

폐기라듐 선원의 밀봉, 차폐포장 및 고화처리

Encapsulation, Shielding, and Packaging for Conditioning of Spent Radium Sources

강일식 · 김태국 · 이범철 · 김길정 · 홍권표

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

폐기 라듐선원의 안전한 보관과 처리는 국제사회에 새로운 중대 사안으로 대두되고 있다. 이에 따라 우리나라는 IAEA의 요청에 의해 전문가팀을 구성하여 동남아시아 국가를 대상으로 현지에서 처리 지원하기에 이르렀다. 본 논문의 목적은 국내 전문가팀이 싱가포르에서 수행한 폐기 라듐선원의 처리기술, 방사선관리 및 작업내용을 기술함으로써 향후 국내에 저장중인 폐기선원의 처리에 안전하고 효율적으로 활용하는데 있다. 본문의 내용은 국내 전문가팀이 미얀마와 태국에 이어 싱가포르에서 보관하고 있던 폐기 라듐선원을 현지에서 IAEA 기술자문관인 Al-Mughrabi와 싱가포르 국립암센터의 관리하에 처리작업을 수행한 결과이다. 싱가포르에서 발생된 204개의 폐기 라듐선원을 17개의 소형캡슐과 1개의 대형캡슐에 분배하여 용접하고 2개의 차폐용기에 포장하여 2개의 시멘트 고화드럼에 차폐 저장하였다. 처리된 전체 방사능량은 938.56mg이고 드럼별 방사능량은 각각 497.5mg과 441.06mg 이었다. 한편 선원의 분배와 인출과정에서 오염된 비닐슈트, 제염지와 피복 등의 2차폐기물은 플라스틱 사각 콘테이너에 넣고 시멘트 고화처리 하였다.

Abstract

The appropriate management and conditioning of spent radium sources have been risen to one of the greatest challenges faced by the international society. The expert teams in Korea were organized to tackle this problem by the request of IAEA and supported to condition sources in Southeastern Asia. The main object of this paper is to apply safely and effectively conditioning of spent sealed sources in our country near future by virtue of describing the technology on conditioning the national inventory of spent radium sources in Singapore. The paper is the result that the Korean expert team successfully carried out the conditioning of spent radium sources in Singapore with accumulated experiences. The conditioning operation was carried out under the supervision of IAEA's technical officer, Mr. Al-Mughrabi and Singapore Nuclear Cancer Centre. The 204 sources of spent radium stored in Singapore were encapsulated and welded in 17 small capsules and a large capsule, and conditioned in 2 lead shields, producing 2 packages. As a result of this operation, a total amount of 938.56mg were conditioned and distributed into 2 shielding devices, holding 497.5mg and 441.06mg. In addition, the contaminated objects and the secondary wastes produced during segregation and dismantling of sources were immobilized in a plastic box.

1. 서론

라듐선원은 의료용뿐 만 아니라 다양한 용도로 사용되고 있으나 최근에는 취급하기에 안전하고 용이하며 누출을 방지할 수 있는 다른 선원으로 대체되고 있다. 한편 폐기된 라듐선원은 부적절한 저장으로 인하여 라듐의 자연붕괴에 의한 가스 발생으로 내압을 발생하며 이에 의한 결과로서 피폭 및 사고의 원인이 되고 있다[1]. 이에 따라 IAEA에서는 개발도상국과 밀봉 폐기선원의 처리에 경험이 없는 국가를 대상으로 폐기 라듐선원의 처리를 지원하고자 폐기 라듐선원 안전처리사업을 실시하고 있다[2].

우리나라는 IAEA의 요청에 의해 방사성폐기물관리 및 방사선안전관리와 용접부문에 경험이 많은 전문가 팀을 구성하여 동남아시아 국가를 상대로 2000년 10월에 처음으로 국내의 전문가 팀을 파견하여 미얀마에서 보관중인 1,429.5mg의 폐기 라듐선원을 현지에서 처리 지원하였고[3], 한전 원자력환경관리센터의 전문가 팀은 2001년 2월에 태국에서 보관하고 있던 4,823.6mg의 선원을 처리하였으며[4], 금년에는 싱가포르에서 보관중인 선원을 성공적으로 처리하기에 이르렀다.

2. 처리를 위한 기술적 요구사항 및 처리기술

2.1. 기술적 요구사항

2.1.1. 시설물

처리작업은 저장시설과 저장시설에 인접한 곳 혹은 편리성을 위하여 가까운 곳에 실험구역(작업구역)을 필요로 한다. 만일 그렇지 못하다면, 방사성폐기물 운반도 또한 처리작업에 들어가게 될 것이다. 작업구역의 설명 및 요구사항은 다음에 상세하게 설명되어 있다. 적당한 저장시설을 위한 상세 설명서는 IAEA-TEC-DOC-806[5]에 서술되어 있다.

2.1.2. 작업구역의 지정

라듐선원을 취급 또는 조정하는 구역을 작업구역이라 부른다. 이러한 구역은 제한구역과 일반구역으로 나뉘어지고 표시된다. 제한구역은 특별 안전규칙을 따라야 하는 구역으로서 방사능 피폭상태가 작업자에 대한 주요 피폭한계의 1/50보다 큰 연간 유효등가선량에 이르게 한다. 본 구역 내에서 방사선방호 전문가는 안전한 작업조건을 보증하고 불필요한 피폭을 방지하기 위하여 적절한 감시와 관리를 수행할 것이다. 일반구역은 방사선 안전규칙으로부터 배제된 구역으로서 연간 유효등가선량이 일반대중에 대한 주요 피폭한계보다 약간 적다. 이곳은 보통 작업구역을 둘러싼 구역으로 발생 당시의 용기에 들어있는 선원은 저장장소로부터 제한구역으로 운반된다. 본 구역에서 납 차폐용기는 드럼내에 최종적으로 넣기 위하여 취급될 수 있다.

2.1.3. 작업계획

충실하게 계획된 작업을 위하여 활동계획은 초기에 개발되어야 한다. 당사국에서의 라듐 처리작업을 위해 지원승인 시점에서부터 라듐선원의 처리를 완료할 때까지 수행하여야 할 모든 활동은 확인되어야 한다. 라듐선원 처리요청이 접수될 때, 기반조직 뿐 만 아니라 라듐선원의 상태가 양호하게 규정되지 않고 혹은 불분명할 수도 있다. 그러므로 활동계획은 실제 상태를 규명하고 처리작업을 포함하여 수행되어야 할 필요성이 있는 모든 업무를 확인하기 위한 도구가 될 것이다. 목적을 분명히 하기 위해서 세부계획 및 당사국의 특수계획을 작업계획이라 부른다. 기술자문역에 의해 일단 작성된 이 작업계획은 모든 관련 당사자에 의해 승인되어야 한다.

2.1.4. 예비 작업

처리 작업전에 수행하는 모든 작업은 예비작업으로서 간주되어진다. 라듐 목록에 관한 모든 정보와 특히 총 방사능량, 선원 수량, 형태 및 밀봉 상태 등의 정보를 소유하는 것이 중요하다. 목록 및 선원상태에 따라 또한 다양한 소모품이 설계, 제작 및 준비되어야 한다. 중량, 방사능 용량,

부피 및 외부선량을 등을 고려하여 차폐용기를 최적화하기 위한 적당한 선량 평가 소프트웨어를 사용하여 차폐기기를 설계할 필요가 있다. 설계가 일단 완료되면, 차폐용기를 준비하기 위하여 적당한 제작자가 요구된다. 차폐용기는 또한 사용하기 전에 준비되어야 할 필요가 있다. 라듐선원을 밀봉하기 위한 스테레스강 캡슐을 제작하여야 한다. 캡슐 크기는 선원의 크기와 차폐기기의 형태를 고려하여야 한다. 향후 처분을 고려하여 수정이 가능하도록 보증하고 작업을 용이하게 수행할 수 있도록 확증하기 위하여 모든 필수적인 정보를 포함한 선원의 목록이 매우 조심스럽게 서류화되어야 한다. 전체 라듐수량 및 선원 각각의 형태와 방사능은 최종절차 허가 및 캡슐의 필요수량과 크기 그리고 차폐용구의 수량을 확인하기 위한 중요한 수량이다.

향후 작업을 수행하는데 있어서 융통성을 발휘하기 위하여 특히 만일 고화드럼의 운반을 포함하는 작업일 때 차폐용기당 총 방사능량을 500mg으로 분리하는 것이 중요하다. 여기에서 서술된 기술적 절차 및 지침은 일반 작업조건에 따라 준수되고 적용되어야 한다. 본 단계의 끝 무렵에서 모든 선원은 처리작업이 수행될 장소에 임시저장 상태로 보관하여야 하며 선원의 밀봉을 포함하여 상기에서 규정한 상태가 양호하게 확인되어야 한다. 작업구역은 특히 처리전 현황 파악을 위한 현지 조사과정에서 기술자문역 또는 전문가에 의해 제시된 모든 권고와 요구 사항들은 고려되어야 하고 부합하여야 한다.

2.1.5. 처리 단계

임시 저장고에서 처리구역까지 선원을 운반하기 위해서는 적절한 절차를 선택하여야 한다. 작업참여자의 피폭율을 고려하여 ALARA 원칙이 충실히 준수되어야 한다. 에폭시 코팅, 도장, 내부 콘크리트 라이닝 및 표지부착과 같은 드럼 준비는 기술절차에 따라 그리고 드럼을 최종 용도로서 사용될 수 있도록 처리작업 이전에 수행되어야 한다. 모든 작업을 수행하는 동안에 당초 예상 및 설계하지 않았던 방사성물질을 포함한 어떤 작업도 수행하지 않아야 하며, 연속적이고 체계적인 감시 및 오염관리가 수행되어야 한다.

2.2. 처리기술

IAEA와 오스트리아 Seibersdorf 연구소가 공동으로 개발하고 IAEA와 브라질의 CDTN에 의해서 공동으로 라틴 아메리카의 우루과이, 니카라과, 과테말라, 에콰도르와 파라과이에서 수행된 총 2,897mg의 폐기 라듐선원 처리방법[6]은 먼저 폐기 라듐선원을 스테인레스 스틸 캡슐에 최대허용량을 50mg으로 하여 밀봉 용접하고 철재 라이닝 납 용기에 최대 500mg을 넣은 후 콘크리트를 채운 200L 철재 드럼내에 넣어 포장한다[7, 8]. 이렇게 처리된 선원은 해당국가의 관리하에 적절한 장소에 저장하고 재사용 할 경우를 대비하여 심지층 저장소에서 처분하기 전에 향후 어느 시점에서의 재처리가 용이하도록 하는 방법을 채택하고 있다.

3. 품질보증 프로그램

폐기 라듐선원의 처리작업은 전문가팀에 의해서 작성된 품질보증 프로그램에 따라, 또한 처리공정의 모든 절차를 문서화하는 것을 포함하여 수행될 것이다. 선원의 처리 및 저장과 관련하여 품질보증에 대한 일반적인 지침이 IAEA에서 제공한 “방사성폐기물 포장에 관한 품질보증”[9]에 서술되어 있다. 본 프로그램은 다음과 같은 사항을 포함하고 있다.

3.1. 캡슐 용접 및 재질의 품질

3.1.1. 캡슐 용접

캡슐의 용접을 위해 사용되는 TIG 용접기는 10~160A의 전류, 직류형, 아르곤 가스 사용, 족담식의 완만한 조정기를 구비하고 있다. 용접토치는 SW-30 또는 세라믹 노즐 8번, 직경 3/32", 60°원뿔형 tip의 WTh(텅스텐-토륨) 전기봉을 갖추고 있다. 용접 토치안의 아르곤양은 반드시 분

당 8에서 10리터이어야 하며 용접은 직극성(negative electrode)에 직류로 행하고, 30A에서 50A사이에서 용접사에 의해 페달로 조정하여야 한다. 캡슐 용접은 반드시 자격이 인증된 용접사에 의하여 행해져야 한다. Spot 용접은 뚜껑을 똑바른 위치에 두고 120°의 각도로 두 군데를 용접한다. 용접은 120°각도로 두 군데를 spot 용접한 다음 등글게 단 한번의 용접으로 380°를 용접한다. 즉, 20°의 오버랩을 가진다는 의미이다. 용접시간은 반드시 25초 이내이어야 한다. 한편 균열과 소성가공의 발생 방지를 위해 용접부분은 자연냉각 되어야 한다. 캡슐의 누설시험은 ISO 9978[10] 기준에 의하여 용접된 캡슐을 desiccator chamber에 넣고 절대압 0.25기압으로 진공펌프를 가동하여 1분간 유지하여 버블의 발생여부를 관찰하는 누설시험을 수행한다.

3.1.2. 캡슐 가공

방사능을 띤 라듐을 일차적으로 보관하게 되는 캡슐은 용접시 문제가 발생하지 않도록 제시된 도면과 일치하게 가공되어야 하며 오염등의 위험이 없도록 표면이 깨끗하게 처리되어야 한다. 캡슐은 반드시 3/4" 외경, 3mm 두께, 캡슐 길이 110mm인 AISI 304 스테인레스 스틸 용접 튜브로 만들어야 한다. 이때 큰 캡슐은 특수선원을 위하여 사용한다. 또한 유사한 재료는 가능하면 스틸 handbook의 이용 가능한 스틸 재료와 비교하여 면밀한 평가를 거친 후에 사용할 수 있다. 캡슐은 3mm 스테인레스 스틸 판으로 양쪽을 밀봉한다. 스틸봉의 경우, 저장시에 누설을 발생할 수 있는 고유결함의 원인이 되는 가공하지 않은 원재료는 사용하지 않아야 한다. 용접을 하기 전에 캡슐과 양쪽 뚜껑의 먼지, 녹, 그리스 또는 윤활유 등을 반드시 제거하여야 한다. 이들을 가공한 후 중성세제 5%를 함유한 초음파 물 세척기에 10분 정도 세척하고 용접하여야 한다. 용접한 후에는 바로 아세톤으로 닦아야 한다.

3.2. 선원 처리절차의 품질

3.2.1. 선원 운반

중앙처리시설에 선원을 운반하기 위한 준비 과정은 작업자와 일반 대중의 피폭 방지 및 주변 환경 오염의 방지를 위하여 매우 중요한 사항이다. 선원과 관련하여 가능한 한 모든 정보의 수집, 보고서 작성 및 기록관리와 추정 방사능량 및 형태 등과 같은 선원의 특성을 확인할 수 있으며 취급 및 보관관리와 포장, 인식표 준비 및 운반을 위해 필요한 기록관리와 문서화가 요구되고 운반전에 육안 검사, 외부 오염도 확인, 선량을 측정 등과 같은 포장물 관리가 반드시 필요하다.

3.2.2. 처리 작업

처리작업의 특성과 폐기물 포장에 관한 결과물은 저장과 다음 단계의 취급을 하는 과정에서 안전성을 확인하기 위하여 특별히 관리되어야 한다. 따라서 방사성 핵종 및 방사능량의 결정, 처리 시설에서 제조된 다양한 형태의 드럼, 콘크리트, 차폐체 등 포장용기 품질관리, 관리규정에서 정한 필요사항, 운반 및 임시저장의 허용기준에 일치하기 위한 선원의 밀봉과 포장계획, 캡슐내의 선원의 배치와 캡슐 일련번호 표시, 캡슐 용접, 누설시험, 포장전의 캡슐검사, 포장 준비, 포장물 내의 캡슐 배치 및 포장물의 용접과 일련번호 표시와 같은 일련의 처리작업, 처리된 포장물의 시험 및 표면오염도, 선량을 등의 측정과 자료 수집 및 기록 유지에 관한 사항을 포함한 절차서가 마련되어야 한다.

3.2.3. 임시저장

저장시설의 관리의 처리 폐기물의 품질 및 향후 대책을 보증하는 체계적인 보강과 유지 관리를 정의하도록 품질보증 프로그램의 토대에 기초하기 때문에 매우 중요하다. 따라서 상세한 조직 체계 및 책임감, 포장물 관리대장, 선량을 및 표면오염도 측정, 육안검사와 저장된 포장물의 수량, 오염, 누설 여부 및 물리적 강도의 정기검사와 방사선 방호 측면에서의 시설 모니터링과 저장 기간에 발생된 모든 중요한 상황의 기록 유지 및 기록 관리에 관한 최소한도의 관련 절차가 마련되어야 한다[11].

3.3. 작업환경 감시 및 방사능 측정의 품질

방사능 작업을 수행함에 있어서 작업장과 주변 방사능을 감시하는 것은 만족한 작업조건을 유지하고 있는지를 확신하고 개인피폭 평가를 위한 정보를 제공하며 오염 확산을 방지하고 또한 작업환경에 맞는 적절한 작업절차서를 작성하기 위함이다.

3.3.1. 감시형태

감시형태로는 정상적인 작업을 수행할 때의 관리를 목적으로 하며 주변 환경의 변화가 없고 만족스러운 작업 환경을 확신할 때 수행하는 일상 감시(route monitoring)와 비일상적인 작업을 수행할 때의 오염 확산을 관리함을 목적으로 작업 행위에 대한 즉각적인 결정을 보조하며 단기적인 절차에 적용하는 작업 감시(operational monitoring), 오염 참고 준위를 유도하고 사고와 같은 비정상시 수반되는 작업과 관련하여 특정한 문제를 해명하는 특수 감시(special monitoring) 및 피부오염 감시가 있다.

3.3.2. 검교정

교정용 표준선원으로서 먼저 1급 표준선원의 필수요건은 국제표준기관에서 명시한 요건을 만족하고 선원 한쪽면에 backing material을 전기 도금한 평면 선원으로서 표면 방사능이 후방산란의 영향을 받지 않을 정도의 두께이어야 한다. 2급 표준선원은 1급 표준선원에 대하여 명시된 일반적인 요건을 만족하나 표면 방출율의 불확실도가 $\pm 6\%$ 이하이다. 작업선원에 대해 명시되는 구체적인 요건은 사용자의 책임사항이며 일상적인 교정과 관련한 방사능량 및 크기 등의 요건이 필요하다. 교정 방법으로는 ISO 8769에 따른 단위면적당 방출율을 알고 있는 표준선원에 의해 기기 효율을 결정하는 방법과 detector-window와 선원 표면과의 거리를 약 5mm 정도로 하여 측정 기기에 대해 실제 교정하는 방법이 있다. 싱가포르 페라둠 현지 처리작업을 위하여 사용된 방사능 계측기는 오염도 모니터, 개인 피폭선량계, 저준위 감마 프로브 및 서베이미터이며 이것들은 한국원자력연구소 방사선관리실에 의뢰하여 검교정을 실시하였다.

4. 선원 처리장비 및 소모품

4.1. 장비 조달

폐기 라듐선원을 처리하기 위한 모든 장비와 소모품들은 IAEA에서 제공한 기술지침서의 목록에 근거하였다. 싱가포르 현지 사정에 따라 IAEA에서 직접 구매하여 국내 전문가팀에 용접기와 자동용접장치 및 누설시험기를 제공하였으며 싱가포르 현지에 운송되어 설치한 공기정화시스템이 있다. 전문가 팀은 IAEA의 예산을 지원 받아 납차폐용기, 운반용기, 공구류와 캡슐 등을 구매 제작하였으며 싱가포르 현지에서는 작업대, 운반구, argon gas 및 체인블록 등을 준비하였다.

4.2. 처리장비

시멘트 고화드럼 및 납 차폐물의 하역을 위한 1톤 용량의 체인블록과 운반용 카트, 비인가자의 작업구역내 출입방지를 위한 이동식 장애물, 용접캡슐의 누설을 시험하기 위한 0.25kPa의 진공도를 나타낼 수 있는 진공펌프 및 desiccator, 방사선량을 계측기와 표면오염도 검출기가 필요하다.

4.3. 소모성 물품

라듐선원을 밀봉하여 용접하는 $\text{Ø}20 \times 110 \text{mm}$ 스테레스강 소형캡슐과 $\text{Ø}50 \times 130 \text{mm}$ 대형캡슐, 소형캡슐용 9개 및 중앙의 대형캡슐용 구멍 1개로 배열된 납차폐용기, 콘크리트 차폐드럼, 방사선표시가 색인된 구역 경계용 테이프와 방사선 표지물, 작업구역의 오염을 방지하기 위한 플라스틱 비닐과 알미늄 호일, 제염지 및 흡수지, 아세톤과 글리콜이 필요하다.

4.4. 실험실용 장비

공기정화 시스템을 구비한 후드와 불침투성 표면 처리되어 제염이 용이한 실험실 작업대, 모서리용 벽돌을 포함한 차폐용 납 벽돌과 납 유리, 소형 및 대형캡슐을 넣어 용접할 수 있는 납 차폐체, TIG 용접기와 자동용접장치, 캡슐 원격조작용 텅과 선원을 집어 이동하는 집게 및 거울, 폐기물 수집통과 포장비닐, 처리된 선원의 정보를 나타낼 수 있는 철제 이력표가 필요하다.

4.5. 개인 방호용품

라돈 및 방사성 먼지용 여과필터가 장착된 가스 안면 마스크, 전자식 개인 선량계 및 흉부용 TLD와 손가락용 TLD, 고무장갑과 1회용 작업복 및 작업화와 실험실용 슬리퍼가 필요하다.

5. 선원의 구조 및 강도

장반감기(1,600yr)의 라듐선원은 플라티늄, 플라티늄-이리듐 또는 다른 합금으로 피복되어 의료용 및 산업용으로 사용되며, 사용용도에 따라 튜브 및 침상형태로 구분한다. 튜브형태의 선원은 직경 5~10mm, 길이 2.5~4cm의 구조로 크기는 작지만 방사능량이 1.5~40mCi로 높으며, 침상선원은 직경 1.1~1.95mm, 길이 11~58mm로 가늘고 긴 형태로 방사능량은 1~3mCi로 비교적 강도가 낮다. 본 처리에서는 0.06mg의 교정선원을 포함하여 침상 및 튜브 형태 뿐 만 아니라 15x15x4mm 사각형의 다양한 라듐선원 204개를 소형 및 대형 선원에 밀봉 용접하였다.

6. 선원 처리절차

6.1. 선원처리 사전 준비작업

6.1.1. 작업장 준비

싱가포르병원 국립암센터에 마련한 폐기 라듐선원 처리작업장에는 당초 소화기, 실험기기 및 컴퓨터 등이 임시 보관되어 있었으나 모두 다른 곳으로 이동 및 철거되어 있었고 바닥은 타일 시공되어 깨끗한 상태를 유지하고 있었다. 한쪽 벽면과 바닥에 이어지는 곳에는 가로 2.4m, 세로 0.6m, 높이 0.7m의 콘크리트 테이블이 있었으나 사전 예비조사 과정에서 의뢰한 바에 따라 테이블 위에 벽돌을 놓고 안정된 상태에서 그 위에 나무 합판을 깔아 놓아 전체 높이는 약 0.9m로 높아져서 작업의 편리함을 꾀하였다[12]. 선원의 인출, 분배와 밀봉 작업과정에서 발생될 수 있는 방사능분진 및 기체폐기물을 배출하기 위하여 선원이동구역의 상부에 이동식 공기정화 시스템을 설치하였다. 먼저 벽면의 상단에 후드를 지탱할 수 있는 프레임을 양쪽에 설치하고 지하터널과 이어지는 문쪽에 고성능 여과장치를 설치하였으며 또한 플렉시블 호스로 후드와 여과장치를 연결하였다. 선원의 이동, 처리 및 고화드럼이 놓여질 처리작업장 내부의 전체 바닥과 또한 바닥으로부터 약 1.5m 높이로 벽면에는 방사능오염방지 및 제염이 용이하도록 비닐슈트로 덮고 양쪽 끝부분에는 방사선구역 표시하는 표지를 붙이고 비인가자의 출입을 통제하기 위하여 차단막을 배치하였다. 가로 2.4m, 세로 0.6m, 높이 0.9m의 콘크리트 테이블 위에 놓여진 나무합판은 두께가 두껍고 시각효과가 뛰어난 백색비닐슈트로 전체를 덮은 다음 테이프로 떨어지지 않도록 부착하여 선원이동구역, 용접구역 및 누설시험구역으로 세분하였다. 그림1은 전형적인 작업장의 구역구분과 용접, 누설시험 등의 장비 배치를 보여주고 있다. 선원이동구역에는 선원을 캡슐에 옮겨 담는 과정에서 유실을 방지하기 위하여 테이블과 벽면을 함께 비닐슈트로 배치하였다. 방사능 차폐를 위해서는 먼저 작업 테이블에 납 벽돌을 올려놓은 다음 방사능 오염을 방지하도록 납 벽돌에 비닐슈트를 덮었다. 그런 다음 전면부의 중간지점에 선원의 분배과정을 쉽게 관찰할 수 있도록 납 유리를 배치하였다. 선원을 집어넣고 용접할 캡슐과 깔대기를 지탱하기 위한 스텐드 그리고 작업장

면을 관찰할 수 있는 거울을 작업 테이블의 끝부분에 배치하였다. 용접구역과 누설시험구역에는 캡슐을 보관할 수 있는 차폐된 공간과 누설시험을 수행할 수 있는 공간이 확보되어 용접후 캡슐의 자연냉각과 누설시험후 캡슐 표면을 닦을 수 있다. 캡슐보관 공간과 누설시험 공간의 끝 부분에는 크고 작은 거울을 비치하여 간접적인 관찰방법으로 캡슐의 용접상태와 캡슐에서의 누설 여부를 확인할 수 있다.

6.1.2. 장비 설치

선원이동구역에서 선원 캡슐당 방사능량을 50mg 정도로 맞추기 위해 캡슐 표면으로부터 1m 떨어진 곳에 선량을 계측기를 설치하였으며 그 높이는 선량율이 가장 높게 나타내는 캡슐의 하단부에 맞도록 조정되었다. 자동용접장치의 회전테이블에 선원을 밀봉한 캡슐을 담은 welding pot를 올려놓았다. 회전테이블의 중앙에 pot가 자동으로 중심을 잡도록 유도하기 위하여 center pointer를 가공조립하고 또한 이에 대응하도록 pot의 밑부분 중앙에 구멍을 가공하여 용접 동안 방사능 피폭을 방지하며 또한 용접이 원활하게 되도록 하였다. 회전테이블은 전원 공급설비에 연결하여 회전속도와 강도를 조절할 수 있다. 누설시험구역의 차폐공간에 진공 펌프와 연결된 desiccator를 설치하였다. Desiccator는 3-way 진공 콧, 게이지와 다공판으로 구성되어 있다. 캡슐에서의 누설여부를 확인하는 곳과 누설시험이 완료된 캡슐을 닦아 내기 위한 tray가 위치한 곳에는 각각 거울을 비치하여 관찰할 수 있다. 장비를 완전히 설치한 후 비방사능 상태에서 용접작업 조건에 의거하여 캡슐을 용접하고 누설시험을 수행하였다. 시험결과 용접 합격 캡슐에서는 공기방울이 형성되지 않았으나 불합격 캡슐에서는 공기방울이 형성되었다. 그림2는 용접구역과 누설시험구역에 설치되어 있는 desiccator와 용접pot의 모습을 보여주고 있다. 한편 선원이 보관되어 있는 저장소가 처리작업장내에 있어 별도의 선원 운반구의 준비와 접수구역은 설정하지 않았다.

6.1.3. 시멘트고화용 드럼 및 소모성 물품 준비

폐기 라듐선원을 밀봉한 납 차폐용기가 놓여질 200L 철제드럼과 cavity wall의 원형 모듈드를 구성할 PVC 파이프 프레임은 콘크리트가 부어지기 전에 표면에 콘크리트가 묻혀지는 것을 방지하기 위하여 적당한 부분까지 비닐쉬트로 덮어 씌었다. 비닐쉬트는 콘크리트가 완전히 양생된 후에 제거되어될 것이다. 한편 작업장내에는 작업과정에서 필요한 물품을 즉각적이고도 손쉽게 조달할 수 있도록 캡슐, 제염지, 공구류, 마스크, 장갑 등의 품목을 분류 정리하여 비치한 테이블과 작업과정에서 발생하는 방사성 및 비방사성폐기물을 수집할 수 있는 쓰레기통을 각각 비치하였고, 캡슐에 밀봉될 선원의 수량 및 방사능량 등의 분배계획을 수립하였다.

6.1.4. 선원처리전 시험 운영 및 문제점 조치

작업장의 오염방지를 위한 조치, 제한구역 설정과 납 차폐물의 설치, 용접 및 누설시험을 위한 장비설치, 시멘트고화용 드럼의 준비와 선원의 분배계획을 수립하는 등의 작업준비를 완료하고 비방사능 상태에서 최종 점검을 수행한 결과 몇가지 문제점을 발견하여 현장에서 수정 조치 완료하였다. 용접용 납 차폐체의 내경과 소형캡슐 외경의 크기가 서로 상이하여 캡슐을 집어넣을 수 없어 납 차폐체 내경을 약간 크게 가공하여 조치하였으며, 국내에서 구매 조달한 진공펌프의 전원 주파수와 싱가포르 현지의 주파수가 일치하지 않아 병원에서 사용하는 환자용 진공펌프로 대체하여 사용하였다. 또한 long tong의 집게부분이 소형캡슐을 확고히 집을 수 없어 선원을 밀봉한 캡슐을 이동하는 과정에서 캡슐을 놓칠 우려가 있다. 따라서 현지 공작실에서 집게부분을 캡슐의 외경에 맞게 확대 가공하였다.

6.2. 선원 처리

6.2.1. 선원 분배 및 기록

1개의 납 차폐체는 대형캡슐 1개를 포함하여 50mg씩 소형캡슐 9개를 넣을 수 있다. 즉 방사능량은 최대 500mg까지 넣을 수 있음을 뜻한다. 따라서 사전에 충분한 검토와 분배계획을 수립하

여 가능한 한 캡슐당 비슷한 수준으로 방사능량을 추정하여 선원을 분배한다. 작업은 먼저 선원 보관소에서 drawer를 인출하여 선원이동구역의 tray에 짧은 시간에 안전하고도 신속하게 쏟아 붓는다. 납 유리화 유리거울로 간접관찰을 통하여 자세를 최대한 낮은 상태에서 선원을 한 개씩 캡슐에 집어넣고 캡슐의 뚜껑을 덮는다. 방사선계측기로 1m 떨어진 위치에서 선량율을 측정하여 방사능량을 확인한다. 이때 캡슐 한 개의 방사능량은 50mg을 넘지 않도록 한다. 캡슐을 long tong을 사용하여 welding pot에 신속히 집어넣는다. 캡슐로부터 1m 떨어진 곳에서의 표면선량율과 선원 수량 및 방사능량 등에 관해서 기록한다.

6.2.2. 캡슐 용접

캡슐의 용접 조건으로 초기 전류 3A, 용접 전류 30A, 상향 용접시간 1초, 하향 용접시간 2초, 아르곤 가스 주입량은 10L/m, 회전속도는 소형캡슐인 경우 60($\approx 1.8\text{RPM}$), 대형캡슐은 30($\approx 0.7\text{RPM}$)에 조절한다. Foot 스위치를 밟아 자동용접장치의 회전 테이블을 가동하여 캡슐 뚜껑을 용접한다. 이때 대형캡슐을 용접할 때에는 120° 의 각도로 두 군데를 spot 용접한 다음 등글게 단 한번의 용접으로 380° 를 용접한다. 균열과 소성증가를 방지하기 위해 용접부분은 반드시 자연 냉각한다. 유리거울과 손전등으로 용접 상태를 검사하며 용접부분에 이물질이 있을 경우에는 소형 정으로 제거한 후 아세톤으로 닦아 낸다.

6.2.3. 누설시험

누설시험의 절차는 ISO 9978 기준에 의거하여 수행한다. Desiccator 챔버안에 캡슐을 넣고 캡슐이 최소한 5cm이상 잠길 수 있도록 글리콜을 주입한다. 이때 챔버안에 있는 다공판이 위로 뜨지 않도록 하며 버블을 쉽게 확인할 수 있도록 밝은 색상을 사용하지 않는 것이 좋다. 진공펌프를 가동하여 0.25절대압으로 desiccator를 낮춘 다음 1분 정도 작동하며 거울을 통해 버블의 발생 여부를 관찰한다. 글리콜 안에 버블이 발견되지 않으면 캡슐은 인증된 것으로 간주한다. 캡슐이 누설시험을 통과하지 못했다면 일시적으로 옆의 차폐된 곳으로 옮겨놓고 나중에 대형캡슐 안에 재밀봉하고 용접하여 차폐용기의 중앙위치로 이동시킨다. 시험이 완료되면 tong을 사용하여 chamber안에서 캡슐을 꺼내 흡수지 위에 놓고 굴러 가면서 표면을 깨끗이 닦는다. 사용된 흡수지는 방사성폐기물 수집통에 넣는다.

6.2.4. 용접캡슐 차폐포장

선원을 밀봉하고 용접하여 누설시험에 통과한 캡슐은 소형캡슐을 위한 9개의 구멍과 중앙에 대형캡슐용 구멍 1개로 배열되어 있는 납 차폐용기에 넣고 최종적으로 시멘트 고화드럼에 저장한다. 캡슐이 넣어질 차폐용기의 구멍 위와 측면에 1~10, 11~20까지의 일련번호를 색인한다. 캡슐이 누설시험에 통과하면 차폐용기의 해당 구멍에 넣고 캡슐에 관한 방사능량 및 수량 등의 모든 정보와 위치를 양식에 기록한다. 다음 캡슐이 넣어지기 전까지 피폭방지를 위하여 캡슐이 넣어진 구멍은 납 벽돌 등으로 올려놓아 차폐한다. 이와 같은 방법으로 17개의 소형캡슐과 1개의 대형캡슐을 용접하여 2개의 차폐용기가 완성되었다. 이때 선원의 직경이 크거나 사각형태로서 소형캡슐에 넣을 수 없는 선원은 대형캡슐에 넣어 용접하고 차폐용기 중앙에 위치한 구멍에 저장한다. 소형 및 대형캡슐을 저장한 납 차폐용기의 본체에 뚜껑을 덮어 나사체결하고 본체와 뚜껑을 동일간격의 4곳에 arc 용접한다. 뚜껑 상부의 평탄한 부분에 name plate를 붙인다. Name plate에는 식별이 가능하도록 차폐용기의 일련번호, 방사능량과 작업일자를 electric engraver를 사용하여 색인한 후 차폐용기의 선량율 및 모든 정보는 양식지에 기록한다. 이때의 표면선량율은 각각 2.67mSv/h, 2.89mSv/h이었다.

6.2.5. 시멘트 고화드럼 제작

용접캡슐이 저장된 납 차폐용기를 포장할 시멘트 고화드럼은 IAEA ST-1[13]의 포장 및 운반 규정에 따라 선량율은 드럼 표면으로부터 200mR/h 이하와 1m 떨어진 곳에서 10mR/h 이하가 되도록 하며 향후 선원의 재활용을 대비하여 모듈드를 제작하여야 한다. 시멘트 고화드럼에 사용될

내경 590mm, 높이 880mm의 200L 용기는 국내에서 DOT 17H 규격에 따라 제작되어 조달한 것으로 재질은 탄소강이며 에폭시 코팅 처리되었다. 드럼 안의 어느 일정위치에서 폐기 라듐선원을 저장한 차폐체가 놓여지고 둥근 형태의 공간을 유지하기 위한 시멘트벽을 형성하도록 몰드를 1차적으로 제작한다. 우선 콘크리트 작업을 위한 장소를 청결하게 유지한다. 시멘트에 모래와 자갈을 넣고 수작업으로 10분간 혼합한 다음 물을 첨가하여 10분간 더 섞는다. 이때 혼합재의 시멘트는 120kg, 모래 139kg, 20mm 정도의 자갈 223kg과 물 48kg이다. 이것은 무게비로 1:1.15:1.85:0.4이며 부피비로는 1:2:3:0.4이다. 또한 혼합재의 압축강도는 35~40MPa를 유지하여야 한다. 콘크리트를 드럼의 밑바닥으로부터 1/3정도까지 채운후 내경 340mm, 높이 560mm의 PVC 파이프를 cavity wall을 형성하도록 콘크리트 상부의 중앙에 올려놓는다. PVC 몰드가 양생되기 전의 콘크리트내에 들어가지 않고 일정한 높이를 유지하도록 드럼과 함께 테이프로 부착한다. Cavity wall을 위한 1차 몰드의 형성후 최소한 6시간 이상 콘크리트를 양생한다. 위와 같은 방법으로 벽을 채우기 위한 콘크리트 혼합재를 만든다. 콘크리트를 드럼과 PVC 몰드 사이에 골고루 넣도록 진동기 대신에 철봉을 사용하여 콘크리트가 단단해지도록 다지면서 PVC 상부까지 붓는다. 콘크리트를 부은 다음 즉시 4개의 앵커를 그림3과 같이 등간격으로 콘크리트 내에 집어넣고 앵커가 콘크리트 내에서 일정한 위치를 유지하도록 2개의 두꺼운 철판을 십자 형태로 임시 설치한다. 이후 최소한 6시간 콘크리트를 양생하여 단단히 굳어진 후 철판과 비닐슈트를 떼어 낸다.

6.2.6. 차폐용기 포장

시멘트 고화드럼은 임시저장 동안에 이로 인한 주변선량이 높지 않게 하고 또한 과도한 피폭을 방지하기 위하여 총 500mg 이하의 폐기 라듐선원을 밀봉한 1개의 차폐용기를 포장하는 것을 권장하고 있다. 작업장내에 있는 차폐용기를 포장하기 위하여 양생이 완료된 시멘트 고화드럼을 pallet 위에 올려놓은 후 pallet truck을 사용하여 드럼을 작업장 안으로 운반한다. 드럼 안의 cavity wall을 형성한 PVC 몰드에 부착된 name plate에 장입하게 될 차폐용기의 일련번호, 방사능량과 작업일자를 조각기로 색인한다. 삼각대와 체인블록을 사용하여 차폐용기를 드럼 안에 장입한다. 2개의 철판을 십자 형태로 미리 설치된 앵커에 넣고 볼트를 체결한 다음 최종적으로 비인가자에 의한 유출을 방지하기 위하여 arc 용접한다. 드럼의 뚜껑을 덮고 밴드로 볼트 체결한 다음 사전에 준비된 드럼 일련번호 인식표를 콘크리트 드릴을 사용하여 드럼 표면에 부착하고 표면선량율과 1m 떨어진 곳에서의 선량율을 측정한다. 또한 드럼 표면의 먼지를 제거한 후 표면오염도를 측정한다. 차폐용기를 포장한 고화드럼은 2개가 생성되었으며 처리된 204개 폐기 라듐선원의 전체 방사능량은 938.56mg(34.72Gq) 이었다. 또한 각각의 드럼에 대한 방사능량은 497.5mg(18.4Gq)과 441.06mg(16.32Gq)이었으며 드럼 표면선량율은 270 μ Sv/h와 288 μ Sv/h이었다. 본 처리에서는 소형캡슐에 대해서 1~9와 11~19, 대형캡슐에는 10의 일련번호와 납 차폐용기에 대해서는 SGS(Singapore Shield)-1과 SGS-2, 고화드럼에는 SG(Singapore)-1과 SG-2의 일련번호를 부여하여 기록관리 하였다.

7. 처리후 작업 및 처리결과

7.1. 처리후 작업

7.1.1. 오염도 분석 및 제염

처리작업과 관련된 장비, 공구류, 작업화, 작업장 및 운반구는 처리작업을 수행하기 전에 오염도를 측정하였으며 선원과 직.간접적으로 접촉된 납 벽돌, 집게 등은 사전에 오염을 방지하도록 얇은 비닐로 덮어 작업이 끝난 후 비닐을 벗겨내고 알코올로 깨끗하게 표면을 제염하여 오염도를 측정하였다. 측정 결과 대부분의 사용장비에서는 작업전과 작업후의 오염도는 큰 차이가 없이 백그라운드값과 비슷하여 작업으로 인한 오염이 발생되지 않았음을 알 수 있었다. 그러나 0.06mg의

라듐 교정용 표준선원이 들어있는 장치의 해체와 선원의 분리과정에서 본체 하단부의 유리벌브가 파열되면서 그안에 들어 있던 액체가 비산되어 오염이 확산되었으며 또한 와이어 안에 들어있는 라듐선원을 인출하기 위하여 절단하는 과정에서 금속 부스러기가 발생되어 선원이동구역의 일부와 이에 따른 제염과정에서 작업자의 옷과 작업장의 바닥 일부가 오염되어 있음을 확인하였다. 따라서 작업장 전체 바닥 및 벽과 처리작업에 사용된 공구류 및 장비일체와 구역구분에 사용된 테이블 및 비닐슈트, 작업자가 착용한 작업복, 마스크 및 장갑과 쓰레기통에 투여된 폐기물과 공기정화에 사용된 후드, 플렉시블 호스 및 여과필터 등에 대하여 세심하게 오염도를 측정 분석하여 오염물과 비오염물을 별도로 구분하여 더 이상 오염이 확산되는 것을 방지하였다. 오염도 측정 분석결과 방사능에 오염된 것으로 확인된 것은 오염 map을 그리고 알코올과 제염액으로 1차 제염하여 다시 오염도를 측정하였다. 제염용액에 의해서도 제염이 되어 있지 않은 것은 칼과 가위로 오염된 부분만을 오려 내거나 제거하여 방사성폐기물의 발생량을 최소화하였다.

7.1.2. 2차 생성폐기물 고화처리

선원의 분배, 와이어 및 교정기로부터의 인출과 분리과정에서 오염된 비닐슈트와 제염에 사용된 제염지 및 오염 피복과 장갑 등을 함께 모아 폐기물 수집비닐에 넣고 단단히 포장한 다음 가로 30cm, 세로 60cm, 높이 30cm의 플라스틱 사각 콘테이너에 넣고 선원의 시멘트 고화처리 방식과 같게 콘크리트를 만들어 시멘트 고화처리하였다. 콘테이너에서의 표면선량율은 백그라운드와 거의 비슷하였다.

7.1.3. 고화드럼 임시저장

차폐용기를 포장한 2개의 드럼에는 SG-1, SG-2의 name plate를 부착하고 2차 생성폐기물을 포장한 사각 콘테이너에는 방사성 삼엽표지를 상부와 측면에 부착하고 SG-3의 인식표를 도장하였다. 싱가포르에는 자국내에 별도의 방사성폐기물저장시설 또는 처분장이 없기 때문에 이와 같이 모든 작업이 완료된 3개의 고화용기는 일반인과 완전히 격리하여 방사능으로부터 불필요한 피폭이 되지 않도록 작업장 내부의 한쪽면에 드럼 인식표가 눈에 쉽게 띄도록 나란히 놓았으며, 목재 pallet 위에 올려놓음으로써 통기성을 확보하고 또한 안전한 저장 상태를 유지하도록 임시 보관하였다. 저장시설의 출입문과 측면의 벽에는 방사성물질이 들어있음을 알리는 표지를 부착하였고 출입문에는 시건장치를 설치하는 등의 조치를 취함으로써 비인가자의 출입을 방지하였다.

7.2. 처리 결과

7.2.1. 방사능량

204개의 폐기 라듐선원을 17개의 소형 및 1개의 대형 캡슐에 나누어 용접하고 2개의 차폐용기에 밀봉하여 2개의 시멘트 고화드럼에 차폐 저장하였다. 전체 방사능량은 938.56mg(34.72GBq)이었으며 드럼별 방사능량은 표1과 같이 각각 497.5mg(18.4GBq)과 441.06mg(16.32GBq)이었다.

7.2.2. 선량율

용접 캡슐을 밀봉한 2개의 차폐용기 각각의 선량율은 2.67mSv/h와 2.89mSv/h이고 차폐용기를 포장한 고화드럼의 표면선량율은 270 μ Sv/h와 288 μ Sv/h이었으며 1m 떨어진 곳에서의 선량율은 12.8 μ Sv/h와 15 μ Sv/h이었다. 한편 2차폐기물의 고화용기에서의 선량율은 백그라운드 값과 거의 비슷하였다. 표2는 차폐용기와 고화드럼 표면의 선량율을 나타내고 있다.

8. 방사선 관리

8.1. 물리적인 관리

불필요한 작업상 피폭을 피하기 위해서는 기존 원칙이 지켜져야 하고 적절하고 적합한 장소에서 방사선원을 다루어 오염의 확산을 막는다. 방사선방어의 요구를 달성하기 위하여 구역구분을

하고 관리구역내에서의 행위를 제한하는 등의 관리조치가 수행되어야 한다. 즉 관리구역에 들어가는 모든 사람은 개인선량계, 방호복, 덧신을 착용해야 하고 출입은 방사선감독자에 의하여 허가를 받아야한다. 관리구역 내에서의 작업자가 받는 방사선 피폭선량은 Basic Safety Standards(BBS)와 일치하여야 한다[14]. 처리작업이 수행되는 작업장에는 배기 시스템을 갖춘 후드, 주변공기의 필터링 시스템, 세면기와 비인가자의 출입을 막는 울타리 설치 및 방사선물질 표지, 구역 표지판 등의 기반시설을 갖추어야 한다.

8.2. 방사선방어 절차

방사성물질이 취급되는 지역과 오염된 지역은 방사선표지로 표시하여 둔다. 방사선계측기 및 집게들을 포함하여 오염되기 쉬운 모든 물건은 비닐로 싸고 관리구역은 비닐슈트로 덮는다. 후드의 안쪽, 납 블록과 작업테이블의 표면 등 민감한 부분은 비닐로 덮는다. 작업 과정에서 발생한 2차 폐기물을 분리하며 작업의 시작과 끝 및 관리구역을 떠나기 전에 해당구역과 작업자들에 대한 모니터링을 실시한다.

8.3. 오염 확인

오염 확인은 직접측정법으로서 오염감시기를 작동하여 주변선량을 측정한 후 측정하고자하는 선원에 가능한 가까이 probe를 갖다댄다. 단, 프로브에 직접적인 오염이 되지 않도록 한다. 계측치를 기록하고 백그라운드 값을 뺀다. 이때 측정시 다른 방사선장의 영향을 받지 않도록 한다. 외부선량으로부터의 간섭을 배제하기 어렵다면 건조 문지름 방법을 사용한다. 먼저 여과지를 직경 5cm의 원형으로 잘라 10cmx10cm 표면을 선택한다. 항상 같은 방향으로 형질을 표면에 문지른다. 오염감시기를 켜고 주변선량을 측정한 후 형질을 측정하고 백그라운드 값을 뺀다.

8.4. 표면 세척

피부는 물과 비누로 오염된 부위를 확실하게 씻어낸다. 이때 유의할 점은 피부 상처를 유발할 수 있는 문지르는 방법의 세제는 사용하지 않는다. 작은 금속물체들은 10% 염산 용액에 4시간에서 8시간 동안 침수시킨다. 다른 물건들은 30% 염산용액으로 충분히 닦는다. 세척된 모든 표면은 찬물과 비누로 닦는다. 마지막으로 성질에 따라 세척용액을 모은다.

8.5. 개인 피폭선량

폐기 라듐선원의 운반 및 분배, 용접과 세척과정 등의 일련의 처리작업과정에서 작업자가 피폭된 선량은 IAEA의 기술자문관인 Al-Mughrabi는 85.7 μ Sv, 총괄책임자는 112.7 μ Sv, 방사선방호 책임자는 141.9 μ Sv와 용접전문가는 150.2 μ Sv이었다.

9. 결과 및 고찰

국내 전문가 팀은 미얀마와 태국에 이어 싱가포르에서 보관하고 있던 폐기 라듐선원을 현지에서 IAEA의 기술자문관인 Al-Mughrabi와 싱가포르 국립암센터(NCC)의 관리하에 그동안의 경험을 바탕으로 성공적으로 처리작업을 수행하였다. 싱가포르에서 발생한 204개의 폐기 라듐선원을 17개의 소형캡슐과 1개의 대형캡슐에 분배하여 용접하고 2개의 차폐용기에 포장하여 2개의 시멘트 고화드럼에 차폐 저장하였다. 처리된 전체 방사능량은 938.56mg(34.72GBq)이고 드럼별 방사능량은 각각 497.5mg과 441.06mg 이었으며 용접 캡슐을 밀봉한 2개의 차폐용기 각각의 선량율은 2.67mSv/h와 2.89mSv/h이고 차폐용기를 포장한 고화드럼의 표면선량율은 270 μ Sv/h와 288 μ Sv/h이었으며 1m 떨어진 곳에서의 선량율은 12.8 μ Sv/h와 15 μ Sv/h이었다.

한편 선원의 분배와 인출과정에서 오염된 비닐슈트, 세척기와 피복 등의 2차 발생폐기물은 플

라스틱 사각 콘테이너에 넣고 시멘트 고화처리 하였으며 콘테이너의 표면선량율과 오염도는 극히 미미하였다. 3개의 시멘트 고화드럼 및 콘테이너는 일반인과 격리하여 제한구역의 목재 파렛트 위에 올려 놓아 통기성을 확보하고 안전한 저장상태를 유지하여 임시 저장하였다.

제한구역의 설정과 오염방지를 위한 조치 및 처리장비의 설치를 완료한 후 본격적인 처리작업을 수행하기 전에 실시한 예비작업에서 캡슐 누설시험용 진공펌프의 미작동 등 몇가지 예상하지 못한 문제점이 발생되었으나 현지에서 조치 완료하였다. 또한 국내 및 미얀마에서 경험하지 못하였던 여러 가지 형태의 선원을 처리할 수 있는 좋은 경험이 되었다. 그러나 예비과정에서 발생된 문제점과 선원 인출과정에서의 오염확산 등의 방지를 위해서는 사전에 철저한 준비와 훈련이 필요하며 라듐 선원의 특성, 종류와 형태 등에 관한 보다 체계적인 자료 조사가 요구된다.

참고 문헌

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Nature and Magnitude of the Problem of Spent Radiation Sources", IAEA-TECDOC-620, IAEA, Vienna(1991).
2. Report from Consultants Meetings on "Conditioning of Spent Radium Sources Based on Experiences from the First Conditioning Operation in Uruguay in December 1996", Montevideo, Uruguay, 7-8 April 1997.
3. 강일식 외, "Conditioning Technology for Spent Radium Sources", KAERI/TR-1767/2001.
4. 최병일 외, "Spent Radium Sources Conditioning Operation in Thailand", NETEC-RPT-01/2001.
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Reference Design for a Centralized Spent Sealed Sources Facility", IAEA-TECDOC-806, IAEA, Vienna(1995).
6. "Technical Manual for Conditioning of Spent Radium Sources", Internal IAEA Working Material, IAEA, Vienna(1998).
6. Rogerio Pimenta Mourao, "Spent Sealed Radium Sources Conditioning in Latin America", Waste Management 19(1999).
7. "Technical Manual for Conditioning of Spent Radium Sources", Internal IAEA Working Material, IAEA, Vienna(1998).
8. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Handling, Conditioning and Disposal of Spent Sealed Sources", IAEA-TECDOC-548, IAEA, Vienna(1990).
9. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Quality Assurance for Radioactive Waste Package", Technical Reports Series No. 376, IAEA, Vienna(1995).
10. Bubble Leak Test, ISO Standard 9978(1992).
11. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Conditioning and Interim Storage of Spent Radium Sources", IAEA-TECDOC-886, IAEA, Vienna(1996).
12. K. J. Kim, "Pre - mission for Radium Conditioning Operation in Singapore, IAEA-C3-INT-4.131-23-01" KAERI/OT-859/2002.
13. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material", Safety Standards Series No. ST-1, IAEA, Vienna(1996).
14. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the safety of Radiation Sources", Safety Standards Series No. 115, IAEA, Vienna(1996).

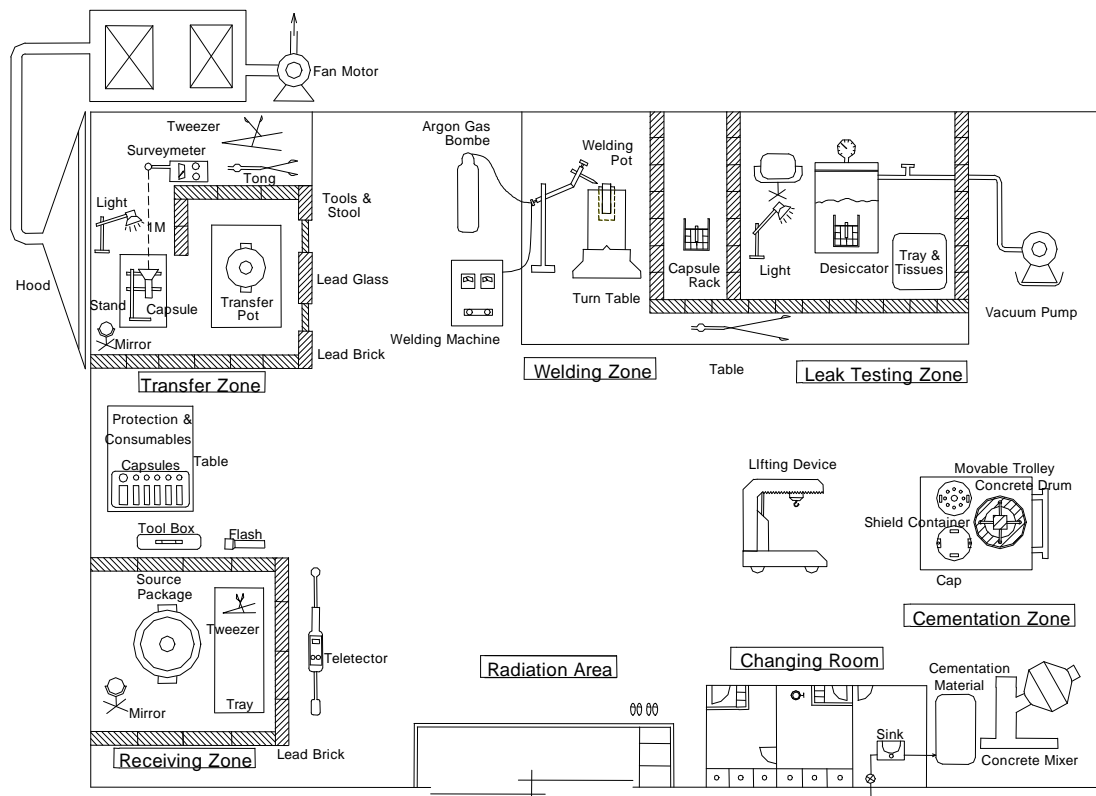


Fig. 1. Typical Layout of Conditioning Area

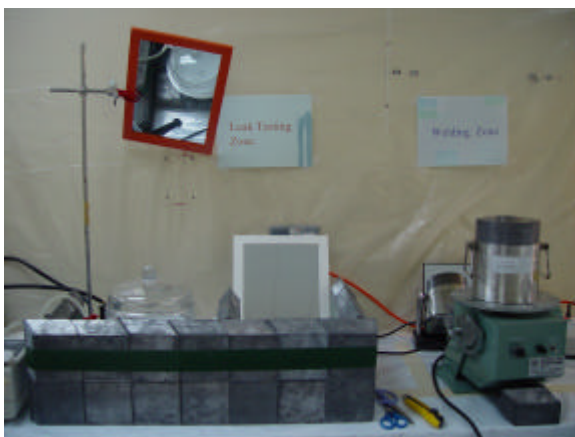


Fig. 2. Welding and Leakage Test Equipment with Mirror

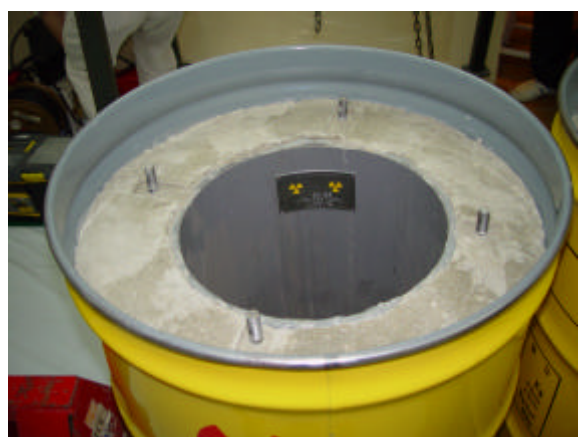


Fig. 3. Concrete Shielded Drum for Conditioning of Lead Shield

Table 1. Information on Sources in Capsules

Package No.	Shield No.	Capsule No.	Shield Position No.	Activity		Number of Sources ⁽²⁾			Last Owner/ Keeper ⁽¹⁾	
				mg	GBq	T	N	C		
SG-1	SGS-1	1	1	51.0	1.89	-	17	-	NCC	
		2	2	49.5	1.83	-	30	-	"	
		3	3	50.0	1.85	-	30	-	"	
		4	4	49.0	1.81	-	42	-	"	
		5	5	50.5	1.87	6	15	-	"	
		6	6	50.0	1.85	10	-	-	"	
		7	7	50.0	1.85	2	-	-	"	
		8	8	47.5	1.75	10	4	-	"	
		10(Large)	10(Central)	100	3.70	4	-	-	"	
		TOTAL				497.5	18.40	32	138	-
SG-2	SGS-2	11	11	51.0	1.89	5	-	-	NCC	
		12	12	40.0	1.48	3	-	-	"	
		13	13	60.0	2.22	3	-	-	"	
		14	14	60.0	2.22	3	-	-	"	
		15	15	50.0	1.85	3	-	-	"	
		16	16	40.0	1.48	4	-	-	"	
		17	17	70.0	2.59	6	-	-	"	
		18	18	35.0	1.29	3	-	-	"	
		19	19	35.06	1.30	3	-	1	"	
		-	20(Central)	Secondary Wastes		-	-	-	"	
		TOTAL				441.06	16.32	33	-	1

(1) NCC : National Cancer Centre

(2) T : Tube, N : Needle, C : Calibration source

Table 2. Package Information

Package No.	Number of Sources	Activity (mg)	Dose rates (mSv/h)	
			Shield	Drum
SG-1	170	497.5	2.67	0.27
SG-2	34	441.06	2.89	0.28
SG-3	box	<0.1MBq	Secondary Wastes	