

방사선비상시 비강스메어 시료의 전알파 분석 및 내부피폭선량평가 절차

윤석원, 하위호, 김미령, 이승숙
한국원자력의학원 국가방사선비상진료센터

2012년 11월 14일 접수 / 2012년 12월 12일 1차 수정 / 2012년 12월 14일 채택

방사선 사고시 피폭환자로부터 채취된 스메어 시료의 전알파 분석과 방사능 측정법을 수립하였으며 이를 바탕으로 피폭환자의 후속조치 절차를 확립하였다. 국내방사선사고 대응기관에서 사용중인 스메어용 면봉을 이용하여 계측 절차를 검증하였다. 액체섬광계수기를 이용하여 표준선원을 점적한 시료의 계측 결과 20% 이내에서 인증값과 잘 일치하였으며, 채취 조건은 세정제 등을 이용하는 것이 더 높은 스메어 효율을 보였다. 액체섬광계수법 특성상 소광현상의 영향을 배제하기 위해 건조 등의 최소한의 전처리가 필요 할 것으로 판단되었다. 계측결과를 바탕으로 방사선비상시 피폭환자에 대한 의료적 처치 기준 및 선량평가 절차를 수립하였다.

중심어 : 비강스메어, 전알파, 방사선비상, 내부피폭선량평가

1. 서론

방사선 사고시 피폭환자의 비강스메어 시료 계측은 초기 사고정보가 부족 할 때 오염원을 판단 할 수 있고 심각한 내부오염 발생시 다른 선량평가 방법과 더불어 피폭환자의 의료적 개입을 판단 할 수 있는 중요한 근거가 된다[1]. 일반적으로 국내외 방사선비상진료 절차에서는 제염 이전에 내부피폭평가를 위한 비강스메어 또는 nose blow 시료를 채취하도록 권고하고 있으며, 인체 내부피폭 위해도가 높은 알파선방출핵종의 경우 초기 흡입량 평가 및 핵종판별이 신속하게 이루어진다면 내부피폭선량평가 및 오염핵종에 따른 의료적 처치 또한 신속히 수행될 수 있을 것이다[2-4]. 실제 국내에서 실시중인 방사선비상진료훈련 과정에서 피폭환자는 응급실 후송 직후 시료채취용 면봉을 사용하여 비강스메어 시료를 채취하는 과정을 훈련에 포함하여 실시하고 있으며 채취된 시료는 현장에서 계측하여 내부피폭이 의심될 경우 즉각적인 의료적 처치가 가능하도록 절차가 수립되어 있다. 하지만 베타/감마선 방출 핵종의 경우 현장에서 간단한 표면오염도 측정기로도 스메어 시료의 계측이 가능하기 때문에 신속한 처치를 예상 할 수 있으나 알파선방출핵종에 의한 내부오염시 계측기의 심한 방향성 및 알파선의 낮은 비정도로 인해 계측이 매우 어려울 것으로 예상된다.

본 연구에서는 방사선비상시 피폭환자로부터 채취된 스메어 시료의 전알파 분석과 방사능 측정법을 검증 및 수립 하

였으며 이를 바탕으로 피폭환자의 후속조치 절차를 확립하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 계측법

국내 방사선 사고 대응기관에서 사용중인 스메어용 면봉을 기준으로 계측 절차를 검토하였다. 면봉시료의 비강 접촉 부분은 면봉 끝 부분으로부터 17 mm로 가정하였으며 실험실에 시료가 도착하였을 때 비강 세척용제나 비루

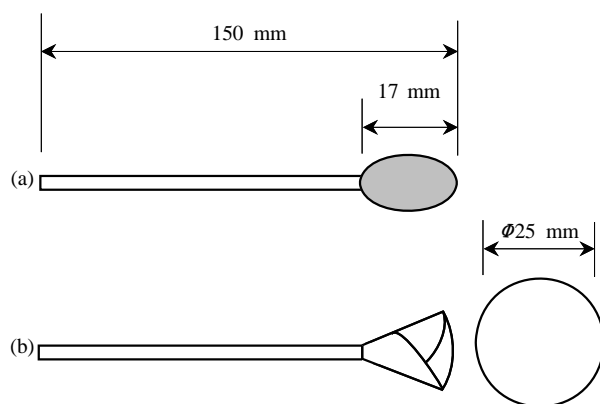


Fig. 1. (a) A cotton swab stick for nasal smear, which is normally used for radiation emergency in local hospitals. (b) Glass fiber filter for nasal smear applied to swab stick applicator for radionuclide identification. 17 mm was assumed as the contact area to a nasal cavity.

책임저자 : 윤석원, ysw@kirams.re.kr
서울특별시 노원구 노원길 75 한국원자력의학원 보건물리팀

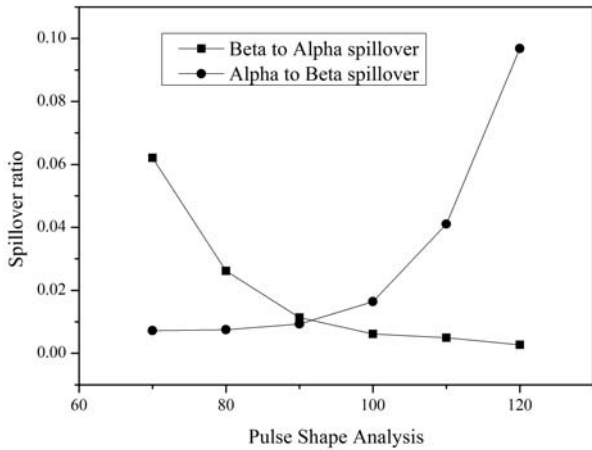


Fig. 2. Spectrum of pulse shape analysis for alpha and beta radiation. All spectrum were induced with certified reference materials.

등에 의해 비강 접촉부분은 젖은 상태일 것으로 가정하였다(Fig. 1(a)). 시료의 건조는 적외선 램프를 이용하여 10분간 건조하였고, 비강에 직접 접촉하는 17 mm 부분만 절단하여 20 ml 용량의 polyethylene 용기에 담았다. 섬광체(Ultima Gold LLT, Perkin Elmer, Inc., U.S.)를 20ml 첨가 한 후 30분간 계측 하였다. 시료 계측에는 극저준위 액체섬광계수기를(Quantulus 1220, Perkin Elmer Inc., U.S.) 이용 하였으며 pulse shape analysis 기능을 이용하여 전알파 방사능 측정을 위한 최적의 설정값을 얻었다(Fig. 2). 계측 효율은 액체섬광계수기의 경우 시료에서 발생하는 소광현상에 지배적인 영향을 받으므로 표준 시료를 제작하여 계측효율을 결정하였다. 총 5개의 표준 시료를 제작하였으며 각 면봉에 초순수 30 μ l를 첨가 후 ^{241}Am 표준선원을 10 μ l씩 첨가하였다. 적외선 램프에서 10분간 건조 후 계측용기에 면봉의 비강 접촉부분을 잘라 넣은 후 30분간 계측하였다. 계측효율은 5개 시료의 계측효율 표준편차가 11%로 일정하였으며 반복된 계측값의 평균을 시료의 계측효율로 결정 하였다. 분석절차의 검증에 위해 면봉에 표준선원을 점적한 시료를 다수 제작하여 측정하였으며 계측 결과를 표준선원의 인증농도와 비교 하였다.

2.2. 시료 채취

피폭환자로부터 비강스메어 시료채취시 비강세척제의 사용에 따른 방사성 물질 제거 효율을 실험 하였다. 비강세척제의 사용으로 인한 제거효율 측정을 위해 실험결과에 영향을 줄 수 있는 외부요인을 최대한 배제하기 위해서 원형 플란켓을 사용하여 실험 하였다. 계측에는 가스비례계수기(Tennelec 5XLB, Canberra Inc. U.S.)를 사용하였으며, 지름 1/8"의 스테인레스 플란켓에 ^{241}Am 표준선원을(Analytics Inc., U.S.) 일정량 첨가 후 적외선 램프에서 10분간 건조 하였다. 비강세척제 등의 세정용제 사용을 가정하여 스메어 직전 초순수 30 μ l를 선원의 첨가 지점에 점적하였으며 바로 면봉으로 플란켓을 스메어 하였다. 스메어가 끝난 플란켓은 가스비례계수기로 계측하

였다. 계측기는 성능점검을 위해 교정용 표준선원을 이용하여 주기적으로 실시하고 있으며, 미국 국립표준과학연구원(NIST)과 교차분석을 통해 전알파/베타 계측 결과의 품질을 관리 하고 있다. 정확한 계측결과 산출을 위해 계수 효율은 빈 플란켓에 각기 다른 농도의 표준알파선 방출선원을 점적하여 건조 시킨 후 효율측정용 시료를 제작 하였으며 산출된 계수효율을 바탕으로 시료농도를 계산 하였다. 환경이나 기타 요인에서 발생 할 수 있는 백그라운드 방사능과 가스비례계수기 특성상 발생 할 수 있는 알파/베타 오계수값(spillover)을 보정하여 결과를 산출 했다.

2.3. 채취 조건 및 핵종 판별

한편 피폭환자로부터 시료채취 과정에서 사용하는 비강세척용제나 인체에서 발생하는 비루의 양이 모두 같을 수는 없으므로 발생하는 액체의 양에 따른 방사능 농도의 경향성을 파악하였다. 10-40 μ l 의 초순수를 각각 10 μ l씩 증가시켜 면봉에 점적하였으며 일정한 농도의 선원을 첨가하여 액체섬광계수기로 측정 후 결과를 비교하였다. 또한 시료의 특성상 가급적 시료 처리시간을 단축시키기 위해 시료 건조과정의 필요성을 검토하였다. 초순수와 선원 점적 후 적외선 램프 적용 유무에 따른 스메어 효율을 비교 하였으며 계측은 액체섬광계수기를 이용하였다.

비강스메어를 통한 전알파 방사능은 오염여부의 판단을 위해 중요한 자료로 이용 될 수 있지만 오염 핵종의 판별에는 한계가 있다. 인체 내부로 흡입된 선원의 물리적 형태에 따라 의학적 처치나 피폭선량 평가 결과가 달라 질수 있으므로 신속하게 이러한 정보를 얻는 것은 의학적 처치나 내부피폭선량 평가에 있어서 중요한 기초자료가 될 것이다[6]. 알파선 방출 핵종의 경우 물리적 특성상 핵종순수분리를 통한 분석에는 많은 시간이 요구되므로 본 연구에서는 핵종판별에 중점을 두어 알파분광분석기를 이용하여 분석을 수행하였다. 모의시료는 ϕ 25 mm의 glass fiber 필터를 사용하였으며 초순수 30 μ l를 첨가후 ^{241}Am 과 ^{210}Po 표준선원을 동시에 첨가하였다(Fig. 1(b)). 면봉시료와 동일하게 적외선 램프에서 10분간 건조후 계측하였다. 계측에는 표면이온주입형반도체 검출기(PIPS)를 사용한 알파선분광분석시스템(Alpha Analyst, Canberra Inc., U.S.)을 사용하였으며 시료는 100,000초 계측하였다.

한편 모의 시료 계측결과를 바탕으로 비상시 피폭환자의 스메어 시료 채취 절차를 수립하였고 대량 사상자 발생시 의학적 처치 기준 및 내부선량평가 절차에 대해 논의 하였다.

3. 결과 및 논의

3.1. 표준시료 계측

표준선원을 점적한 시료를 계측하여 측정결과를 인증값과 비교하였다. 실제상황에서 채취되는 시료의 상태는 다양 할 것으로 예상되며 이를 위해 세정용제의 양과 선

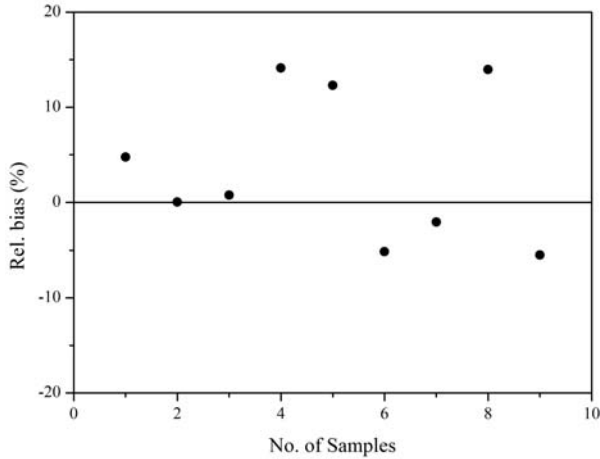


Fig. 3. Relative bias between certified reference values and measurement results of nasal smear samples.

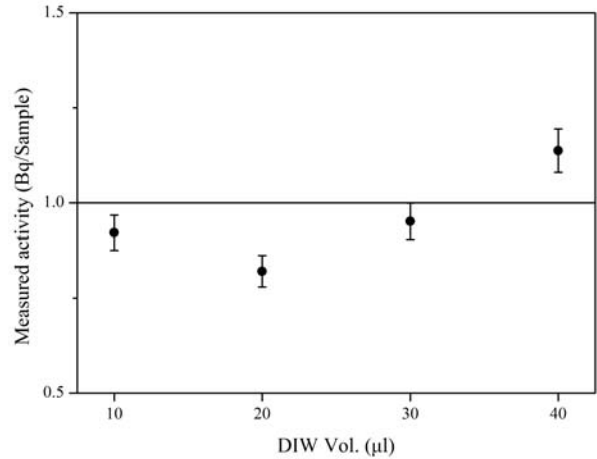


Fig. 4. Measured activity of nasal smear samples according to the amount of deionized water. The line is a reference value (0.97 Bq/Sample).

원의 농도를 각각 10-40 μl, 0.97-58.3 Bq/sample의 범위로 점적한 시료를 다수 만들어 측정하였다. 평가기준으로 표준시료 제작시의 불확도를 고려하여 전알파 방사능 측정의 기준관정 조건을 20%로 설정 하였으며 이 조건을 기준으로 하였을 때 모의 표준시료 계측결과 기준값 이내에서 잘 일치하는 결과를 보였다(Fig. 3). 방사능 재난의 사회적 파장을 고려 할 때 다수의 검사의뢰자로 부터 채취된 시료를 빠른 시간 내에 검사해야 하는 특성상 스메어 스크리닝이 알파방출핵종에 의한 내부피폭 스크리닝 방법으로 적절 할 것으로 판단된다. 이를 위해 액체섬광 계수법은 신속한 시료 전처리, 높은 계측효율, 시료 처리 속도가 다른 계측 방법에 비해 매우 빠르다는 장점(~1 hr)이 있어 비상시 대량의 시료를 처리해야 하는 상황에서 적절 할 것으로 판단된다.

3.2. 계측 조건

세정용제를 사용하는 습식 스메어시 제거 효율을 측정하였다. 스메어 직전 물을 사용한 시료는 91%의 채취효율을 보여 건조한 상태에서 스메어 한 시료에 비해 약 70% 이상의 높은 결과를 보였다. 이를 바탕으로 피폭환자의 비강스메어 채취시 생리식염수나 비강세정제(nasal spray) 등의 세정제를 사용 할 경우 시료의 채취효율을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 ICRP (International Commission on Radiological Protection, 국제방사선방호위원회) 수학적 호흡기 격실 모델에 따라 면봉으로 채취 할 수 있는 외비강 영역뿐만 아니라 액체세정제 등으로 1)내비강에 흡착되어 있는 방사성 물질을 유도 시킬 수 있으므로 채취 효율을 더욱 높일 수 있을 것으로 판단된다(6,7).

액체섬광계수법의 경우 시료의 불순물에 의한 시료 내부에서 발생하는 소광현상이 계측결과에 영향을 미칠 수 있으므로 비강스메어시 사용되는 세정용제 또는 비루의 양이 방사능 농도 측정결과에 어떤 영향을 미치는지를 실

험으로 확인하였다. 점적시킨 초순수의 양에 따라 방사능 농도 측정 결과는 특별한 경향을 보이지는 않았으며 인증농도의 ±20% 이내의 결과를 보였다(Fig. 4). 이는 시료채취 과정에서 면봉에 특별한 외부 요인이 없을 경우에 전처리를 통해 세정제 등의 액체성분을 건조 한 후 계측하므로 비루 또는 세정제의 양에 의한 영향은 거의 없기 때문인 것으로 판단된다.

시료의 건조로 인한 영향을 확인하기 위해 젖은 상태의 면봉 시료를 건조 과정 없이 계측했을 때 스메어 효율을 실험하였다. 동일한 양의 초순수로 적신 면봉에 동일한 선원을 점적 하였을 때 10분간 적외선 램프에서 건조한 시료의 스메어 효율은 건조하지 않은 시료의 효율에 비해 약 10% 높은 것으로 확인되었다. 액체성분으로 인해 시료용기에서 발생하는 소광 현상에 의한 영향인 것으로 판단되며 첨가한 방사능 농도에 비해 낮은 효율로 계측값이 산출되므로 동일한 양의 방사성물질이 면봉에 흡착되어도 산출 되는 결과는 다를 것으로 예상된다. 비록 방사선비상시 비강스메어 분석은 신속한 측정결과 산출을 주목적으로 가급적 분석시간을 단축하는 것이 효율적이지만 전알파 방사능 측정의 경우 오염여부 판단 및 내부제염을 위한 의료적 처치 판단의 초기 기준이 될 수 있으므로 정확한 측정 또한 중요 할 것으로 보인다.

3.3. 핵종 판별

비강스메어 시료의 알파선 스펙트럼 분석을 통해 핵종 판별 기준을 검토 하였다. 스펙트럼은 저에너지 영역에서 비교적 넓은 tail을 보여 피크가 깨끗하지 않았다(Fig. 5). 이는 선원이 필터의 섬유질 내에 흡착되면서 필터의 표면 재질이 알파선 방출에 차폐체 역할을 하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 피크의 분해능이 좋지 않아 시료의 정량 분석은 힘들 것으로 보이나, 알파선의 특성상 일정 에너지 영역에서 최대 피크를 보임으로써 핵종의 추정은 가능할 것으로 보인다. 하지만 농도가 다른 알파방출 선원이 혼합되어 있는 경우 더 높은 농도를 갖는 선원의 피크에

1) 면봉이 닿지 않는 곳

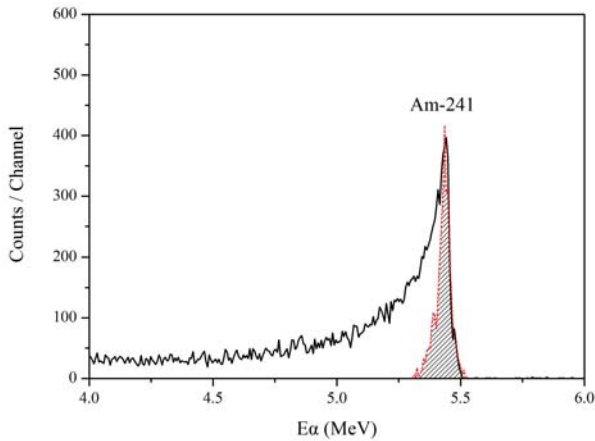


Fig. 5. Alpha spectrum of nasal smear filter with ²⁴¹Am reference peak (dotted line).

문혀 정확한 판단은 힘들 것으로 보인다. Fukutsu et al. (2009)는 알파선분광분석을 통해 단일선원의 핵종판별에 대한 내용을 발표 한 바 있다[7]. 하지만 두 개 이상의 선원이 혼합되어 있는 경우에는 판단에 신중해야 할 것으로 보이며 이를 보완하기 위해 필터시료의 신속한 순수분리를 통해 정량 분석이 가능하도록 하기 위한 노력이 필요하다.

3.4. 비상시 시료채취 절차

방사선사고 비강스메어 검사는 사고발생시점으로 가급적 30-45분 이내 수행 되어야 한다[1,8]. 이는 오염의심자의 인위적인 2)제염행동으로부터 검사 결과의 정확성을 확보하기 위한 과정이다. ICRP는 ET1 (Extrathoracic)에서의 반감기 17시간 내에 약 50%의 내비강에 흡착된 물질이 제거 될 것으로 발표한 바 있다[6,9]. 비록 검사 결과의 불확도는 매우 커지지만 다수의 오염의심자가 검사를 희망 할 시에는 사고발생시점부터 약 1일 이내 비강스메어를 통한 스크리닝은 가능 할 것으로 판단되며, 이 경우 내비강의 흡착된 방사성물질 유도를 위해 비루유도제나 세정제를 사용하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 각각의 외비공(nostril)은 새 면봉을 사용하여야 하며 선량평가 시 두 측정 결과를 합산하여 산출해야 하고 알파방출핵종에 의한 심각한 내부오염이 예상되는 경우에는 면봉채취와 동시에 필터페이퍼를 이용하여 핵종판별검사를 대비하는 것이 요구된다.

3.5. 선량평가 절차

내부오염이 의심되는 피폭환자의 의료적 처치 시점을 신속하게 판단하기 위한 선량평가 절차를 확립하였다. 스메어 시료의 방사능 농도는 내부 호흡기에 침착된 방사능 농도의 5-10%를 대표하는 것으로 과거 연구에서 발표된 바 있다[1,5]. 전알파 계측에서 최소검출가능농도 이상 오염으로 판정시 섭취된 물질은 ICRP 권고안에 따라 기본값으로 입자형태(particle)의 AMAD 5 μm로 보수적인 평

2) 코플기 등

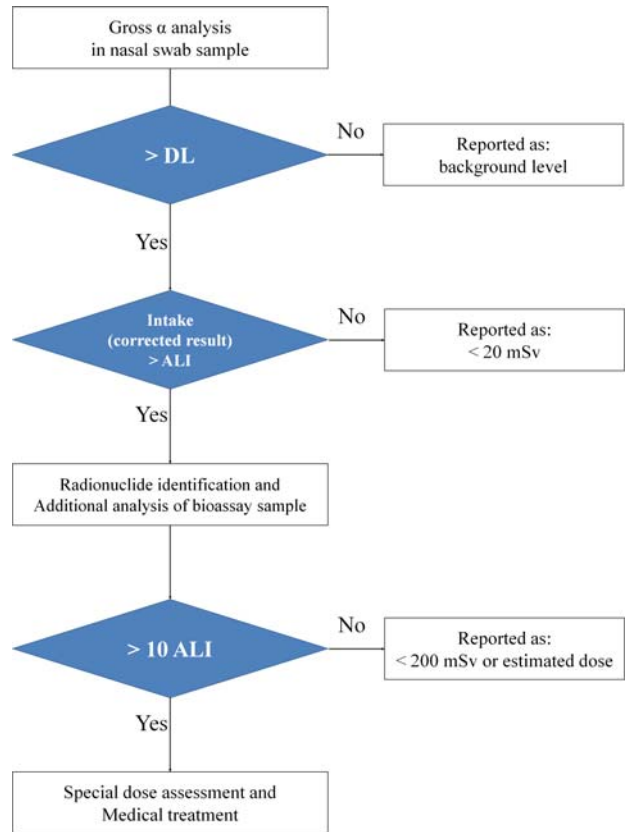


Fig. 6. Flow chart of internal dose assessment in radiation emergency.

가를 위해 핵종은 ²³⁹Pu로 가정하였으며, 흡입량의 10%를 대표하는 값으로 평가하는 것이 적절할 것으로 보인다. 추가 핵종판별 및 생체시료 분석결과에 따라 연간섭취한도를 넘는 결과에서 의료적 처치를 결정하는 것이 적절할 것이다(Fig. 6.).

4. 결론

방사선 비상사고 발생시 인체 비강스메어 시료의 전알파 계측방법을 소개하였으며 스메어 시료의 계측을 통해 피폭환자의 내부피폭선량평가 절차에 대해 정리하였다. 국내 방사선비상진료업무 수행병원에서 활용하고 있는 시료채취용 면봉을 이용하여 사고발생시 초기에 시료채취가 적절히 수행 된다면 전알파 오염여부를 신속하게 가릴 수 있을 것이다. 이를 통해 핵종판별과 연간섭취한도를 초과하는 오염 발생시 신속한 의료적 처치 판단을 내릴 수 있을 것으로 기대된다. 또한 방사선사고의 특성상 다수의 검사희망자 내원시 검사결과에 따라 알파방출핵종에 의한 내부피폭여부를 신속하게 가릴 수 있을 것으로 기대된다. 다만 비강스메어 결과는 그 특성상 비교적 큰 불확도로 인해 피폭선량의 단일한 판단 기준이 될 수는 없으며 다른 생체분석 결과와 함께 종합적으로 판단해야 할 것이다.

감사의 글:

본 연구는 한국원자력의학원 방사선 피폭 환자 치료기술개발 (No. 50581-2012) 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. National Council on Radiation Protection & Measurements, Management of persons contaminated with radionuclides, NCRP Report No. 161, 2008.
2. 한국원자력의학원 국가방사선비상진료센터. 방사선비상진료 개론서. 한국원자력의학원. 2010.
3. International Atomic Energy Agency. Generic procedure for assessment and response during a radiological emergency. IAEA-TECDOC-1162, 2000.
4. Norwegian Radiation Protection Authority. Triage, monitoring and treatment of people exposed to ionising radiation following a malevolent act, 2009.
5. Sugarman SL, Toohey R, Goans R, Christensen D, Wiley A. Rapid internal dose magnitude estimation in emergency situations using Annual Limits on Intake (ALI) comparisons. Health Phys. 2010;98(6): 815-818.
6. International Commission on Radiological Protection. Human respiratory tract model of radiological protection, ICRP Publication 66. Ann. ICRP 24(1-3). Oxford, 1994.
7. Fukutsu K, Yamada Y, Akashi M. Characterisation of nasal swab samples by alpha spectrometry. Radiat. Prot. Dosim, 2009;134:87-93.
8. Lawrence Livermore National Laboratory. Nuclear emergency and radiological decision handbook, 1997.
9. Smith JRH. Implications of human nasal clearance studies for the interpretation of nose blow and bioassay sample measurements. Radiat. Prot. Dosim, 2003;105:119-122.

Gross Alpha Analysis of Nasal Smear Samples and Internal Dose Assessment Procedure in Radiation Emergency

Seokwon Yoon, Wi-Ho Ha, Mee-Ryeong Kim, and Seung-Sook Lee

National Radiation Emergency Medical Center, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences

Abstract - The gross alpha analysis of nasal smear samples for the radiation emergency and the additional follow-up steps were established. Cotton swab sticks using in local hospitals for nasal smear in Korea were used for the verification. The measurement results of standard samples spiked with certified reference source were well agreed within $\pm 20\%$ compared with reference values. The clearance ratio of smear samples conducted with wet smear condition showed higher value. To eliminate the quenching effect of liquid scintillation samples, dry of smear samples should be followed up before counting samples. Based on the measurement results, medical decision levels and internal dose assessment were established for the victims in the beginning of radiation emergency.

Keywords : Nasal smear, Gross alpha analysis, Radiation emergency, Internal dosimetry