

한국인 성인 남성 모의 피폭체 제작과 장기 흡수선량 산출



김 정 인

한국수력원자력(주)
방사선보건연구원 연구원

1. 서론

방사선방호를 위한 표준인의 설정노력은 ICRP 23으로 대표되었던 서구인 모델에서 확장하여 최근에는 표준아시아인의 설정연구가 IAEA/RCA 사업으로 진행되어 이에 대한 연구결과가 이미 1998년도에 보고 되었고, 이러한 내용은 다시 ICRP 89로 발간되었다. 표준아시아인의 설정연구는 동남아시아의 여러 나라와 중국 및 인도, 일본과 우리나라의 표준인에 대한 신체의 크기와 식생활에 대한 자료를 포함하고 있으며, 이는 표준아시아인을 설정하는데 중요한 데이터를 제공한다. 그러나 비록 표준아시아인 설정연구에 우리나라 표준인의 자료가 포함된다고 하더라도 설정된 표준아시아인이 표준한국인을 대표할 수는 없으며 표준아시아인 설정에 포함된 우리나라의 자료는 타 국가에 비해 부족한 편이므로 이에 대한 보완이 필요한 실정이다.

방사선 방호의 목적으로 그간 외국에서는 자국의 표준인 자료를 활용하여 다양한 형태의 모의 피폭체를 제작하였고, 이러한 모의 피폭체들은 여러 종류의 계측기의 교정이나

내·외부피폭 선량평가 목적으로 사용되었다. 우리나라의 경우는 아직까지 방사선방호 목적의 표준인에 대한 모델이 없었기 때문에 외국의 모의 피폭체를 그대로 이용하였고, 이러한 결과는 선량평가의 측면에서 볼 때 많은 오차를 가져올 수밖에 없었다. 최근 자국의 표준인 모델을 완성한 여러 국가에서도 ICRP 23 모델과 비교했을 경우, 크기는 십수 퍼센트의 오차를 나타내는 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서는 표준한국인 모델에 맞는 방사선방호 목적의 모의 피폭체를 제작하고 방사선조사에 따른 체내 주요장기의 선량실측값을 몬테카를로 계산결과와 비교하여 그 효용성을 검증하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

표준한국인 성인(남성) 모의 피폭체 제작을 위하여 제 4차 국민표준체위조사 결과를 토대로 지원자를 설정하였다. 방사선보건연구원에서 보유한 PET/CT 장비를 이용하여 전신 CT 영상(1mm 간격)을 확보하였다. 피폭체 제작을 위한 팔, 다리를 제외한 두부와 몸

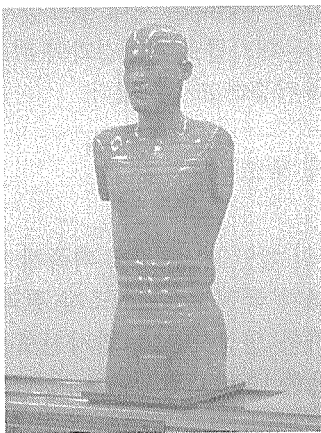
통의 DICOM 영상은 STL 포맷으로 변화시켜 최근 획기적인 시작품 제작 방식으로 알려진 RP (Rapid Prototyping) 기법에 적용하였다. 장기 선량값을 결정하는 주요인자인 장기밀도를 고려하여 뼈, 폐, 기타조직의 세부분으로 장기를 분할하였으며 밀도가 유사한 타 장기들은 초기 CT 영상의 위치정보를 이용하여 해당 장기의 선량실측이 가능하도록 설계하였다. RP소재 중 SL 5510 resin을 이용하여 뼈 부분을 직접 제작하였으며 폐와 기타조직은 뼈의 제작에 사용된 RP 소재로 주형을 제작하여 각각의 조직등가물질인 urethane foam과 poly urethane을 주입하여 경화하는 방식으로 제작되었다. 제작된 피폭체는 전신을 2cm 간격으로 수평 절단하여 총 43개의 단층으로 구성하였다. 몬테카를로 계산결과를 토대로 각 단층에 대하여 2cm간격으로 균일하게 TLD-socket을 배치할 수 있는 직경 7mm의 구멍을 제작하였다. 제작된 피폭체는 지원자의 CT전신 촬영방법과 동일한 방법으로 CT 촬영을 실시하여 내부결함

유무를 확인하였다.

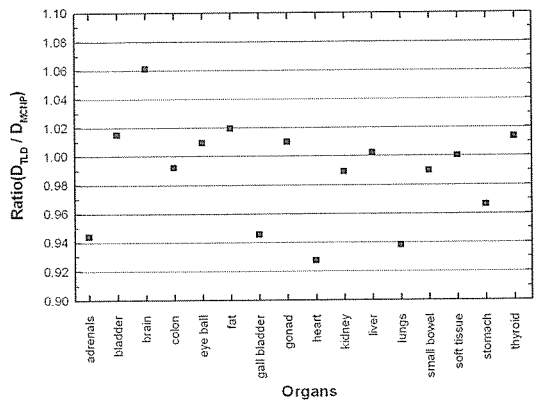
제작된 실물 모의 피폭체의 선량실측을 위하여 한국원자력연구소의 감마선 조사장치 (Cs-137, 3.57TBq)를 이용하였다. 피폭체 내부에는 약 2200개의 TLD 소자를 장착할 수 있으나 여건상 189개의 Disk type LiF 소자를 주요 장기위치에 장착하고 1R/h의 감마선장에 노출시켜 TL 판독값을 확보하였다. 확보된 TL 판독값은 피폭체 제작에 사용된 지원자의 CT 영상을 토대로 한양대학교에서 설계한 Voxel Phantom과 실제 조사환경을 입력 자료로 활용하여 MCNPX 코드를 이용한 몬테카를로 계산결과와 비교하여 각 판독값에 따른 장기별 선량 환산인자를 획득하였다.

3. 결과 및 고찰

완성된 한국인 남성 모의 피폭체를 <그림 1>에 나타내었다. 완성된 피폭체의 CT촬영을 통한 내부결함 확인 결과, 연조직에 해당하는 조직등가물질의 수축과 절단작업시 절단면의



<그림 1> Outer view of Korean male physical phantom




<그림 2> Ratio of absorbed dose measured from TLD to those from Monte Carlo calculation for 16 organs and tissues

예상 손실률과 실제 손실률과의 차이로 인하여 일부 단층의 접합면 사이에 미세한 공동이 확인되었으나 이로 인한 실제 선량평가 시 오차는 미미한 것으로 판단되었다. 또한 산출된 장기별 선량환산인자를 피폭체 전체에 고르게 분포하는 연조직의 선량환산인자와 비교하여 그 결과를 <그림 2>에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 최대 7% 이내의 오차로 연조직의 선량환산인자와 각 장기의 선량환산인자가 일치함을 확인하였다.

이러한 오차요인은 약 10%에 해당하는 TLD 배치분율에서 기인하는 것으로 추측되며 TLD의 배치분율을 높이면 오차가 충분히 개선될 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 제작된 실물 모의 피폭체는 표준한국인 모델의 CT 영상을 기반으로 RP 제작기법을 적용한 최초의 한국인 전신 모의 피폭체로서 한국인 고유의 방사선방호량 산출에 있어 그 효용가치가 높을 것으로 기대된다. 향후 본 연구에서 수행한 단일에너지 감마선장 이외에 추가적으로 다양한 방사선장에서의 피폭체의 검증 및 교정이 요구되며 이를 통하여 진단 및 치료 방사선에 의한 환자의 선량평가 등의 외부피폭선량과 적절한 형태의 방사성동위원소의 피폭체내 장착을 통한 내부피폭선량 산출 및 교정용 피폭체로서의 활용 또한 가능하리라 판단된다. 

[참고문헌]

- [1] ICRP, Reference Man: Anatomical, Physiological and Metabolic Characteristics. ICRP Publication 23, Oxford: Pergamon Press. (1975).
- [2] IAEA (1998), Compilation of Anatomical, Physiological and Metabolic Characteristics for a Reference Asian Man, vol.1, Data Summary and Conclusion, vol.2, Country Reports, IAEA-TECDOC-1005, IAEA, Vienna.
- [3] ICRP, Basic Anatomical and Physiological data for use in Radiological Protection : Reference Values, ICRP Publication 89, Oxford: Pergamon Press. (1975).
- [4] ICRU, Phantom and Computational Models in Therapy, Diagnosis and Protection, Internal Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU Report 48(1992).
- [5] Ashley, S., Rapid prototyping is coming of age. Mechanical Engineering 117(7), 62-68 (1995).
- [6] ICRU, "Tissue substitutes in radiation dosimetry and measurement", Internal Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU Report 44(1989).