

放射線照射의 工業利用에 있어서의 安全確保(上)

綿 貫 孝 司(Takashi Watanuki)

일본원자력연구소 高崎연구소

안 전 관 리 과 장

방사선화학 또는 식품 방사선조사 등에 사용되는 線源으로서 1960년대에 계획된 조사用 大出力 X선발생장치(200kVp, 1000mA)의 개요와 건설기에 조우한 기술적 저문제 및 현재에 있어서의 개발동향을 논한다. 「조사액체 질소중에 있어서의 폭발위험성」 및 「방사선조사 작업자에 나타난 피부장애 사례」에서 방사선조사 이용에 있어서의 본연의 안전상태를 논한다.

1. 떠릿말

1995년은 독일 물리학자 렌트겐이 X선을 발견한 해로부터 100년이 되고, 일본 아이소토프 협회에 방사선 취급주임자 部會가 설립된 해로부터 35년이 된 기념할만한 해였습니다. 이 기념할만한 해에 방사선안전 공로자로서 과학기술청 장관상을 수상하게 된 것을 영광으로 생각하고 있습니다.

본인이 방사선 업무에 종사하게 된 것은 일본 원자력연구소(原研)高崎 연구소가 일본의 방사선화학 연구센터로서 코발트-60 밀봉

선원이나 전자 가속기 등의 대형 방사선조사 시설의 건설을 개시한 創立期에 입소한 것에서 비롯되었다. 原研 입소 이전에는 群馬縣 전기국에서 수력발전 사업에 종사하여, 原研에 있어서의 담당업무도 당초에는 전기설비 설계이였으나, 이내 조사용 大出力 X선 발생장치(X線管 전압 200kVp, 管電流 1000mA)의 건설·정비에 종사하게 되었다.

이 大出力 X선 발생장치의 담당업무 후에, 東海연구소에서 핵연료 시설 등에 관한 현장의 방사선 관리업무를 경험한 다음 다시 오늘까지 高崎연구소에서 안전관리 업무에 종사하고 있다. 그 동안 말레이지아 원자력청에 방사선 방호전문가로서 2회 파견되어, 그 나라에서 새로 설치된 전자가속기에 관한 방사선 안전분야의 지도·협력을 했다. 또한 原研 본부(東京)에 1년반 정도 근무하여 原研 전체의 안전·防災 업무를 담당한 시기도 있다.

이하에 방사선조사의 공업 이용분야에 있어 조사용 X선장치의 변천과 재해사례에서 본 안전상의 유의사항에 대해 논하면서 조금이나마 참고의 자료로 삼고자 한다.

2. 공업용 大出力 X선 발생장치

2.1 조사용 大出力 X선 발생장치의 건설¹⁾

X선 발생장치 그 자체는 옛부터 진단용 또는 비파괴 검사용으로 사용되어 왔으며, 초기의 것은 별개로 하고 근년에 널리 사용되고 있는 X線管은 管球로서 Fig. 1에 나타난 바와 같이 유리용기 안에 봉해진 쿠리지 X선관이라는 이름으로 불리워진 수백 볼트에서 백만 볼트 정도의 전압으로 사용되고 있다.

여기서 논하는 조사용 大出力 X선 발생장치는 1965년경부터 방사선화학 내지 식품조사 등에 사용되는 선원으로, 高崎 연구소의 제3호 가속기로서 건설이 계획된 것이다. 당시 세계적으로는 독일의 AEG社에서 제작된 120kVp, 500mA의 성능을 가진 것이 있었지만, 방사선화학에 있어 架橋라든지 식품조사, 방사선 살균 등에 사용되기 위해서는 透過力이 코발트 60의 γ 선과 전자선의 중간에 있는 선원으로서 실효 에너지가 100keV 정도의 X선장치가 계획되었다. 이 정도의 에너지를 지닌 X선으로는 차폐가 용이하여, 장래적으로 선박·대형 트럭 등에 의한 可搬型으로 할 것을 염두에 두고 용도는 지극히 넓다고 하여 계획되었다. 차폐를 용이하게 하여 컴팩트하-

게 정리한 照射室과 콘베어루트를 포함한 概觀을 사진 1에 제시한다.

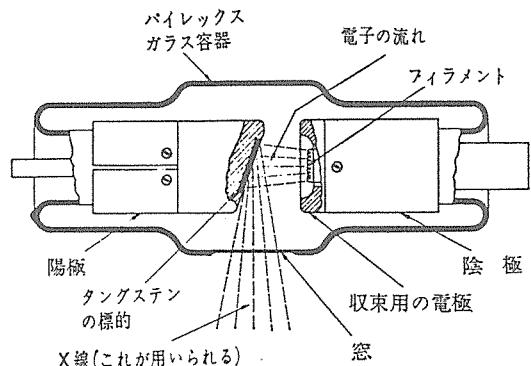
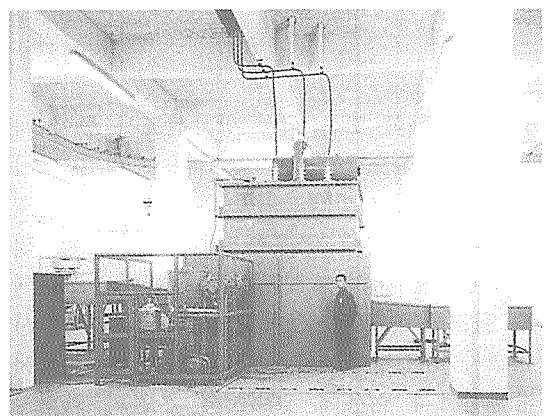


Fig. 1 쿨리지 X線管



寫真 1. 照射用大出力X線發生裝置概觀

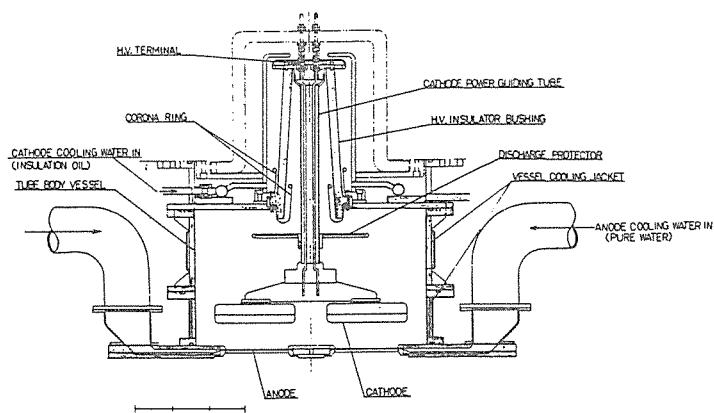


Fig. 2 X線管構造圖

이 장치는 전원으로 출력 200kVp, 1A의 용량의 변압기를 가지며, X선관은 이 변압기 밑에 매달려 있다. 전자선 발생부는 직경 0.3mm, 길이 17cm의 텅스텐線을 16개 평행으로 배치한 2조로 되어 있고, X선 발생부는 銅板 위에 두께 $30\mu\text{m}$ 의 도금을 한 켓을 사용하여 水冷이 되어 있다. Fig. 2는 X선관부의 구조이며 畫真 2는 外觀이다.

高전압에 의해 가속된 전자선이 충돌하여
제동방사X선이 발생되는 전환효율 $N_{\text{은}}$, X선
관 전압을 $U(V)$ 로 하여 $50kV < 1000kV$ 에서는
다음과 같은 式이 성립될 것이라 생각된다.

$$N = 2.2 \times 10^{-8} Z U^{3/4} \dots \dots \dots \quad (1)$$

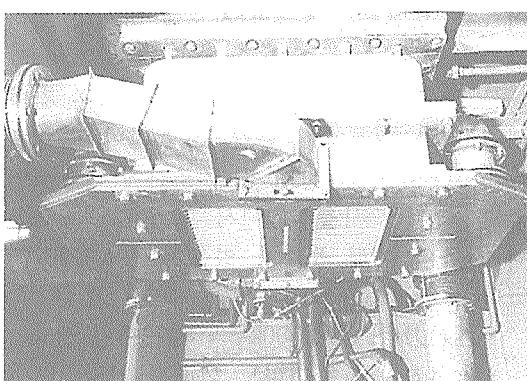
Z: 타겟 물질의 원자번호

본 장치의 X선 타겟에는 전환효율이 다른 물질에 비해 좋은 Au를 채용했다.

전자선에 의해 X선을 발생하는 경우의 타겟 두께는 가속전자가 완전히 정지되는 두께(최대 飛程) 보다 약간 두꺼운 정도가 가장 경제적이다. 전압 200kV로 가속된 전자선에 대한 Au의 최대비정은 23×10^{-6} m이다.

따라서 본장치에는 Au 타겟의 두께를 30 μm 로 하여 銅基板 위에 도금이 장치는 高崎

연구소에 67년 이른 봄에 설치되었건만, 조사용 선원으로 안정된 운정이 이루어지기까지 기술적으로 해결해야 할 많은 문제가 발생했다. 필라멘트 斷線, 타겟의 파손, 放電에 의한 絶線破壊 등의 사고가 여러번 발생하여 장치의 설계에 대한 재검토를 하기에 이르렀다. 그리하여 이러한 점을 여러번 개량하고, 또한 真空系에 대해서는 당시에 최대급의 이온펌프를 도입하여 개량을 거듭함으로써 점차 예정의 성능에 가깝게 되었다. 그러나 출력이 증가하는 시점에서 새로운 선량분포가 不均一이 되는 문제가 생겨났다. 이것에 대해서는



寫真 2. X線管外觀

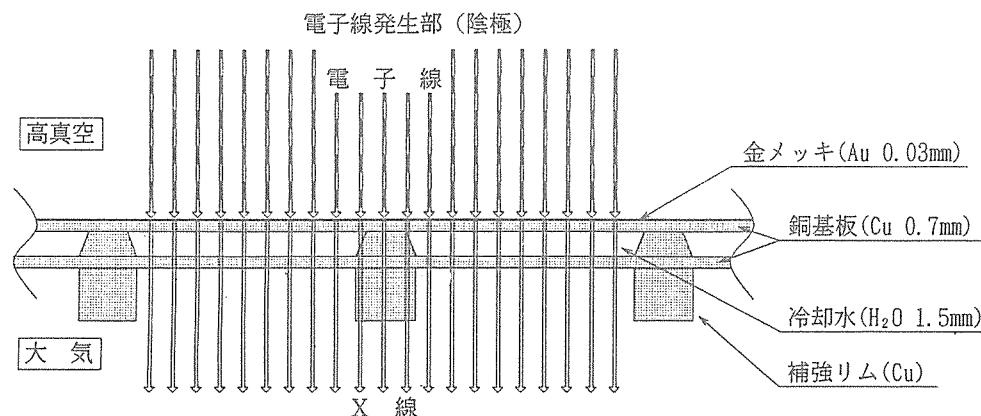


Fig. 3 X線發生部(陽極)詳細圖

전자선 발생부에 문제가 있다는 것이 거의 명백해졌지만, 이 현상이 출력증강의 과정에서 일시적으로 일어났으므로 명확한 대책을 세우는데 어려움이 있었다. 이것을 극복하여 소기의 성능인 타겟에서 5cm의 위치에 2×10^4 R/min의 선량을 얻을 수 있었다.

차폐설계를 함께 있어 散亂 X선에 대해 주의할 것이 적지 않지만, 본장치와 같은 구조에서는 X선은 콘베어루트의 迷路中에 있어 3회 이상 散亂하지 않으면 입구 및 출구에 도달하지 않게 하고, 또한 Fig. 4와 같이 S에서 P에 직접 도달하는 X선은 충분히 약하게 되도록 설계해 놓았지만, B의 부근에서 散亂하여 P에 도달하는 X선의 강도에 허점이 있어 보강을 해야 하는 일도 있었다.

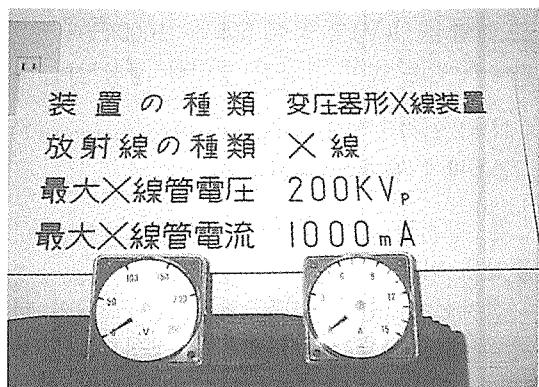
본 장치는 소기의 성능에 이른 이후 갑자기 照射를 비롯하여 콘크리트폴리머, 強化プラス틱(FRP) 및 치료 등의 조사에 사용되어 왔다. 이러한 사용경험에서 공업용 선원으로서 다음의 여러 문제가 있음이 명백하게 되었다.

- 透過力이 적어 300kV의 官電壓이 필요
- 大出力이라 하더라도 선량은 기껏 10^6 R

/hr이여서 공업적으로 사용하기에는 출력부족

- 전환효율이 매우 낮아 경제적으로 보아 불리
- 真空의 유리 등 保守에 곤란

이렇게 하여 본장치는 1987년에 해체될 거되어 현재는 필자 자택에 사진 3에 있는 장치표식과 X선관 전압계 및 X선관 전류계만이 남아 있을 뿐이다.



寫真 3 筆者의 自宅書齋에 놓인 裝置標識과
X線管電圧計 및 X線管電統計

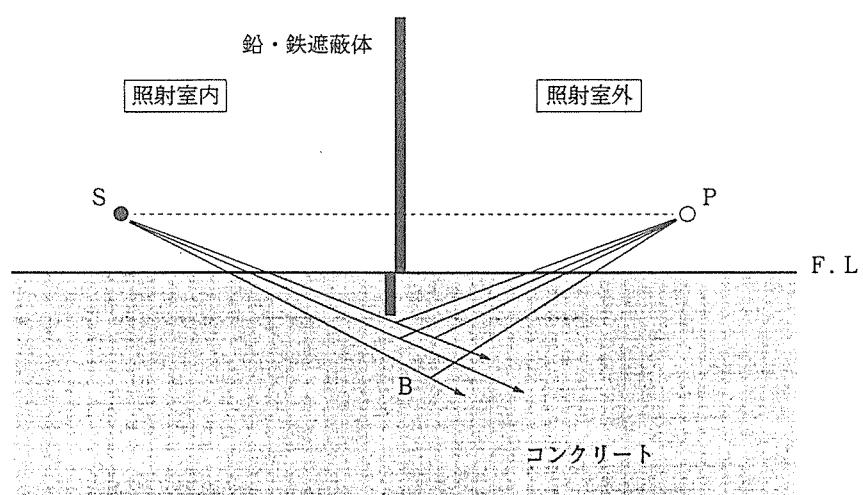


Fig. 4 X線의 散亂(그라운드사인)

2.2 현재에 있어서의 照射用 X선장치의 개발동향²⁾

1960년대에 필자 등이 개발에 종사한 200kV 정도의 것은 연구용으로는 사용되었지만, 전환효율이 나쁘고 출력이 충분하지 않았기 때문에 공업용 장치는 되지 못하였다. 방사선조사에 있어서의 공업이용은 오로지 전자가속기에서의 전자선과 Co-60에서의 γ 선을 사용하여 실시되어 왔다. 근년에 전자선 가공처리의 진전과 더부러 전자가속기의 성능이 향상하여 高에너지, 大出力, 운전의 높은 신뢰성을 가진 장치가 제작되게 되었다. 中에너지라 부르는 1~5 MeV의 에너지 범위에서는 콕크로프트-윌턴型 및 그 變形인 다이나미트론이 주류이다. 어느 것이나 高전압 발생부와 가속관이 일체가 되어 絶縁가스(SF₆)를 충진한 철제의 압력탱크 내에 고정되어 있다. 이리하여 현재에는 5MeV 200kW의 전자가속기가 가동되고 있다. 이 전자가속기의

신뢰성을 기반으로 하여 Co-60선원과의 비교에서 X선원으로서의 관심이 높아지고, 여기에 대응하여 2~5 MeV급의 전자가속기를 사용하여 텅스텐을 X선 발생체로 하는 灣曲型 타겟에 의한 X선 조사장치가 개발되고 있다. Fig. 5에 X선 발생의 방법과 X선타겟의 개념도를 제시한다.

현재에는 전자가속기는 X선원으로 한정시키지 않고 照射코스트의 低減化를 도모하기 위해 전자선용과의 양립의 이용방법을 취하고 있다.

참 고 문 헌

- 1) 綿貫孝司, 龜山研三, 田中隆一 : JAERI-M5223(1973)
- 2) 須永博美 : RADIOISOTOPES 41,(3) 91992)

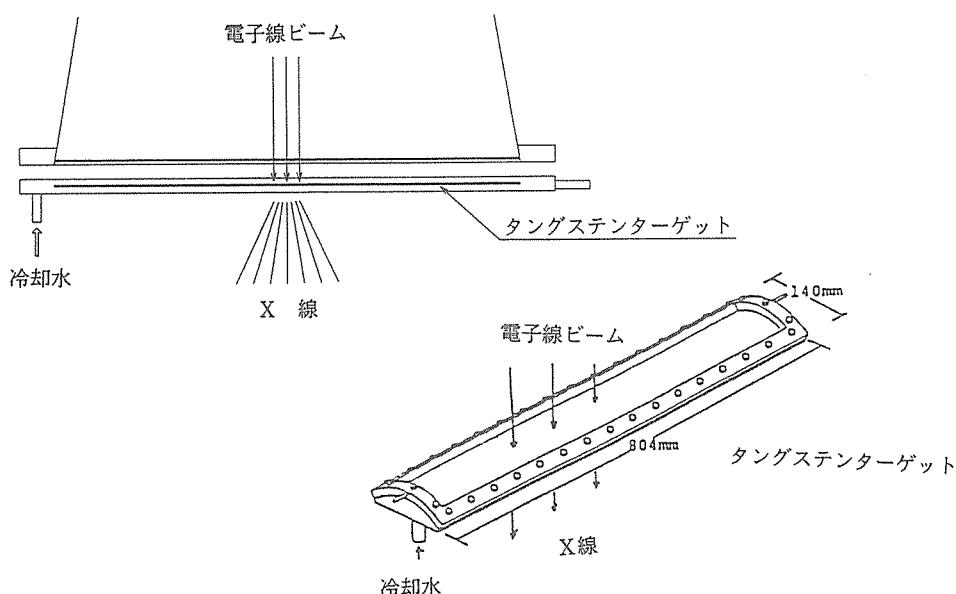


Fig. 5 최근의 2~5 MeV級 電子加速器를 사용한
大出力 X線發生의 方法과 X線타겟 概念圖