

A Study on the Method of Cost Estimation for the Decommissioning Plan by the Analysis of Domestic Cyclotron Dismantling Practices

Rina Woo, Yongmin Kim

Department of Radiological Science, Catholic University of Daegu

국내 사이클로트론 해체 사례 분석을 통한 해체 계획 비용 산정 방법 연구

우리나, 김용민

대구가톨릭대학교 방사선학과

Abstract

Decommission of medical cyclotron give rise to a lot of low-level radioactive waste and costs. Decommissioning cost should be reasonably calculated according to the decommissioning activities and installed components of facilities. In this paper, we investigated the experience on the cyclotron relocation from SNUH(Seoul National University Hospital) to SKKU(Sungkyunkwan University) and analyzed radioactive waste management costs by applying the disposal scenarios. Also considerations for decommissioning cost estimation are reviewed. The results could be utilized as a basic data for establishment on the methodology of decommissioning cost estimation and evaluation.

Key Words : Cyclotron, Decommissioning, Radioactive waste, DFP(Decommissioning funding plan), Activation

요약

의료용 사이클로트론 해체시 많은 양의 저준위 방사성 폐기물을 발생시키며 이에 따른 큰 해체 비용을 야기한다. 이에 국외에서는 동위원소 생산시설 도입시 해체 자금에 관한 계획을 제출할 것을 권고하고 있다. 해체 자금 계획 수립을 위해서는 해체 비용을 해체 활동과 시설의 구성 요소에 맞게 합리적으로 계산되어야 한다. 본 연구에서는 2012년 12월 수행된 국내 서울대학교병원 사이클로트론(TR-13) 해체 사례를 통하여 폐기 시나리오일 때의 방사성 폐기물 처리 비용을 분석하고 해체 비용 산정시 필요한 고려사항에 대해 살펴보고 향후 해체 자금 계획 수립에 필요한 사항을 도출하고자 하였다.

중심단어: 사이클로트론, 해체, 방사성 폐기물, 해체 자금 계획, 방사화

I. 서론

원자력시설의 해체에 대한 연구는 미국이나 유럽 등의 선진국에서 이미 수십년 전부터 국제 연구로 활발하게 진행되고 있고 사이클로트론 또한 소규모 원자력 시설에 포함되어 해체 연구가 계속 진행되고 있다. IAEA(International Atomic Energy Agency)의 경우 회원국을 중심으로 다수의 해체 사례와 경험을 보유하고 있으며^[1], NRC(Nuclear Regulatory Commission)에서는 일정량 이상의 방사성동위원소 생산시설에 대하여 허가단계부터 해체에 대한 자금 계획을 수립하는 DFP(Decommissioning Funding Plan)를 제출할 것을 권고하고 있다^[2]. 이는 사용자 하여금 선행되는 투자금으로 예비 해체계획과 해체에 대한 자금을 미리 준비하는 것인데, 지속적인 사이클로트론의 도입 추세와 해체의 경제적인 측면을 고려하면 국내 또한 DFP 도입의 필요성이 강조된다^[3]. 사이클로트론 관련 국내연구를 살펴보면 시설의 차폐 연구 및 FDG(FluoroDeoxy Glucose) 관련 방사화 분석^{[4],[5]} 등이 진행된 적은 있으나 이에 비해 해체에 대한 연구는 다소 부족한 편이라 할 수 있다. 해외 사이클로트론 해체 사례에 의하면 의료용 사이클로트론 해체시 주요 문제점은 많은 양의 저준위 고체 방사성 폐기물과 관련되어 있고 이에 따른 처리 비용 문제가 확인되었다^{[6],[7]}.

현재 국내에서는 치료용을 제외하고 36기의 의료용 사이클로트론이 가동 중에 있으며, 시설의 이전을 위한 사이클로트론 해체가 수행된 적은 있지만, 사이클로트론의 운영이 종료되어 폐기가 이루어진 적은 없다. 허나 사이클로트론에 대한 해체는 폐기의 가능성을 배제할 수 없으므로 국내의 경우에는 해당되지 않지만 마지막 폐기물 처리까지 포괄된 시나리오 분석 및 비용 평가가 이루어질 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 국내 사이클로트론 해체 사례를 통하여 폐기 시나리오를 적용하였을 때 이로 인해 발생될 수 있는 폐기물량과 그에 따른 처리 비용을 분석하고 또한 해체 비용 산정에 대한 고려 사항에 대해 살펴보았다.

II. 원자력시설의 해체 및 폐기 비용

1. 해체(폐기) 절차 및 비용 산정

일반적으로 원자력시설에 대한 해체 절차는 먼저 운영이 종료된 시설의 구성 요소 및 오염 정도를 파악하여 적절하고 합리적인 해체 방법을 수립한 뒤 해체 활동을 수행하기 위한 사전 준비 단계(1단계), 인허가를 받기 위한 설계 단계(2단계), 직접적으로 해체 시설에 장비 및 인력을 투입하는 물리적 해체 활동 및 오염 제거 단계(3단계), 잔류 방사능 측정 평가 및 부지 복원 단계(4단계) 그리고 발생 폐기물 처리 단계(5단계)로 요약할 수 있다^[8]. 이때 폐기물 처리 단계는 해체를 하는 이유(노후화, 장소이전, 업그레이드, 자연재해 및 사고 등)와 조건(즉시해체, 지연해체)에 따라 발생하는 양과 종류의 변동이 크기 때문에 이 부분에 대한 적절한 절차까지 이루어져야 비로소 최종 해체(폐기) 절차가 수행되었다고 할 수 있다.

원자력시설의 해체 비용을 산정하기 위해서는 해체 대상 시설의 건축 및 장치도면, 시설 운전(가동) 이력 등 기초 자료에 대한 검토가 이루어져야 한다^[9]. 이것을 기초함으로써 해체시설의 대상물 및 구성요소에 대한 적용 기법을 바탕으로 해체 비용을 유추할 수 있다. 해체비용은 사전 준비 및 인허가 단계부터 폐기물 처리까지의 모든 활동에 대한 비용이 산정되어야 하고 크게 해체준비 및 인허가 신청 비용, 물리적 해체 비용, 폐기물 처리 및 관리 비용으로 나눌 수 있다. 이중 물리적 해체 비용은 투입되는 자원과 재료비, 인건비 등으로 구성되고 인건비의 경우 작업 난이도와 범위에 대한 차등 산출이 이루어져야 하기 때문에 수반되는 위험도가 높고 복잡한 작업에 대해서는 인건비를 가중시킨다. 또한 해체에 소요되는 작업 시간(일정)과 안전관리 비용을 고려하여 산출되어진다. 해체 폐기물은 해체 비용에서 가장 중요한 부분인데 처분되는 방사성 폐기물의 데이터에는 핵종, 재고량, 방사능 농도, 반감기, 물리적·화학적 성질 등을 포함한 정보가 규명되어야 한다^[10]. 원자력 시설 해체 과정에서 발생하는 폐기물은 실로 그 양이 매우 많기 때문에 이를 체계적으로 관리하지 않으면 해체 비용 부분에 큰 영

향을 미치게 되므로 경제적인 문제에 직면할 수 있다. 해체 폐기물 처리에 대한 작업은 폐기물의 종류와 방사선량에 연계되어 처리되고 보통 처리(처분) 방법이 결정되면 포장, 이송, 저장 용기 단가 및 관리 등으로 비용이 구성된다^[11]. 그러므로 해체 비용을 산정하기 위해서는 방사화를 일으키는 요인들과 관련 기자들에 대한 이해가 선행되어, 이러한 폐기물을 어떻게 잘 처리함에 따라 비용이 저감될 수 있다.

2. 폐기물 비용 산정 관련 국내 법령

해체시 발생하는 방사성 폐기물은 방사성물질질을 포함하고 있기 때문에 궁극적으로 이를 생태계로부터 격리시켜 안전하게 관리하여야 한다. 방사성 폐기물에 대한 비용 산정 기준은 산업통상자원부장관이 정하는 국내 방사성폐기물관리법 시행령 제 5조(방사성폐기물관리비용의 산정기준 등) 제 1항에 나와 있다^[12].

고준위방사성폐기물이 아닌 방사성폐기물의 관리비용은 산업통상자원부고시 제2013-63호 "방사성폐기물관리비용 및 사용후핵연료관리부담금 등의 산정기준에 관한 규정"에서 "중·저준위 방사성폐기물 관리비용"과 "방사성동위원소폐기물 관리비용"으로 나누어 정의되고 있다^[13]. 고시에 따르면 "중·저준위 방사성폐기물 관리비용"은 [원자력안전법 시행령 제2조제1호의 중·저준위 방사성폐기물을 관리사업자가 발생자로부터 인수하여 저장 및 영구처분에 소요되는 비용]으로 정의되며, "방사성동위원소폐기물 관리비용"은 [원자력안전법 제2조제6호의 방사성동위원소 또는 그에 의하여 오염된 물질로서 폐기의 대상이 되는 물질을 처분에 적합하도록 처리하여 영구처분 하는 비용]으로 정의된다.

"중·저준위 방사성폐기물 관리비용"과 "방사성동위원소폐기물 관리비용"은 Table 1에 제시된 계산식에 따라 결정된다. 중·저준위 방사성폐기물 관리비용 계산식의 구성 요소를 살펴보면 다음과 같다. "공용설비 건설비"란 중·저준위방사성폐기물 관리시설 중 처분방식에 관계없이 해당 관리시설의 운영기간 동안 공용으로 사용하는 인수저장시설, 연구시설, 홍보관 등 지원시설의 건설비용(초기 건설비용의 회수기간 동안 발생하는 금융비용을 포함한다)을 말하고 "총관리

시설 용량"이란 중·저준위방사성폐기물 관리시설의 운영 종료 시까지 수용·처분할 수 있는 중·저준위 방사성폐기물의 총용량으로서 80만 드럼을 의미하고 있다. 그리고 "처분설비 건설비"란 중·저준위방사성폐기물 관리시설 중 지원시설을 제외한 처분동굴, 운영동굴, 처분고(silo) 등 중·저준위방사성폐기물의 처분과 직접적으로 관련된 설비의 건설비용이고, "현 관리시설 용량"이란 중·저준위방사성폐기물의 처분용량을 말한다. 그 외 산출된 연간 단위 비용과 드럼당 소요되는 폐쇄 비용 단가를 더하면 중·저준위 방사성폐기물 비용이 완성된다.

"방사성 동위원소 폐기물 관리비용"은 "개봉선원폐기물"과 "밀봉선원폐기물"의 경우로 나뉘며, 방사성 동위원소 폐기물의 계산식은 Table 1에 나온 바와 같이 처리비용과 처분비용을 더한 값으로 결정된다. 방사성 동위원소 폐기물의 종류에 따른 관리비용은 Table 2와 같다. 이러한 방사성 폐기물 관리비용의 산정기준은 2년마다 검토되어 개정되고 있다. "중·저준위 방사성폐기물 관리비용"의 경우 유치지역 지원에 관한 지역수수료는 별도로 납부되며 2013년을 기준으로 200ℓ 드럼 기준 1,193 만원이며 고시되어 있으며, 이는 2009년 445 만원, 2011년 736.3 만원에서 급격하게 지속적으로 인상되고 있음을 알 수 있다. 국내 사이클로트론 해체 시 발생하는 폐기물은 대부분이 중·저준위 폐기물인 것을 고려할 때 이 부분의 비용이 상당 부분 차지할 것으로 예상되며 이 발생량을 최소화하는 것이 필요할 것으로 예상된다. 또한 "방사성 동위원소 폐기물 관리비용" 역시 Table 2에서 보는 바와 같이 이 또한 비용이 지속적으로 인상되었음을 알 수 있다.

Table 1. Low and intermediate radioactive waste and radioisotope waste management cost calculation criteria

종 류	산정 단위	계산식
중저준위 방사성 폐기물	드럼 (1드럼 =200리터)	[$\frac{\text{공용설비 건설비}}{\text{총관리시설 용량}}$] + [$\frac{\text{처분설비 건설비}}{\text{현 관리시설 용량}}$] + [$\frac{\text{연간 운영비용}}{\text{연간 반입량}}$] + [드럼당 폐쇄비용]
방사성 동위 원소 폐기물	리터	처리비용 + 처분비용

1. 국내 사이클로트론 해체

해체되어진 사이클로트론은 캐나다 Ebco의 PET 전용 자체차폐 형태의 사이클로트론(TR-13)으로 성균관 대학교에 재설치하기 위함이며 운전조건은 양성자의 가속 에너지가 13 MeV 로 사용시간은 1일 1시간, 1주 당 5시간 약 17년간 가동되었다. 2010년 8월에 운영이 정지된 후 1년 6개월이 지난 뒤에 해체 작업이 이루어 졌기 때문에 Zn-65 와 같은 대부분의 단반감기 핵종들은 붕괴되었다.

Table 2. The cost of radioisotope waste management

구 분	관리비용(만원)						
	운반용기부피 (L)	2009년	운반용기부피 (L)	2011년	2013년 (200L기준)		
개봉선원 폐기물	가연성 폐기물	100	204	100	204	899	
	비가연성 폐기물	100	102	100	102	362	
	비압축성 폐기물	50	114	50	114	1,193	
	페필터			200	455	848	
	폐액	유기폐액	20	47	20	47	1,805
		혼합폐액					1,343
		무기폐액	20	30	20	30	794
	건조 동물사체					899	
	냉동 동물사체	27	49	27	49	961	
	밀봉선원 폐기물	200	1,015	200	1,015	2,707	

Ⅲ. 국내 사이클로트론 해체분석 사례연구

본 연구는 사이클로트론 해체에 대한 폐기물 발생에 따른 비용을 산정하는 것을 목표로 하였다. 이에 2012년 12월 서울대학교병원 사이클로트론을 대상으로 수행한 이전해체 사례를 통하여 폐기를 가정함으로써 비용을 분석하고자 한다. 이는 국내 최초의 사이클로트론 해체 사례이며 이후 사이클로트론 해체를 고려하던 다른 병원에서도 해체를 보류하면서 추가적인 해체 사례는 아직까지 없다. 간략한 해체활동 및 폐기물 내용 위주로 결과를 기술하면 다음과 같다.

사이클로트론의 부품 중 타겟트리(Targetry), 스톱퍼(Stopper), 디(Dec) 및 전자석의 일부 부품은 (p,n) 반응이 이루어지는 주요 위치이므로 방사화 가능성이 높을 것으로 인지되었으며 실제 해체전 방사선량을 측정 한 결과 타겟트리(Targetry) 및 스톱퍼(Stopper)의 경우 방사화가 되었음이 확인된 것으로 보고되었다.

사이클로트론 해체 부품 운반물의 주요 특징은 Table 3과 같고 핵종 분석 결과 Na-22, Mn-54, Co-56, Co-58, Co-60, Zn-65 등이 나타났다. 발생한 부품 운반물 및 덧포장의 등급 분류기준에 따라 모두 제 3종 황색운반물 등급이고, 표면오염검사를 실시하여 관리

구역에서 가져가는 것에 관한 허용표면오염도 1/10 이하로 반출되는 방식으로 수행되었다.



Fig. 1. SNUH Cyclotron(13MeV, TR-13 Ebc).

Table 3. Type of transport package and major properties

	Bin(Stopper, Targetry)	Body(Magnet, Cover)	Shielding Housing
Radioisotope *	Na-22, Mn-54, Co-56, Co-58, Co-60, Zn-65	Mn-54, Na-22, Co-56, Co-60, Zn-65	Mn-54, Co-60
Maximum estimated Radioactivity	61.61 MBq	500 MBq	92.3 MBq
Surface dose rate	~ 0.5 mSv/hr	~ 0.0005 mSv/hr	~ 0.005 mSv/hr
Weights	11.2 kg	20,000 kg	9,230 kg

* not including backgrounds : U-238, Th-232 decay series and K-40

주요 폐기물은 금속, 콘크리트, 목재류, 종이류로 구성되며 주변의 콘크리트에서는 상대적으로 방사화가 거의 진행되지 않은 것으로 확인되었다. 폐기물 발생량 측면에서 살펴보면 Table 4에 나타난 바와 같이¹⁴ 총 발생량 2210 ℓ 중에 가장 큰 비중을 차지하는 것은 가연성 목재로 전체의 50%를 차지하고, 그 다음으로는 가연성 비닐(비닐장갑 등)이 약 40.7%를 차지하고 있다. 나머지는 가연성 종이(제염지)와 비가연성 콘크리트가 차지한다. 전체적으로 작업 부산물로 발생한 가연성 목재와 비닐이 전체의 90% 이상을 차지하고 있다. 이는 폐기가 아닌 이전 작업이었기 때문에 상대적으로 콘크리트 폐기물 발생 비중이 적었고, 작업중

부피가 큰 목재와 비닐이 많이 사용된 결과이다.

TR-13 사이클로트론 이전 해체의 비용은 안전관리 비용 8 천만원, 초기 예상비용은 2 억원이고 최대 3 억 원을 예상하였으나 그 이상 비용이 사용된 것으로 보고되었다.

Table 4. The volumes of radioactive waste generated from SNUH Cyclotron

종 류	발생량(ℓ)	발생원
가연성 종이	200	시설제염
가연성 비닐	900	작업자 착용 및 부산물
가연성 목재	1,100	작업 부산물
비가연성 콘크리트	10	오염부분 제거

2. 해체 비용 분석

해체 후 폐기 시나리오에 대한 비용을 평가하기 위해서는 차폐체와 같이 양도·양수되었던 것들이 폐기물 처분에 따른 추가 비용을 발생시키는 것이라 할 수 있으며 TR-13 사이클로트론의 경우 크게 (1)사이클로트론 본체 (2)콘크리트 차폐체 7개 그리고 (3)steel sand 및 차폐체 내부 용출수 3가지에 대한 비용 평가를 고려할 수 있다;

(1) 사이클로트론 본체 : 마그넷(magnet) 등이 부착된 본체로 크기는 약 950×1,250×2,100 / 1,450×1,250×2,100 (mm)이다.

(2) 콘크리트 차폐체 7개 : 입방체 형태의 총 7개 콘크리트 차폐체로 이루어져 있고 각각의 차폐체의 크기는 950×1,230×2,100×2set / 1,200×1,450×2,100×2set / 900×700×1,920×2set / 1,200×1,200×350 (mm)이다.

(3) Steel sand 및 차폐체 내부 용출수 : steel sand 약 25 ton (100L×70ea), 용출수 약 1,000 L 이다.

위의 (1), (2)는 금속류 및 콘크리트류 대상으로 모양과 형태가 일정한 고체폐기물로 분류되고, (3)의 경우 액체 및 분체상의 유동성 형태이며 고형화 또는 개구부의 밀폐 등 처리하여 처분하게 된다.

추가된 방사성 폐기물 발생을 제외한 모든 시나리오에 대한 이전 해체 시나리오와 동일하다고 보았다. 실제로 서울대학교 사이클로트론 해체에서 발생하는 폐기

물은 방사성 폐기물로 분류할 수 있는 폐기물부터 일반산업폐기물처럼 처리할 수 있는 폐기물까지 다양한 선량의 폐기물이 발생하였지만 보수적인 계산을 위해 규제해제(자체처분)의 경우는 제외한다. 이는 TR-13 사이클로트론 이전 해체에서 콘크리트를 포함한 고체 폐기물이 저준위 방사성 폐기물로서 규제해제(자체처분)로 해결될 정도의 미미한 선량이라고 하더라도 아직 우리나라에서는 규제해제(Clearance level)에 관하여 주로 RI 이용업체를 대상으로 하는 기초적인 자체처분기준만 규정되어 있을 뿐 사이클로트론에 해당되는 명확한 기준이나 강제성을 가진 규제규정이 아직 마련되지 않았기 때문에 현행 법령상 적용하지 못하기 때문이다.

상기 국내 법령을 토대로, TR-13 사이클로트론 해체 중에 발생한 방사성폐기물의 예상 수량(체적) 및 비용을 유도해보면 아래와 같다;

- (1) 사이클로트론 본체 : 6300 L → 31.5 드럼 → 약 32 드럼
- (2) 콘크리트 차폐체 7개 : 15138.9 L → 75.6945 드럼 → 약 76 드럼
- (3) Steel sand 및 차폐체 내부 용출수 : 각각 35 드럼, 5 드럼

TR-13 사이클로트론의 폐기라고 가정했을 경우 회수된 방사성 폐기물로 인해 발생하는 처리 비용은 (1) 사이클로트론 본체 및 (2) 콘크리트 차폐체 7개 108드럼으로 약 12억 8천 8백만원이고, (3) Steel sand 및 차폐체 내부 용출수의 경우 35드럼, 5드럼 각각 1억 2천 6백만원, 3천 8백만원으로 나타났으며 족히 10 억원 이상의 금액이 평가되었다. 이는 이전 해체 사례의 비용이 3 억원을 고려하면 해당 조건은 3 배 이상의 금액임을 알 수 있다. 여기에 다른 잡고체 및 스톱퍼(Stopper), 타겟트리(Targetry) 같은 사이클로트론 부품품들을 고려한다면 비용은 더 추산될 것으로 예상된다. 다만 이러한 폐기물이 전부 중·저준위 폐기물로 처분될 것인지 법적 기준에 따라 재사용되거나 자체 처분될 것인지에 대한 검토는 필요할 것으로 판단된다.

결과적으로 방사성 폐기물 처분 비용은 총 해체 비용의 대부분을 차지하며, 방사성 폐기물 비용의 증가

는 해체 비용의 상승과 직결되므로 이는 폐기물의 정확한 비용 파악이 사이클로트론 해체 비용 추정에 있어서 중요함을 의미한다.

IV. 결론

사이클로트론의 해체 및 폐기에 관한 폐기물 처분 비용은 사이클로트론 발전의 경제성을 평가함에 있어 매우 중요하다. 본 연구에서는 의료용 사이클로트론 해체시 많은 양의 저준위 고체 방사성 폐기물이 발생하며, TR-13 사이클로트론 이전 해체 사례를 통해 폐기 시나리오를 적용함으로써 실제 방사성 폐기물로 인한 비용을 분석하였다. 분석 결과 발생된 주요 방사성 폐기물을 처분할 경우 최소 10 억원 이상의 예산이 소요되는 것으로 나타났고, 이로 인한 전체 해체 비용의 대규모 증가를 야기하였다. 그러므로 이러한 해체 폐기물 및 폐기와 관련한 비용을 제한하기 위한 대비가 필요할 것으로 예상된다. 하지만 이것 또한 해체 기술과 기준 요건에 따라 비용의 편차가 크기 때문에 규격화된 비용이라고 확정지을 수 없으며 추후 폐기물 분류 기준과 다양한 해체 시나리오를 고려한 비용 산정 기준이 수립되어야 할 것으로 예상된다. 또한 원자력 안전 규제가 강화될수록 비용이 늘어나는 경향이 있으므로 적절한 규제해제(자체처분) 및 재활용 기준 등을 통하여 경제적인 해체 계획의 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 본다.

본 연구 결과는 향후 국내 사이클로트론 해체 비용 산정 및 평가 방법의 기초 자료로 활용 할 수 있을 것이라 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 대구가톨릭대학교 교내연구비 지원에 의한 것임.

서울대학교병원 사이클로트론 해체 작업과 관련하여 자료를 제공해주신 (주)엑트 관계자분들에게 감사드립니다

참고문헌

- [1] IAEA, "Decommissioning of Small Medical, Industrial and Research Facilities", IAEA TECHNICAL REPORTS SERIES No. 414, 2003.
- [2] U.S.NRC. Financial assurance and recordkeeping for decommissioning (10 CFR 30.35). available in <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part030/part030-035.html>
- [3] Rina Woo, Yongmin Kim, Minchul Song, Daehyung Cho, Jaesung Lee, Wantae Kim, A Study on the Adoption of Cyclotron Decommissioning Plan Criteria by the Analysis of Domestic Relocation and Abroad Dismantling Practices, Journal of Radiation Protection, Vol. 38, No. 2, pp. 91~99, June 2013.
- [4] Bo Sun Kang, "An Activation Analysis of Target("used H₂O") for 18FDG Synthesis", Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 7, No. 3, pp. 213~219, 2013.
- [5] Hongmoon Jung, June go Cho, Jaeun Jung, Doyeon Won, "Evaluation of the Radiation Dosage Flowing out of the Hot Cell During Synthesis of 18FDG" Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 7, No. 5, pp. 365~369, 2013.
- [6] Edward L. Collins, Julien Boyance, Frances R Clark, D.John Tinnin, Andre Williams, "Decontamination and Decommissioning of the 60 " Cyclotron Facility at Argonne National Laboratory-East Project Final Report", ANL, 2011.
- [7] European Commission Nuclear Safety and the Environment, "Evaluation of the Radiological and Economic Consequences of Decommissioning Particle Accelerators", REPORT EUR 19151, March 1999.
- [8] IAEA, "Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities. IAEA SAFETY STANDARDS SERIES NO. WS-G-2.2. 1999.
- [9] IAEA, "Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material", IAEA Safety Requirements No WS-R-5, 2006.
- [10] IAEA "Management of small quantities of radioactive waste", IAEA-TECDOC-1041, 1998.
- [11] EDF/FRAMATOME, "Development of methodology for cost calculations of decommissioning operations", Task 1, 2000.
- [12] Radioactive Waste Management Act, Enforcement Ordinance Number 26412. 06. 2013.
- [13] Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) Notice 2013-63, Regulation on the calculation standard of radioactive waste management cost and spent nuclear fuel management cost, 06. 2013.
- [14] Yongho Hong, Sangung Lee, Yeongjae Park, Jinyong Jung, "A case study on the experience of cyclotron dismantling and their transfer carrying", Abstracts of Proceedings of the Korean Radioactive Waste Society Spring, Vol 11, No. 1, pp. 359, 2013.