

전신계측기를 이용한 원전종사자 방사성오염 위치확인 내부방사능 측정개선에 관한 연구

김희근, 공태영

한전 전력연구원

2008년 12월 19일 접수 / 2009년 1월 19일 1차수정 / 2009년 1월 21일 채택

국내 원전에서는 원전종사자의 내부피폭 방사능을 측정하기 위해 전신계측기를 이용하고 있다. 이 전신계측기는 Sodium Iodide를 이용한 섬광검출기로서 짧은 시간에 종사자가 보유한 방사성핵종과 방사능을 측정하는 기능을 가지고 있다. 그런데 종사자의 신체표면에 부착된 오염과 내부에 침적된 오염을 구분하지 못하기 때문에 방사선계측 과정에서 종종 오류를 범할 가능성이 있으며, 이 경우 내부피폭선량은 매우 보수적으로 과대평가된다. 이러한 문제점을 개선하고자 종사자의 인체 내부와 외부 표면오염을 구분하고, 보다 체계적으로 오염 부위를 확인할 수 있도록 전신계측기와 인체모형 팬텀을 이용한 방사능 계측 실험을 수행하였다. 또한 원전에서 발생하는 주요 핵종의 신체내 침적위치를 고려하여 전신계측기의 최적 방사능 측정모드를 결정하는 실험을 수행하였다. 이러한 방사능 측정 실험결과를 근거로 원전종사자의 내부방사능 측정과 선량평가 절차를 개선하였다. 이에 따라 보다 정확한 전신계측프로그램의 적용으로 내부피폭선량의 보수적 평가를 방지할 수 있을 것으로 기대된다.

중심어: 전신계측기, 인체모형 팬텀, 내부피폭 방사능, 방사성오염구분, 측정모드

1. 서론

원전에서는 원전종사자의 체내 방사능오염 핵종과 방사능을 검출하기 위해 전신계측기(Whole Body Counter: WBC)를 이용하고 있다. 전신계측기는 방사선에 민감하게 반응하는 섬광물질로 채택한 검출기 형태가 주류를 이루고 있다. 국내 원전에서는 전신계측기로서 대부분 NaI Crystal을 섬광체로 채택한 미국 Canberra사에서 제작한 Fastscan 2250 Model이 사용되고 있다. 이 계측기는 직선형 측정모드(Linear geometry mode)를 채택하고 있어 측정위치나 측정모드에 따른 측정값의 오차가 낮고, 짧은시간 계측으로 쉽게 방사능을 검출할 수 있으며, 검출한도가 낮은 것이 특징이다[1]. 이외에도 원자력본부별로 고순도게르마늄 검출기(HPGe detector)를 갖춘 침대형(Bedtype) 전신계측기를 보유하고 있다.

그런데 전신계측기는 종사자의 신체표면에 부착되어 있거나 또는 인체 내부에 침적된 방사성물질을 구분하지 못하는 문제점이 있다. 이처럼 인체 외부가 방사성물질로 오염되어 있을 경우에도 이를 인체 내부에 침적된 방사능으로 계측하게 된다. 이에 따라 방사능은 매우 보수적으로 측정되게 된다. 즉, 인체내부에 방사능이 침적된 경우 방사선이 인체에 의한 차폐로 감쇠되어 계측되지만, 인체외부에 오염되었을 경우 차폐가 없이 방사능이 보수적으로 계측된다. 더욱 표면 오염으로 방사선원과 검출기와의 거리가 짧아져 방사능은

실제 값보다도 매우 커지게 된다. 이에 따라 섭취량 산정과 예탁유효선량 평가에서 극단적으로 차이를 보이기 때문에 보수적 평가의 착오를 범하게 된다[2].

국내 원전종사자는 내부방사선피폭에 대해 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 외부피폭 선량과의 비교에서도 동일한 선량 또는 그 이하의 선량임에도 불구하고 내부피폭선량을 더 위험한 것으로 인식하고 있었다. 이런 이유로서 외부피폭은 신체외부에서 피폭으로 상대적으로 덜 위험하다고 느끼고 있었다. 이에 비해 내부피폭은 신체내로 흡입된 방사성물질에 의해 피폭이 이루어지기 때문에 적은 양의 피폭이라도 더 위험하다고 느끼는 감성적인 인식을 갖고 있는 것으로 조사되었다[3]. 이러한 점을 고려한다면 내부피폭 선량평가의 과정에서 관리 측면의 보수적 평가의 개념보다는 실제적 선량을 정확하게 평가해야 하는 개념으로 바뀌어야함을 내포하고 있다고 판단되었다.

한편 국내 원전에서 운용중인 전신계측기는 방사성핵종의 인체 내부 침적위치를 고려하여 갑상선, 폐, 하복부 및 전신 등 4가지 측정모드를 채택하고 있다. 따라서 6개월에서 1년 주기로 수행되는 전신계측기(WBC)의 교정과정에서는 이러한 4가지 측정 모드에 대해 교정이 이루어지고 있다. WBC 교정 완료 후에는 ANSI N13.30의 지침에 따라 각 교정결과를 검증하는 과정을 거치고 있다[4]. 그런데, 지금까지 원전에서 내부방사능 측정의 경험에 WBC의 전신 측정모드(Whole body geometry)를 제외하고는 거의 사용하지 않고 있는 실정이다. 이런 이유는 WBC 측정모드에서 전신 측정모드가 가장 보수적인 방사능계측 결과를 제시하고 있고, 오염의 위치에 따른 계측과정에서의 오차가 가장 적기 때문이다.

이러한 보수적인 전신 측정모드를 이용하더라도 문제가 되지 않는 이유는 WBC를 이용한 내부방사능 계측 값이 실질적으로 매우 낮아 예탁유효선량(Committed effective dose) 평가결과 보고준위 이상으로 산출된 적이 거의 없었기 때문이다. 국내 원전에서의 방사선관리 경험에 의하면 WBC를 이용한 내부방사능 계측과 예탁유효선량을 평가하기 위한 목적보다는 작업장이 방사성물질로 오염되지 않았다는 사실을 확인하는 목적으로 주로 이용하여왔다. 그런데 최근 국내 원전에서 내부 방사능오염이 보다 자주 일어나고 있으며, 이에 따른 예탁유효선량도 점점 늘어나는 추세에 있다. 따라서 국내 원전의 보수적 WBC 운용보다는 보다 정확한 평가를 지향하는 방향으로 바뀌어야함을 내포하고 있다고 판단되었다[3,5].

이러한 국내 원전의 WBC 운용상의 문제점을 개선하고자 종사자의 인체 내부에 침적된 오염과 외부 표면오염을 구분하는데 필요한 각종 자료를 산출하기 위한 방사능 측정실험을 수행하였다[6]. 또한 원전에서 발생하는 코발트와 요오드 등 주요 핵종의 신체 내 침적위치를 고려하여 전신계측기의 최적 방사능 측정모드를 결정하는 실험을 수행하였다. 이들 실험에는 국내 원전에서 보유중인 전신계측기와 한국인 인체모형 팬텀과 전신계측기 교정 목적의 Transfer phantom 그리고 표준 방사선원등이 이용되었다. 이러한 전신계측기 방사능 측정 실험결과를 근거로 WBC 측정결과를 근간으로 원전종사자의 방사성오염 위치를 확인하고 내부방사능 측정 절차의 개선방안을 마련하였다.

2. 전신계측기와 팬텀 및 선원

국내 원전에서 원전종사자의 전신계측을 위해 NaI 검출기가 탑재된 전신계측기(Whole Body Counter: WBC)를 이용하고 있다. 이 검출기는 7.6x12.7x40.6cm 크기의 대형 NaI 섬광검출기 두개를 내장하고 있으며, 직립 선형 측정구조(Stand type linear geometry)를 채택하고 있다. 이 계측기는 300keV에서 1.8MeV의 광자에서 발생하는 방사선을 효과적

으로 검출할 수 있으며, 짧은 계측시간으로 신속하게 핵종을 찾아내는 특징이 있다. 이에 따라 1분간의 방사능 측정으로 Co-60에 대해 약 150Bq 정도로 최소검출준위(Lower Limit of Detection: LLD)가 우수하게 나타나고 있다. 이외에 원전 부지별로 전신계측 검출기로 고성능반도체 검출기(HPGe detector)를 채택한 침대형 선형 측정구조(Bed type linear geometry) WBC를 추가적으로 확보하여 운영하고 있다. 그림-1에 원전에서 사용 중인 선형 측정구조 형태의 전신계측기의 외관을 나타내었다.

방사능 측정실험에는 두개의 인체모형 팬텀이 사용되었다. 하나는 방사선보건연구원(RHRI)에서 제작한 표준 한국인 인체모형 팬텀이고, 다른 하나는 Canberra사의 Transfer phantom 이다[7-9]. 표준 한국인 인체모형 팬텀은 2cm 간격으로 나누어져 있어 방사성물질을 삽입하거나 실험에 따라 분리가 가능하게 제작되었다. 이 팬텀의 전면에 1-14까지, 뒷면에 15-28까지 방사선원을 붙이도록 번호를 매겼다. Transfer phantom은 갑상선, 폐, 하복부 및 전신위치에 액체 표준방사선원 바이알(Vial)을 위치시켜 WBC를 쉽게 교정이 가능하도록 제작되었다. 이들 두 팬텀의 사진을 그림-2와 3에 나타내었다.

방사능 측정실험에는 2종류의 표준 방사선원이 이용되었다. 한 종류의 선원은 한국표준과학연구원에서 특수하게 제작한 ^{137}Cs 과 ^{60}Co 표준 방사선원을 이용하였다[10]. 이들 선원의 외부는 비닐로 코팅 처리하여 방사성물질이 누설되지 않도록 처리하였다. 인체의외부 표면 오염을 고려한 실험에서는 표준한국인 인체모형팬텀의 번호위치에 표준 방사선원을 부착한 후 WBC로 방사능을 측정하였다. 이러한 방사능 측정 실험은 표준한국인 인체모형 팬텀의 슬라이스 위치마다 실시되었다. 또한 인체 내부의 방사능오염을 고려한 실험에서는 표준한국인 인체모형팬텀의 슬라이스 사이에 표준선원을 위치하였다. 한편 WBC 측정 모드의 실험을 위해 미국 Analytics 사로부터 20ml 바이알에 들어있는 액체형태의 표준선원을 구입하여 실험에 이용하였다. 이 선원은 Transfer phantom의 갑상선, 폐, 하복부 및 전신측정 모드의 위치에 선원을 위치시키고 방사능 측정 실험을 수행하였다.



Fig. 1. Whole Body Counter (Canberra's Fastscan and Accuscan).

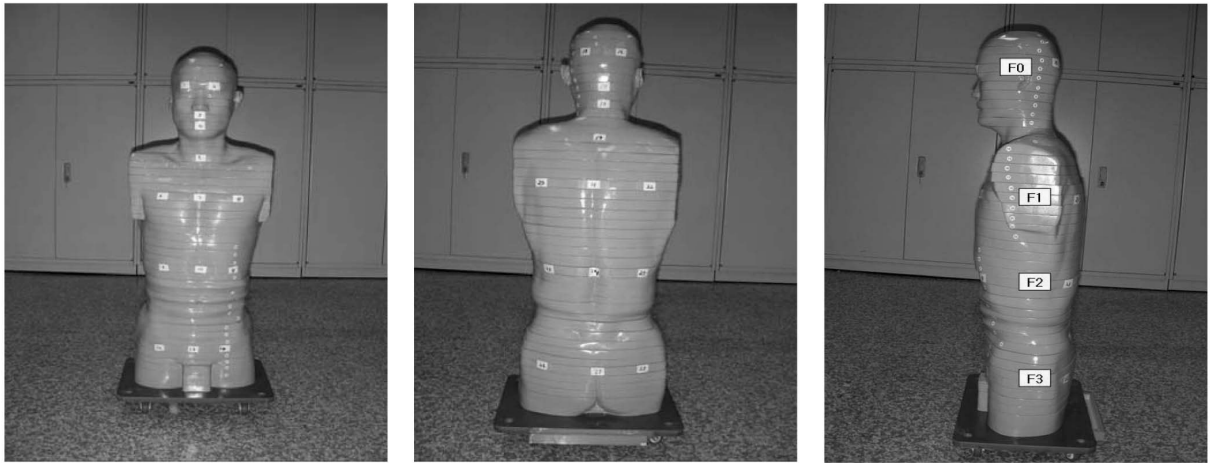


Fig. 2. Humanoid phantom of typical Korean male.

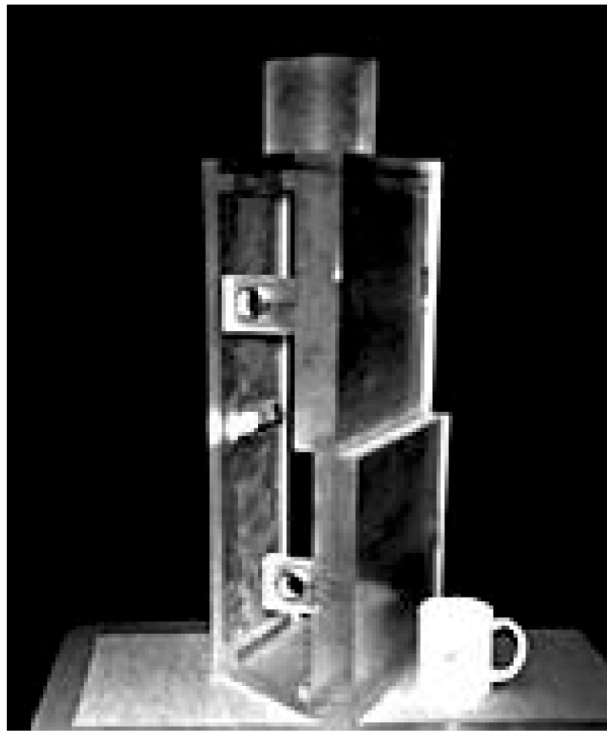


Fig. 3. Canberra Transfer Phantom.

3. 방사능 측정실험

WBC를 이용한 인체 외부와 내부의 방사성오염을 구분하고, 최적의 측정모드를 결정하기 위한 실험이 다양하게 수행되었다. 먼저 인체의외부와 내부의 표면오염을 구분하기 위한 방사능측정 실험을 수행하였다. 이를 위해 표준한국인 인체모형팬텀의 번호 위치에 표준 방사선원을 부착하여 팬텀의 전면과 후면을 번갈아 가면서 방사능을 측정하였다. 즉 팬텀의 전면에 선원을 부착한 후 WBC를 이용해 방사능을 측정하였고, 180° 돌려서 다시 방사능을 측정하였다. 이와 반대로

팬텀의 후면에 표준 방사선원을 부착하고 방사능을 측정한 후, 180° 돌려서 방사능을 측정하는 실험도 수행되었다. 이 경우 인체내부 오염이 아닌 외부오염이라면 전면 측정과 후면 측정의 방사능 값이 큰 차이를 보이게 된다.

두 번째로 표준 방사선원을 표준한국인 인체모형 팬텀의 안쪽의 슬라이스 사이에 위치시키고 전면과 후면을 돌려가면서 방사능을 측정하였다. 이 경우는 인체 내부오염이기 때문에 전면측정과 후면측정의 방사능 값이 큰 차이를 보이지 않게 된다. 세 번째 실험은 방사선작업종사자의 옆구리 오염을 가정하여 표준 방사선원을 인체모형팬텀의 옆구리에 부착하고 방사능 측정실험을 수행하였다. 이외에도 내부와 외부의 동시오염을 고려한 방사능측정 실험, 옆구리와 동시오염에 대한 방사능 측정실험도 수행되었다.

마지막으로 원전에서 발생하는 주요 방사성핵종의 인체내부 침적위치를 고려한 WBC 측정모드의 선정에 관한 실험을 수행하였다. 이 실험에서는 Transfer phantom과 바이알에 들어있는 액체 표준방사선원이 이용되었다. WBC의 각 침적위치에(예, 갑상선, 폐, 하복부 및 전신) 방사선원을 위치시키고 WBC의 측정모드를 바꾸어가면서 방사능을 측정하였다. 이러한 과정을 통해 주요 핵종의 침적위치별 최적 측정모드를 확인하였고, 각 측정모드의 보수성을 확인하였다. 또한 표준한국인 인체모형팬텀의 각 슬라이스별로 표준 방사선원의 위치를 바꾸어가면서 WBC 상하 검출기가 계측하는 방사능 값의 비율을 조사하였다. 이러한 실험결과를 이용해 종사자의 방사성오염 부위를 찾고자 하였다. 보다 상세한 실험방법과 내용은 전력연구원이수행한 연구보고서에 기술되어 있다[6].

4. 실험결과와 적용방향

인체 외부와 내부의 방사능오염을 구분하기 위한 실험결과와 표면오염을 가정하여 인체모형 팬텀의 전면에 표준방사선원을 부착한 경우 WBC를 이용한 전면과 후면의 방사능 측정값의 비율이 ^{60}Co 은 8.3 ± 3.1 , ^{137}Cs 은 13.4 ± 5.1 로 나타났다. 반대로 표준방사선원을 인체모형 팬텀의 후면에 위치하고 측정

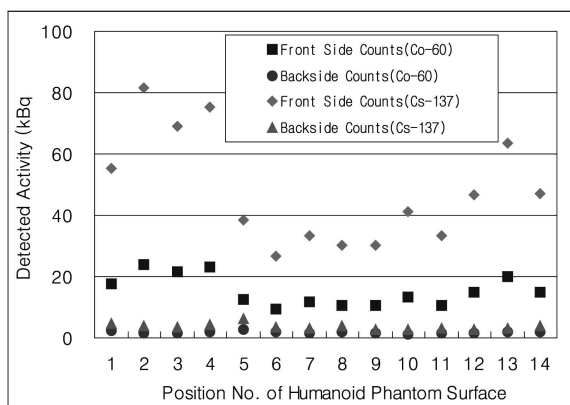
한 결과 ^{60}Co 은 7.7 ± 3.9 , ^{137}Cs 은 12.4 ± 8.5 로 나타났다. 이를 그림-4에 나타내었다. 이러한 결과는 원전에서 방사선작업종사자의 인체표면에 방사능오염이 발생한 경우 WBC를 이용하여 전면과 후면을 번갈아 측정하여 방사능 값의 비율을 점검함으로써 오염부위를 쉽게 찾아낼 수 있다고 판단된다. 한편 측면의 방사능오염에 대한 실험을 수행하였는데 ^{60}Co 과 ^{137}Cs 모두 비율이 1.2 ± 0.2 로 나타났다. 이를 그림-5에 나타내었다. 또 다른 실험은 방사선작업종사자의 전면과 후면의 동시오염을 고려한 방사능 측정실험을 수행하였다. 이 결과도 방사능 값의 비율이 두 핵종 모두 2.0미만으로 나타났다. 이러한 결과는 측면 오염이나 전후면 동시오염의 경우 WBC를 이용하여 오염의 확인이 쉽지 않음을 간접적으로 제시해주고 있다.

인체 내부오염인 경우 표준한국인 인체모형 팬텀의 슬라이스 사이에 표준방사선원을 위치시키고 전후면 방사능 측정 실험을 수행하였다. 그 결과 ^{60}Co 선원은 1.4 ± 0.6 , ^{137}Cs 선원은 1.5 ± 0.7 로 나타났다. 이처럼 내부오염의 경우 전면과 후면의 방사능측정 비율이 높지 않음을 보여주고 있는데, 이러한 사항은 종사자의 전후면 WBC 측정을 통해 내부오염과 외부오염을 쉽게 구분이 가능함을 제시해주는 결과이다. 이를 그림-6에 나타내었다. 한편 외부와 내부 동시 오염을 고려한 실험도 수행되었다. 그 결과 방사능 비율이 2.0에서 3.1로 나타났다. 또한 외부 또는 내부와 측면 동시오염을 고려한 실험

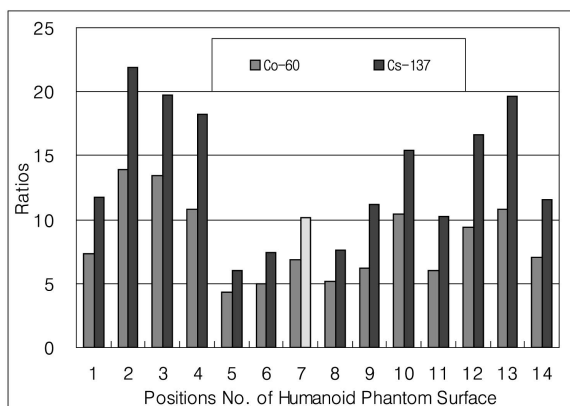
를 수행하였다. 이러한 내용은 전력연구원에서 수행한 연구개발 최종보고서에 상세히 제시되어 있다[6].

마지막으로 WBC를 이용하여 주요 방사성핵종의 측정모드의 선정에 관한 실험을 수행하였다. 이 실험에서는 표준방사선원을 체내 침적위치를 고려하여 각각 갑상선, 폐, 하복부 및 전신에 위치시키고 WBC의 측정모드를 번갈아 가면서 방사능을 측정하였다. 그 결과 전신측정모드를 적용하여 측정된 경우가 다른 측정모드로 측정된 경우보다 최대 2배 이상 높게 나타났다. 이러한 결과는 각 측정모드 중에서 전신측정모드가 가장 보수적으로 방사능을 측정하고 있는 것으로 나타났다. 이를 그림-7에 나타내었다.

이러한 WBC 측정모드에 관한 실험 결과는 원전에서 인체내부에 침적된 방사성핵종을 모를 때는 전신 측정모드를 적용하여 전신계측을 하여야하나, 만약 섭취 핵종과 섭취 후 경과시간을 알고 있다면 측정모드를 바꾸어 재 측정해야 함을 암시하고 있다. 이에 대한 대표적인 핵종이 ^{131}I 핵종이라고 판단된다. 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection) 보고서에 따르면 요오드는 체내 흡입 후 1-2일 사이에는 전신에 분포하나 시간이 경과하면 갑상선에 모이는 특성이 있다[11,12]. 이러한 ^{131}I 섭취에 따른 내부피폭은 수년전 국내원전에서 발생하여 내부피폭 방사능측정과 선량평가 과정에서 시행착오를 겪은 바 있다[5]. 따라서

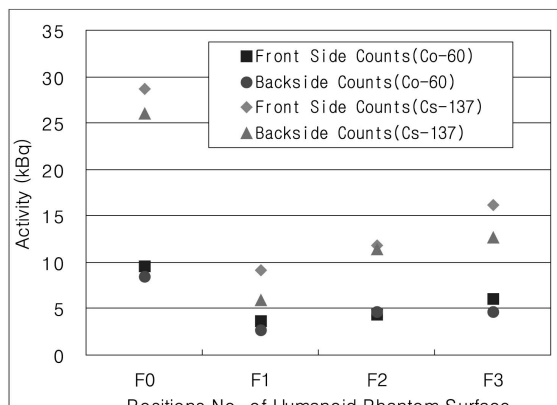


(a)

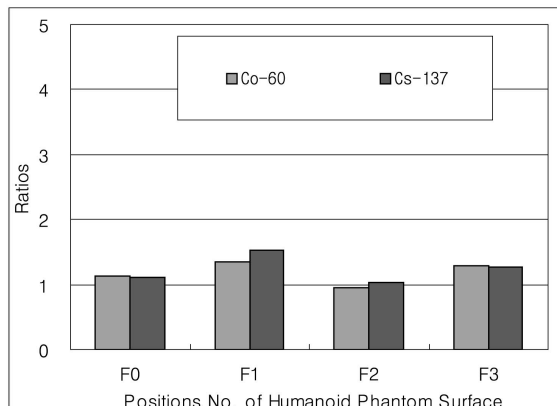


(b)

Fig. 4. The detected activities (a) and the average ratios (b) of the front and backside counts from experiments on external (front side) radioactive contamination.

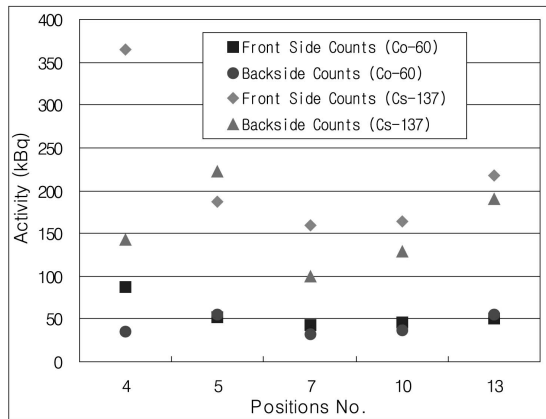


(a)

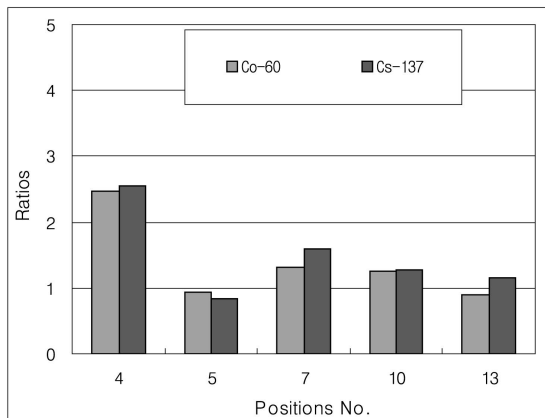


(b)

Fig. 5. The detected activities (a) and the average ratios (b) of the front and backside counts from experiments on flank radioactive contamination.



(a)



(b)

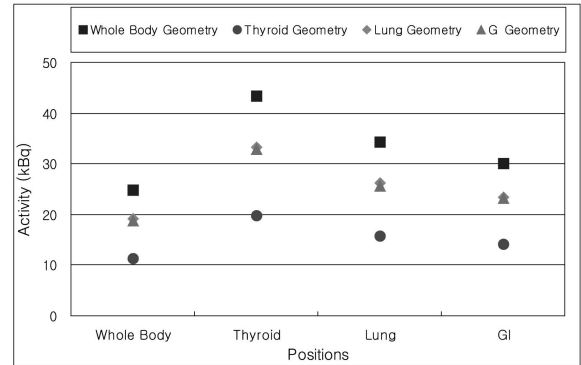
Fig. 6. The detected activities (a) and the average ratios (b) of the front and backside counts from experiments on internal radioactive contamination.

요오드의 흡입에 따른 전신계측에서는 초기에는 전신측정모드로 측정하나, 일정시간이 경과하고 핵종이 확인된 이후에는 감상선 측정모드를 적용하여야 보수적인 측정을 방지할 수 있다고 판단되었다.

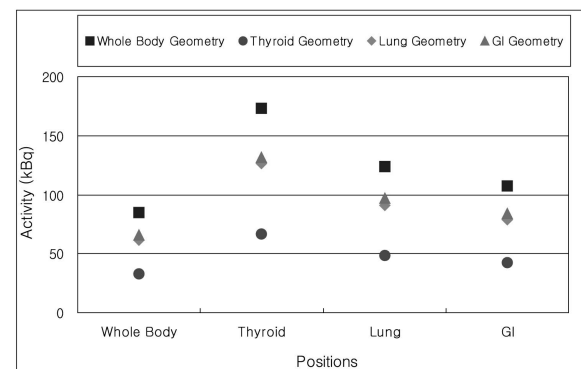
이외에 표준한국인 인체모형 팬텀의 각 슬라이스별로 표준 방사선원의 위치를 바꾸어가면서 WBC 상하 검출기가 측정하는 방사능 값의 비율을 조사하였다. 이 실험결과는 머리(15번 슬라이스) 위치까지는 상하검출기의 비율이 90:10으로 일정하게 유지되나 그 이후 급격히 역전되는 현상을 보여주고 있다. 흉부 아래(약 29,30번 슬라이스) 위치에서 50:50으로 평형을 이룬 후 하복부로 내려갈수록 상하 검출기의 비율이 재역전되는 현상을 보여주고 있다. 이러한 결과는 WBC 상하 검출기의 측정 비율을 이용하여 방사성물질의 침적위치를 추정할 수 있다고 판단되었다. 이러한 실험결과를 그림-8에 나타내었다.

5. 결론

원전종사자의 방사능오염과 내부방사능 측정절차를 개선하기 위해 전신계측기를 이용한 방사능 측정실험이 수행되었다. 여기에는 원전에서 사용중인 전신계측기, 인체모형 팬텀과 Transfer phantom 및 표준방사선원 등이 이용되었고,



(a)



(b)

Fig. 7. The detected activities of experiments to select an optimal WBC geometry: (a) ^{60}Co , (b) ^{137}Cs .



Fig. 8. The percent of counts on upper and lower detectors of WBC.

원전의 방사선작업과정에서 실제로 발생 가능한 방사성오염 상황을 모사하여 실험방향을 결정하였다.

이러한 실험을 통해 인체내부 오염과 외부오염을 구분하는 기준을 정립하였다. 표준방사선원을 인체모형 팬텀의 외부와 내부에 위치시켜 전신계측기로 측정된 전면과 후면의 방사능 측정값의 비율이 2배 이상인 경우에는 외부오염으로 추정할 수 있다. 이러한 연구결과는 원전에서 방사선안전관리를 수행하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 판단되었으며, 이를 근거로 원전의 전신계측 절차가 개정되었다[13]. 그러나 인체내부와 외부의 동시오염이나 측면 오염의 경우 실무적인 적용에는

좀더 많은 추가 검토와 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

전신계측기, Transfer phantom과 액체 표준방사선원을 이용한 측정모드의 실험결과와 전신측정 모드가 가장 보수적인 결과를 주는 것으로 나타났다. 이러한 사항은 원전에서 내부방사능 오염이 발생한 경우 전신측정 모드를 적용하고 있어 보수적으로 안전하게 측정하고 있는 것으로 확인되었다. 그럼에도 불구하고 핵종과 섭취 후 시간을 알 수 있는 재측정 과정에서는 핵종의 침적위치를 고려한 측정모드의 변경이 바람직하다고 판단되었다. 또한 인체모형팬텀의 위치별 전신계측기의 상하 검출기의 방사능 측정값의 비율을 조사하였다. 이 결과 전신계측기 상하검출기의 측정값 비율은 표준 방사선원의 위치에 따라 일정한 형태를 보이는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 전신계측기의 상하검출기 측정값의 비율을 이용하여 원전종사자의 방사성 오염부위나 침적부위를 찾는 것이 가능한 것으로 확인되었다.

이러한 전신계측기를 이용한 방사능 측정 실험결과를 근거로 원전종사자의 방사성오염 위치의 확인과 내부방사능 측정과 선량평가가 절차를 개선하였다. 이에 따라 국내원전에서는 보다 정확하고 실제적인 내부피폭 선량평가가 가능해졌으며, 체계적인 방사선안전관리를 수행하는데 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 한국수력원자력(주)와 한전 전력연구원의 전
력사 공동중앙기 연구개발 사업에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Canberra. FASTSCAN and ACCUSCAN, High-Throughput Whole Body Counter. 2002.
2. Frazier Bronson. In-vivo Counting: How to obtain the best result. Canberra. 2000.
3. 송영일. 원전 방사선안전관리에 대한 종사자 설문조사 결과 분석. 2003 KINS 방사선안전평가 심포지엄. 교육문화회관. 2003.
4. ANSI. Performance Criteria for Radiobioassay. HPS N13.30. American National Standard Institute. 1996.
5. 김희근. 요오드-131 흡입에 따른 내부피폭 선량평가 방법의 고찰. 2003 KINS 방사선안전평가 심포지엄. 교육문화회관. 2003.
6. 한국수력원자력(주). 내부 방사능 오염 측정 및 선량평가 검증 체계 기술개발(I05NJ14). 2006.
7. Canberra. Abacos Plus Body Burden System Operation. SU-425-4. 2003.
8. Kim IJ, Choi H, Lee BI, Lim YK, Lee CS, Lee JK and Lee C. Physical Phantom of Typical Korean male for Radiation Protection Purpose. Journal of Radiation Protection Dosimetry. 2006;118:131-136.
9. Canberra. Model 2257A Canberra Transfer Phantom. 2002.
10. 한국표준과학연구원. 표준물 질인증서. 2005.
11. ICRP. Individual Monitoring for Intakes of radionuclides by Workers: Design and Interpretation. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 54. 1987.
12. ICRP. Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers Replacement of ICRP Publication 54, International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 78. Pergamon Press. 1997.
13. 한국수력원자력주식회사. 원자력발전소 표준기술형 정절차서. 내부피폭 방사선량 측정 및 평가. 표준기행 방사선-06. 2007.

A Study on the Verification and Improvement to Locate and Determine the Radioactive Contamination Using a Whole Body Counter

Hee Geun Kim, Tae Young Kong
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - Whole body counters (WBCs) are used to monitor radiation workers for internal contamination of radionuclides at domestic nuclear power plants (NPPs). A WBC is a scintillation detector using sodium iodide (NaI) and provides the identification of inhaled radionuclide and the measurement of its internal radioactivity in a short time. However, it is often possible to estimate external contamination as internal contamination due to radionuclides attached to the skin of radiation workers and this leads to an excessively conservative estimation of radioactive contamination. In this study, several experiments using a WBC and the Korean humanoid phantom were performed to suggest the more systematic method of discrimination between external and internal contamination. Furthermore, a WBC geometry experiment was conducted to suggest the optimal WBC geometry in consideration of deposited areas inside the body for dominant radionuclides at NPPs. The procedure of measurement and estimation of internal radioactivity for radiation workers at NPPs was improved on the basis of experimental results. Thus, it is expected to prevent from estimating internal exposure dose conservatively owing to the application of accurate whole body counting program to NPPs.

Keywords : Whole Body Counter, Humanoid Phantom, Internal Exposure Dose, Discrimination between External and Internal Radioactive Contamination, Measurement Geometry