

Study on the Decommissioning of Small Nuclear Facility through Analyzing Foreign Decommissioning Practices

Dayeong Kwon, Yongmin Kim

Department of Radiological Science, Catholic University of Daegu

국외 해체 사례 분석을 통한 국내 소규모 방사선이용시설 해체에 관한 연구

권다영, 김용민

대구가톨릭대학교 방사선학과

Abstract

RI & RG are used in various field such as medical field, industrial field, agricultural and food&life field. The number of small nuclear facilities is on the increase. We need to take an interest in decommissioning of small nuclear facility and predict the occurring problem from facility decommissioning. Because of the relatively low radiation risk, the preparation of the small nuclear facility dismantling is often neglected. As the accident in Goiania, Brazil showed, the impact of the decommissioning of small nuclear facilities is not less than the large nuclear facilities although it may seem dangerless. Therefore, we analyzed the each institutional characteristics of the decommissioning of small nuclear facilities through foreign case study on this research. Also, we proposed several considerations on decommissioning such as reuse of facility and source, lack of space, stakeholder involvement and failures of protection. Through these study, we tried to make guideline of the small nuclear facilities decommissioning.

Keyword : Small nuclear facility, Decommissioning, Department of nuclear medicine, Radiotherapy, Cyclotron

요 약

방사선은 의료 분야 뿐 아니라 공업 분야, 농업 및 식품생명 분야 등에 이용되고, 소규모 방사선이용시설의 운영이 증가하고 있는 상황이다. 이에 소규모 방사선이용시설의 해체에 대한 관심을 가질 필요성이 있고, 시설 해체 시 발생할 문제점에 대해 예측해 볼 필요성이 있다. 원자력발전소 등의 대형방사선이용시설의 해체에 대한 대비는 진행되고 있으나, 상대적으로 위험성이 적은 소규모 방사선이용시설의 해체에 대해서는 대비가 부족한 상황이다. 사이클로트론의 방사화나 브라질 고이아니아의 방사성물질 누출사고를 생각해 보면 소규모 방사선이용시설의 사고 시 그 영향은 대형 방사선이용시설에 비해 작지 않다. 이에 따라 본 연구에서는 국내에 비해 상대적으로 소규모 방사선이용시설 해체 사례가 많은 국외의 사례 중 국내에서 많이 가동되고 있는 사이클로트론, 방사선치료시설 등 시설별 특징에 대해 분석하였다. 또한, 소규모 방사선이용시설 해체 시 각 시설별 또는 공통적인 문제점으로는 시설과 선원의 재사용, 공간 부족, 이해 당사자의 개입, 대중의 방사선 노출이 나타났다. 이를 바탕으로 향후 소규모 방사선이용시설 해체 시 문제점을 해

결할 수 있는 방안을 마련할 때 도움이 될 것으로 사료된다.

중심단어 : 소규모 방사선이용시설, 해체, 핵의학과, 방사선치료시설, 사이클로트론

I. INTRODUCTION

방사선은 의료 분야뿐만 아니라 공업 분야, 농업 분야 및 첨단기술 개발 등에 이용되고 있다^[1]. 다양한 분야에서 사용됨에 따라 방사선이용시설의 운영이 증가하고 있는 상황이다. 전체적인 인허가 상황을 보면 국내의 방사선이용시설의 수는 2008년 3,824곳에서 2012년 5,606곳으로 증가하였다. 향후 시설 해체시 고려해야할 대상인 사이클로트론은 2007년 23대에서 2012년 35대로, PET-CT(양전자 컴퓨터 단층촬영)는 2007년 85대에서 2012년 169대로 증가하였다^{[2],[3]}. 그러나 국내외적으로 대형 원자력시설의 위험성과 해체 등에 대한 대비는 진척이 되고 있으나, 소규모 방사선이용시설에 대한 대비는 대형원자력시설에 비해서는 아직 미흡하다. 또한, 현재 국내에는 해체 및 폐기물 처분에 대한 규제나 해체 시 발생하는 비용에 대한 대비가 부족한 상황이다.^{[4]-[7]} 일반적인 소규모 방사선이용시설의 장비들은 수명을 다하여 교체를 하는 것 보다 업그레이드를 위해 장비를 교체를 하는 것이 대부분이다.^[8] 국내의 경우에는 현재 서울대학교병원에서 성균관대학교로 사이클로트론을 이전해체한 사례가 존재한다^[9]. 그러므로 상대적으로 해체사례가 많은 국외의 자료를 국제원자력기구(IAEA)에서 발행물을 통해 분석하여 국내의 해체 시 문제가 될 만한 시설에 대한 해체과정에서 발생하는 폐기물 관리, 시설 해체 시 문제점과 그 문제점 해결 방안에 대해 연구해 볼 필요성이 있다^{[10],[11]}. 그 문제점 해결 방안에 대한 연구가 필요하며 이를 통해 소규모 방사선이용시설 해체에 대비하고자 한다.

II. DECOMMISSIONING PRACTICE OF FOREIGN Small Nuclear Facility

1. 방사선 치료시설

방사선 치료기기를 해체 시 ⁶⁰Co 또는 ¹³⁷Cs의 고방사능 밀봉 방사선원을 처분해야 한다. 이러한 밀봉선

원으로 인한 사고가 발생할 가능성이 있으므로 전문가의 도움을 받아 해체를 시행할 필요가 있다^{[12],[13]}. 방사선치료시설의 해체 시 기기에 내장된 선원에 관한 문서를 찾는 것이 주요 업무이다. 기기의 원격 치료선원을 건물 밖으로 이동시키기 전, 경로확보, 바닥 또는 리프트의 최대 부하 한계 등을 확인하여 선원이나 기기의 무게를 지지하기에 충분한지를 확인하는 것이 필요하다^[10]. 방사선치료시설의 해체과정에서 일반적으로 방사성폐기물이 발생되지 않을 것으로 판단되지만, 오염이 발견된다면 2차 폐기물이 발생할 가능성이 있다. 그에 따른 폐기물의 부피는 작을 것으로 판단된다^[10].

2. 사이클로트론

사이클로트론 해체의 경우, 해체 계획을 수행할 때, 외부의 해체회사를 통해 수행한다. 이 경우, 고비용을 야기한다^[10]. 따라서, 가능한 한 해체 작업을 기존의 직원들이 수행하는 것은 비용절감을 위해 고려될 필요가 있다. 기존 종사자들이 해체 작업을 수행하기 위해서는 해체 폐기물의 처리를 위해 분류, 분리, 측정, 포장 등에 관한 추가 교육을 시행하여야 하며, 이에 해체의 초기단계에서 계획을 감독하기 위해 해체 경험이 풍부한 컨설턴트가 필요하다^[10].

3. 핵의학과

핵의학과는 진단과 치료를 위해 사용되는 비밀봉선원과 품질보증 목적을 위해 사용되는 밀봉선원을 가지고 있으며, 오래된 ^{99m}Tc 발생장치, 진단과 치료로부터 생산되는 방사성 폐기물을 저장하는 장소가 있다. 핵의학과 해체 시, 선량률 측정, 표면오염 측정, 이동 가능한 spectrometer를 이용한 감마 분광 분석 측정 등의 최종조사가 수행된다. 핵의학과 해체 시 논점으로는 정리되지 않은 오래된 방, 제거되지 않은 방사선 경고 표시, 일부 빈 컨테이너 발견 등으로 나타난다^[10].

위의 사례들은 IAEA의 발행물에 나온 해외의 소규모 방사선이용시설의 해체사례들이다. 이에 국내의 소

규모 방사선이용시설 현황을 고려하여 향후 해체 시 고려해야 할 시설들은 검사수가 늘어나고 있는 핵의학과 시설과 치료학시설, 사이클로트론에 대해 중점적으로 살펴볼 필요성이 있다.

III. FACILITIES CONSIDERING WHEN FACILITIES DECOMMISSION IN COUNTRY

1. 방사선치료시설

일반적으로 방사선치료시설에서 근접 치료 시 ^{192}Ir , ^{125}I , ^{137}Cs , ^{60}Co 등이 사용되며, 원격 치료 시 ^{131}I 등이 사용된다^[3]. 국내의 한 연구결과에 따르면, 일반적으로 고에너지(10MV이상)의 광자선에서 산란 중성자를 발생시키는 것으로 알려져 있는데, Isocenter에서 거리가 멀어질수록 발생된 산란중성자의 양이 감소하였으며, Wedge는 방사화에 따른 유도 방사선을 발생시켜 중성자 측정 결과값이 높게 측정되며, Wedge나 Mount의 장착으로 주변 중성자의 양의 변화도 존재하며, 이에 산란중성자를 측정할 경우, 방향과 주변 구조물에 대한 영향까지 고려하여 공간적인 측정과 평가가 필요하다^[14]. 연구 결과를 고려한다면, 방사선 치료시설에서 방사화가 주요 문제점으로 나타나지 않지만, 향후 해체를 시행할 때 주요 치료 protocol과 주로 사용하는 wedge 등을 고려하여 해체 전 주변 구조물에 대한 중성자 측정과 평가가 충분히 이루어질 필요성이 있다.

2. 사이클로트론

사이클로트론 해체의 경우, 해체 계획을 수행하는데 있어서 외부의 해체회사를 통해 수행이 되며, 수행되는 작업은 다음과 같다^[10].

1) 분해와 철거로부터 발생한 폐기물 저장을 위한 사이클로트론에 인접한 폐쇄된 저장 공간의 기관, 시설에 현재 근무자에 의한 분리와 처분을 위한 미정 특성조사.

2) 오염의 제거 및 저준위 폐기물 저장소로 수송을 하기 위한 특성조사를 준비하기 위해 현장에서 절단.

3) 인접한 generator house에서 모든 회전기계의 제거, inner vault와 generator house사이에 콘크리트 블록

과 벽돌벽 해체

4) 콘크리트 블록의 제거를 보조하기 위한 girder matrix에 의해 지지되는 추가 차폐의 제거. 시설에서 일하는 작업자에 의해 방사능 추정을 위한 벽돌과 블록의 중심 표본 수집

5) 분해, 모니터링, 특성조사를 위해 resonator를 generator house로 이동

6) 보조적인 장비의 분해(beam lines, remote target handling system 등)

7) upper level shielding의 일차 제거 후, 물탱크 제거.

상기 작업은 8개월 정도 소요가 되었다. 이에 비용과 해체계획의 최적화를 위해 해체를 관리하는 경험이 풍부한 해체 컨설턴트를 제공하는 것이 필요하다. 영국의 Minneapolis VA MC-40 사이클로트론 해체 시 발생된 저준위 고체 폐기물은 $1.5 \times 10^4 \text{kg}$ 정도이고, β/γ 선에 대해 1MBq/kg 이고, α 선에 대해 73kBq/kg 의 방사능이 나타난 것으로 보고된 바 있다^[10].

3. 핵의학과

일반적으로 핵의학은 방사성동위원소를 이용하여 진단과 치료를 하는 의학 분야로 체내 영상 검사, 체외 검체 검사, 방사성동위원소 치료 등을 시행하는 시설이다^[15]. 최근 PET(양전자 단층촬영) 검사가 2008년 약 24만 건에서 2012년 약 40만 건으로 약 2배가 증가하였다^{[2],[3]}. 핵의학과의 방사성동위원소 분배실의 공간선량률의 연구결과를 보면 ^{99m}Tc , ^{131}I 분배실의 공간선량률이 최대 $9.248 \pm 0.013 \mu\text{Sv/h}$ 이며, ^{18}F 분배실의 공간선량률은 최대 $6.78 \pm 0.083 \mu\text{Sv/h}$ 정도로 측정된 바 있다^[16]. 공간선량률로 인해 작업종사자나 환자들이 방사선 피폭을 받지만, 이로 인한 피폭은 매우 낮은 것으로 판단된다. 핵의학과 내의 일반 의료폐기함의 표면 오염도 및 배후방사능이 법적인 허용치를 초과하지 않았지만 실제 방사능이 존재하므로 생리식염수 등을 액체 폐기물로서 RI 정화조에 폐기하거나 일정기간 보관하여 충분히 감쇄시킨 후 폐기를 해야 할 필요성이 있는 시설로 판단된다^[17].

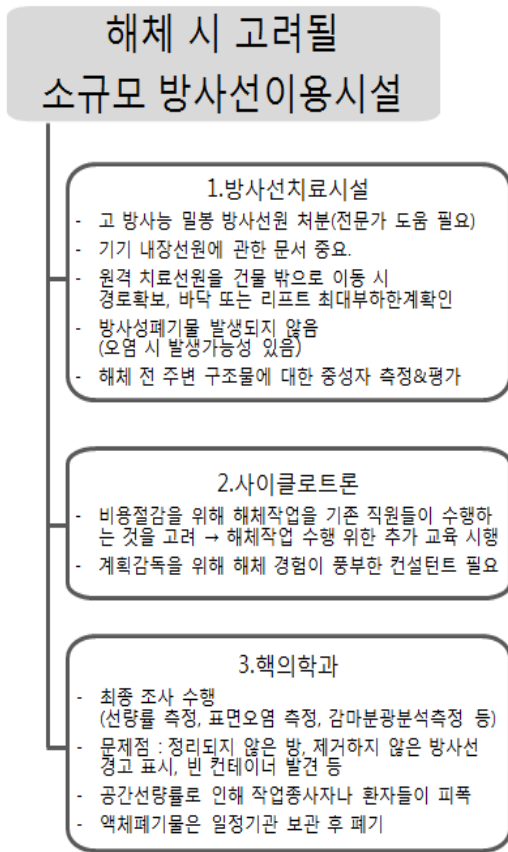


Fig. 1. Facilities considering when facilities decommission in country.

IV. CONSIDERATION WHEN FACILITIES DECOMMISSION IN COUNTRY

IAEA를 통해 국내에 비해 해체 사례가 많은 국외의 여러 방사선이용시설의 해체사례를 살펴본 결과, 소규모 방사선이용시설 해체 시 나타난 주요 문제점으로 시설과 선원의 재사용의 고려, 예상되지 않은 오염의 발견, 해체 작업을 방해하는 물질, 공간의 부족, 이해당사자의 개입, 접근하기 어려운 곳의 접근 가능성, 해체 시 방사선이 대중에게 노출될 경우 방사선 보호의 실패, 건물을 해체가 완료된 후 모든 방사선이 제거되었다는 것에 대한 신뢰 부족 등이 보고된 바 있다^[11].

이에 국내의 소규모 방사선이용시설 해체 시 고려해야 할 사항으로는 다음과 같다.

1. 시설과 선원의 재사용 고려

시설이나 선원의 경우에는 해체를 시행하기 전이나 시설을 폐쇄, 선원을 폐기하기 전에 IAEA의 발행물에 나온 것과 같이 재사용을 고려해볼 필요가 있다고 판단이 된다. 국내의 서울대학교 사이클로트론의 성균관대학교의 이전해체사례, Cuba, Havana의 소규모 의료용 시설(National Institute of Oncology and Radiobiology(Oncology Hospital))을 해체하여 암 수술 환자의 치료를 위한 병동으로 재사용한 사례 등을 통해서 시설이나 장비를 재사용 하는 것을 고려해야 할 것으로 판단이 되며, 방사선치료시설에서 사용된 선원이나 핵의학과 시설에서 사용된 선원 또한, 필요한 기관에서 재사용 가능성을 확인한 후 선원을 폐기물로 처리하는 것이 필요하다^[9,10].

2. 공간의 부족

IAEA 보고서에 따르면, 소규모 방사선이용시설을 해체 시 발생한 폐기물을 분류하기 위해 충분한 공간을 확보할 것을 권고하고, 충분한 공간 확보가 불가능할 시 폐기물 처리 계획 수립을 하는 것을 권장하며, 해체활동(방사선학적 특성, 해체 활동, 분해 물질 제거 등)에 대한 조직화가 필요하다고 보고된 바 있다. 국내의 경우에도 소규모 방사선이용시설을 설계하는 단계부터 충분한 공간을 확보할 필요성이 있다고 판단이 되며, 해체계획 수립 시 해체 활동을 위한 조직화를 고려해볼 필요성이 있다고 판단이 된다.

3. 이해 당사자의 개입

시설 해체 시 발생하는 폐기물 등을 저장할 공간이 일시적으로 시설 내에서 부족할 경우, 시설 외부의 공간을 고려해야 하며, 시설의 외부 공간은 대중의 관점에서 사회적 문제를 야기할 수 있으므로, 이해당사자(이웃 또는 해체 작업과 관련이 없는 인근의 공장)와 해체의 사회적 영향을 평가하는 것이 필요하다고 판단된다^[11]. 국내의 경우에도 국민들의 NIMBY현상(공공의 이익은 되지만 자신이 속한 지역에는 이익이 되지 않는 일을 반대하는 이기적인 행동)이 나타날 가능성이 있으므로, 시설 주변의 폐기물 등을 저장할 장

소 주변 주민이나 공장에 동의를 얻는 것을 최우선으로 수행하여야 한다고 생각된다.

4. 해체 시 방사선이 대중에게 노출될 경우 방사선 보호의 실패

IAEA 보고서에는 해체 작업을 하는 동안 적절한 절단 지점을 찾기 위해 사용하는 산업 방사선원과 빈 배관을 확인하는 금속배관 검사는 실수가 없어야 하지만 광범위한 방사선 관리구역을 고려하는 것을 실패하여 배관에서 방사선이 시설의 경계를 따라 공공 보도로 확장되어 일반인들에게 방사선이 노출이 된 사례가 보고된 바 있다. 또한 이러한 시설 주변의 대중에게 방사선의 노출을 방지하기 위해 안전 계획을 세우고, 선원의 적재 방사선량을 측정하는 것이 필요하며, 불필요한 방사선 피폭을 방지하기 위해 해체를 하는 동안 시설 주변의 도로, 도보를 통제하기 위해서 공공기관들과 연락을 취하여야 한다^[11]. 이에 국내에서도 방사선이용시설을 해체하는 경우에도 방사성폐기물처리시설 주변 부지의 방사선환경 조사를 한 것과 같이 방사선이용시설 주변 부지의 방사선학적 영향에 대한 평가가 이루어져야 하며, 만약 대중에게 방사선 피폭이 발생할 가능성이 있다면 주변 주민들과 도로, 도보 통제와 관계된 공공기관과 연락이 가능할 수 있도록 연락망을 확보해야 할 것으로 판단된다^[18].

이 외에도 중·저준위 방사성폐기물의 관리비용이 200L 기준으로 2009년 445만원, 2011년 736.3만원, 2013년 1193만원으로 증가하는 추세를 보이므로, 방사성폐기물의 양을 최소화하여 이와 관련된 비용을 최소화해야 한다^[6-8]. 소규모 방사선이용시설 해체 시 방사선학적 위험이 존재할 뿐 아니라 비방사선학적 위험도 존재하므로 이에 대한 대응책 또한 해체 시행 전 단계부터 고려를 해야 할 것으로 판단된다^[19].

V. CONCLUSION

본 논문에서는 향후 빈번하게 일어날 국내의 소규모 방사선이용시설 해체에 대해 미리 대비하기 위해 해체 경험이 많은 국외의 사례를 통해 시설과 선원에 대해 재사용 가능성, 방사성폐기물 분류, 저장을 위한 공간 부족, 주변 주민과 시설 등의 동의, 시설 주변의

방사선환경조사, 공공기관과 연락망 구축 등의 사안에 대해 검토를 하였다. 국내에서는 소규모 방사선이용시설의 해체에 대한 연구가 미흡하고, 해체에 대한 기준 수립도 부족한 상황이므로 국외의 사례를 분석하여 향후 해체 시 시행착오를 최소화하도록 노력하고, 해외의 해체 기준들을 국내의 실정에 맞게 바꾸어 적용하여 법적인 체도를 만들도록 노력하는 것이 중요하다. 또한, 소규모 방사선이용시설의 해체 시 방사선학적 문제 뿐 아니라 비방사선학적 위험에 대해서도 고려해볼 필요가 있다. 따라서, 국내에서는 시설의 해체가 수행되기 전 해체 계획을 자세히 세우고, 시설을 해체하는 동안 여러 위험들로부터 작업자들을 보호하고, 방사성 폐기물이나 해체를 하는데 필요한 비용을 최소화하는 방향으로 해체를 진행해야 할 필요성이 있다. 본 논문에서 분석한 시설별 특성과 문제점은 향후 국내 소규모 방사선이용시설의 해체 기준을 마련할 때 기본이 될 것이라고 사료된다.

Acknowledgement

이 논문은 2012학년도 대구가톨릭대학교 교내연구비 지원에 의한 것임.

Reference

- [1] Younghwan Ryu, Kyungrae Dong, Woonkwan Chung, Jaehwan Cho, Yongsoon Park, Hongryang Jung. A Survey on the Knowledge of Radiation Safety Management(RSM) in the Context of Industrial Use of Radiation. Journal of the Korean Society of Radiology, Vol. 6, No. 3, pp.159-166. 2012.
- [2] KARA, 2011 Statistic on the radiation practices in Korea
- [3] KARA, 2012 Statistic on the radiation practices in Korea
- [4] Rina Woo, Yongmin Kim. A Study on the Method of cost estimation for the decommissioning plan by the analysis of domestic cyclotron dismantling practices. Journal of The Korean society of radiology, Vol. 8, No.3, pp.97-103. 2014.
- [5] Ministry of Knowledge economy Notice 2008-227, Regulation on the calculation standard of radioactive waste management cost and spent nuclear fuel management charge.
- [6] Ministry of Knowledge economy Revision Notice 2011-197, Regulation on the calculation standard of radioactive waste management cost and spent nuclear fuel management charge.
- [7] Ministry of Trade, Industry and Energy. Notice 2013-063,

- Regulation on the calculation standard of radioactive waste management cost and spent nuclear fuel management cost.
- [8] KINS, Study on the status of internal cyclotron and external standard on decommissioning of cyclotron, KINS/HR-1269, 2013.
- [9] Yong Ho Hong, Sang Ung Lee, Yeong Jae Park, Jin Yong Jung. A case study on the experience of cyclotron dismantling and their transfer carrying, Korean Radioactive Waste Society Spring, Vol 11 No. 11, p.359, 2013
- [10] IAEA, Decommissioning of small medical, industrial and research facilities: A simplified stepwise approach., Annex I, IAEA NUCLEAR ENERGY SERIES No. NW-T-2.3, 2011.
- [11] IAEA, Decommissioning of small medical, industrial and research facilities: A simplified stepwise approach., Annex II, IAEA NUCLEAR ENERGY SERIES No. NW-T-2.3, 2011.
- [12] IAEA, The Radiological Accident in Goiana, IAEA, Vienna, 1988
- [13] IAEA, The Radiological Accident in Istanbul, IAEA, Vienna, 2000
- [14] Dae Sup Kim, Jeong Man Kim, Hee Seok Lee, Ra Seung Lim, You Hyun Kim. A study on the neutron in radiation treatment system and related facility. Journal of Korean Society for Radiation Therapy 2005 pp. 141-145. 2005.
- [15] Seoul National University Hospital treatment information, 'Department of nuclear medicine'
- [16] Jeong-Kyu Park, Euy-Hyun Cho. Measurement of the Spatial Dose Rate for distribution room in department of nuclear medicine. Journal of Digital Contents Society Vol. 13 No.2 pp.151-157. 2012.
- [17] Jae Sook Yoo, Jeon Chan Kim, Dong Hoon Lee, Min Kyeong Cha, Ki Pyo Nam. A Study on Medical waste contaminated by radioactivity in nuclear medicine department. Journal of nuclear medicine technology Vol 15. No. 1 pp.70-74. 2011.
- [18] Jeong Seok Baek, Yeui Young Jeong, Sang Bok Ahn, Wan Kim. Radiological Environment investigation of radioactive waste disposal facility. Journal of the Korean Radioactive Waste Society Vol.(6)4, pp. 387-398. 2008.
- [19] Gwan Seong Jeong, Dong Gyu Lee, Geun U Lee, Un Su Jeong, Hyeon Gyo Lim. nonradiological dangerousness and confirmation of accident of decommissioning work environment in small nuclear facility. Ergonomics Society of Korea spring, 2008.