

선량 중첩을 이용한 멀티형 연 X-선 정전기 제거장치의 개발

이수환 · 이동훈[†]

부경대학교 안전공학과

(2018. 3. 13. 접수 / 2018. 3. 20. 수정 / 2018. 3. 27. 채택)

Development of Multi-Type Soft X-ray Ionizer using Radiation Dose Overlapped Effect

Su Hwan Lee · Dong Hoon Lee[†]

Department of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received March 13, 2018 / Revised March 20, 2018 / Accepted March 27, 2018)

Abstract : In display and semi-conductor manufacturing process, there are numerous unstable factors such as particle concentration, minimal vibration, changes in magnetic field, or electrostatic that becomes an issue to be managed and controlled. In the recent, X-ray ionization is widely used that is neutralized by separating air or gas molecules in the area where the static must be resolved. The mono-type of X-ray ionizer was not capable to be used in 8th generation panels manufacturing plant due to its insufficient ionizing coverage since the panel itself is approximately in 2 m × 3 m. To resolve the current problem, the development of new type called, “Multi-type X-ray ionizer” has resulted in covering enough ionizing space in 8th generation panels industry. Comparing mono and multi types with MCNPX code simulation, the multi one indicates more X-ray flux, efficiency, and ionization performance in comparison with either a mono-type or multi-type in array format. In addition, the ionizing efficiency of overlapping area with multi-type showed 30% higher effectiveness rate as to the ordinary mono-type.

Key Words : soft x-ray, multi type ionizer, MCNPX code, dose rate, decay time

1. 서론

디스플레이 및 반도체 제조공정에 있어서 미립자 농도, 미세진동, 자장 변화 및 정전기 등 제어해야 할 수 많은 불안정 요소가 있다. 특히 정전기제어 대책은 부유미립자 오염제어와 함께 심각한 문제로 대두되고 있다¹⁾. 또한 유리 기판 및 웨이퍼 크기가 커짐에 따라 정전용량의 증가로 대전전압이 증가하여 정전기방전으로 인한 집적회로의 파괴, 패턴의 용융과 미세먼지 흡착 등 정전기로 인한 장애가 증가하고 있다²⁾. 이전에는 코로나 방전으로 정전기를 제거했지만, 최근에는 연X-선의 전리 작용을 이용하여 주의 공기 및 가스분자를 이온화해서 제전대상 물체의 정전기를 완화시키는 방법이 사용되고 있다^{3,4)}. 본 연구는 2017년 4월에 게재된 “Monte Carlo N-particle Extended Code를 이용한 연 X선 정전기제거장치의 최적설계”에 관한 연구에 계속된 연구이다⁵⁾.

지금까지의 연X-선식 정전기제거장치는 1개의 연X-선 튜브(Mono Type)를 사용하기 때문에 8세대 이상의 디스플레이 제조공정에서는 유리기판의 크기(가로×세로, 2 m×3 m)가 커서 기존의 모노 타입으로는 확장된 제전대상면적에 부족하였다. 이를 개선하기 위하여 다수(3개 이상)의 연X-선 튜브를 갖는 멀티형(Multi Type)을 개발하여 연X-선량 중첩에 의한 정전기 제거성능을 향상시켜 제전 대상면적을 임의로 확장할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 우선 멀티형 연X-선식 정전기 제거장치의 X-ray flux, Dose rate, 에너지 분포를 MCNPX(Monte Carlo N-Particle Extended Code)를 이용하여 전산모사를 수행하고, 그 결과를 토대로 멀티형을 개발·제작하여 모노형과 정전기제거성능을 비교 측정함으로써 8세대 이상의 대면적 디스플레이 제조공정에 적용을 위한 기초자료를 제공하는데 있다.

[†] Corresponding Author : Dong Hoon Lee Tel : +82-51-629-6466, E-mail : lhoon@pknu.ac.kr
Department of Safety Engineering, Pukyong National University, 45 Yongso-ro, Nam-gu, Busan 48513, Korea

2. 실험장치 및 방법

MCNPX는 주로 중성자나 감마의 해석을 위해 개발되었다. 이후 전자를 포함한 여러 입자들의 거동을 다룰 수 있도록 코드를 업데이트하고 있고, 현재는 43 종류의 입자를 다룰 수 있다. 원자력분야에서는 주로 원자로의 임계해석과 방사선 차폐평가에 이용되고 있다⁶⁾.

Fig. 1은 MCNPX의 전산모사를 수행한 결과를 토대로 개발된 연X-선 튜브의 사진이다.

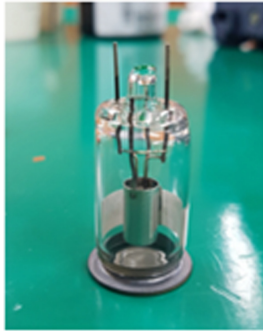


Fig. 1. X-ray glass tube($\Phi 17 \times 32$ mm).

Table 1은 개발된 연X-선 튜브의 명세를 나타낸 것이다. 양극의 표적(Target)은 X-선 발생 효율이 높은 텅스텐이며, 텅스텐의 증착두께는 전산모사를 통하여 관전압 10 kV 조건에서 X-선 선속이 가장 높은 0.18 μm 로 하였으며, X-선 투과창(Window)은 베릴륨을 적용하였다.

Table 1. X-ray tube specifications

Parameter	Technical data
Glass	Borosilicate
Anode voltage (kV)	10
Tube current (μA)	280
Diameter (mm)	17
Length (mm)	17
Window	Beryllium(250 μm)
Target	Tungsten(0.18 μm)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 모노형 연X-선 튜브 시뮬레이션

Fig 2는 모노형의 X-선 선속 및 선량을 계산하기 위한 기하학적 구조를 나타낸 것이다. 연X-선 튜브에서 300 mm 떨어진 위치에서 X-선 선속과 선량을 모의 하였다.

Table 2는 모노형에서 300 mm 이격거리에서의 X-선 선속과 선량을 전산모사한 결과이다. X-선속은 $7.25\text{E}+06$ $\#/\text{cm}^2$ 이며, 선량은 1.64 mSv/h이었다.

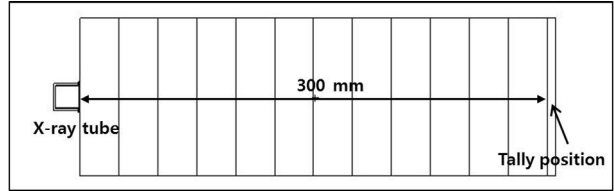


Fig. 2. Simulation geometry for mono type.

Table 2. X-ray flux & dose rate for mono type

Type	Position	X-ray flux ($\#/\text{cm}^2$)	Dose rate (mSv/h)
Mono	Center	$7.25\text{E}+06$	1.64

3.2 멀티형 연X-선 튜브 시뮬레이션

Fig. 3은 본 연구를 통해서 개발된 연X-선 튜브 7개를 수평으로 300 mm 간격으로 배치하였을 때 Fig 3(a)는 수평면(Horizontal distribution)을 Fig 3(b)는 수직면(Vertical distribution)에서 연X-선 선속과 선량을 전산모사한 결과를 나타낸 것이다.

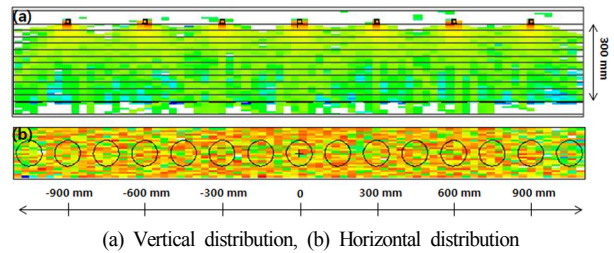


Fig. 3. X-ray energy deposition each position

이때 양극전압(Anode voltage)은 10 kV, 관전류(Tube current)는 280 μA , 이격거리는 연X-선 튜브로 부터 300 mm로 하였다. 모사지점은 Fig. 3(b)에서 볼 수 있듯이 붉은색 원형으로 표시된 15 지점으로, 연X-선 튜브의 중심점인 7 지점과 튜브와 튜브사이(좌우 150 mm 이격된 지점)인 8 지점도 포함되어 있다.

Fig. 3(a)는 연X-선 튜브를 중심으로 수직면에서의 연X-선 에너지분포를 나타낸 것이다. 연X-선 튜브 지점에서 에너지가 가장 높게 나타내는 붉은색을 띄고 있다. 거리가 멀어질수록 노란색, 연두색으로 나타났으며, 가장 먼 지역은 에너지가 낮은 파란색으로 나타났다. Fig. 3(b)는 연X-선 튜브로부터 이격거리 300 mm 떨어진 수평면의 연X-선 에너지 분포를 나타낸 것이다. 연X-선 튜브의 주변으로 에너지가 높은 붉은색으로 분포되고, 양쪽 끝단 및 일부 사각지역은 에너지가 낮은 파란색으로 나타났으나, 전 면적으로 에너지가 높게 나타났음을 알 수 있다. Table 3은 멀티형(연X-선 튜브 7개)의 경우 정중앙에서 좌우로 각각 150 mm 간격으로

Table 3. MCNPX simulation results of X-ray flux & dose rate for multi type(7 tubes)

Type	Position (mm)	X-ray flux (#/cm ²)	Dose rate (mSv/h)
Multi	-1050	6.99E+06	1.54
	-900	1.09E+07	2.40
	-750	1.11E+07	2.48
	-600	1.29E+07	2.91
	-450	1.63E+07	3.65
	-300	1.57E+07	3.51
	-150	1.26E+07	2.78
	0	1.96E+07	4.39
	150	1.49E+07	3.31
	300	1.81E+07	4.04
	450	1.16E+07	2.59
	600	1.53E+07	3.38
	750	1.40E+07	3.18
	900	9.91E+06	2.21
1050	7.63E+06	1.69	

1,050 mm까지 각 위치별 연X-선 선속과 선량을 전산 모사한 결과이다.

선량중첩효과가 가장 많이 나타나는 정중앙에서의 선속은 1.96E+07 #/cm²로 가장 높았으며, 중심에서 좌우로 갈수록 연X-선 선속은 완만히 감소하지만, 좌우의 튜브의 중앙점(±300 mm, ±600 mm, ±900 mm)과 튜브와 튜브 사이 지점(±150 mm, ±450 mm, ±7,500 mm)은 거의 비슷한 값을 나타냈다. 이는 멀티형으로 연X-선 튜브를 설치함으로써 선량중첩으로 선속이 보상되어 각 튜브중심 지점보다는 약간 낮거나 유사한 값을 보였다.

Table 3에서 알 수 있듯이 좌우 -750 mm ~ +750 mm 사이에서 연X-선 선속은 1E+07 #/cm² 이상으로, 이 구간에서의 제전성능은 우수하게 나타날 것으로 예상된다. Fig. 4(a), (b)는 모노 및 멀티형 연X-선식 정전기 제거장치의 각 위치별 연X-선 선속 및 선량을 비교하였다. Fig.4에서 붉은색은 모노형을, 검은색은 멀티형을 나타낸 것이다. 모노의 경우 연X-선 선속과 선량은 멀티형의 좌우 끝단지점(± 1.050 mm)과 거의 유사한 값을 보였다. Fig.4에서 알 수 있듯이 멀티형의 정전기 제거성능은 모노형에 비해서 선량중첩효과에 의하여 연X-선 선속은 약 10~20배, 선량은 2~3배 정도 향상된 것을 알 수 있었다.

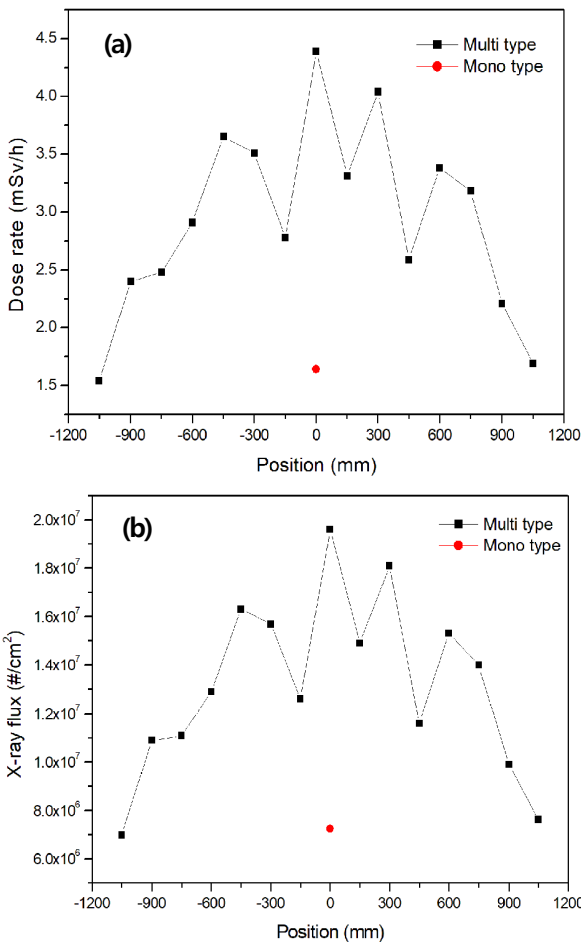


Fig. 4. Comparison of X-ray flux(a), dose rate(b) for mono & multi type.

3.3 정전기제거 성능 측정

MCNPX 기법으로 전산모사한 결과를 바탕으로 Table 1 명세와 동일한 연X-선 튜브를 제작하였다. 제작된 연X-선 튜브로 모노형 및 멀티형 정전기 제거장치를 제작하여 전사모사한 결과와 실제로 측정된 결과를 비교분석하였다. 정전기 제거성능을 측정하기 위하여 모의대전판으로 CPM(Charged Plate Monitor, Trek, Model-156A)을 사용하였으며 초기대전전압을 ±1,000 V로 설정하여 ±100 V(90%)까지 완화되는데 걸리는 완화시간을 측정하였다. 모든 실험은 신뢰성을 확보하기 위하여 동일한 실험을 3회 실시하여 그에 대한 평균값을 환산하였다.

Fig. 5는 멀티형 연X-선식 정전기제거장치의 제전성능을 측정하기 위한 실험환경을 나타낸 것이다. 연X-선 튜브는 7개로 구성되어 있으며, 이격거리 300 mm 떨어진 지점에 모의 대전판을 설치하여 시뮬레이션과 동일한 위치에서 제전성능을 측정하였다.

Fig. 6은 모노형과 멀티형 연X-선식 정전기 제거장치의 제전성능을 측정한 결과이다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 멀티형의 경우 -600 mm ~ +600 mm의 구간에서 +측 완화시간은 0.20 s로 동일하게 나타났으며, -측 완화시간은 0.21~0.22 s로 약간 길어졌음을 볼 수 있다. ±600

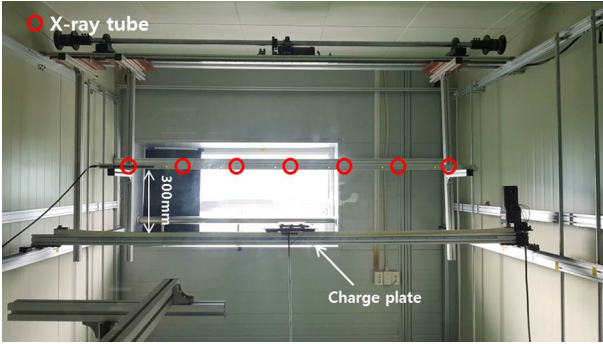


Fig. 5. Test environment of multi type.

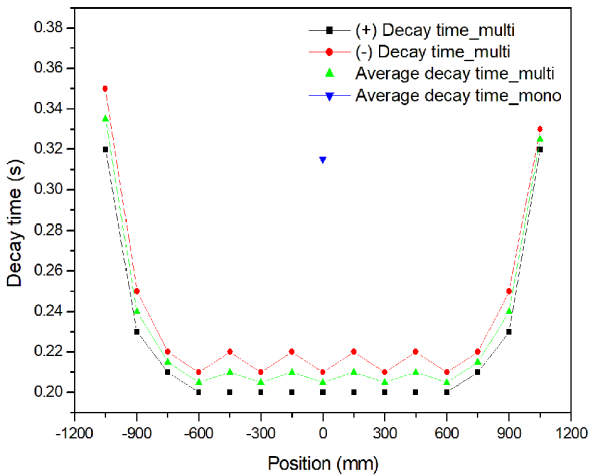


Fig. 6. The measurement value of decay time at each position.

mm ~ ±900 mm의 구간에서 +측 완화시간은 0.21 s에서 0.23 s로 나타났으며, -측 완화시간은 0.22 s에서 0.25 s로 역시 약간 길어졌음을 알 수 있다. 이는 연X선에 의해 기중에서는 자유전자와 +이온이 생성되는데, 이중에 자유전자의 이동도(Drift speed)가 +이온의 이동도보다 빠르기 때문에 +측의 완화시간이 빠르기 때문이라고 생각된다.

그러나 양쪽 끝단인 ±1,050 mm에서 완화시간은 0.32 ~ 0.33 s로 급격히 저하하여 모노형과 거의 동등함을 알 수 있다. 모노형의 경우 중심점에서 평균완화시간은 0.32 s로 멀티형에 비해 전체적으로 +측은 0.11 s, -측은 0.12 s 지연됨을 알 수 있었다. 따라서 Fig. 6에서 알 수 있듯이 멀티형의 정전기 제거능력은 모노형에 비해 방사선량중첩에 의한 효과로 약 30% 정도 향상되었다. 이는 MCNPX의 전산모사한 결과와 비슷하게 나타났다.

4. 결론

10 kV 이상의 높은 정전전압이 발생하는 공정, 특히 8세대 이상의 디스플레이 제조공정에 적합한 멀티형

연X-선 정전기 제거장치를 개발하였다. 본 연구에서는 이를 이용하여 정전기 제거성능 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) MCNPX를 이용하여 멀티형 정전기제거장치의 X-선 선속과 방사선량은 중심에서 1.96E+07 #/cm², 4.89 mSv/h로 모노형보다 높다는 것을 확인하였다.

2) 멀티형 정전기 제거장치를 개발하여 위치별 정전기 제거성능 측정결과 중심점에서 멀티형 장치는 0.21 s, 모노형 장치는 0.32 s이며, 약 0.11 s 제전시간 감소를 검증하였다.

3) 개발된 멀티형 정전기 제거장치의 제전능력은 모노형에 비해 방사선량 중첩효과로 약 30% 정도 향상되었다. MCNPX로 전산모사한 결과와 유사하게 나타났다.

감사의 글 : 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의하여 연구되었음(C-D-2017-0271)

This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University(2017 year)(C-D-2017-0271)

References

- 1) S. M. Kim and D. H. Lee, "Study of Application of the Static Electricity Removing Devices at TFT-LCD and AMOLED TFT Process", Master's Thesis of Pukyong National University, pp. 44-58, 2015.
- 2) Adachi T, Kawasaki M and Nakabayashi H, "The Behavior of Dust Particle in Electrostatic Precipitators", Journal of the Institute of Elect Rostatics Japan, Vol. 4, No. 3, pp. 152-159, 1980.
- 3) G. B. Park and H. C. Lim, "A Study of De-electrification Characteristics of Charged Body By Sort X-Ray Ionizer", Journal of KIIS, Vol. 13, No. 3, pp. 67-73, 1998.
- 4) S. Y. Kwon and D. H. Lee, "A Study on the Removal of Electrostatic using Transmitted Ions Generated Soft X-Ray with Compressed Air", J. Korean Soc. Saf., Vol. 25, No. 1, pp. 27-31, 2010.
- 5) P. H. Jeong and D. H. Lee "A Study on the Optimal Design of Soft X-ray Ionizer using the Monte Carlo N-Particle Extended Code", J. Korean Soc. Saf., Vol. 32, No. 2, PP. 34-37, 2017.
- 6) D.B. Pelowitz, MCNPX User's Manual, LA-CP-05-0369, Los Alamos National Laboratory, 2005.