1의 보조(부가)규격인 IEC 60601-1-3에서[3] 진단용엑스선발생장치는 방사선량을 표시하여야 한다고 규정하고 있으며, 개별규격 IEC 60601-2-54에서[4] 선량의 표시방법은 계측기를 부착하거나 계산하여 표시하여야 한다고 규정하고 있다. 우리나라는 이 공통규격과 보조규격을 식약처고시(제2015-115호)로 발행하였으며 2등급 장치인 디지털 진단용 엑스선촬영장치는 2015년 6월 1일부터, 3등급 장치인 진단용 엑스선 투시촬영장치는 2016년 6월 1일부터 적용하고 있다[5]. 따라서 이때부터 제조되는 모든 X선 장치는 선량표시가 의무화되었다. 다만 기존에 설치된 장치는 명확한 시행방침이 정해져 있지 않다. 선량은 입사피부선량(ESD: Entrance Skin Dose) 또는 면적선량(DAP: Dose Area Product)으로 표시하며 선량계는 면적선량계를 권고하고 있다. 그러나 아직 국산 면적선량계를 생산하지 못하고 있으며 전량을 수입에 의존하고 있다. 우리는 산학연협의체를 구성하여 순수 국내기술로 면적선량계를 개발하기로 하고 서울시 산학연 협력사업(C1152055)의 지원을 받아 국산 면적선량계 프로토타입(SFT-1)을 제작하였다. 센서물질과 이온챔버(Ion Chamber)는 주로 전기연구원에서 제작하였으며 표시회로는 SFTechnology(SFT)에서 제작하였다. 성능

This work was supported by Seoul R&BD Program(Grants No. C1152055) Administration in 2015.
Corresponding author: Jungmin Kim, Department of Bio-convergence engineering, Korea University, 145, Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul, 02841 Korea / Tel: +82-2-3290-5685 / E-mail: minbogun@korea.ac.kr
Received 01 September 2016; Revised 20 September 2016; Accepted 21 September 2016

평가는 고려대학교에서 이루어졌다. 현재는 완성품이 아니고 프로토타입인 관계로 개선의 여지는 많이 남아있다. 성능평가는 IEC 60580에[6] 의하여 이루어져야 하나 우선 실용성 여부를 판단하기 위하여 전자포집효율, 선량의존성, 선질의존성, 재현성, 자체흡수율, 광투과율에 대하여 독일산 I사의 면적선량계와 비교평가를 실시하였다[7-9].

II. 실험 장치 및 방법

1. 실험장치

본 실험에 사용된 X-선 장치는 단상전파정류 진단용엑스선발생장치(DXG-325R, DongA, Korea)를 이용하였다. SFT에서 제작한 이온챔버의 DAP 전극 4각 프레임은 플라스틱 재질로 설계/제작되었고, 전자빔(E-beam) 증착장치를 활용하여 알루미늄으로 코팅하였다. 엑스선에 의해 발생된 전하(양이온 및 전자)를 획득하는 전극판을 고정시키는 사각 프레임은 금속성 물질(Al, ZnS)로 코팅하였다. 전자빔 증착장치를 사용하여 ZnS(Zinc Slufide, 황화아연)을 증착하였고, 증착된 두께는 대략 800~1,000Å이다. I사 제품의 유연투명전극판 표면물질 구성원소는 인듐(In)과 실리콘(Si) 및 산소(O)이며 유연투명전극판의 기판은 폴리카보네이트(Polycarbonate)와 같은 유연절연기판으로 구성되어있다. SFT-1의 기판은 폴리카보네이트(Polycarbonate)를 기본재질로 하였으며 코팅재질로 인듐주석산화물(ITO)을 사용하였다.

Fig. 2는 DAP 엑스선 선량계에 필수적인 전하량 카운트 전자회로 및 탄소나노튜브(CNT)이고, Fig. 1은 도포장치를 활용하여 제작된 ITO 투명유연전극판을 공기전리함용 사각 프레임에 장착한 모습이다. 실험 시에는 공기전리함과 전하량 카운트 전자회로가 결합되어 사용되었다.

선량(dose)의 세기를 알고자하는 엑스선을 Fig. 1의 선량계 공기전리함에 조사시키면 공기전리함 내부에 존재하는 공기가 이온화되어 전자-이온쌍(pair)이 발생되고, 외부로부터 공기전리함에 인가된 전압에 의해서 상대전극에 도달하게 된다. 공기전리함에 인가하는 전압의 범위는 -100 V~ -300 V의 범위이며, 이때 발생된 전자-이온쌍은 조사된 엑스선의 선량의 크기에 선형적으로 비례한다. 포집된 전자는 전하량 카운트 전자회로에 입력되어 증폭되고 엑스선 선량(dose)으로 환산하기 위한 연산회로를 거쳐 엑스선 선량표시장치(LED)에 Fig. 2와 같이 실시간으로 나타나게 된다.

Fig. 1 The ITO coated flexible electrode plate mounted air ionization chamber

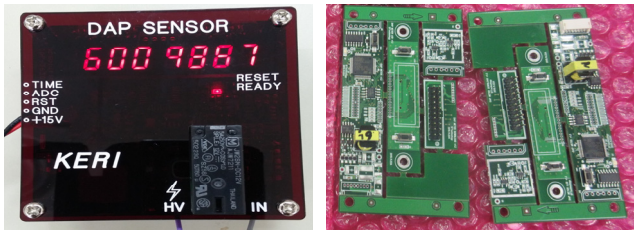

Fig. 2 Counting circuit for Acquisition charge

2. 실험방법

1) 전자포집효율

전자포집효율을 알아보기 위해 2가지 경우를 나누어 실험을 하였다. 첫 번째 실험은 관전압을 60 kVp로 고정하고 관전류량(mAs)을 0.41 mAs에서 100 mAs까지 2배씩 증가시켜가며 Relative Counts를 측정하였다. 두 번째 실험은 관전압을 100 kVp와 60 kVp로 나누어 관전류 50 mA를 고정한 다음 관전류량을 위와 같이 증가시키며 Relative Counts를 측정하였다.

Fig. 3에는 이온챔버에서 발생한 전기적인 신호가 진행하는 회로를 나타내었고, 본 연구에서 엑스선량을 측정하는 전반적인 실험의 계통을 알 수 있다.

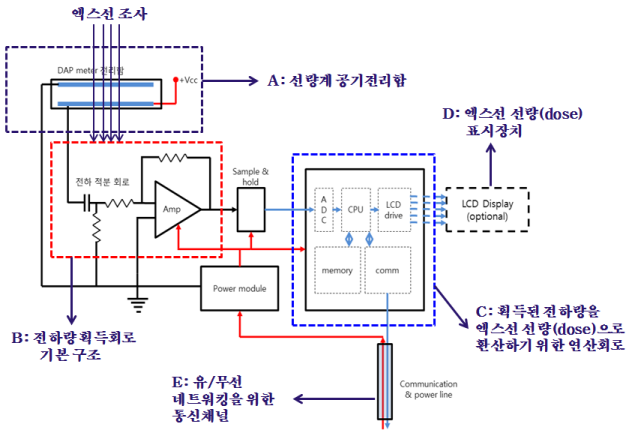

Fig. 3 A schematic diagram of experiments to measure X-ray dose

2) 선량의존성

선량의존성 측정을 위하여 SFT-1과 I사 제품을 조사조건을 다음과 같이 나누어 실험하였다. 관전압 50-70 kVp에서는 0.6-48 mAs 범위를 측정하였고, 관전압 80-90 kVp에서는 1-32 mAs범위, 관전압 100 kVp에서는 0.98-35 mAs 범위, 관전압 110-120 kVp에서는 1-16 mAs범위를 각각 측정하였다[10]. 측정된 데이터는 평균값, 선량(dose)/관전류량(mAs) 비율, 오차율([SFT1 - I사 DAP 값의 차] / [I사 DAP 값]× 100 (%)), 그래프의 추세선 기울기 등으로 분석하였다.

3) 선질의존성

선질의존성을 보기 위해서 위 실험 결과 중에서 선량(dose)/관전류량(mAs)의 데이터를 따로 정리하여 관전압 50-120 kVp 범위에서 SFT-1과 I사 제품을 비교하였다.

4) 재현성

IEC 60580의 5.3 반복성 항목에 따르면 같은 조건을 반복 측정할 때, 측정의 변동계수를 측정하여서 일정 값(DAP < 10 μGym^{2}일 때 5%, DAP ≥ 10 μGym^{2}일 때 2%)을 넘지 않는 것을 권고하고 있다. 본 실험에서는 관전압 60 kVp, 80 kVp로 나누어 관전류량 10 mAs를 유지한 조사조건 상태에서 10회 반복 측정을 통해 SFT-1과 I사 제품을 비교분석 하였다.

5) 자체흡수율

자체흡수율의 측정은 DAP meter가 존재할 때와 존재하지 않을 때 DAP 뒷면 위치에서 Air Kerma를 측정하여서 [DAP가 있을 때 선량 / DAP가 없을 때 선량 × 100 (%)]로 표현하였다. 조사조건을 60-100 kVp 범위에서 관전류량 10 mAs를 고정하고 SFT-1과 I사의 제품을 비교 측정하였다.

6) 광투과율

자체흡수율과 유사한 실험 배치에서 선량계 측정 대신에 조도계를 이용해서 DXG-350 속의 조사야 확인용 광원으로부터 나오는 빛을 측정함으로써 실제 광투과율이 얼마나 되는지 검사하였다. SFT-1과 I사 제품을 각각 총 10회 측정하여 비교하였다.

III. 결 과

1. 전자포집효율

Fig. 4에 I사의 DAP Ion Chamber와 SFT-1 Ion Chamber의 전자포집효율을 비교하였다. 엑스선량이 많은 경우(60 kVp일 때, 관전류량이 50 mAs보다 큰 값)에는 계수 값의 차이가 점차 커지고 있으나 전반적으로 I사의 제품과 SFT-1의 전자포집효율의 큰 차이가 없다(최대 9.5%). 또한, 엑스선 선량에 대한 Relative Counts는 선형관계를 잘 유지하고 있는 것으로 나타났다.

60 kVp와 100 kVp에서 전자포집효율을 비교한 결과, 관전류량이 일정하더라도 진단용엑스선발생장치의 관전압이 크면 상대적으로 큰 선량이 발생하는데 SFT-1은 그 변화를 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 SFT-1이 관전압이 변화하여도 전자포집효율의 선형성이 일정하게 유지되고 있음을 보여주고 있다.

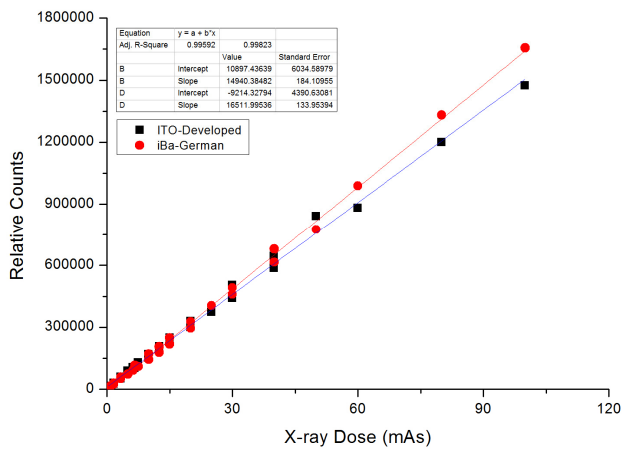

Fig. 4 Electronic capture performance data compare SFT-1 with control group

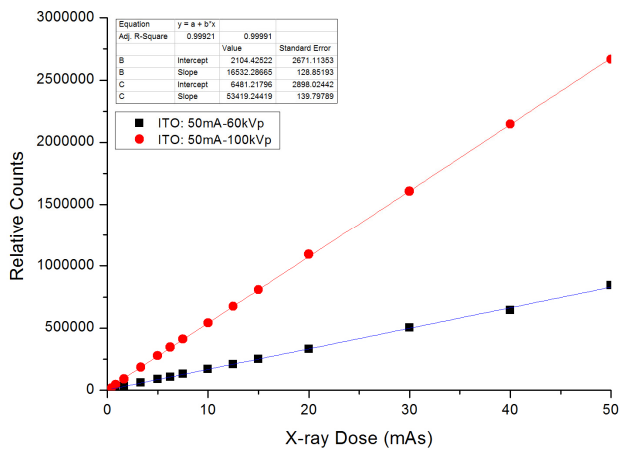

Fig. 5 Electronic capture performance of SFT-1 when condition is 60 kVp and 100 kVp

2. 선량의존성

50 kVp부터 120 kVp까지 선량 의존성을 평가하기 위해, 0.6 mAs에서 48 mAs까지 관전류량의 변화에 따른 SFT-1와 I사 제품의 데이터를 비교분석을 하였다. 선량의존성은 SFT-1와 I사 제품 모두 선형성을 99% 이상 만족하고 있다. 엑스선량이 증가할수록 SFT-1이 더욱 민감하게 반응을 하였음을 확인할 수 있었다. Fig. 6은 선량의존성을 각 관전압별로 나누어 그래프화 한 것으로 관전압이 클수록 높은 관전류량에서의 선량 값의 차이가 커짐을 알 수 있다.

3. 선질의존성

선질 의존성을 평가하기 위해 선량을 관전류량으로 나누어 관전류량에 의한 변수를 제거하였고, 관전압 조건을 변화시키며 실험하였다. 그 결과 낮은 관전압대에서는 SFT-1과 I사 제품이 매우 유사하게 나타났으나 높은 관전압으로 갈수록 선량(dose)/관전류량(mAs)의 차이가 커졌다. 선질의존성에서도 선형성은 모두 98% 이상을 나타내었다. Fig. 7은 SFT-1과 I사 제품의 선질의존성을 그래프로 나타낸 것이다.

4. 재현성

SFT-1과 I사 제품을 각각 10회씩 반복 측정해서 변동계수(표준편차/평균값)를 산출하였다. SFT-1은 변동계수가 평균 4%, I사 제품은 변동계수 평균 2.5%로 나타났다.

5. 자체흡수율

자체흡수율을 알기 위해 관전압을 높여가며 SFT-1과 I사 제품이 있을 때와 없을 때의 에너지 투과율을 구하였다. 자체흡수율은 [100-에너지 투과율(%)]로 계산할 수 있고, 그 결과 SFT-1은 대략 8%의 자체흡수율을 가지고 있었고, I사 제품은 10%의 자체흡수율을 가지고 있었다. Fig. 8은 관전압 60-100 kVp에서 SFT-1과 I사 제품의 에너지 투과율을 비교한 것이다.

6. 광투과율

DAP meter가 존재함으로써 진단용 X선 촬영에서 Collimator 조도가 낮아지는 손해가 있으면 안 되기 때문에 DAP meter의 투명도를 측정하도록 권고된다. 조도계를 통해서 광속을 측정하여 광투과율을 측정했다. SFT-1과 I사 제품을 각각 사용해서 반복 측정해본 결과 SFT-1은 평균 55%의 광투과율, I사 제품의 경우는 83%의 광투과율을 나타냈다.

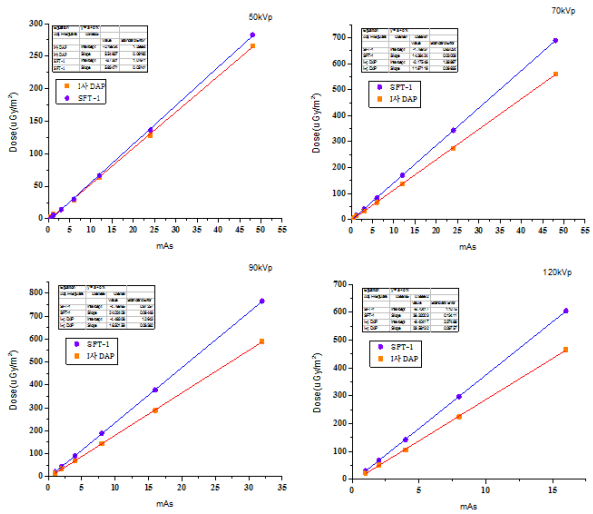

Fig. 6 Radiation dose dependence compare SFT-1 with control group in accordance with the tube current

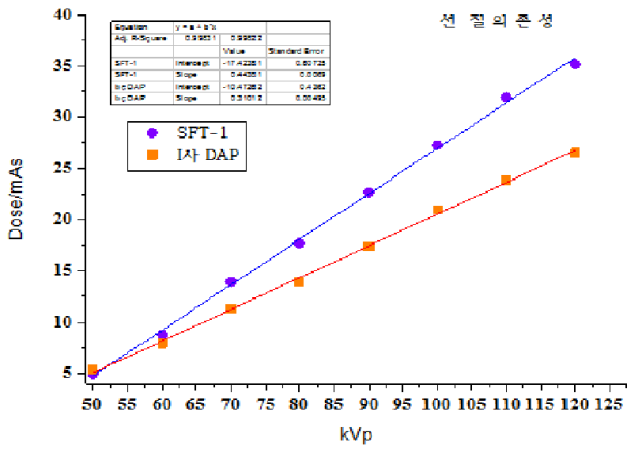

Fig. 7 Radiation quality dependence compare SFT-1 with control group in accordance with the tube voltage

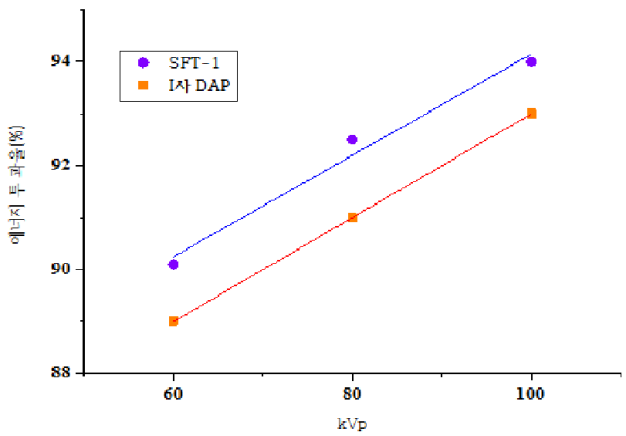

Fig. 8 Energy transmittance compare SFT-1 with control group in accordance with the tube voltage

Ⅳ. 고 찰

1. 전자포집효율

전자포집효율은 DAP meter가 선량계로써 역할을 할 수 있는가를 확인하는 실험이었다. 전자포집효율이 작다면 선량 값에 대한 신뢰도가 낮아지기 때문이다. 실험 결과 대조군으로 사용한 I사 제품에 비해서 Relative counts는 높은 선량으로 갈수록 SFT-1이 I사 제품에 비해 90%의 효율까지 떨어졌다.

2. 선량의존성

선량의존성은 관전압이 일정할 때, 관전류량과 선량이 일정한 비례관계를 가지는가를 확인하는 실험이다. IEC 60580에서는 선형성이 92% 이상을 유지해야 한다고 권고하고 있다. SFT-1은 선형성이 99.5%로 상당히 높은 신뢰성을 유지하고 있고, I사 제품 대비 오히려 0.4%가 더 높았다. 또한 관전류량이 증가할수록 그에 비례하는 선량의 기울기가 SFT-1이 크기 때문에 보정계수를 적용해 줄 필요가 있다.

3. 선질의존성

선질의존성 실험은 관전류량에 대한 변수를 제거하고 관전압에의한 선량계 응답을 비교한 것이다. 선질의존성의 경우 SFT-1이 I사 제품에 비해 관전압에 따른 관전류량당 선량 값이 1.42배에 달한다. 임상환경의 촬영조건을 적용한다면 선질이 경화될수록 선량 값의 차이가 매우 클 것으로 예상된다[11-12]. I사 제품을 기준으로 한다면 SFT-1은 고전압으로 갈수록 교정계수의 가중치를 크게 줄 필요가 있다.

4. 재현성

IEC 60580에 따르면 측정 해상도 0.25%의 기록을 반복 측정함으로서 변동계수를 구하여 기준치(DAP<10 μGym^{2}일 때 5%, DAP≥10 μGym^{2}일 때 2%) 이하인 것을 확인한다. 측정 결과 선량 조건이 DAP≥10 μGym^{2}이었을 때 SFT-1이 4%, I사가 2.5%가 나왔다. 둘 모두 기준치에 미달하였다. 이 결과는 진단용엑스선발생장치의 자체조사선량 변동계수 2%가 실험 결과에 포함된 것으로, 실질적인 DAP meter만의 변동계수는 SFT-1이 2%, I사 제품이 0.5%로 볼 수 있다.

5. 자체흡수율

DAP meter가 자체흡수율이 높다면 진단용엑스선발생장치에 높은 부하가 걸리게 된다. DAP meter의 자체흡수율은 70 kV기준 순도 99%의 0.5 mm Al의 여과 수준을 넘지 않도록 하고 있다[6]. 기준조건의 여과율은 15.3%로 70 kVp일 때 SFT-1은 9%, I사 제품은 10%의 자체흡수율을 가지고 있었으므로 기준치를 만족하고 있다. 또한 SFT-1은 대조군인 I사 제품보다도 자체흡수율이 낮아 임상환경에서 얻을 수 있는 이득이 높다고 판단된다.

6. 광투과율

광투과율은 DAP meter의 투명도와 연관이 되어있다. 진단용엑스선발생장치는 가시광선으로 조사야 및 중심선속을 확인하기 때문에 투명도가 낮다면 Collimator 조도가 낮아진다. 이런 문제를 방지하기 위해 IEC 60580에서는 '광속을 70% 이상 투과해야 한다.'고 규정하고 있다. 측정결과 SFT-1은 55%의 광투과율을 보여주었는데, I사 제품의 83%보다 낮을 뿐만 아니라 IEC 규격을 통과하지 못하는 수치이다.

Ⅴ. 결 론

본 연구는 수입에 전량 의존하고 있던 DAP meter를 순수 국내기술로 제작하여 생산하기 위해 만든 프로토타입의 성능평가이다. 실험을 통해 국내기술의 DAP meter가 현재까지 어느 수준에 와 있는지 확인하고 상용화까지 부족한 점을 고쳐나갈 수 있도록 하는 것이 주된 목표이다.

실험결과 전자포집효율, 선량의존성, 재현성은 국제규격을 만족하였으나, 이미 시장에 많이 보급되어 있는 제품과 비교하였을 때 부족한 면이 발견되었고, 선질의존성과 광투과율은 국제규격에 미달하였다. 이는 투명유연전극판 코팅의 기술적인 부분으로 보고 개선작업 중에 있다. 또한 자체흡수율은 국제규격을 만족시킬 뿐만 아니라 업계 최고제품과 비교해도 손색이 없었다.

본 연구를 통해 보완할 부분을 찾아내었고 보완 중에 있으며 6가지 항목에서 4가지가 평가 기준을 통과하였기 때문에 DAP meter의 국산화 과정이 80% 이상 진행되었다고 판단이 된다.

전체적인 평가 결과 프로토타입 SFT-1은 아직 상용화까지 부족한 부분이 있으나, 개선의 가능성이 충분하고 재료

부터 회로까지 순수 국내기술로만 연구되고 있기 때문에 완성이 됐을 때 내수시장에 좋은 반응이 있을 것으로 예측이 된다.

본 연구에서는 임상환경에서 사용되는 진단용엑스선발생장치를 사용하여 실험을 하였다. 그러나 실험을 진행하며 진단용엑스선발생장치의 출력이 불안정한 부분이 발견되어서 일정한 출력을 내는 방사성 동위원소 또는 표준 X-ray 장치를 이용한 추가 실험을 통해 본 실험 결과와의 비교가 필요하다.

그리고 본 연구의 평가항목 6가지 외에도 누설전류평가와 같은 전기, 전자기 안전과 습도안정성평가 같은 장치 하드웨어에 관련된 평가항목이 IEC 60580에 있기 때문에 추후 진행될 연구에서 다뤄질 예정이다.

REFERENCES

1. IEC, IEC 60601-1: Medical Electrical Equipment-Part 1: General requirements for basic safety and essential performance, 2012
2. Kim, Hyun Ji, et al.: Features and trends of IEC particular standards for medical equipment related to diagnostic x-ray based on IEC 60601-1: 2005 Ed. 3.0, Journal of the Korean Society of Radiological Technology, 36(1), 1-10, 2013
3. International Electrotechnical Commission.: Medical electrical equipment—Part 1: general requirements for safety-3. Collateral standard: general requirements for radiation protection in diagnostic X-ray equipment. IEC 60601-1-3 (Geneva: IEC), 2008
4. IEC, IEC 60601-2-54: Medical electrical equipment - Part 2-54: Particular requirements for the basic safety and essential performance of X-ray equipment for radiography and radioscopy, 2009
5. Roh, YH and Kim, JM.: The Tendency of Medical Electrical Equipment - IEC 60601-2-54: Particular Requirements for the Basic Safety and Essential Performance of X-ray Equipment for Radiography and Radioscopy, Journal of the Korean Society of Radiological Technology, 38, 331-336, 2015
6. International Electrotechnical Commission.: IEC 60580." Medical electrical equipment—dose area product meters. International Electrotechnical Commission, 2000
7. Costa, N. A., and M. P. A. Potiens.: Development of a calibration methodology of the patient dose calibrator, International Conference on Radiation Protection in Medicine, 2012
8. Toroi, P. et al.: Effects of radiation quality on the calibration of kerma-area product meters in x-ray beams, Physics in Medicine and Biology, 53.18, 2008
9. Toroi, Paula, and A. Kosunen.: Calibration of kerma-area product meters with a patient dose calibrator, Book of Extended Synopses Standards, Applications and Quality Assurance in Medical Radiation Dosimetry, IDOS, 2010
10. International Atomic Energy Agency.: Dosimetry in Radiology: An International Code of Practice, Technical Reports Series 457. IAEA, Vienna, 2007
11. International Electrotechnical Commission.: Medical electrical equipment - Dosimetric instruments used for non-invasive measurements of X-ray tube voltage in diagnostic radiology, IEC 61676, Geneva, 2002
12. Herrnsdorf, L. and H. Petersson.: Beam Quality Correction Factors for KAP Meters for Lightly and Heavily Filtered X-ray Beams, Radiation Protection Dosimetry, ncw042, 2016

•Abstract

Performance Evaluation of Domestic Prototype Dose Area Product Meter SFT-1

Ho-Sun Lee[1)]·Seong-Gyu Han[1)]·Young-Hoon Roh[1)]·Hyun-Jong Lim[1)]·Jung-Min Kim[1)]
Jong-Uk Kim[2)]·Hyun-Sik Chae[3)]·Yong-Su Yoon[4)]

[1)] *Department of Bio-convergence engineering, Korea University*
[2)] *Korea Electrotechnology Research Institute*
[3)] *SFTechnology*
[4)] *Department of Health Sciences Graduate School of Medical Sciences Kyushu University*

The importance of radiation dose display of medical X-ray equipment was emphasized, while third edition of IEC(International Electrotechnical Commission) 60601 started to apply. The existing medical X-ray equipment selected a method for attaching the DAP(Dose Area Product) meter when the dose display. However, because the DAP meter was dependent on all of the income, And it did not yet produced in Korea. So, we received the support of Seoul R&BD Program(Grants No. C1152055) to produce DAP meter prototype of the Domestically technology. In this study, the performance of this prototype was evaluated by comparing the German company's product

Evaluation item was an electronic capture performance, radiation dose dependence, radiation quality dependence, energy transmittance, repeatability, light transmittance of 6 entries. And IEC 60580 was based on this evaluation. Evaluation results were electronic capture performance intrinsic error 9.5%, radiation dose dependence limits of variation 1%, repeatability coefficient of variation 2%, energy transmittance 91% each assessment was passed. However radiation quality dependence limits of variation 29%, light transmittance 55% was less than acceptance criteria.

Key Words : DAP meter, Domestic technology, Prototype, Performance evaluation