

전자선가속기 전자빔 배분장치에 의한 피폭저감

이명우
(주)한일종합산업

E-mail: mw8637@hanmail.net

중심어 (keyword) : 전자선가속기, 전자빔, 제동 엑스선, 빔배분, 스케너

서론

고분자물질의 방사선화학 가교에 주로 이용되던 전자선 가속기는 반도체 개발에서 오염된 물의 정화에 이르기 까지 여러 분야에서 사용되고 있으며 그 응용 범위도 점점 넓혀가고 있다.[2] 국내에는 전선, 타이어 가교, 자동차 발포 내장재, 건축용 내장재, 표면경화처리, 연구용 등으로 20여대 이상이 사용되고 있으며 최근 5 내지 10MeV의 높은 가속에너지로 살균, 멸균을 하는 상업용 가속기도 사용하고 있다.

대량 생산을 위한 상업용 전자선가속기는 보통 백만볼트 이상으로 가속하며 전자빔 전류도 100mA에 육박한다. 따라서 조사실 내부는 베타선과 제동 엑스선으로 인하여 수만에서 수십만 mR/h에 이르는 고선량을 공간이 되며 이를 차폐하기 위해서 40cm에서 200cm 두께 이상의 콘크리트벽이 여러형태로 설치된다.

이중 방사선 방호에 더 중요한 것은 투과력이 강한 제동 엑스선이다. 만약 같은 양의 제품을 생산하더라도 전자빔을 효율적으로 사용해 가능한 한 적게 사용할 수 있다면 결과적으로 제동 엑스선의 발생도 그에 비례해서 줄어들 것이며 피폭저감을 할 수 있게 된다. 외부피폭의 기본원칙인 거리, 시간, 차폐와는 별도로 선원자체의 사용량을 줄이는 것이 본 연구의 목적이다.

재료 및 방법

투과력이 강한 제동 엑스선의 발생량은 가속전자의

속도(가속전압)가 빠를수록, 가속전자의 수량(빔전류)이 많을수록, 조사되는 대상물질(타겟)의 원자번호가 클수록 많이 발생한다. [1] 엑스선을 이용하는 곳에서는 위의 조건에 충실해야 하나, 가속전자선만을 이용하는 곳에서는 엑스선은 불필요한 부산물이며 방사선 방호의 주요 대상으로 피폭저감을 위해 적절한 조치가 강구되어야 한다. 가속전압은 투과깊이와 관련이 있고 타겟은 그 자체로 제품이기 때문에 고정변수이다. 따라서 마지막 변수인 가속전자의 수량을 줄여서 피폭저감을 이룰 수 있다.

가속전압의 발생방식, 규모 그리고 저속의 자유전자의 생성방식, 사용되는 전자빔의 크기(빔전류), 가속전자빔의 인출방식에 따라 여러 가지 형태의 전자선가속기가 있다. 이중 가속전자빔의 인출방식에는 샤워(shower)형태로 균일하게 인출하는 비주사방식과 작은 원(spot) 형태의 가속전자빔을 매우 빠른 속도로 시간에 따라 일정한 패턴으로 변화하는 자기장(magnetic field)속에서 뿌려주는 주사형이 있다.

빔인출창의 폭은 길이 방향으로 50cm에서 200cm에 이르기 까지 다양하나 보통 100cm를 넘기 때문에 제품의 균일한 조사를 위하여 흡수선량 제어가 가능한 주사형이 주로 사용된다. 하전입자는 전계 내에서 포물선 운동을 하고, 자계 내에서 원운동을 하는 원리를 이용한 주사형은 자기장을 발생하는 편향코일의 전류를 전력용 반도체 소자를 이용해 적절히 제어함으로써 균일 조사가 가능하게 되는 것이다.

엑스선의 발생을 줄이기 위해서는 가속 빔전류를 최소화 해야 하기 때문에 생성한 전자빔을 생산하는 제품에만 최대한으로 조사해주고(빔전류밀도 최대

화) 다른 불필요한 곳의 조사는 최소화 해야 한다. 그러기 위해서는 우리가 원하는 곳으로 전자빔이 배분되고 그 외 다른 곳은 배분을 최소화 하거나 아예 없도록 해야 한다. 편향코일 전류와 빔배분, 빔전류 밀도의 관계를 그림1에서 그림4에 표시하였다.

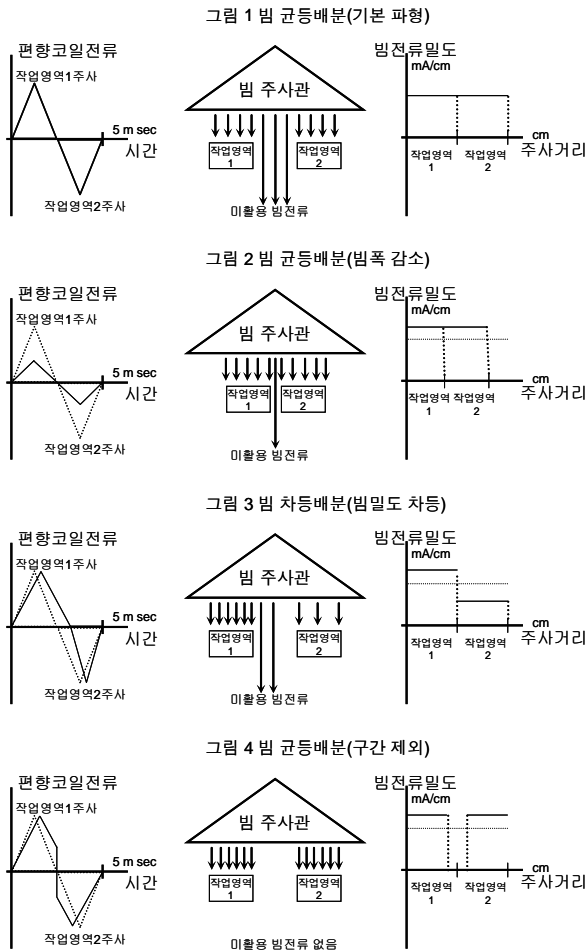
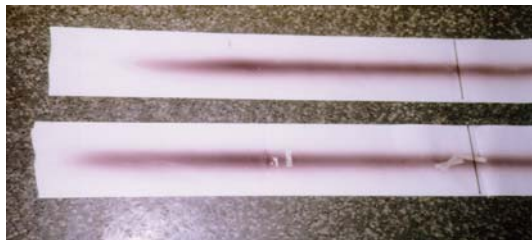


사진 1 전자선 감응지에 표시된 주사빔폭(우측에 표시된 실선은 중앙을 표시함)



제작 및 적용

전자빔 스캐너의 구성은 1)파형발생회로 2)전력증폭

회로 3)인터록회로 4)편향코일로 구성된다. 이 중 파형 발생회로를 기존의 그림1과 같은 파형외에 피폭저감을 위한 여러 형태의 파형을 디지털신호로 메모리에 조건표(look up table)형태로 저장해두고, 선택 스위치로 원하는 파형을 호출하여 12 bit D/A변환 및 필터처리한 후 아나로그 신호로 복원하여 전력증폭 하였다. 스캔 주파수는 200Hz로 하여 이동중인 제품에 균일한 흡수 선량이 가능토록 하였다. 사진1은 그림1과 그림2의 파형을 인가한 경우를 비교한 것으로 빔폭이 감소한 것을 알 수 있다. (위:그림2파형,아래:그림1파형) 흡수선량은 겔분을 측정으로 빔전류 밀도에 비례함을 확인하였다.

결론

이상의 연구를 통해 전자선가속기의 전자빔 편향 코일의 전류를 여러가지 패턴으로 변화시킴으로써 전류빔의 조사구간을 가변할 수 있는 균등배분, 차등배분, 특정구간 제외배분을 구현했으며, 각각의 배분 방식에 따른 사용 빔전류의 최소화를 구현함과 동시에 그에 따른 베타선과 제동 엑스선의 발생도 최소화 함으로써 평균적으로 30%피폭 저감화에 기여하였다. 이러한 효과로 차폐체를 얇게 설계할 수도 있지만 기존의 차폐체에서는 작업자는 30% 피폭저감이 된다.

또한 조사실 안의 고선량을 분위기에서 24시간 연속가동으로 제어기기와 전기회로, 각종 센서류들, 공기조기들이 강력한 방사선에 의해 빈번한 수리가 발생했으나 적절한 빔배분을 통해 방사선 사용을 최소화하여 평균적으로 20%정도의 개선효과를 보았다.

향후 과제로서는 빔배분을 가변하여 사용함으로써 빔 인출창의 열발생율이 구간별로 다르게 되어 초고진공의 악화나 수명에 어떤 영향을 주는지를 검토하고 그에 따른 적절한 연구가 필요할 것이다.

참고 문헌

1. 阪本良憲, 실무자를 위한 전자선가공, (1999).
2. 水澤健一, 星康久, 전자선 조사장치의 역사와 장래 전망, 日新電氣技報 Vol.40 No.2, (1995).