

공기 정정지역(Class 100 이하)에 적합한 정전기 제거장치의 개발 및 특성에 관한 연구(I) - LCD 제조 공정을 중심으로 -

정용철 · 박훈규* · 이동훈**

부경대학교 대학원 안전공학과 · *한국전력 고리원자력 발전소 · **부경대학교 안전공학부
(2006. 3. 29. 접수 / 2006. 6. 26. 채택)

A Study for Development and Characteristics of Electrostatic Eliminator Suitable for the Super Clean Room Less than Class 100(I)

Yong-Chul Jung · Hoon-Kyu Park* · Dong-Hoon Lee**

Department of Safety Engineering, Graduate School, Pukyong National University

*Gori Nuclear Power Plant at KECO

**Department of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received March 29, 2006 / Accepted June 26, 2006)

Abstract : It is a well known fact that LCD is a central part of the IT industry which is important in the present and the future. But the biggest problem of LCD manufacturing is maintaining a cleaning room environment and administration. Therefore the purpose of this study is to first, prevent the yield depreciation and damage of products, and second, protect the worker from accidental electrostatic discharge during LCD manufacture. The soft x-ray ionizer is a type of electrostatic reducer device. It protects against electrostatic discharge in the cleaning room environment and is a necessary environmental factor during LCD production. The positive aspects of the soft x-ray are its shorter time and wider angle of exposure. But the negative aspect of the soft x-ray is its need for several shielding of protection from the harmful x-ray exposure. On this study, the development of the Air Nozzle-type ionizer to amend and refine some problems. For example, examined the electrostatic reduce device of a soft x-ray type and discovered the ion did not go inside well. also workers to be free from danger. An Air Nozzle-type ionizer is comprised of soft x-ray radiation and ionized air production. Air is injected through the nozzle after being ionized from radiation. It supplies air keeping the same pressure into the end foundation of ion production. The soft x-ray is the structure which radiates ionized air through the nozzle (21 holes) having micro holes of the ionizable radiation after ionizing the inside air by the ion production. A worker does not need a cover to protect against x-rays and the Air Nozzle-type ionizer is easy to set up and is more effective at eliminating electrostatic.

Key Words : electrostatics, electromagnetic fields, ionizer, soft X-ray

1. 서 론

액정판넬(LCD) 제조공정에 있어서 정전기 발생으로 인하여 미세한 먼지가 LCD에 부착되거나, 정전기 방전에 의해 LCD 유리기판상의 패턴의 파괴를 야기하여 제품의 수율을 저하 시키고 제조원기를 상승시키는 주요한 요인이다. 이러한 제조공정에서

정전기를 위한 대책으로 코로나방전을 이용한 이온바(ion Bar) 및 이온 브로어 (Ion Blower)를 제전설비로 사용하고 있으나, 이 장치는 코로나 방전에 의해 이온을 발생시키고 이온화된 공기를 불어 내기 위하여 팬을 사용하여 공기를 대류 시킨다¹⁻⁵⁾. 이러한 과정에서 고압 방전에 의한 Spattering 현상으로 방전 전극의 끝 부분에 0.01μm 이하의 금속 미립자가 엄청나게 (수만개/ft²) 발생하여 부착되었다가 팬에 의한 강제대류에 의해 떨어져 나가서 LCD 패턴 주위

* To whom correspondence should be addressed.
lhoon@pknu.ac.kr

에 부착되어 문제를 야기한다. 또한 방전에 의해 발생한 O₃는 먼지의 부착을 촉진하는 역할을 한다. 뿐만 아니라 -이온과 +이온의 밸런스가 수시로 바뀌어 그때마다 밸런스를 조정해 주어야 하는 불편함이 있다^[6,9]. 이에 대한 대책으로 연 X선의 전리 작용을 이용하여 주위 공기 및 가스분자를 이온화해서 제전 대상 물체의 정전기를 중화·완화 시키는 방법이다. 이와 같은 연 X선을 이용한 정전기 제거장치로부터 전혀 미분의 먼지를 발생하지 않고 공기를 대류 시킬 필요도 없기 때문에 LCD 제조 공정에 아주 적합한 장치이다. 연 X선식 정전기 제거장치는 양극과 X선창을 일체화한 투과양극 연 X선관을 사용하기 때문에 연 X선 조사각이 넓어서 대면적 제전에 매우 유리하다는 장점이 있으나, 연 X선의 인체 유해성 문제로 여러 가지의 차폐장치가 필요한 단점이 있다^[10,11]. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 연 X선 발생원을 스테인레스 차폐재 내부에 설치하고^[12-14] 차폐재내부로 압축공기를 주입하여, 내부 공간의 공기를 이온화 하고, 이온화된 공기를 미세노즐을 통하여 방출하도록 고안한 기류 방출형 정전기 제거 장치를 개발하여 이에 대한 연구를 하였다. 우선 코로나 방전식 제전기와 비교해서 연 X선식 제전기 특징에 관해서 논하고, 연 X선의 법규상의 문제점인 인체에의 영향과 사용상의 문제점인 제품의 영향, 생산 장치의 부품의 영향에 대해서 논하고, 마지막으로 개발된 기류 방출형 정전기제거의 특성을 설치거리의 변화에 따른 전위감쇄특성 및 이온 전류특성을 검토하고, 주입공기압의 변화에 따른 전위감쇄특성을 실험적으로 검토하여 신 개념의 정전기제거장치의 개발을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1. 실험 장치

Fig. 1은 본 연구에서 개발된 기류 방출형 정전기 제거장치 (Ionized Air Nozzle Type ionizer)의 외형 모습을 나타낸 것이다. 특히 본 장치는 기존의 코로나 방전식 정전기제거 장치에서는 비교적 제전이 어려운 LCD 공정의 유리기판 카세트 내부와 같이 구석진 곳에서도 정전기제거에 유효하다. 기류 방출형 정전기 제거장치는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 연 X선을 방사하는 관을 내장한 이온 발생부와 이

온 방출부로 부터 구성되어 있다. 건조공기를 이온 발생부 하부의 급기구로 공급하고, 연 X선원에 의해 공급된 압축공기를 이온화하고, 이온 방출부의 측면에 설치 된 미세노즐(직경 1mmΦ, 21개)을 통하여 이온화된 기류를 외부로 방출하는 구조로 되어 있다. 연X선은 연 X선 발생장치로부터 이온 발생부 내로 방사된다. 일반적으로 연 X선을 공기중으로 방사(조사각 최대 120°)하면 일부는 보다 에너지가 낮은 산란선으로 되어 사방으로 퍼져서 인체에 대한 영향이 있기 때문에 여러 가지의 차폐판을 설치하여야만 한다. 본 실험에서는 연 X선의 외부로의 방사를 막기 위하여 Fig. 2와 같이 아크릴(두께 5mm)를 사용하여 차폐율을 99.99% 이상으로 유지하도록 하였다.

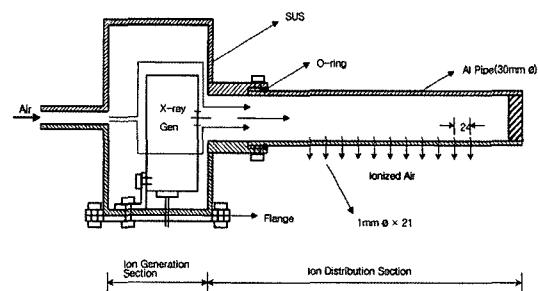
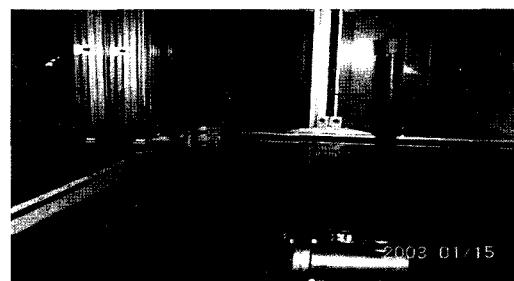


Fig. 1. Out view of ionized air nozzle type ionizer.



(a) The measurement view of charged decay time



(b) The measurement view of ion current

Fig. 2. View of experimental apparatus.

2.2. 실험 방법

Fig. 3은 기류 방출형 정전기 제거장치의 정전기 제거능력을 측정하기 위한 장치를 나타낸 것이다. 설치거리와 위치변화에 따른 정전기 제전특성을 얻기 위해, 설치거리를 550mm, 725mm, 900mm, 1,075mm 및 1,250mm로 하였으며, 피 대전물체로는 모의대전체(Charged Plate, Trek, Model No 156A1, USA)를 사용하였고, 이때 대전전위는 최대 $\pm 1\text{kV}$ 로 조절 되도록 하였다. 대전 완화시간은 이온완화계(Ion decay meter), 이온전류는 이온전류측정기(Simcolonmeter, ICM-2, Japan)로 각각 측정하였다. 그리고 본 실험은 환경변화에 따라 상당히 민감한 영향을 받기 때문에 항온항습실(온도 $21 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 40% RH $\pm 2\%$, 대기압 760Torr)에서 모든 실험 및 측정을 하였으며, 재현성을 확인하기 위해 평균 3회 이상 측정하였다. Fig. 4는 기류 방출형 정전기 제거장치의 설치 조건상 중요한 요인 중의 하나인 대전물체와 본 정전기 제거장치 사이의 설치거리를 550mm에서 1,250mm 까지 175mm 등 간격으로 변화시키고, 피 대전물체를

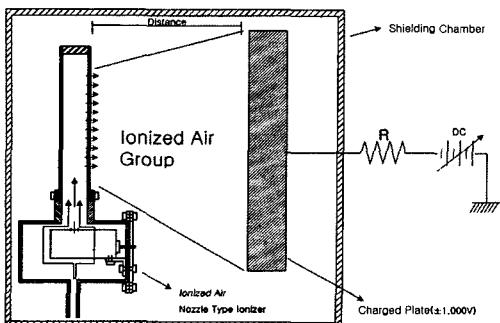


Fig. 3. Block diagram of experimental apparatus.

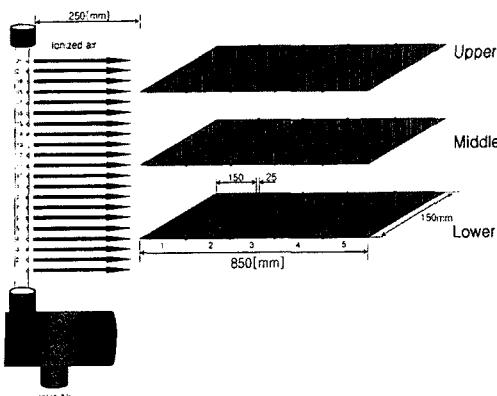


Fig. 4. Arrangement of decay time characteristics measuring point.

상(Upper), 중(Middle) 및 하(Lower)의 3그룹으로 나누어 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

기류 방출형 정전기제거장치의 제전능력은 모의 대전전압을 10% 정도의 전압까지 감쇄시키는 시간적 비율 및 이온전류로 나타낼 수 있다. 본 실험에서는 모의 대전물체와 제전기 사이의 설치거리, 기류 방출형 정전기 제거로의 주입 공기 압력에 따른 정전기 감쇄시간, 이온전류의 측정 및 누설 방사선량에 따른 안전성에 대한 안전성을 검토하였다.

3.1. 설치거리의 변화에 따른 전하완화 시간 특성

Fig. 5는 기류 방출형 정전기제거장치의 공기 노즐 상단부로부터 방출된 공기 이온에 의한 제전특성을 나타낸 것이다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 모의 대전물체를 -1000V로 대전시키고 10%, 즉 -100V 까지 감쇄하는 시간은 최대 58초에서 30초까지 나타났다. 이는 기류 방출형 정전기 제거장치 내부에서 생성된 이온이 상부의 공기노즐을 통해서 분출되어 외부로 공기압에 의해 대전물체에 도달하는 과정 중 일부는 재결합함으로써 나타난 현상으로 생성된 이온이 거리에 반비례 한다고 생각할 수 있다. 실제로 LCD제조 공정에서 사용되는 유리기판의 카세트인 점을 고려하면 제전능력은 다소 늦어짐을 알 수 있다. Fig. 6은 기류 방출형 정전기 제거장치의 공기 노즐 중간 부분에서 방출된 이온에 의한 제전의 특성을 나타낸 것이다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 모의 대전물체를 -1000V로 대전시키고 10%, 즉 -100V로 감쇄할 때까지의 시간이 최대 28초에서 21초로 나타났다. 이는 기류 방출형 정전기제거장치의 상단부분에서 방출된 이온에 의한 제전의 경우보다 1.5 배에서 2배까지 향상됨을 알 수 있다. 또한 감쇄시간의 편차는 약 7초로 상단부분의 경우에 비하면 약 4배 이상 증가하였다. 이는 공기 노즐을 통해서 분출된 이온의 재 결합률이 상대적으로 적었음을 보여준다. 실제의 제조공정에서 카세트 내에서 LCD 글라스의 반송 체류시간이 30초 정도임으로 25초 이내에 정전기를 제거할 수 있다면 충분한 제전 효과를 얻을 수 있으므로 실 적용시에는 문제가 있을 것으로 생각된다. Fig. 7은 기류 방출형 정전기 제거장치의 하단 부분에서 방출된 이온에 의한 제전의 특성을 나타낸 것이다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 모의 대전

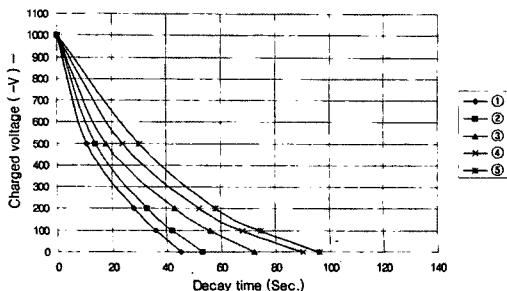


Fig. 5. Decay time characteristics on upper plate of charged plate monitor.

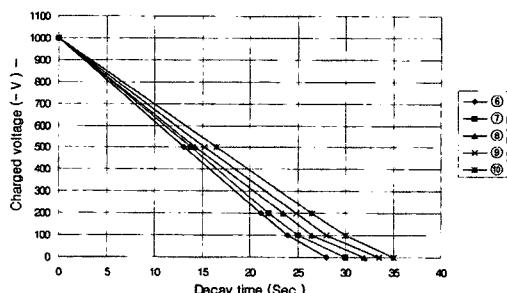


Fig. 6. Decay time characteristics on middle plate of charged plate monitor.

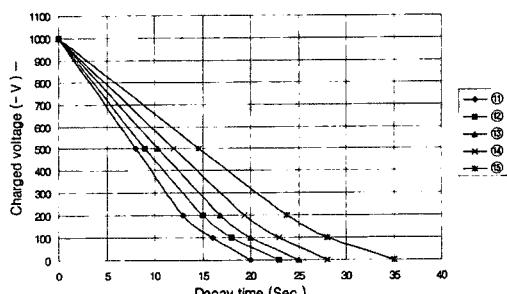


Fig. 7. Decay time characteristics on lower plate of charged plate monitor.

물체를 -1000V로 대전시키고 10%, 즉 -100V로 감쇄할 때까지의 시간이 최대 24초에서 13초로 나타났다. 이는 기류 방출형 제전기의 상단부분에서 방출된 이온에 의한 제전의 경우보다 약 2배에서 3배 까지 향상됨을 알 수 있다. 또한 감쇄시간의 편차는 약 11초로 상부의 경우에 비하면 약 2.5배 이상 증가하였다. 이는 공기 노즐을 통해서 분출된 이온의 재결합율이 가장 적음을 보여준다. 또한 실제의 제조 공정에도 충분히 적용 가능함을 보여준다. 그러나 기류 방출형 정전기 제거장치의 상단, 중단, 하단 노즐로부터 방출된 공기이온에 의한 정전기제거 특성이 거의 일치하여야 실적용상에도 문제가 없으나,

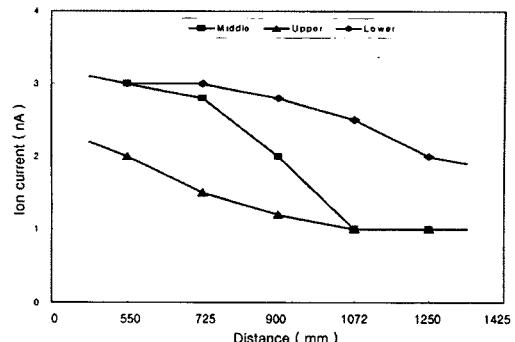


Fig. 8. Ion current as a function of distance between ionizer and discharged plate monitor.

본 장치의 경우는 다소 편차가 있으므로 이에 대한 보완 연구는 향후 필요하다고 생각된다.

3.2. 설치거리의 변화에 따른 이온전류특성

Fig. 8은 대전 물체와 기류방출형 정전기 제거장치 사이의 설치 거리를 550mm에서 1,250mm까지 변화 시켰을 때의 이온전류 발생 특성을 나타낸 것이다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 기류 방출형 제전기의 하단 부분에서의 이온전류가 2nA에서 3nA로 가장 높게 나타났다. 이를 이온수로 환산하면 약 10^{10} 개의 전자 수에 해당되는 값이다. 상대적으로 제전기의 상단 부분에서의 이온전류는 InA에서 2nA로 하단부에 비해서는 약 InA 정도 적은 값으로 나타났으며, 제전시간 역시 이온전류에 비례해서 하한부에서 가장 빠르게 나타났다. 이는 앞에서 실험한 결과에서 알 수 있듯이 정전기제거장치로부터 발생하는 이온전류는 정전기제거장치의 성능과 직결된다는 것을 알 수 있다.

3.3. 주입공기압의 변화에 따른 대전 전위 감쇄 시간 특성

Fig. 9는 기류 방출형 정전기 제거장치에의 주입 공기압을 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 변화 시켰을 때의 대전 전위감쇄시간 특성을 나타낸 것이다. Fig. 9에서 알 수 있듯이 모의대전물체를 -1000V로 대전시키고 주입공기압을 변화 시켰을 때의 공기압이 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 일 때 14초이고, $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 공기압일 때 약 30초로 나타난다. 그러나 공기압 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상이 되면 약 17초로 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 거의 제전시간이 포화되는 경향을 보이고 있다. 실 제조공정상 전위감쇄시간이 25초 미만이라는 점을 고려해 볼 때 주입공기압은 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상이면 적합한 것으로 생각 된다.

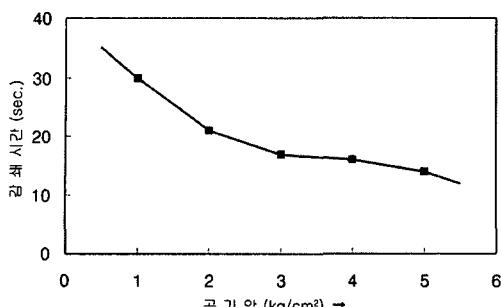


Fig. 9. Decay time characteristics as a function of inlet air pressure.

3.4. 누설 방사선량의 특성

연 X선식 정전기 제거장치를 안전하게 사용하기 위해서는 작업자의 작업 영역주위를 적절한 차폐재로 방호를 반드시 하여야 한다. Fig. 10은 여러 가지 차폐재에 대한 연 X선의 차폐율을 나타낸 것이다. Fig. 10에 나타낸 것과 같이 차폐재로써 2mm 이상 두께의 염화비닐판(PVC)과 0.3mm 이상의 알루미늄판과 0.1mm 이상의 구리판을 사용하면, 차폐방호설비 외측에서의 누설 X선량은 $1\mu\text{Sv}/\text{h}$ 이하가 되어 인체에 장애를 주지 않는다. 국제방사선 방호위원회(ICRP)의 규정에 의하면 모든 관리 구역 내에서 $1\mu\text{Sv}/\text{h}$ 를 초과하지 않도록 규정하고 있다. 차폐는 연 X선이 조사되어지는 공간뿐만 아니라, 관리구역(방호설비 내측영역)의 모든 공간에서 $1\mu\text{Sv}/\text{h}$ 초과하지 않도록 하여야 하고, 부득이 개구부가 노출되는 경우에는 $1\mu\text{Sv}/\text{h}$ 을 초과하는 공간에는 신체 및 신체의 일부가 들어가지 않도록, 만약 또는 출입하고자 하는 경우에는 자동적으로 연 X선 조사가 정지하도록 인터록 시스템이 장착되어야 한다. 본 기류 방출형 정전기 제거장치에서는 이를 예방하기 위하여 스테인레스스틸(두께 : 2mm)로 차폐를 하여 사용하기 때문에 인체의 유해성은 전혀 없다고 생각된다.

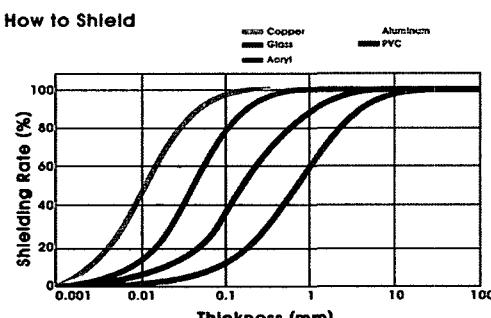


Fig. 10. Shielding rate against soft X-Ray.

된다. 이온 방출부 측면의 직경 1 mmΦ 미세구멍 노즐부와 이온발생부와의 접속부, 전선 인입부에 10 mm까지 근접시켜 전리상식 방사량 측정기(미국 빅토링사제 450B-SI)로 누설선량을 측정한 결과 약 0.3 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 로 측정 되었다. 즉, $1\mu\text{Sv}/\text{h}$ 이하로 인체의 유해성은 전혀 없는 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 기류방출형 정전기 제거장치는 연 X선원이 내장된 이온 발생부 및 이온 방출부를 각각 스테인레스스틸(두께: 1mm)와 알루미늄(두께: 2mm)로 차폐하여 본질적으로 연 X선의 누설을 예방하였고, 별도의 차폐장치를 설치하지 않아도 되도록 하였다. 또한 이온기류방출형의 구조로 되어 있어서 LCD 제조공정과 같이 협소한 장소에서의 정전기제거가 가능하였으며, 따라서본 실험을 요약하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 반도체 및 LCD제조공정에서 협소한 공간에서도 정전기제거가 가능하다.
- 2) 코로나 방전을 이용한 종래의 정전기제거장치와 같이 방전전극을 사용하지 않고, 연 X선에 의해 공기를 이온화하기 때문에 전극으로부터의 발진, 오존의 발생 등 문제점이 없다.
- 3) 설치거리에 따른 이온전류는 1-3nA로 코로나 방전식 정전기 제거장치와 거의 유사하였다.
- 4) 주입공기압을 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상이면 정전기 감쇄시간을 25초 미만으로 유지할 수 있어, 실적용 할 수 있음을 알 수 있었다.
- 5) 기류 방출형 정전기 제거장치 자체가 연 X선 차폐구조로 되어 있기 때문에 설치시 주변에 별도의 차폐 방호설치를 설치할 필요가 없다.

참고문현

- 1) 富閣秀起 “クリーナー”, pp. 19~21, Oct., 1997.
- 2) R. Wilson, “Proceeding of 33rd Annual Technical Meeting of the IES”, pp. 466~467, May, 1987.
- 3) B. Y. H. Liu, B. Fardi, K. H. Ahn, “Proceeding of 33rd Annual Technical Meeting of the IES”, pp. 461~465, May, 1987.
- 4) 藏井修二, 謝園平, 金光映, “第7回空氣清淨コンタミネーションコントロール研究大會予稿集”,

- pp. 17~18, 1998.
- 5) 隈田總一朗, 関鬪孝夫, “第7回空氣清コンタミネーションコントロール浮研究大會予稿集”, pp. 21~22, 1998.
- 6) 江見 準, “88クリーンテクノロジーフォーラム予稿集”, pp. 3~11, 1988.
- 7) 鈴木政典, 山路幸郎, “空氣清淨”, pp. 48~58, May, 1989.
- 8) 鈴木政典, 和泉貴晴, 鎌治幸, 石川昌義, “クリーンテクノロジー”, pp. 18~21, June, 1992.
- 9) 中江 茂, “エアロゾル研究”, pp. 111~114, Feb., 1987.
- 10) 館木政典, “クリーンテクノロジー”, pp. 31~33, Jan., 1992.
- 11) 鈴木政典, 佐羅則且, 鎌治幸, 石川昌義, “月刊清いフロー”, pp. 39~41, Nov., 2000.
- 12) 조근우, “ICRP 60과 방사선 방호의 요점”, 한국원자력 안전기술원.
- 13) 장순홍, 백원필, “원자력 안전”, 청문각, 1999.
- 14) 나성호, 허정욱, “한국 원자력 안전 기술원 보고서”, 1994.