한국 원자력 학회지
제 2권 제 2호 1970. 6.

《기술보고》

우리나라의 원자력 연구 개발에 수반된 방사선 사고

A Summary of Radiation Accidents in Atomic Energy Activities of Korea

이 현 덕 · 하 정 우
원자력 연구소 보건물리학 연구실

(1970년 5월 5일 접수)

Abstract

Radiation accidents which occured in the A.E.R.I. during last ten years are described (table 1). It seemed to the authors that some of these accidents were considered to be hazardous to man body and associated installations.

This report deals with the following four major accidents involving body contamination incidents that our health physicists have been experienced.

1. Over-exposures (up to 130 rem) to the total body due to the mismanipulation in the Cobalt-60 gamma irradiation facility.
2. Floor surface contamination (up to 13 mrad/hr) and its spread out due to the mishandling of radioiodine contained in the bottle.
3. Body surface contamination and 0.36 uCi radioactivity accumulated in the thyroid gland of a worker due to the inhalation of gaseous Iodine-131.
4. A void capsule due to the leakage out of the radium therapeutic source (3mg?)

These accidents were treated by definitely prompt action to protect the workers and associated installations from any radiation hazards and every possible efforts were made to confine the spread of radioactive contamination as small area as possible by means of elaborate decontamination work and monitoring.

요 약

원자력연구, 개발, 응용 및 이용사업이 시작된지 10년이 된 오늘날, 방사선을 포함한 오염사고등이 수많이 일어났고(Table 1 참조) 이들 방사선 사고로 인하여 인체 및 시설, 기구등에 까지도 자그마한 피해나마 장해 및 손상을 주었을 것이다. 이들 방사선 사고 가운데 비교적 주요한 4건의 방사선 피폭을 포함한 신체 오염사고, 말하자면

1) Cobalt-60 gamma선으로 부터의 전신피폭사고 (130 rem),
2) Iodine-131에 의한 실험실내의 표면오염사고(13 mrad/hr),

3) 기체상의 Iodine-131로 인한 전신오염 사고(흡입때문에 갑상선에 집적된 방사능량; 0.36μCi)
4) 치료용 Radium 선원의 누출로 인한 Capsule이 텅빈사고〔3 mg(?)〕,

등에 대하여 발견하는 즉시 최대의 노력과 최소의 비용으로써 조사, 측정하고 아울러 사고의 확대를 줄이기 위하여 가능한 모든 조처를 취하였으며, 사고의 요인분석, 평가를 하였다.

§1. 서 론

전리방사선과 방사능의 발견이래 방사성 물질을 포함한 방사선 사고가 발생하기 시작하였다.

우리나라에 원자로가 건설된 이래 연구실험 및 방사성 동위원소의 생산을 비롯한 원자력의 개발, 응용과 동위원소의 응용, 이용면이 여러분야에 확대, 증가되고 따라서 방사선 사고등의 발생건수가 필연적으로 증가되였다.

긴급사태와 사고에 대한 새로운 지식은 언제나 그 발생상황, 범위, 방사선 또는 핵종의 성질, 양 및 분포등의 파악으로서 뚜렷하게 얻어진다.

그러므로 사고의 조처에 대한 궁극적인 결정은 그 상황에서 여러가지 어려운 조건을 수차 되풀이하여 정확한 조사, 측정, 분석 및 평가를 하므로서 이와 같은 사고의 재발을 예방하고 방사선 및 방사성 물질의 옳바르고 안전한 취급을 하도록 권고, 조처하는데 있다.

이 논문에는 원자력 연구소가 창설된 이래 우리들이 경험한 주요한 사고에 대하여 기술하였다.

연구소와 병원등에서 일어난 4건의 방사선 사고를 포함한 신체오염 사고등에 대하여 발견하는 동시, 작업종사자와시설, 기기들의 방사선 및 방사성 오염으로 부터의 피폭으로 인한 신체장해와 기기등의 손상, 오염의 확대를 줄이기 위하여 즉각적인 조처를 취함으로서 피해를 최소한으로 방지하였다.

§2. 〔사고1〕 Gamma 선에 의한 전신피폭 사고

사고발생 상황

Cobalt-60 Gamma선 조사장치(照射裝置)는 사용시 마다, 지상에서 약 6 cm 높이로 지하에 저장된 선원을 수동식으로 원격조작(遠隔操作)하여 끌어 올려 사용한다.

처음 사고발생을 발견하게된 동기는 방사선 관리구역내의 자연방사선 준위의 정기적인 측정을 하고자 측정자가 Cobalt-60 조사실에 가보니 출입구의 문이 열려 있을 뿐만아니라 선원을 오르내리게 할 수 있는 원격조작용 손잡이가 내려가 있어서 발견하게 되었다.

그때에 피사고자가 조사용 선원을 조사상태(照射狀態)로 올려 놓은채 조사실내에 들어간 것이 사고발생의 원인이였다. 따라서 피사고자는 전신에 과피폭(過被曝)을 받었음이 틀림 없었다.

사고 조처

i) 사고 직후의 처리

피사고자로 부터 조사용 방사선원(照射用 放射線源)을 조사상태로 올려놓고 조사실내에 들어가 취한 자세한 행동과 작업내용을 듣고 이에 의거하여 과피폭을 받을 가능성이 많음을 추정하였다. 따라서 사고발생 직후 방사성 의학연구소에서 의학적 진단을 받기 위하여 피사고자를 보냈고, 한편 조사실의 안전시설의 강화를 권고 조처하였다.

ii) 측정 및 결과

피사고자가 착용한 필름뱃지내의 필름은 사고직후 현상하여 Densitometer (The Photo Volt Corp, Model 501 A and 52)를 이용하여 표준필름과 비교측정하는 방법에 의하여 그 피폭선량을 측정하였다.

표준필름은 필름뱃지의 창을 열어놓은 조건하에서 피폭시킨 것이였다.

측정결과 피사고자는 전신에 약 130rem의 선량을 피폭받었음이 판정되였다. 이 측정치는 R-meter (Model 570, Victoreen Instrument Co)에 의하여 실험적으로 측정한 값 21 R과 거의 근사적인 값이었다. R-meter에 의한 측정방법은 피사고자가 조사실내에서 취한 모든행위, 머물러 있었든 시간, 그리고 피사고자와 선원과의 거리등 측정치에 영향을 주는 여러가지 요인을 거의 그대로 모방, 재현하여 측정한 값이다.

필름과 실험방법에 의하여 결정된 피폭선량은 국제방사선 방호위원회 (I.C.R.P.)에서 전신피폭의 경우에 권고한 최대허용 피폭선량(M.P.D.; 3rem/13week)을 훨씬 초과하는 값이었다. 따라서 이 방사선 사고는 우

리가 경험한 사고중 중대한 사고에 속하는 것이였다.

원인 분석

사고원인 분석을 인적인 요인과 환경적인 요인으로 구분하여 다음과 같이 고찰할 수 있다.

i) 인적 요인

피사고자가 방사성 동위원소 취급에 관한 교육 훈련을 받었음에도 불구하고 조사용 방사선원을 조사상태로 올려 놓은채 조사실내에 들어간 것은 피사고자가 궁극적으로 부주의하고, 태만한데 원인이 있을 것이다(심리적인 요인).

ii) 환경적 요인

사고발생의 기계적 요인은 조사장치실의 출입구에 경고장치(Warning system)와 자동개폐장치(自動開閉裝置)가 되여있지 않었다는 점이다.

그리고 행정기구와 조직면에서는 보건물리관계자와의 긴밀한 연락이 없었다는 점을 지적할 수 있다.

첫째 : 연구관계자는 실험기구와 조사장치의 조작에 대한 자세한 실험계획과 검토가 없었다.
그 결과 그들은 Gamma 조사장치의 조작상의 난점을 충분히 숙지하지 못하였을 뿐만아니라, 방사선 안전관리면에서 기본규정을 충실히 지키지 않었다.

둘째 : 피사고자는 방사성 동위원소 취급기술에 대한 재교육, 훈련을 받지 않어 방사선 안전취급에 관한 충분한 지식과 실제적인 취급기술을 습득하지 못하였다.

§3. 〔사고2〕 실험실내의 표면오염 사고

사고발생 상황

방사성 의약품 합성 실험실에서 액체상의 Iodine-131, 10c.c.가량을 자그마한 경질유리병속에 주입한 후 병마개를 닫을때 실수로 인해 실험실 바닥에 떨어트려 버렸으며 작업관계자의 손 및 실험복에 오염이 되였다.

사고조처

i) 사고직후의 처리

작업관계자는 사고발생 직후 흘어져 버린 병조각을 치우고 또 바닥의 액체를 흡수지로써 흡착시켜 닥어낸 후에 손등을 물로 씻어버렸다. 그 후에 방사선 안전관리 담당자에게 검사를 의뢰하였다. 방사선 측정기로서 작업관계자의 실험복 및 손등을 (Probe 방법에 의하여) 측정한 결과 오염이 되었음이 발견되였다. 이 결과를 즉시 연구실 책임자에게 통보하고 출입제한을 하는 동시에 오염제거 작업을 하였다.

그러나 오염사고는 의외로 확대되여 있었다. 다시 말하면 오염발생 근원인 의약품 실험실만이 아니라 그 인근 실험실, 복도, 계측실, 및 일반연구실등에까지도 오염확대를 초래하였음을 발견하였다.

그러므로 즉시 이 확대된 전구역에 대한 오염구역

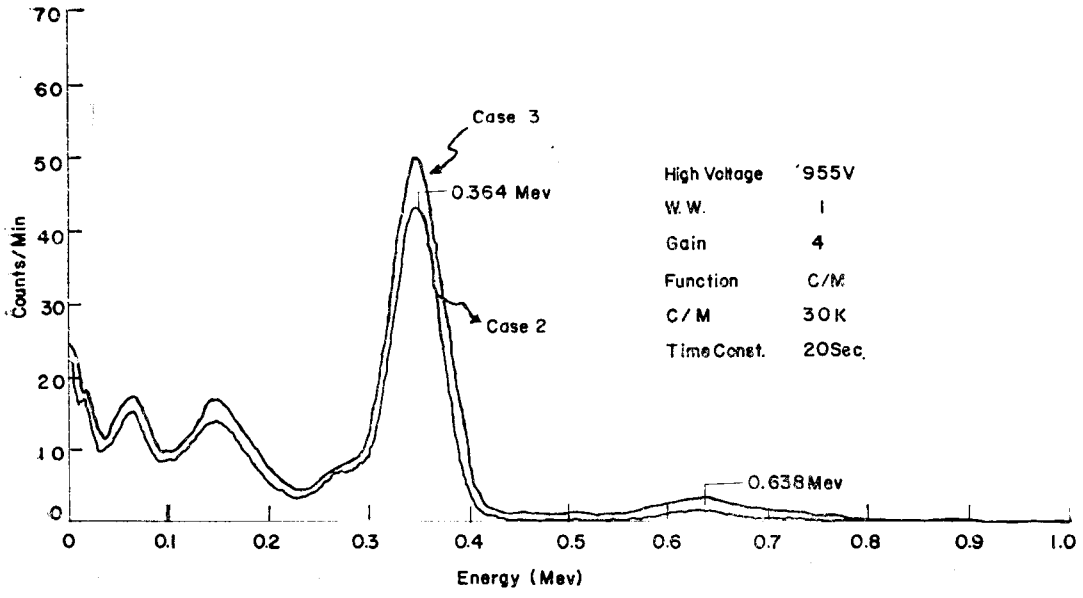

Fig.1 Gamma-Ray Spectrum of Contaminant of Iodine-131 by Radiation Analyzer
(Model 1820, Nuclear-Chicago, U.S.A)

의 설정을 비롯한 출입제한을 하였다. 이들 실험실들은 오염관리 구역이 아니기 때문에 철저한 오염제거를 위하여 오염제거반을 편성하여 오염제거 작업을 하였다. 다행히 의약품합성 실험실의 바닥과 실험대 표면은 Vinyle Sheet로 덮어 놓았으므로 다공성물질(多孔性物質)인 나무와 콩크리트에 까지는 침투 되지 않았다.

ii) 측정 및 결과

작업관계자의 실험복 및 손등을 G-M형 방사선측정기(Model 2612, Mica End-Window Detector, 1.8 mg/cm², Nuclear Chicago Corp)로서 측정한 결과는 표 2에서 본바와 같이 실험복에 부분적으로 오염되었다는 것을 알수 있었다

또 Smear 방법에 의하여 채취한 시료를 Radiation Analyzer (Moldel 1820, NaI(Tl) Scintillator 2″×2″, Nuclear Chicago Corp)를 이용하여 핵종분석을 한 결과는 그림 1에서 보인 바와 같이 I-131 이라는 것을 확인하였다.

일차의 Smear 방법에 의하여 채취한 시료의 측정결과에 따라 오염제거 작업은 점차 진행되고, 다시 Smear 채취결과에 따라 오염제거 작업은 되풀이 되고, 일차에서 5차에 까지 Smear 방법에 의하여 채취된 시료의 측정결과는 Background radiation Level 까지 유지할 수 있었다. 이러한 본격적인 오염제거 작업 결과로 완전한 오염제거를 할 수 있었다.

표 3에 오염발생처인 의약품합성 실험실에서의 오염제거작업 과정에 따라 Smear 방법으로 채취한 시료의 측정결과에 대한 대표적인 측정치만을 참고로 들었다.

원인 분석

i) 인적원인

방사성물질을 취급할 때, 특히 액체상 방사성 동위원소를 취급할 때에 엎지르거나 넘치는 것에 대하여 세심한 주의를 갖고 취급하여야 함에도 불구하고 일반 화학약품을 취급하듯이 하였다는 점이다. 이는 취급자의 방사성물질 취급기술 및 경험부족에 직접적인 원인이 있다. 또한 사고발생 직후 방사선 안전관리 담당자에게 통보하고 오염확대 방지에 대하여 최대한의 노력을 기울여야 함에도 불구하고 그와같은 조치를 취하지 않은 것은 심리적인 어떤 압박감에 사로잡혀 사고의 통보를 하지않고 방치 하므로서 오염의 확대를 초래 하였다.

ii) 환경적 요인

실험실안에서 만이 전용하는 방사선 방호용 신발을 비치, 사용하지 않으므로써 오염확대를 초래였다

§4. 〔사고 3〕 기체상의 방사성 Iodine-131의 신체오염 사고

사고발생 상황

실험실내의 환기장치가 동작되기 전에 피사고자가 실험실내에 들어가 작업을 수행하여 사고가 발생하였다.

사고발생 원인은 전일에 실험실내에서 제조한 Iodine-131에서 발생하는 기체상 방사성물질이 환기장치를 동작시키지 않았으므로서 배기되지 않고 실험실내에 충만하여 있었다. 그다음날 피사고자가 작업을 하고자 실험실내에 들어가므로써 인체표면에 오염을 갖어왔고 또한 흡입으로 인하여 상당한 내부오염을 초래하였다.

사고조처

i) 사고직후의 처리

피사고자의 손, 발, 및 기타 부분을 손발오염 측정기(Hand-Foot Monitor)로 오염여부를 검사하였다 그러나 이상이 있음을 알고 다시 단창형 G-M방사선 측정기를 이용하여 측정하였다.

그 결과 상당한 오염도를 나타냄을 알어냈고 즉각 신체오염제거를 위한 샤워(Shower)를 시키는 반면 실험실내의 기체상 방사성물질을 배기 시키기 위한 환기장치를 동작시켰다. 그후 High-Volume Air Sampler와 Low-Volume Air Sampler (Model TFA-1 and Model SN, STAPLEX Co)를 사용하여 한시간 동안 공기채집(Air Sampling)을 실시하였다.

또한 피사고자의 흡입으로 인한 내부오염여부를 알기 위하여 타액과 콧물을 채취하여 오염도를 측정하였고 오염된 옷등은 오염제거 가능성, 사용여부에 따라 분류하여 오염제거 불가능한 것은 폐기처분 하였고 그이외의 것은 Polyethylene sheet로 포장하여 오염제거 준비를 하였다. 한편 사고자의 갑상선 검사를 방사선 의학연구소에 의뢰하였다.

ii) 측정 및 결과

피사고자의 피복, 타액, 및 콧물등을 G-M 방사선 측정기(Model 2612, Nuclear Chicago Corp)로 측정한 결과, 표 4와 표 5에 나타낸 바와같이 방사성 옥소가 대단히 많이 오염되였다.

또 오염물의 핵종을 확인하기 위하여 Radiation Analyzer (Model 1820, NaI(Tl) Scintillator 2″×2″, Nuclear chicago Corp)를 이용하여 얻은 gamma

ray Spectrum에 대하여서는 그림 1에서 보인 바와 같이 Iodine-131이라는 것을 확인하였다.

채집된 공기시료를 G-M Scaler (Model 151A, Mica End-Window Type, 1.5mg/cm², Nuclear Chicago Corp)를 이용하여 측정한 결과는 $2.16\times10^{-7}\mu$Ci/c.c.로서 이 값은 갑상선(Critical Organ)에 대한 Iodine-131의 공기중 최대허용농도〔(MPC)air〕보다 24배나 높은 값이다.

여기서 더 고려할 점은 공기중 오염농도는 실험실내의 환기장치가 동작한 후의 값이다. 따라서 초기의 공기중 오염농도는 아마 이보다는 조금 높은 값일 것이다.

한편 갑상선 검사결과 기체상 Iodine-131의 흡입으로 인한 갑상선의 집적량은 0.36μCi로 추정되었다. 이 값은 직업인의 갑상선에 대한 주당 최대허용량(Maximum Permissible Organ Content) 0.15μCi보다 2.4배나 된다. 또한 신체내부에서 붕괴되어 버리는 기간동안 $\beta+\gamma$의 갑상선에 대한 개산적(概算的) 총 흡수선량은 41rad이다. 이 값은 Bush와 Holt의 이론에 의거하여 Iodine-131 핵종은 갑상선에 균일하게 분포된다는 가정하에서 유효반감기를 고려하여 계산한 값이다.

원인 분석

사고 발생의 문제점과 원인을 분석하여 보면 인적 요인과 환경적 요인으로 분류하여 생각할 수 있다.

i) 인적 요인

피사고자는 예상되는 사고등에 대하여 여러가지 면에서 조치를 취하지 않았다는 점이다.

피사고자가 환기장치의 동작을 확인하지 않은 것은 부주의한 원인에 기인한 것이다. 또한 실험실내에서의 방사선 안전취급과 작업에 있어서 무엇보다도 "안전제일주의"라는 관념을 잊은데 있다.

ii) 환경 요인

환기장치가 동작을 하지 않았고 기계적 결함으로 기체상Iodine-131이 Processing Unit에서 누출되어 실험실내에 충만된 점이다.

§5. 〔사고 4〕 치료용 Radium 방사선원의 누출 사고

사고발생 상황

서울시내 모 병원에서 40여년 전에 입수, 사용하여 오던 치료용 Radium 방사선원중 한개가 병원내에서 분실되었음을 통보받아 즉시 이에 대한 조치를 취하여 발견하였고, 이를 계기로 이 선원들에 대한 방사능량 조사 의뢰가 와서 원자력 연구소가 보유중인 표준방사선원인 Radium 13.7mg와 0.866mg를 이용하여 상대적으로 보정하였으며 아울러 선원보정전에 이들 선원의 강도(Intensity)와 누출(Leakage)점사도 실시하였다.

사고의 발견동기는 이들 방사선원중 약 3mg(?)선원에 대하여 방사능 강도보정을 하고자 강도측정과 누출검사를 한 결과 방사선 측정기에 아무런 반응이 없어 선원이 완전누출되었음을 알았다.

사고조처

i) 사고직후의 처리

선원에 대한 방사능강도 및 누출검사를 G-M 방사선 측정기, Juno 방사선 측정기와 R-meter 등을 이용하여 선원보정 전에 실시하였고, 누출검사에서 채취한 Smear Sample (및 Wipe Sample)을 계측기를 이용하여 그 오염도를 계측 하였다.

누출검사 방법으로는 선원밀봉용기(Capsule)를 솜과 polyethylene film으로 싸서 2일동안 납용기속에 넣어 두어 Radium선원의 누출로 인한 오염검사를 하므로써 선원용기의 속이 텅비어 있음을 확인하였다.

따라서 우리는 선원을 병원당국에 회송하는 동시에 선원의 사용불가능을 통보하였다.

ii) 측정 및 결과

Radium 선원은 Juno 방사선 측정기(Model 17, Technical Associate), G-M 방사선 측정기(Model 2612, Nuclear Chicago Corp)와 R-meter (Model 57. Chamber Model 130, Victoreen Instruments Co)등을 이용하여 측정한 결과는 아무런 반응을 나타내지 않았다. 그러나 Smear와 Wipe 방법에 의하여 얻은 Sample을 비례계수식 계측기(Model PC-3A, Windowless gas flow type, Nuclear Measurement Corp)로써 계측한 결과 선원밀봉용기의 표면이 표 6에 표시된바와 같이 오염되었음이 확인되었다. 따라서 상기의 두가지 측정결과에 의하여 Radium선원밀봉용기가 텅빈 용기뿐이라는 결론을 지었다.

또한 병원당국의 선원보관 및 사용장소 주변의 오염여부를 검사한 결과는 다행한 일인지는 모르지만 (?) 오염은 발견할 수 없었다.

원인분석

Radium 선원이 선원밀봉용기로 부터 누출된 사고는 중대한 것이다. 사고발생 원인에 대한 분석과 결과에 대한 정확한 평가가 불가능한 것은 선원의 보관 및 사용기록이 없었고 사고발생의 발견, 즉 누출

확인 및 누출량 측정이 사고발생후 상당한 기간이 지난후에 실시되었기 때문이라고 본다.

현시점에서 사고발생 원인분석을 인적 및 환경적 요인의 관점에서 고찰하여 보면 다음과 같다.

i) 인적 요인

그들은 심리적 요인에 기인하는 방사성 동위원소의 안전취급에 관한 새로운 지식과 기술을 얻지 못하였다

왜냐하면 그들은 구제대학 교과 과정에서 배운 지식뿐이었고 또한 전문기관과의 자문에 소홀하였을 뿐만아니라 경시하였다는 점이다.

ii) 환경적 요인

첫째 ; 방사선 측정기를 하나도 보유하지 않았고 그들자신의 환경이 방사선 안전관리면에서 전혀 고려되지 않고 있었다.

둘째 ; 기구와 조직체계면에서 방사성 동위원소 취급분야에 대한 훈련과 경험을 갖춘 직원이 없어 방사선 안전관리에 대하여 전혀 고려할 수 없었다.

§6. 결론 및 토의

피사고자가 파괴폭을 받은 것은 방사성물질 조작당시에 그 개인 자신의 부주의와 소홀함에 기인한다(심리적인 요인). 한편 치료용 Radium 선원의 누출사고는 중대한 사고이며 사고원인 분석, 평가가 어려웠든 것은 방사선원의 보관, 사용상에 대한 모든 정보를 얻을 수 없었고 동시에 사고발견이 늦어진 점이다.

이와같은 사고발생이 점차 확대일로에 있음을 경험하였고 그 결과가 대단히 유익하지 않은 문제를 초래하였다. 우리들은 이상과 같이 사고발생의 요인이 어디에 있는가를 경험하였으며 이 요인을 포괄적으로 기술한다면 표 7에 나타낸 바와 같다.

여러가지 사고의 경험을 통하여 우리들은 사고 발생의 요인을 파악하고 먼저 "안전제일"이라는 것을 염두에 두고 연구 및 작업에 종사해야 할뿐만 아니라 둘째로 예방을 위해 철저히 행동해야 한다. 따라서 계획하고 방사선 안전관리 담당자와의 긴밀한 협조아래 계획수행전에 문제점을 찾아내고 재검토하고 미비점을 보완하므로서 방사선 사고의 예방과 사고가 발생할 경우, 이에 대처하여 그 확대를 방지할 수 있을 뿐만 아니라 사고처리를 원활히 진행시킬 수 있는 것이다.

방사선사고는 비단 원력연구기관만이 아니고, 입자가속장치, X—선기계 및 방사성 동위원소등을 연구용으로 이용하는 대학, 검진과 치료를 위하여 사용되는 X—선기계와, 방사성 동위원소를 이용하는 병원, 기타 공업용 X—선기계 및 Gamma Guage 등을 이용하는 산업공장, 그리고 Gamma 선조사 및 방사성 동위원소의 분배, 판매등을 하는 사업체등에서 위험성과 방호조치에 대한 식견부족과 순간적인 소홀때문에 발생하고 있을 것이다. 그러나 그 결과가 사고발생 그 당시에 발현(發現)되지 않으므로 취급자나 관리인들이 장차 입을 위험한 피해에 대하여 관심을 두지않고 사고자체를 은폐하는 실정이다.

그러므로 시설이용자나 관리인은 언제, 어디에서 발생할지도 모를 위험을 초래하는 사고에 대비하여 그 안전방호를 위한 재교육과 장비와 시설의 완비를 서둘러야 할것이고 비록 자그만한 사고일지라도 지체없이 관계기관에 통보하여 필요한 협조를 얻어 사고대책에 만전을 기하여야 할 것이다.

References

1. R.J. Sherwood, Eds.: A short course on radiological protection, AERE-L 101, (1959)
2. N. B.S.: Safe handling of radioactive materials, Handbook No. 92(1964).
3. N.B.S.: Permissible dose from external sources of ionizing radiation, Handbook No. 59(1957).
4. N.B.S.: Protection against radiations from radium, Cobalt-60 and cesium-137, Handbook No. 54(1954)
5. N.B.S.: Report of the I.C.R.U., Handbook No. 62(1956)
6. N.B.S.: Protection against radiation from sealed gamma sources, Handbook No.73(1960).
7. N.B.S.: Safety standard for non-medical X-ray and sealed gamma-ray sources, Handbook No. 93(1964).
8. H.M.S.O.: Maximum permissible doses from external radiation, Code No. E.1.1. (1960).
9. J.E. Dummer, Eds.; Los Alamos Handbook of radiation monitoring, LA-1835 (1958)
10. I.C.R.P.: Permissible dose for internal radiation (1959), Publication No.2 (1960).
11. D.J. Rees: Health Physics, P81- , (1967), Butterworths.
12. US. Dept. of Health, Educat. Walf.,: Radiological Health Handbook, PB 121784 R,(1960).
13. General Atomics: Health Physics Handbook, OSP-277 (1961).
14. G.J. Hine and G.L. Brownell, Eds.: Radiation Dosimetry, P693-, P801-,(1956).
15. F.Bush; Brit. Journal of Radiol., Vol.22-,P96-105, (1949).
16. H.E.Johns: Physics of Radiology, P442- , (1964), Charles C Thomas.
17. I.A.E.A.: Basic safety standards for radiation protection, Safety series No.9 (1967).
18. I.A.E.A.: Medical supervision workers, Safety series No. 25(1968)
19. H.D.Lee: Journal of Nuclear Science, Vol. 9, No. 1, (1) P9-13 (1969).
20. I.C.R.P.: Recommendations of the I.C.R.P. (1965), Publication No.9. (1966).

Table I. Summary of major radiation accidents in A.E.R.I. (1961-1969)

Date	Accidental Zone	Contaminated nuclide and radiations (forms)	Accidental area (m^2)	Working time for decontami—nation (Hr)	Accidental levels: Initial intensity (before decont.) Maximum (dpm/100cm^2)	Accidental levels: Final intensity (after decont.) Maximum (dpm/100cm^2)	Remarks
1961 Jan.7	Electronics Lab.	$RaCl_2$ (powder)	Floor; 140 Wall: 123 Window: 29 Ceiling: 70	384	6,000	104	Decontamination working was performed by using wipe with liquid soap and warm water.
May. 18.	Radiochemical Lab.	Eu-152 (Liquid)	Floor:2	—	54	0	
1962 July. 10.	Radiochemical Lab.	liquid waste over flowed from pipe & Na-24	Floor:28	324	9,117	3,620	Closed for 20 days after decontamination.
July. 12.	Radiochemical Lab.	liquid waste over flowed from pipe & Na-24	Floor:30	146	19,810	900	Closed for 7 days after decontamination.
Sept. 11.	Reactor top.	Al sample tube were corroded $FeCl_3$	Removal tube:2	181	37,730	860	Specimen removal tube.
Oct. 10.	Hood of radio chemical Lab.	unknown	Basin:1	10	I,210	—	Hood was not allowed to use for 1 day.
Oct. 10.	Hood of radio chemical Lab.	unknown	Basin:0.5	3	4,200	—	Hood was not allowed to use for 2 days.
Oct. 12.	Facilities & floor of the waste disposal plant.	Mixed(waste)	4	47	20,604	406	Surface of the bench was pared away.
Dec. 26.	Beam port #1	unknown	0.5	2	629	—	Inner wooden plug.
1963 May.1	Reactor top	Sc_2O_3	3	168	203,960	117,270	Covered with vinyl sheet.
May. 21.	Radiochemical Lab.	Unknown	11	480	4,160	1,715	Closed
May. 29.	Radiochemical Lab.	Unknown	5	288	21,704	3,025	Passing was limited.
Jul. 2.	Radiochemical Lab	Eu-154	3	24	590	460	Cleaned up.
Jul. 22.	Radiochemical Lab.	Unknown	33	24	22,290	920	Cleaned up.
Sept. 11.	Radiochemical Lab.	Unknown	17	192	9,366	300	Passing was limited.
1964 Mar.12	Radiochemical Lab.	Unknown	7	120	5,677	358	Passing was limited.
Jul.14	Reactor top	Irradiated sample were spilled.	3	6	1,960	280	Cleaned up.
Sept.18	Reactor hall	Irradiated sample were spilled.	21	24	33,150	480	Cleaned up.
1965 Jul.	Chemistry Lab.	C-14	Floor:0.4	144	500over	300	Passing was limited.

Aug.	Radiochemical Lab.	Sr-90 (liquid)	Floor:2	72	20 mrad/hr	0.15 mrad/hr	Closed.
Sept.	Gamma irradiation room	Co-60 r-ray		1.7 min.	130 rem	—	Exposed to whole body. To be examined at the RRI.
1966 Jul. 28.	Physics Lab.	Unknoun	Table:0.5	—	5 mard/hr	—	Covered with vinyl sheet.
Jul. 29	Counting room in the reactor building	C-14 (liquid)	Finger & counter:0.05	2	20 mrad/hr	0.1 mard/hr	Cleaned up.
Aug. 4	Chemistry Lab.	I-133 & Hg-203 (liquid)	Floor:200 Wall:40	312	56,855	208	Closed and passing was limited.
1967 Jun. 22	Heat transfer Lab.	NaCl (liquid)	Floor:1	3	2 mrad/hr	0.06 mard/hr	Passing was limited
Jul. 27.	Radiochemical Lab.	S-35 (liquid)	Floor:0.72	3	5 mrad/hr	0.06 mrad/hr	Passing was limited.
Aug. 2	Counting room in the reactor building.	Cr-51(liquid)	Table:0.09	2	350	0	
1968 Jan. 29.	Radiochemical Lab.	I-131 (gaseous)	Whole body, Clothing	—	Over 20 mrad/hr	0	Thyroid ckeck at the RRI. 0.36 uCi of I-131 were accumulated.
May. 23.	Chemistry Lab.	Unknow	Floor:0.43	0.5	0.2mrad/hr	0	Covered with vinyl sheet.
Nov. 1	Radiochemical Lab.	S-35(powder)	Skin & clothing	1	3mrad/hr	0	Cleaned up.
Nov. 1	Biology Lab.	I-131(liquid)	Floor:34	48	1,600	38	Cover with vinyl Sheet.
1969 Jan. 9	Furnace room	U-238(solid)	Floor:035	48	246	—	Cleaned up.
May.	Radiochemical Lab.	Au-198(liquid) Cr-51(liquid)	Floor:40 Table:6	2,400	791,722 (over 20 mrad/hr)	—	Cleaned up. Covered with vinyl sheet.

Table 2. Contamination levels of miscellaneous parts

Articles	Contamination level (mrad/hr)	Remarks
Hollow of the hands	0.45	—
Fingers	0.45	Between the fingers
Experimental garment	0.6	Maximum level
Floor	13.0	Maximum level at the front of the refrigerator
Floor	0.27	Side of the experimental table

Table 3.
Contamination levels with decontamination steps at the contaminated area in the laboratory

Unit: dpm/100cm²

Number of samples	Initial contamination level	After 1st decontamination	After 3rd decontamination	After 4th decontamination
A	4,145	573	123	56
B	5,274	1,606	223	0
C	3,386	1,623	187	0
D	2,204	478	28	0
E	7,004	838	91	0
F	8,021	465	62	0
G	6,801	674	41	17
H	4,511	747	93	8
I	7,054	573	43	0
J	3,710	679	43	6
K	10,939	706	76	0
L	24,676	598	189	100
M	25,489	581	82	25
N	56,855	1,540	342	83
O	5,976	556	23	0
P	6,182	614	80	50
Q	5,015	556	79	66
R	5,918	432	56	0
S	6,336	714	38	17

Table 4. Contamination levels of miscellaneous excrements of the victim

Kind of excrements	Contamination levels (mrad/hr)	Remarks
Salvia	0.035	R: samples taken from right side of the nose of the victim L: samples taken from left side of the nose of the victim
Snivel	0.17(R)	
	0.05(L)	

Table 5. Contamination levels of miscellaneous parts

Unit: mrad/hr

contaminated parts / Articles	Right sleeve	Left sleeve	Part of breast	Around a neck	Part of waist	Part of knees	Part of hip	Other parts
Experimental garment	5.0	0.6	—	0.05	—	—	—	1.1
Trousers of working cloth	—	—	—	—	—	20.0	7.0	2.0
Underwear (upper)	0.4	0.5	9.0	1.0	—	—	—	—
Underwear (lower)	—	—	—	—	0.12	—	—	0.17
Sweater	3.0	1.5	6.0	0.4	—	—	—	—

Table 6. Leakage test datas for the therapeutic radium source capsule

No.	Radiation	Net counts (CPM)	Remarks
1	α	9.2±1.35	1) Samples were taken after 2 days in covering with the surface of the source which are wiped and sticked by cottons and smear papers.
	$\beta+\gamma$	27.2±6.21	
2	α	5.8±1.16	
	$\beta+\gamma$	6.2±5.87	2) Employed by PC-3A proportional counter (windowless type, N,M,C,)
3	α	2.3±1.13	
	$\beta+\gamma$	2.5±5.21	

Note: No detectable by mica endwindow type G-M survey meter (Model 2612, mica window; 1.5mg/cm^2,N,C,)
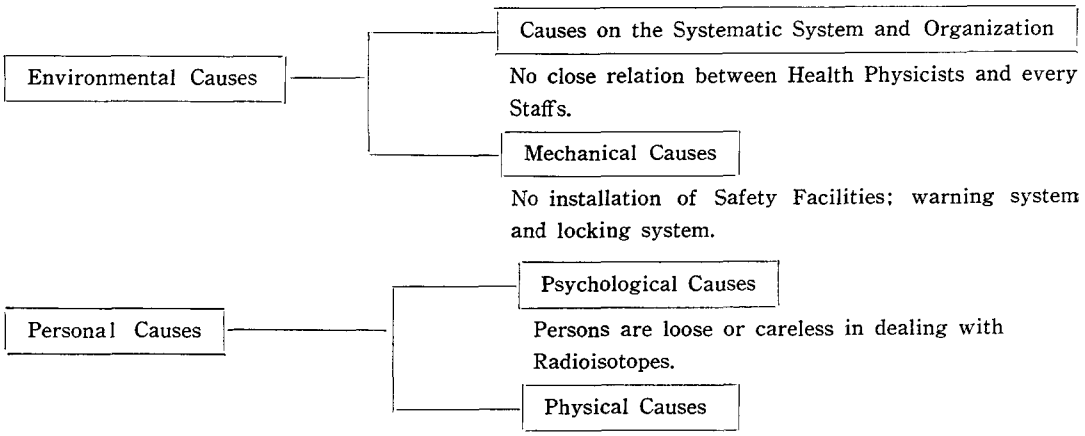
Table 7. The Analysis of Causes in the accidents