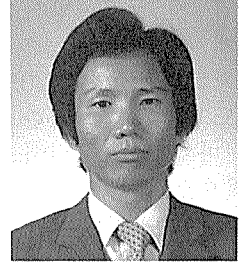


브라질 고이아니아 사고



권 석 근
한국원자력안전기술원
방사선안전평가그룹장

1. 사고경위

1985년 말경 브라질 고이아니아의 한 개인 방사선치료연구소가 새사옥으로 이사하면서 용도 폐기된 방사선치료 선원 등이 보관된 구사옥에 대한 방사선 관리상의 안전 문제를 소홀히 하여 구사옥이 부분적으로 파손되면서 폐기선원인 Cs-137 선원이 안전 사각 상태에 놓이게 되었다.

1987년 9월 13일 어떤 두 사람이 이 건물에 들어가서 이 폐기된 Cs-137(사고 당시 50.9TBq(1,375Ci)) 치료 장치가 상당히 귀중한 물건으로 생각하여 방사선원 뭉치를 치료기 부분에서 분리하여 집으로 옮겨 선원 뭉치를 분해하게 되었다. 그리고 이 방사선 물질은 염화 세시움 상태로 아주 쉽게 용매에 녹을 수 있어 쉽게 확산될 수 있는 상태였다. 이와같은 특성 때문에 이 방사성물질은 쉽게 환경을 오염시켜 여러 사람에게 외부 및 내부피폭 문제를 야기시켰다. 그리고 해체된 선원뭉치중 일부는 고물상에게 매각되었고, 고물상 주인은 이 물질이 어두운 밤

에 푸른 빛을 내는 것을 확인하게 되었고, 여러사람이 이를 기이하게 생각하여, 이들의 친지 및 친구 등이 몰려와 이 현상을 목격하였다. 이를 구경한 여러사람이 이 선원뭉치를 작게 조각내어 5일동안 많은 사람에게 분배하여 이들 중에 방사선피폭으로 인하여 위장에 장해징후가 나타나게 되었다.

그러나 처음에 대부분의 피폭자가 이 징후가 방사선조사에 기인된것을 알지 못하였으나, 그중에 1명이 이 징후가 선원에서 기인되었다고 생각하여 시보건당국에 남은 선원조각을 가져가 신고함으로써 이 사건의 전모가 밝혀지게 되었다.

지방방사선 물리사가 방사선 측정,감시를 하여 1차적으로 방사선 사고 규모를 평가하여 2개 지점에 대하여 소개하도록 하였고 뒤이어 규제당국에 보고되어 오염지역이 추가로 확인되고 주민의 소개조치 등 대응조치가 신속히 이루어 졌다.

2. 방사선장해자에 대한 조치

중대한 방사선사고가 인지된후 리오테자네이로와 상파울로에서 고이아니아로 방사선관계 전문가 및 물리사 등이 파견되어 방사성오염 지역 및 방사선 장해 증세 등을 조사하게 되었다.

병원치료가 필요한 20명에 대한 검진결과 장해정도가 비교적 심한 14명은 리오테자네이로의 마르실리오 디아스(Marcilio Dias)해군 병원으로 후송하였고 나머지 6명은 고이아니아에 있는 일반병원에 수용하였다.

인체내부에 침착된 방사성물질의 양을 평가하는데 전신계수기 및 생물학적인 분석법이 사용되었고, 체내에 침착된 방사성물질을 배설시키기 위한 노력도 행하여 졌다. 피폭된 사람들 중에서 과피폭된 사람을 골라내는데 세포 유전학적인 방법이 이용되었다.

환자피부의 제염, 방사선피폭으로 인한 피부의 탈락, 환자의 배설 등으로 발생된 오염물의 처리 등이 치료상의 중요한 일이었으며, 매일매일의 혈액학적인 검진, 진료, 간호, 피의 분석, 국부적인 감염치료 등이 행하여 졌다.

환자중 4명이 병원에서 4주만에 사망하였는데, 이들의 증상은 급성 방사선 증후군인 출혈 및 부패상의 합병증이었다. 이들 4명이 피폭받은 선량은 세포 유전학적인 분석법에 의한 평가에 의하면 대략 4.5~6Gy 정도였다. 그리고 이들과 비슷한 선량을 받는 2명은 살았다. 치료결과에 대한 확실한 결과는 모르지만 새로운 홀몬약제, 즉 Granulocyte Macrophage Colong Stimulating Factor (GMCSF)라는 약제가 과피폭된 환자들에게 치료제로 사용되었다. 2개월까지 생존한 환자들은 리오테자네이로의 병원에서 고이아니아의 1차 진료 병원으로 되돌려 보내져 치료가 계속되었다.

대략 112,000명에 대하여 조사가 이루어졌고, 이들중 249명이 외부 및 내부피폭이 확인되었고, 이들중 약간은 매우 높은 외부 및 내부피폭이 되었다. 이의 원인은 염화 세시움 분말을 만지거나, 밤에 파란 빛을 내는

분말을 호기심으로 피부에 발랐거나, 오염된 손으로 음식을 먹었거나, 오염된 건물·가구·도구·부속품 등을 만지거나 이들에 접촉한 결과였다.

사고로 방사선장해를 받은자 중 110명에게서 혈액이 채취되어 세포유전학적인 분석이 수행되었는데 배양된 임파세포의 염색체 이상 빈도, 체외 교정곡선에서 흡수선량이 추정되었다. 피폭선량 추정치는 0~7Gy까지 분포하고 있었으며 염색체 이상을 나타내는 세포에 대한 포아슨(Poisson) 통계 분포해석결과 피폭선량이 균일하게 분포하고 있지는 않았다. 피폭정도가 심한 사람들중 세포유전학적인 이상을 가져온 임파구에 대한 관찰이 계속되었다.

그리고 내부피폭 환자로 부터 뇨와 변시료를 채집하여 체내에 섭취된 방사성물질의 양과 예탁선량이 연령별로 세분화된 수학적인 모델을 사용하여 추정되었다.

세시움의 배설을 추진하는 약제인 Prussian Blue의 효능이 뇨와 변으로 배설되는 세시움의 양의 비를 분석함으로써 평가되었고, 이 약제가 인체조직에 대한 세시움의 생물학적인 반감기에 미치는 영향을 고이아니아에 설치된 전신계수기를 이용하여 추정하였다.

3. 환경오염 조사 및 조치

본 사고로 시설주변 환경은 심각하게 오염이 되었고, 오염지역의 제염작업이 두가지 측면에서 수행되었다. 첫번째 작업은 1987년 10월 3일까지 수행된 주요오염물 제거와, 같은 해 크리스마스까지 수행된 기타 주요 잔존물 처리였고, 두번째 작업은 주거환경의 원상복구 였는데 1988년 3월까지 계속되었다.

과피폭자들중 비확률적 영향(결정론적 영향)이 나타날 가능성이 있는 자들과 주요오염지역의 설정·관리에 대한 조치가 가장 시급한 일중의 하나였으며, 주요오염지역내의 주 피폭원 처리에 3일이 소요되었다.

법이 사용되었고, 이 작업은 1988년 3월까지 계속되었다.

초기에 많은 양의 방사성폐기물이 생성되어 고이아니아로부터 20km 지점에 폐기물 임시저장고가 마련되었다. 생성된 방사성폐기물중 그 농도가 74kBq/kg 이하는 비 방사성물질로, 선량율이 2mSv/h 이하는 저준위, 2mSv~20mSv/h는 중준위로 분류하였고, 오염준위에 따라 여러종류의 포장물이 사용되었다. 방사성폐기물 포장용기는 200ℓ의 철제드럼, 3,800개, 5톤 용량의 금속박스 1,400개, 32m³의 콘테이너 용기 10개, 6개의 콘크리트 용기 등이었고, 임시저장고의 부피는 12,500개의 드럼과 1,470개의 박스가 저장될 수 있는 4,000~5,000m³의 부피로 설계되었는데 저장된 폐기물의 총 부피는 3,500m³이었다.

이러한 큰 부피의 저장고는 방사선 비상 및 복구상황을 위한 제한적인 조치준위의 설정이 필요하였는데 이 값의 설정에 있어서 경제적 측면은 중요한 문제가 아니었다.

임시 저장된 방사성폐기물이 빗물 등에 의하여 누출되는 것을 감시하기 위하여 방사선감시기가 설치되었다.

사고당시의 Cs-137의 방사능은 50.9TBq (1,375Ci)였는데 사고후 누설되어 오염을 야기시킨 양은 약 44TBq(1,200Ci)로 추정되었고, 영구처분장이 마련될때까지 저장고 등에 대한 대안은 없었다.

4. 대책 및 교훈

고이아니아 사고를 분석하는 과정에서 많은 의견과 권고가 제기되었지만 여기에 제시된 의견이 어떤 특수한 사고상황하에서 적합한 것이라고는 할 수 없을 것이다.

잠재사고 가능성에 비추어 볼때 방사성물질의 관리책임자의 책임을 간과할 수는 없다. 방사성물질의 사용이나 이동 등의 과정에서 어떤 장애나 손해가 있을 수 있고, 부주의에 의하여 문제가 발생되기 때문에 방

사성물질의 취급시에는 책임있고 자격있는 사람에 의하여 관리·감독되어야 하고 안전관련 확인절차가 마련되어야 한다. 안전관리차원에서 제반 관련 절차가 마련되어 확인하도록 되어 있지만 법 및 규제차원에서의 관리책임도 간과해서는 안된다.

방사성물질의 관리책임을 확실히 하기 위하여 규제법규 내용이 세부적이고 간단하여야 하며 경제적인 측면도 고려되어야 한다. 그리고 방사선방어 관련 이행 및 규제사항이 서로 유기적이어야 한다.

방사선원의 잠재위험에 대한 일반대중의 불안감을 줄이기 위해서는 방사선사고 가능성을 줄이는 것이다. 그리고 방사성물질이 위험하다는 것을 일반대중에게 알리기 위하여 방사선위험 표시 및 표지를 하여야 한다.

방사선사고시 선원물질의 물리·화학적 특성이 매우 중요하므로 선원 제조시에 선원의 사용이나 물리·화학적 특성을 고려하여 안전성이 입증되도록 하여야 한다.

이와같은 모든 사전주의에도 불구하고 사고는 일어날 수 있으며, 사고발생시 방사선장해도 있게 마련이다. 그러므로 관련 정보의 교환 및 관리체제가 잘 갖추어져 있어야 하며, 이러한 대비외에 원자력 관련 사고 및 방사선피폭 사고 등에 대비한 방사선 비상계획이 마련되어 있어야 한다.

고이아니아 사고로 인한 의학적인 측면에서는 항생물질 혈소판 분리 및 수혈 등 현재 가능한 의료기술의 효능이 확인되었고, 세포유전학적인 선량평가 방법과 인체내부에 흡착된 Cs-137의 제거에 Prussian Blue 약제의 탁월한 효능이 입증되었다.

방사선 장해에 대한 진료는 매우 복잡하는데 진료시에는 혈액화학적 요법, 화학요법, 방사선학적인 요법, 외과학적인 요법, 면역학적인 요법 등이 적용될 수 있어야 한다. 일반적으로 의사들은 방사선장해나 방사선비상시의 조치에 대하여 익숙하지 못하므로 방사선 비상시 및 방사선장해자의 처치 방법 등에 익숙하도록 교육·훈련 되어 있어

초기에는 도보로 오염지역을 탐사하였고, 고물상 주변지역을 7개의 구역으로 분류하여 조사하였는데 이중 몇몇 구역은 선량율이 1m 거리에서 2Sv/h 정도였다.

뒤이어 적절한 방사선 탐지장치가 탑재된 헬리콥터를 이용하여 오염가능 지역 67km²을 약 2일동안 조사하였고, 조사중 7개의 주요오염구역외에 추가로 1개소의 오염지역이 확인되었는데 이 지역의 선량율은 21mSv/h였다.

오염지역의 누락을 방지하기 위하여 차량에 방사선 탐사장비를 탑재하여 고이아니아 전도로 2,000km의 80%에 해당하는 도로를 따라 오염을 조사하였는데 조사결과 주로 오염이된 면적은 고물상 주변과 선원용기를 깨뜨린 주거지역 등 1km² 정도였다.

오염지역에 대한 출입통제 등 초기대응조치를 위하여 조치준위(action level)를 10 μ Sv/h로 설정하였고, 소개 및 출입금지 준위는 2.5 μ Sv/h(조금후 이 값은 가옥에 대하여 10 μ Sv/h, 비주거지역에 대하여 150 μ Sv/h로 변경)로 하였으며, 사고 수습에 투입된 작업자들은 하루, 주, 월 단위로 선량제한치를 설정하여 관리하였다.

총 85채의 가옥이 심하게 오염되었고, 이중 41채의 가옥에 거주하는 주민 200명이 소개되었다. 2주후 이중 30채의 가옥은 주거가능 수준으로 복구되었는데 여기에 적용된 기준은 ICRP에서 권고하고 있는 비조치준위(non-action level)등을 참고하였고, 나아가 정책적, 사회적인 고려도 가미되었다.

뒤이어 오염확대 가능지역과 거주지역에 대한 조사도 수행되었는데 조사시료는 토양, 지하수, 강물, 침전물, 음료수, 공기중의 식품 등이었고 이들에 대한 방사능 분석을 위하여 고이아니아에 방사화 실험실이 설치되었다. 이 결과 각 주 오염지역의 반경 50m 이내에 있는 토양과 과일 등에 대해서 대응책의 강구가 필요하였다.

오염이 확산된 지방, 흐르는 강물 등에 대한 조사가 현실적으로 어려웠으며, 여기에 9

월 21일~28일 사이에 내린 집중호우가 어려움을 더해주었다. 이 비로 인하여 가옥의 지붕등은 오염이 씻겨 내려가기 보다는 오히려 흡착이 되었고 이것이 가옥에서의 선량율의 주기여분이 되었다.

주오염지역의 지하수는 극미량의 방사능이 검출되었지만 그외 지역의 지하수는 오염되지 않았으며, 음료수는 거의 오염되지 않았다.

복구차원에서의 주대책은 주오염지역이나 그 주변지역에 있는 가옥, 공공장소, 자동차 등에 대한 제염문제 처리였는데, 주오염지역에서의 제염은 중장비에 의한 토양의 제거, 오염된 가옥의 분쇄처리였고, 이렇게 하여 생성된 여러종류의 방사성폐기물 저장고가 필요하였으며, 수시로 발생하는 폐기물을 보관할 임시저장고도 필요하였다. 이와같은 작업이 11월 중순까지 계속되었고, 주오염지역과 기타 오염지역의 제염작업은 11월 중순부터 1987년말까지 계속 되었다.

방사선관리 측면에서 여러 조치사항과 관련하여 설정된 조사준위(investigation level)는 첫해에는 5mSv, 그 다음해 부터는 장기계획에 의거 년 1mSv로 관리하였다. 토양 제거 및 오염된 7채의 가옥 처리후 그 지역을 콘크리트나 토양층으로 덮었으며, 오염된 먼지 등이 하강하여 발생된 저오염지역은 오염된 토양층을 제거한후 깨끗한 흙으로 덮는 것으로 처리하였다. 159채의 오염검사 가옥중 42채의 가옥은 제염이 필요하였고, 이들 가옥의 제염방법은 집 내부는 진공청소기, 집외부는 고압의 물 분사방법이 채택되었다. 그리고 이들 방법에 추가하여 효과가 입증된 제염제 등이 사용되었다.

이러한 방사선관리 측면에서의 조치준위를 정하는 데는 강한 정책적 및 사회적인 압력이 작용하여 기술적으로 평가된 최적의 값보다 낮게 책정될 수 밖에 없었다.

1987년 크리스마스후 주오염지역의 외곽의 제염작업이 시작되었는데 이들 지역에서는 중장비 대신 상황에 따른 최적의 제염방

야 한다.

사고시 발생하는 환경오염의 처리를 위한 개입준위의 결정은 기술적인 측면보다 정책적이고 사회적인 고려사항이 우선하는 경우가 많으며, 이러한 결정은 사고자체 수습문제에 추가하여 경제적·사회적 부담을 가중시킨다.

사고후 시간이 경과함에 따라 사고 관련

교훈이나 정보를 망각하게 되므로 사고와 관련된 구체적인 사항들을 가능한 많이 문서화하여 관련 정보를 교환하고 언론매체 등을 통하여 공개하여 대비할 수 있도록 하는 것이 무엇보다 중요하다. 그리고 사고와 같은 비상시를 대비하여 잘 짜여진 비상계획은 물론 평시에도 교육 및 실제훈련 등이 병행되어야 한다.

