

환경방사능 측정의 의의와 방법

전남대학교 의과대학

김 지 열

서 론

우리가 살아가면서 받게되는 방사선 피폭원에는 두 가지가 있는데, 그 첫 번째는 우주선(cosmic ray), 지구구성 방사성물질(우라늄, 토륨 및 그 붕괴생성물) 및 인체구성 방사성물질 등의 자연방사선원에 의한 피폭이다. 인간이 환경과 더불어서 살아가고 있기 때문에 자연 방사선에 의한 피폭은 피할 수 없으며, 인류는 자연방사선과 함께 생활하고 진화해가고 있다. 두 번째 피폭원은 치료와 진단 방사선, 핵실험에 의한 낙진, 원자력 발전시설 등으로부터 누출되어 나오는 인공방사선이다. 인류문명이 발전함에 따라서 이러한 자연방사선과 인공방사선에 의한 피폭이 증가하고 있기 때문에 각종 방사성 핵종에 의한 환경오염 정도를 정확하게 평가할 수 있어야 방사능에 의한 생물학적인 피해를 최대한 줄일 수 있을 것이며, 예상치 않게 일어날 수도 있을 핵사고에 대한 준비를 수 있을 것이라고 생각한다.

1. 세계적인 핵사고

1895년에 Roentgen이 X-선을, 1896년에 Becquerel이 방사능(radioactivity)을 발견한 이후로 돌발적으로 심각한 핵사고가 발생되었다. 방사선 생물학적인 사고는 두가지 형태로 구분되는데 비교적 낮은 선량으로 많은 사람이 피해를 받게되는 경우와 높은 선량으로 소수의 사람이 방사선에 피폭되어 급성효과를 나타내는 경우다. 지금까지 보고된 몇가지 사고들을 살펴보면 다음과 같다.

1) 1957년 10월, UK의 Windscale에서 화재로 인하여 원자로에서 사고가 발생하였는데 안전장치나 계측기를 효율적으로 작동하여 다행히 희생자는 없었다.

2) 1979년 3월, USA의 Three Mile Island Power Reactor(PWR)에서도 화재로 인한 사고가 발

생하여 많은 사람들이 1mSv 이하의 선량에 노출되었다.

3) 1954년 3월, Bikini Atoll에서 thermonuclear 시험중 사고로 Marshallese섬에 몇주간 계속되는 낙진이 발생하여 약 250명이 방사선에 노출되어 피부와 갑상선 등에 이상이 나타났다.

4) 1957년 9월, 구소련에서 고방사능 핵연료 폐기물을 저장하고 있는 탱크로부터 방사능 누출로 Ural산맥 주변을 광범위하게 오염시켰고 그 지역주민들이 받은 방사선량은 170mSv에서 520mSv였으며, 농작물과 가축의 피해도 상당했다.

5) 1983년 12월부터 1984년에 걸쳐 멕시코 Juarez 시와 그 주변 지역에서 일어났던 방사능 오염사고는 Co-60 방사능 치료기의 고장으로 방사능 pellets이 누출되어 약 8주 이상 계속되는 피폭을 받았다.

6) 1986년 4월 구 소련 우크라이나 공화국 북단에 위치한 체르노빌 원전 4호기에서 발생된 폭발사고는 인류의 원자력 이용사에서 최악의 사고 중 하나로 기록되었다. 원자로와 원자로 건물이 파괴되어 수 종류의 방사성물질이 직접 환경으로 방출되어 핵연료분진과 같은 큰 입자들은 대부분 원자로로부터 100km이내에 침적되었고 작은 입자들은 먼거리까지 이동하였다. 이 사고로 인한 주민들의 피폭은 초기에는 방사성 옥소와 텔레늄에 의한 내부피폭이었고 장기적으로는 지표에 침적된 방사성 세슘에 의한 외부피폭이었다. 방사선에 피폭된 사람은 발전소 직원 및 정화작업자, 사고후 2주 동안 반경 30km 이내에 거주한 주민, 기타 오염지역 주민들이었는데 그 가운데서도 가장 높은 피폭을 받은 사람들은 사고 당시 발전소 근무직원과 화재진압에 투입된 소방대원이었다. 이 사고로 신체의 영향은 말할나위도 없고 사회심리적인 영향, 방사선 공포증, 농업 및 환경의 영향, 경제적인 영향등 이루 말할수 없는 피해를 받게 되었다.

7) 1987년 9월에 브라질 Goiania지역에서 방사능

치료목적으로 사용될 Cs-137 선원이 들어있는 캡슐이 터졌고 그 주변에서 놀고 있는 아이들이 이것을 magical material로 생각하고 가지고 놀기 시작했다. 그 결과 아이들의 옷, 종이, 벽, 바닥 등에 세슘이 묻어 심각한 내부피폭을 받게 되었다. 그 밖에도 환경오염이 심각하여 원상복구하는데 6개월이 소요되었다.

이밖에도 보고되지 않은 크고 작은 핵사고가 있었고 또한 앞으로 언제 이와같은 사고가 일어날지 아무도 모른다. 방사성 동위원소 또는 방사선 발생장치등 방사선을 이용하는 시설에서는 설계 및 건설초기 단계부터 방사선 안정성을 충분히 고려하고 있으며, 방사선 시설 내부에서의 시설운영 및 방사선 작업 역시 일정한 기준에 따라 이루어 지고 있기 때문에 정상상태에서 방사성물질이 이탈되어 방사선 작업 종사자는 물론 일반 대중이나 환경에 중대한 영향을 미칠수 있는 가능성은 없지만 문제는 시설의 노후화와 작업상의 실수로 인하여 방사선 사고가 일어난다는데 있다. 따라서 수시로 시설을 점검하고 사고에 대한 비상대책을 잘 수립하여 인명피해는 물론 방사능에 의한 환경오염을 최소화할 수 있어야 할 것이다.

2. 핵사고시 유출된 방사성 핵종

핵사고시 유출된 방사성 핵종을 종류별로 구분하면 다음과 같다.

Year	Place	Source	Death
1960	USSR	¹³⁷ Cs	1명
1962	Mexico	⁶⁰ Co	4명
1963	China	⁶⁰ Co	2명
1972	China	⁶⁰ Co	3명
1972	Bulgaria	¹³⁷ Cs	1명
1975	Italy	⁶⁰ Co	1명
1978	Algeria	¹⁹² Ir	1명
1981	USA	¹⁹² Ir	1명
1982	Norway	⁶⁰ Co	1명
1984	Morocco	¹⁹² Ir	8명
1987	Brazil	¹³⁷ Cs	4명
1989	San Salvador	⁶⁰ Co	1명
1986	USSR	¹³³ Xe, ¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs, ¹³² Te, etc	31명

3. 환경방사능 측정법

국내 환경방사능 감시를 위해 한국 원자력 안전기술원

에서는 전국 8개 지역에 설치된 지방 방사능 측정소에서 공기, 강수, 상수등 가운데 방사능을 주기적으로 측정하여 그 변동여부를 조사하고 있으며, 원자력안전기술원에서는 지방 방사능 측정소의 관리 및 측정소에서 생성된 환경 방사능 시료의 분석 및 평가를 하고 있다. 시료채취는 빗물, 낙진, 음료수, 농작물, 우유, 표층토양, 하천수, 해수, 해조류 등을 대상으로 하고 있다. 빗물을 대상으로 시료를 채취하는 방법과 전처리법을 살펴보면 다음과 같다.

1) 개요: 1개월분의 빗물을 1시료로 하고 방사능 강수채취 장치를 이용하여 채취한다.

2) 채취에 필요한 기구: 방사능강수 채취장치(직경; 400mm, 집수면적; 1250cm²), 저수용기; 10L 용적의 polyethylen병

3) 채취량: 1개월간의 모든 강수를 1시료로 함

4) 설치장소: 건축구조물이나 수목의 영향이 없는 곳으로 지면에서 튀어오른 물방울이 집수구에 들어가지 않은 장소

5) 안전문제: 시료채취장소로의 이동 및 시료의 운반등 차량이동에 주의하여 교통사고등이 일어나지 않도록 할 것

6) 작업절차: 매월초에 채취를 시작하며 개시 년, 월, 일과 장소를 명기한 용기를 설치한다. 전달에 설치한 용기를 회수하고 회수 년, 월, 일을 명기한다. 집수장치 내면이나 배관에 부착된 먼지를 수도물로 씻어낸 후 새 용기를 설치하고 집수구에 탈지면을 끼운다. 채취한 강수를 평량하여 1개월간의 강수량과 기간을 기록지에 기입한다.

7) 환경시료중의 전 α , 전 β 를 측정하고, Sr-90, Cs-137, H-3을 채취하여 분석한다.

4. 환경방사능에 대한 생물학적인 모니터링

전남대학병원 핵의학과에서 국제원자력기구(IAEA)의 지원하에 수행하였던 연구를 중심으로 설명하고자 한다. 전남대학교병원 핵의학과에서는 영광원자력발전소를 중심으로 반경 1Km, 2Km, 3Km, 4Km, 5Km 이내에 설정한 농가에서 직접 토끼를 사육하도록 하고 1년에 2회씩 토끼 심장으로부터 혈액을 채취하였다. 환경방사능에 대한 생물학적인 모니터링을 하기 위하여 중기염색체 검사법(metaphase analysis)과 미소핵 검사법(micronuclei test)을 동시에 실시하였다.

1) 중기염색체 검사법

토끼 심장으로부터 채취한 혈액을 20% 우태아혈청 (fetal bovine serum)이 함유된 RPMI 1640 media 6ml에 넣고, 세포분열 유도물질인 PHA(Phytohemagglutinin)를 0.1ml첨가하여 37°C, 5% CO₂, 부란기에 48시간 배양하였다. 세포추출 2시간전에 방추사형성 억제물질로서 colcemid를 0.2ml 첨가하여 1시간 배양하였다. 배양 후 원심분리하여 상층액은 제거하고 저장액(0.075M KCl)혼합하여 37°C 수조에 20분간 방치한 후 원심분리하여 상층액을 제거한 뒤 methanol과 acetic acid (3:1)를 혼합한 고정액으로 고정한 후 원심분리하여 상층액을 제거하는 과정을 세차례 반복하여 여분의 상층액과 cell pellet을 잘 섞어 slide glass 위에 도말하여 공기건조한 후 Giemsa용액으로 15분간 염색하였다. 염색된 표본은 현미경하에서 1000배의 배율로 중기세포를 관찰하여 불안정 염색체 이상(ring 염색체와 dicentric 염색체)의 빈도를 계수하였다.

2) 미소핵 검사법

토끼 전혈 0.5ml를 20%의 우태아혈청(fetal bovine serum)이 함유된 RPMI 1640 media 6ml에 넣고 세포분열 유도물질인 PHA(phytohemagglutinin)를 0.1 ml의 넣어 5% CO₂, 37°C 배양기에 24시간 배양한 후 세포질분열 억제제인 cytochalasin B를 0.2ml를 첨가하여 48시간 더 배양하였다. 배양 후 원심분리하여 상층액은 제거하고 저장액(0.075M KCl) 7ml과 Methanol과 acetic acid(3:1)를 혼합한 고정액 1ml을 혼합하여 37°C 수조에 3분간 방치한 후 원심분리하여 상층액을 제거한 뒤 고정액으로 고정한 후 원심분리하여 상층액을 제거하는 과정을 세차례 반복하여 여분의 상층액과 cell pellet을 잘 섞어 슬라이드글라스위에 도말하여 공기건조한 후 Giemsa용액으로 20분간 염색하였다. 염색된 표본은 현미경하에서 1000배의 배율로 이 핵세포 1000개 당 존재하는 미소핵을 관찰하였다.

실험결과는 다음 Table 1와 같다.

5. 체내 방사능 오염제거

핵무기를 이용한 핵실험, 핵발전소의 건설 등으로 인해 안전성에 주의를 하지 않을 경우 방사능 물질이 다량 방출되어 인류 및 환경에 심각한 영향을 미칠수 있다. 핵 사고시 외부 환경중으로 다량이 방출되는 방사핵종으로는 근육에 침착되어 근육종을 유발시키는

Table 1. The Number of Dicentric Chromosome (DC)+ring Chromosome(RC) and Frequency(%) of Micronuclei(MN) in the Sampling Sites at Jun. and Oct., 1996

	DC + RC/30 metaphases		MNs/100 Binucleated cells	
	Jun.	Oct.	Jun.	Oct.
	Control	0	0	0.6%
1km	0	0	0.8%	0.9%
2km	0	0	0.7%	0.6%
3km	0	0	0.9%	0.7%
4km	0	0	0.7%	0.9%
5km	0	0	0.6%	0.8%

radiocesium(¹³⁷Cs), 대부분 갑상선에 흡수되어 갑상선암을 유발시키는 radioiodine(¹³¹I), 흡수선량의 대부분이 골조직등에 침착되어 백혈구 감소증, 백혈병, 골수암 등을 유발시키는 radiostromium(⁹⁰Sr)등이 있다. 특히, 이러한 방사핵종들은 그 자체가 지닌 생물학적 특성인 반감기로 인하여 오랜동안 인체내의 장기속에 잔존하면서 심각한 피해를 입힌다. 그 예로, 1986년의 구소련 체르노빌 핵발전소의 사고로 인해 체르노빌 거주민 뿐만아니라 그 인근 주변의 사람들에게까지 핵사고 후유증을 유발시켰으며, 주변 환경이 심각하게 오염되어 현재까지도 사고에 대한 경각심을 크게 부각시키고 있다. 이러한, 방사성물질을 제거하기 위해서 다량의 수분을 강제적으로 투여하여 희석, 배출시키는 방법이 있고, EDTA, DTPA, PDAT-Na, PDTA-Ca-Na, sodium tetra-methylene diamine-tetraacetate, sodium thioctate 등의 화학적 착화제를 이용한 연구가 진행되어 동물실험 결과 유효한 치료약제로 평가되었지만, 이들 화학적 착화제는 자체가 지닌 독성으로 인하여 핵사고시 실제로 임상에 사용하기에는 연구 단계에 있어 안정성이 높은 무독성 천연 착화제의 개발이 시급하다고 할 수 있다.

그동안 전남대학교병원 핵의학과에서는 위와 같은 방사성물질 중 체내 피폭시 대부분 골조직 등에 침착되는 방사성스트론튬의 체내 오염을 억제하고자 최근 국내.외 학자들에 의해서 생화학, 식품영양학, 생리학, 생명공학적인 면에서 연구가 진행중이며, 일본동지에서는 인공피부, 항암작용, 상처치료제, 혈중 콜레스테롤 강화제, 의약품 전달제, 면역보조제 등

여러 분야에 걸쳐 활발하게 이용 혹은 연구되고 있는 천연 무독성 착화제인 카이토산(chitosan)을 이용하여 방사성스트론튬의 체외 배출 효과에 대한 연구를 수 년간 수행해 오고 있다. 연구 결과 방사성 스트론튬의 변을 통한 체외배출 효과에 카이토산이 탁월한 효과가 있음이 입증되었으며, 또한 임신동물의 경우도 카이토산을 처치하게 되면 모체의 태반을 통한 태아로의 방사성스트론튬 전이를 억제시킬수 있는 것으로 확인 되었다.

최근, 미생물이나 생체물질과 금속이온과의 관계, 중금속이온의 독성학이나 영양학적 연구가 활발해지고 있는데, 이와 같은 연구가 성공리에 달성된다면 새로운 방법 및 물질 등을 이용한 방사성핵종의 체외제거 기술이 개발된 것으로 사료된다.

REFERENCES

- 1) Nenot JC: *Overview of the radiological accidents in the world, updated December 1989. Int J Radiat Biol.* 1990;57:1073-1085
- 2) Toivonen H, Pollanen R, Leppanen A, Klemola S, Lahtinen J, Servomaa K, Savolainen AL, and Valkama I: *A nuclear incident at a power plant in sosnovyy bor, russia. Health Physics Society.* 1992;16:571-573
- 3) Frederick JB: *Chernobyl retrospective. Seminars in Nuclear Medicine.* 1988;18:16-24
- 4) 고대하, 노재훈, 문재동, 백도명, 범희승, 서순팔, 송동빈, 신부안, 염용태, 이종명, 정호근, 조수현, 최인선, 최중명: *환경과 건강.* 1997;21:59-71
- 5) 체르노빌 주변지역 암발생 공포, 동아일보 1992년 4월 27일자 12면