

A Study on the Application of EXPERT-CHOICE Technique for Selection of Optimal Decontamination Technology for Nuclear Power Plant of Decommissioning

원전 해체 시 최적 제염기술 선정을 위한 EXPERT-CHOICE 기법 적용에 대한 연구

Jong Soon Song, Seung Su Shin, and Sang Heon Lee*

Chosun University, 309 Pilmun-Daero, Dong-Gu, Gwangju, Republic of Korea

송종순, 신승수, 이상헌*

조선대학교, 광주광역시 동구 필문대로 309번지

(Received May 8, 2017 / Revised June 23, 2017 / Approved July 18, 2017)

The present study researched and analyzed decontamination technology for decommissioning a nuclear power plant. The decision-making technique (EXPERT-CHOICE) was used to evaluate and select the optimal decontamination technology. In principle, this evaluation method is generally performed by a group of experts in the relevant field. The results of the weights were calculated by multiplying the weights with regard to each criterion and evaluation score. The evaluation scores were categorized into 3 ranges (high, medium, and low), and each range was weighted for differentiation. The level of the technology analysis was improved by additionally quantifying the weights with regard to each criterion and subdividing criteria into subcriteria. The basic assumption of the evaluation was that the weight values would be decided on in an expert survey and assigned to each criterion. The evaluation criteria followed high weight for the 'High' range. Accordingly, H, M, and L were assigned weights of 10:5:1, respectively. This was based on the EXPERT-CHOICE optimal analysis. The minimum and maximum values were excluded, and the average value was used as the evaluation value for each scenario.

Keywords: Decommissioning, Decontamination, Physical Decontamination, Chemical Decontamination, EXPERT-CHOICE

* Corresponding Author.

Sang Heon Lee, Chosun University, E-mail: leesanghoen@naver.com, Tel: +82-62-230-7165

ORCID

Jong Soon Song <http://orcid.org/0000-0001-9162-7631>

Seung Su Shin <http://orcid.org/0000-0001-5349-6044>

Sang Heon Lee <http://orcid.org/0000-0002-5203-3029>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

본 논문에서는 원전해체 시 적용 가능한 제염기술을 조사하여 분석하였다. 이를 기반으로 최적의 제염기술을 선정하기 위해 의사결정 기법(EXPERT-CHOICE)을 사용하여 기술성을 평가하였다. 이 평가방법은 해당 분야의 전문가로 이루어진 전문가 집단에 의해 수행되는 것이 일반적이다. 가중치를 고려한 결과는 각 기준에 대한 가중치에 평가점수를 곱한 총합을 구하는 식으로 수행하였다. 평가 점수를 3단계로 하여 High, Medium, Low로 구분한 후 가중치를 부여하여 차별화 시킬 수 있다. 하위분류 기준의 세분화와 각 기준 별 가중치의 추가 정량화를 통하여 기술성 분석의 수준을 제고할 수 있고, 좀 더 설득력 있는 결과의 도출을 예상할 수 있다. 평가의 기본 가정은 각 기준 별 가중치를 전문가 조사에 의해 부여하며, 평가 기준은 High에 좀 더 비중을 주는 식으로 차별화 하였다. 이를 반영하면 H, M, L는 대략 "10:5:1"의 비율로 평가 점수를 부여받는데, 이는 EXPERT-CHOICE 기법의 최적화 분석에 따른 것이다. 최고 및 최저값을 제외한 나머지 결과값의 평균을 평가치로 고려하였다.

중심단어: 해체, 제염, 물리적 제염, 화학적 제염, EXPERT-CHOICE

1. 서론

국내 원전의 가동년수 증가에 따라 원전 해체에 요구되는 요소기술 확보의 필요성이 대두되고 있다. 원전 해체기술은 사용연한이 만료된 원전을 주변 환경으로부터 영구히 격리시키기 위해 행해지는 제염, 절단/철거, 폐기물 처리 및 환경복원 등을 수반하는 일련의 종합기술이다. 계통제염 기술은 고방사성 계통 및 기기의 방사선 준위를 제염 전 대비 1/30 이하 수준으로 낮추는데 활용되는 기술이다. 기기제염 기술은 해체된 기기, 배관 등의 표면 오염물을 전해제염, 화학제염 및 물리제염을 통해 재활용 혹은 자체처분 수준까지 방사능량을 낮추는데 활용되는 기술이다. 기술의 적용을 통해 작업시의 방사선 피폭량 저감과 작업의 능률 향상이 기대된다. 본 연구에서는 의사결정기법(EXPERT-CHOICE)을 활용한 최적의 제염기술 선정을 위해 전문가 자문을 기반으로 EPA 보고서에서 제시하는 제염기술에 대한 전문가 평가를 도출하였다.

2. 제염기술의 주요 고려사항

2.1 화학적 제염기술

화학적 제염은 주로 표면에 고착화된 오염물질을 제거하기 위해 사용하는 제염방법으로 원자력 관련시설에서 널리

사용되고 있다. 원전의 경우 방사성물질의 위험도를 고려하여 일반산업에서 요구되는 제염수준 보다 더욱 높은 강도의 제염이 요구된다. 일반산업 시설의 오염은 표면오염 상태로 형성되지만 원전은 계통 순환을 통해 방사화된 물질이 기기 내 10 um 이상 깊이에 고착화되어 고방사선 구역을 형성하게 된다.

한편, 화학적 제염이 제대로 이루어지지 않을 경우 오히려 해당 제염설비로 인한 위험도가 증가한다. 예를 들어, 킬레이트화 반응을 통해 표면의 방사능오염을 제거할 경우, 킬레이트와 오염물질의 혼합물은 일반적으로 오염물질이 혼자 존재할 때 보다 매우 높은 독성을 지니게 된다. 또한, 이러한 방사성오염물질은 액체인 화학제와 혼합됨으로 인해 유동성을 갖게 되고 이로 인해 외부로 유출 시 환경에 큰 위험도를 가져다 줄 수 있으며, 기타 인접한 다른 설비에도 오염을 확산시킬 수 있는 위험이 있다. 화학적 제염이 계획된 목적을 달성하기 위해서는 반드시 적절한 위험 관리가 필요하다[1]. Table 1은 EPA에서 제시하는 화학적 제염기술들에 대해 비용과 성능 및 고려사항을 요약한 표이다.

2.1.1 킬레이트 및 유기산(Chelation and Organic Acids)

제염하고자 하는 금속에 대해 선택적으로 매우 높게 화학반응을 하는 킬레이트제를 만들 수 있기 때문에 어떠한 물질을 킬레이트제로 사용할 것인가는 매우 중요하다. 예를 들어, 옥살산의 경우 배관의 녹과 니오븀 및 핵분열생성물이

Table 1. Feature of chemical decontamination

Technology	Cost	Performance	Note
Chelation and Organic Acids	10.76 \$·m ²	Poor	Contaminant solubilization requires great care in waste treatment. Danger of mobilization of the contaminant.
Strong Mineral Acids and Related Materials	21.53 \$·m ²	Poor	Primarily used for metal corrosion products.
Chemical Foams and Gels	21.53 \$·m ²	Adequate	Care must be taken when flushing since foams can travel to areas beyond the reach of liquids.
Oxidizing and Reducing (REDOX) Agents	21.53 \$·m ²	Adequate	Often used as one step of a multiple step process.
TechXtract	2.15 \$·kg ⁻¹	Good	Requires optimization for contaminant and substrate.

혼합된 물질을 제거하는데 효과적이지만 미국 에너지부 (DOE) 산하의 Savannah River Site 제염사례를 보면 섭씨 90도 이상에서 옥살산이 배관의 금속과 반응을 하여 비용해성의 철수산염이 생성됨을 확인하였으며, 이를 제거하기 위해 매우 강도 높은 추가제염이 필요로 되었다. 활용사례 측면에서 킬레이트제는 원전 제염에 광범위하게 사용되고 있다. 킬레이트와 결합된 방사성오염물질이 유동성을 갖게 되기 때문에 폐기물관리 부주의시 이러한 물질이 환경으로 유출될 위험이 있다. 따라서 제염 후 발생하는 2차 폐기물을 주의 깊게 관리하여야 한다. 폐기하고자 하는 킬레이트는 여과나 증발과정을 통해 오염용액에서 킬레이트 금속 침전물을 슬러지로 만들어 최종처리 후 폐기처분한다. 일부 보고서에 따르면 1990년에서 1998년 동안 124개의 원자로가 LOMI, CITROX, CANDREM 기술을 사용하여 제염을 실시한 것으로 보고되고 있다[2].

2.1.2 강 무기산 및 화학작용제(Strong Mineral Acids)

강 무기산과 관련 화학작용제는 산화 침적물 제거에 일반적으로 사용된다. 제염과정에서 오염물질이 위치한 금속 기저 층까지 공격하기 때문에 산을 이용한 제염이 다양한 방사성오염물질에 대해 효과적일 수 있다. 미국 Idaho 국립 연구소가 실시한 제염 성능평가에서는 알카라인 과망간산염, 질산 과망간산염, 유기산, 플루오르화 질산, 플루오르화 붕소산, TUCS (Thermally Unstable Complexing Solution),

알루미늄 질산염 중에서 비록 많은 양의 2차 폐기물이 발생하기는 하지만 플루오르화 붕소산이 가장 제염효과가 높은 용액으로 평가되었다. 두 번째 제염효과가 높은 용액은 플루오르화 질산이었으며 가장 낮은 2차 폐기물을 발생하는 것으로 평가되었다[3, 4].

2.1.3 화학포말 및 화학젤(Cheical Foams and Gels)

포말과 젤은 매우 복잡한 구조에 사용할 수 있지만 액체가 아니기 때문에 깊게 틈이 있는 구조에는 사용하기가 어렵다. 다른 화학제염제에 비해 포말과 젤을 사용한 제염은 제염물질의 유동성이 적기 때문에 제염절차가 비교적 간단하다. 또한 일반적으로 제염과정에서 특수한 전문가를 필요로 하지 않고 오염물질 표면에 대한 전처리도 요구되지 않는다. 화학 젤은 냉각재 배관과 강관의 파이프 등에 묻어 있는 이산화탄소를 제염하는데 사용되고 있다. 화학포말 및 화학젤 제염방법은 영국 Winfrith Technology Center의 중수로 원전의 표면을 제염하는데 적용되었다. 해체과정에서 화학 젤 제염방법을 적용하기에 앞서 먼저 수압으로 원자로 표면에 대한 세척을 실시하였다[1].

2.1.4 산화제 및 환원제(Oxidizing and Reducing Agents)

산화 및 환원제 제염방법은 화학반응에서 환원제가 전자 하나를 받고 산화제가 전자 하나를 주는 반응을 가리킨다. 항상 산화 및 환원반응이 공동으로 발생하며 환원반응을

Table 2. Feature of physical decontamination

Technology	Cost	Performance	Note
Dry Vacuum Cleaning	21.53 \$·m ²	Adequate	Typically used in conjunction with other decontamination technologies
Electro- Hydraulic Scabbling	107.64 \$·m ²	Poor	Works best for horizontal surfaces.
En-vac Robotic Wall Scabbler	52.74 \$·hr ⁻¹	Good	Remote controlled aspect allows operation in areas unsafe for humans.
Grit Blasting	52.74 \$·hr ⁻¹	Good	Wide range of grits and abrasives available for special situations.
Piston Scabbler	64.58 \$·m ²	Good	Remote controlled aspect allows operation in areas unsafe for humans.

수반하지 않는 산화반응은 발생할 수 없다. 제염에서는 환원보다는 산화가 중요한 반응으로 수행 되어야 한다.

주로 원자력발전소 1차계통의 오염물질은 금속 산화물 형태로 존재하기 때문에 원소의 산화상태를 조절하는 능력은 제염에 있어 중요하다. 금속 산화물 격자에서 일부 원자들은 산화상태가 변화됨으로 인해 그들의 격자 상태가 붕괴되기도 한다. 이로 인해 표면에 붙어 있는 오염물질을 쉽게 제거할 수 있다. 원자력관련 산업에서는 오염물질에 특성화된 다양한 산화제염 방법들을 개발하여 왔다. 대표적인 산화제염 방법으로 킬레이트와 유기산을 사용하는 LOMI (Low Oxidation State Transition Metal Ion), NITROX (Nitrate-oxalic acid), DfD (Decontamination for Decommissioning), OPG (Ontario Power Generation), CANDEREM, 알카리성 과망간산염 및 술폰산(Alkaline-permanganate/sulfamic acid), APOX (Alkaline-permanganate /oxalic acid) 기술 등이 있다[1]. 제염효과 측면에서 산화 및 환원제 제염 방법은 일반적으로 높은 수준의 제염효과를 제공한다. 경수로원전(PWR)의 크러드나 ¹³⁷Cs에 오염된 고방사성물질 처리구역(Hot-cell)도 성공적으로 제염을 수행할 수 있는 것으로 확인되었다.

2.1.5 TechXtract

이 기술에 사용되는 화학작용제는 제염대상에 따라 다르며 모든 제염공정은 이동이 가능한 트레일러 안에서 이루어진다. 기중기와 레일(Rail) 장치를 이용하여 제염하고자 하는 조그마한 물체들을 순차적으로 이동시킨다. 제염 대상물체는 여러 종류의 화학작용제에 순차적으로 담가지게 되며 오염물질은 초음파에 의해 오염물질 저장조로 모이게 된다. 효과적인 제염을 달성하기 위해 TechXtract 화학작용제에는

유화제, 전해액, 부양물질(Flotation), 습윤제, 완충역할을 하는 유기 및 무기산, 금속봉쇄제(Sequestering Agents)가 포함되어 있다. TechXtract 기술은 방사성물질, PCB, 기타 유해한 유기물 및 무기물의 제염에 적용할 수 있다. 오염물질의 특성을 반영하여 제염목적에 따른 화학용액의 비율도 융통성 있게 변경할 수 있는 장점이 있다[5].

2.2 물리적 제염기술

물리적 제염은 화학적 제염의 대안으로 사용될 수 있으며 또한 화학적 제염을 보완하기 위해 사용되기도 한다. 물리적 제염의 성능은 오염물질의 형태, 물리화학적 특성, 발생 장소, 오염깊이, 표면의 특성 등에 따라 달라진다. 따라서 제염 이전에 예비조사를 실시하여 해당 오염물질 제거에 적합한 물리적 제염방법을 선택해야 한다[2]. 일반적으로 물리적 제염방법은 오염지역이 크고, 접근성에 장애가 없는 오염물질에 대해 적용하고 있다. Table 2는 EPA에서 제시하는 물리적 제염기술들에 대해 적용가능성이 높은 기술들의 비용과 성능 및 고려사항을 요약한 표이다.

2.2.1 건조 진공 세척(Dry Vacuum Cleaning)

건조 진공 세척은 표면에 느슨하게 붙어 있는 방사성오염물질을 제거하는데 사용되는 제염방법으로 표면에 단단히 고착화되어 있는 오염물질의 제거에는 적합하지 않다. 또한 다공성 표면의 제염에도 효과적이지 못하다. 공기 흡입을 통해 유입된 공기는 HEPA 필터를 거쳐 다시 대기 중으로 방출되며 이때 오염물질들은 필터에서 걸러지게 된다. 일반적으로 건조 진공 세척은 납 성분의 페인트 파편과 석면, 기타 미세한 방사성입자 등을 제거하는데 사용되고 있다. 시연 결과

1 μ m 이상의 입자에 대해서 약 95% 이상의 제거효율을 보여 주었으며 평균적으로 시간당 10 m²의 면적을 제염할 수 있는 것으로 조사되었다[1].

2.2.2 전기 유체식 스캐블링(Electro-Hydraulic Scabbling)

전기 유체식 스캐블링은 단락 및 대전류(Short and High Current)와 고전압 방전을 사용하여 물속에 잠겨있는 두 전극사이에서 플라즈마(Plasma) 방울과 충격파를 만들고 이를 사용하여 표면을 제염하는 방법이다. 전기 유체식 스캐블링 제염방법은 발생하는 2차 폐기물의 양이 매우 적다. 또한 장비에 사용되는 물의 양도 기존의 고압수 제염기술에 비해 매우 적다. 펄스의 에너지 변화에 따라 스캐블링 되는 깊이가 조절되며 콘크리트 바닥, 벽면, 천장 등에 깊숙이 침투해 있는 오염물질을 제거하는데 주로 사용된다. 그러나 이 제염 방법은 복잡한 구조 또는 금속, 플라스틱, 나무 등의 물질에는 적용할 수 없다. 미국 Florida International University에서 실시한 전기 유체식 스캐블링 제염시연 결과, 콘크리트 표면의 우라늄에 대해 10이 넘는 제염계수를 도출하였다[6].

2.2.3 EN-VAC 로봇 벽 스캐블러(EN-VAC Robotic Wall Scabblers)

EN-VAC 로봇 벽 스캐블러는 벽면뿐만 아니라 바닥의 제염에도 적용가능 하며 다른 스캐블링 방법에 비해 매우 깊이 오염을 제염할 수 있는 특징이 있다. EN-VAC 로봇은 블라스팅 하우징(Housing), 립실(Lip Seal), 4개의 모터 및 구동 휠 어셈블리, 진동 모터가 달린 블라스트 노즐, 진공조절 장치 등으로 구성되어 있다. 벽 스캐블러는 오염표면을 깎기 위해 마모 금속 그릿(Abrasive Steel Grit) 또는 쇠구슬(Steel shot)을 사용한다.

EN-vac 로봇 벽 스캐블러는 주로 페인트 벽 표면 또는 콘크리트 표면의 오염물질을 제거하며 오염표면을 덩어리체로 제거한다. 이 제염방법은 탄소강 표면에도 적용할 수 있으나 나금속(Bare metal)에는 사용할 수 없다. 또한 복잡한 구조를 가진 오염물질에도 적용이 불가능하며 플라스틱, 나무에도 사용할 수 없다. 2000년 3월 미국 Idaho 국립연구소에서는 EN-VAC 로봇 벽 스캐블러를 이용하여 콘크리트 오염 벽면에 대한 제염시연을 실시하였다. 오염벽면을 약 0.3 cm 두께로 벗겨내며 겹겹이 칠해진 벽면의 페인트를 제거할 수

있다. 또한 배관의 경우 길이방향으로 최대 약 8 inch (20 cm) 까지 제염을 실시할 수 있다[7].

2.2.4 그릿 블라스팅(Grit Blasting)

그릿 블라스팅은 공기압을 이용하여 마모성 입자(Abrasive particle)를 오염표면에 강하게 쏘아주고 이러한 입자들 로 인해 표면에서 오염물질들이 떨어져 나오게 하는 제염방법이다. 그릿 블라스팅은 바닥 및 벽면 제염에 적용할 수 있으며 기계 부속품과 같이 정형화되지 않는 표면의 제염에도 사용할 수 있다. 그릿 블라스팅의 제염효율은 사용되는 마모성 입자의 종류와 가압되는 공기압, 제염 대상 물질의 종류, 오염표면의 특성에 따라 달라진다. 그릿 블라스팅으로 인해 발생하는 폐기물은 일반적으로 부피가 크다. 그릿 블라스팅 장비는 주로 HEPA 필터가 내부에 설치되어 있어 제염과정에서 발생하는 분진이 재 확산되지 않도록 하고 있다.

2.2.5 피스톤 스캐블러(Piston Scabblers)

미국 Pentek 회사에서는 원격으로 조정되는 피스톤 스캐블러를 판매하고 있다. Pentek 스캐블러는 스캐블링 헤드, HEPA 진공장치, 6개의 바퀴로 구성되어 있다. 스캐블러에 설치된 진공장치로 인해 분진으로 인한 오염은 거의 없으며 물을 사용하지 않기 때문에 2차 폐기물도 거의 발생되지 않는다. 기본적인 피스톤 스캐블러와 Pentek의 원격조정 스캐블러를 이용하여 미국 Argonne 국립연구소의 연구용 원자로 시설에 대해 제염을 시연 한 경험이 있다. 그러나 제염 실시 후 장비의 바퀴부분 등에서 오염이 발견되었기 때문에 작업완료 후 장비에 대한 제염도 필요한 것으로 판단되었다[1].

3. 의사결정 기법의 평가 기준 설정

평가결과를 도출하기 위하여 EXPERT-CHOICE기법을 활용하였다. 이는 의사결정 방법론 중의 하나인 계층분석 (Analytic Hierarchy Process)으로 기반되어 있다, 사용자는 목표와 목표 달성에서 고려해야 할 기준, 평가를 위한 일련의 대안을 정의함으로써 의사 결정에서의 계층을 설정한다. 그리고 계층 내에서 다음으로 높은 레벨에 대한 기여도를 기준으로 레벨 내에서 모델 요소에 대한 상대비교를 통해 결정을 내리는 의사결정 방법이다[8].

Table 3. Evaluation criteria and importance

Criteria	Requirement	Index	Importance
Economics (E)	Process Cost	Technologies	High
		Manpower	Medium
		efficiency	Medium
	Process Efficiency	Recycling rate	High
		Waste throughput	Medium
	Process Hour	decontamination	High
Work		Medium	
Technology (T)	Radiation Exposure and Influence	Worker exposure	High
		Resident Influence	-
		Safety	Medium
	Technical availability	DF	High
proficiency		Medium	
Applicability (A)	Contamination type	Component	Medium
		Material form	High
		Distribution	Medium
	Decontamination object	NPP type	Medium
		Materia and Surface	Medium
	Final target	Recycling and Disposal	High

Table 4. Analysis criteria and evaluation grade

Analysis Criteria		
Economics 0.30	Technology 0.40	Applicability 0.30
Evaluation Grade		
High : 0.649 (1.000)	Medium : 0.279 (0.430)	Low : 0.072 (0.111)

본 연구에서는 EPA 보고서에서 제시하는 제염기술에 대한 각 평가기준을 도출하기 위해 OECD/NEA에서 해체 시 주로 고려되는 평가항목을 참조하였으며 Table 3과 같은

Table 5. Evaluation criteria and importance

Technology	(E)	(T)	(A)	Total
Chelation and Organic Acids	M	M	H	0.6010
Strong Mineral Acids and Related Materials	M	M	M	0.2752
Chemical Foams and Gels	L	L	L	0.1110
Oxidizing and Reducing (REDOX) Agents	M	H	M	0.6580
TechXtract	M	L	L	0.2067
Dry Vacuum Cleaning	H	L	M	0.4734
Electro- Hydraulic Scabbling	L	M	L	0.2386
En-vac Robotic Wall Scabbler	M	M	L	0.3343
Grit Blasting	L	H	M	0.5623
Piston Scabbler	M	M	M	0.43

평가지표를 도출하였다. 본 연구에서는 기준을 경제성, 기술성, 적용성으로 구분하였으며 각 기준에 대하여 0.3:0.4:0.3의 가중치를 부여하였는데, 이는 아이다호 국립환경공학 연구소에서 연구를 수행한 유해 유기폐기물 처리를 위한 대체 비연소 기술 선정 논문을 참조하여 가중치 및 평가점수를 도출하였다[9]. 평가를 위해 제염해체 및 방사성폐기물 관련 전문가를 대상으로 조사를 수행하였으며 학계, 연구계, 산업계 13명중에서 실제 응답한 6명의 의견을 중심으로 기술성을 분석하였다.

4. 평가 결과

전문가 조사를 바탕으로 Table 4에서 제시하는 주기준에 대한 가중치에 평가점수를 곱한 합을 도출하였다. 각 기술에 대한 평가 결과를 Table 5에 나타내었다. 위 분석 결과를 보면 화학제염 기술에서는 산화제 및 환원제를 이용한 방법이 기술성과 적용성 측면에서 상대적으로 우수한 방법으로 평가되었다. 특히, 해체 시 원전의 일차계통과 같이 부식산 화막이 형성된 오염표면에서의 적용은 매우 효율적인 것으로 판단된다. 그러나, 경제성 측면에서는 폐액의 대량 발생과 발생폐액 처리를 위한 비용이 추가로 소요된다. 물리제염

기술에서는 그릿 블라스팅을 이용한 방법이 일반적으로 널리 사용되고 있는 대표 연마방식이며 오염도가 높은 곳에는 원격적으로 사용가능하기 때문에 기술성 및 적용성 측면에서 상대적으로 우수한 방법으로 평가되었다. 그러나, 미세 분진 발생으로 인한 작업자 피폭 및 흡입 측면에서는 안전 조치 및 처리장치를 위한 추가 비용이 발생되며 어떤 연마재 및 제염 시스템을 사용하느냐에 따라 적용성이 상당히 차이가 있을것으로 판단 되어진다.

5. 결론

본 논문에서는 원전해체 시 적용 가능한 기술을 선정하기 위하여 의사결정기법(EXPERT-CHOICE)를 활용하였다. 물리적 제염기술과 화학적 제염기술에 대해 전문가 평가를 수행한 후 최적의 기술을 도출하였다. 본 연구에서는 평가기준 및 중요도를 EPA 및 OECD/NEA보고서를 고려하여 결정하였다. 향후 평가기준 및 중요도의 수준을 제고하기 위하여 전문가 자문을 통한 평가기준 및 중요도를 결정하는 방법을 고려할 수 있다.

향후, 본 논문을 기반으로 실제 원전 해체 시 일차계통 및 기기 제염에 적용 가능한 제염방법 도출을 연구해 보고자 한다. 이는 원전 해체 시 해체비용, 폐기물 발생량, 작업자 피폭 관리 및 해체 시 작업 요건 측면에서 큰 의미가 있을 것으로 사료된다. 이를 위해서는 제염대상의 방사선원 인벤토리를 정확히 파악하고, 단일 기술이 아닌 오염특성에 따른 적절한 제염방법 및 기술을 선정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원으로 수행한 연구 과제입니다. (No. 20141510300310)

REFERENCE

[1] U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Technology Reference Guide for Radiologically Contaminated

Surfaces, EPA Report, EPA-402-R-06-003 (2006).

- [2] J.S. Song, M.Y. Jung, and S.H. Lee, "A Study on the Applicability for Primary System Decontamination through Analysis on NPP Decommission Technology and International Experience", JNFCWT, 14(5), 45-55 (2016).
- [3] Hartwig, Ed and Reid, Richard, "Chemical Decontamination at Browns Ferry Unit 1", Nuclear Plant Journal, vol. 21(5), 38-39, ISSN 0892-2055 (2003).
- [4] V. Massaut, M. Klein and A. Lefebvre, "Pilot Dismantling of the BR3 Pressurized Water Reactor", ICONE-3: 3. JSME/ASME Joint International Conference on Nuclear Engineering, 1719-1724, Kyoto (1995).
- [5] European Commission(EC). Nouvelles Techniques de Decontamination: Gels Chimiques, Electrolyse au Tampon et Abrasifs, EC Report, EUR 13497 (1991).
- [6] U.S. Department of Energy(DOE). Concrete Decontamination by Electro-Hydraulic Scabbling, National Energy Technology Laboratory Report, DOE/MC/30164-4000 (1997).
- [7] U.S. Department of Energy(DOE). En-vac Robotic Wall Scabbler, Innovative Technology Summary Report, DOE/EM-0578 (2001).
- [8] S.S. Shin, S.I. Kim, D.M. Kim, and J.S. Song, "An Analysis on Decontamination Technology for Nuclear Power Plant by using EXPERT-CHOICE", JNFCWT, 14(2), 409-410 (2016).
- [9] B.C. Musgrave and R.N. Drake, "Evaluation of Alternative Nonflame Technologies for Destruction of Hazardous Organic Waste", Idaho National Engineering Laboratory, INEL/EXT-97-00123 (1997).