

# 원전 해체기술 획득에서의 지능정보기술의 역할과 연계방안 : 기술수요분석을 중심으로\*

진 상 기\*\* / 방 민 석\*\*\*

본 연구는 문재인 정부에 들어서 활발히 정책이슈로 제기되는 원전해체에 필요한 기술수요를 분석하고 이와 연계할 수 있는 지능정보기술의 역할에 대해 검토하는 데 목적이 있다. 특히 안전한 원전해체를 위해 요구되는 기술 중에 지능정보기술의 요소들이 무엇이 있고, 상호 간의 기술 연계성을 탐색적으로 분석하는데 주안점을 두었다. 본 연구에서는 원자력해체산업 관련 전문가들과 기관을 대상으로 기술수요분석을 하였고, 도출된 기술수요 중 지능정보기술 요소들을 도출해 낼 수 있었다. 이를 통해 지능정보기술은 원전해체의 안전성 확보와 위험성 감소, 대국민 신뢰성 확보, 현존 기술의 고도화 등을 위한 유용한 방안으로 사용될 수 있음을 확인하였다.

또한, 본 연구는 안전한 원전해체가 이루어질 수 있도록 정부의 R&D 정책과 원전 관련 산업육성 전략수립에 있어서 원전해체기술과 지능정보기술의 기술적 융합을 사전에 고려하여 추진하는 정책이 필요하다는 점을 논의하였다. 이와 함께 원전해체과정에 지능정보기술을 적극적으로 활용한다면, 계획수립 단계에서부터 정책과정의 효과적인 관리와 대국민 신뢰형성을 위한 개방성과 투명성을 확보할 수 있으며 원전정책의 사회적 거래비용을 최소화시킬 수 있다는 점도 시사점으로 제안하였다.

**주제어** \_ 원전해체기술, 지능정보기술, 기술수요분석, 사회적 거래비용

\* 본 연구는 2021년 6월 한국행정학회 하계 공동학술대회에서 발표한 자료를 바탕으로 작성한 논문이며, 심사과정에 유익한 조언을 해주신 위원님들께 감사드립니다.

\*\* 대한기계설비산업연구원 산업정책실장(제1저자)

\*\*\* 단국대학교 행정법무대학원 교수(교신저자)

# Acquisition of Nuclear Power Plant Dismantling Technology and the Role of Intelligent Information Technology

Jin, Sangki\* / Bang, Min Seok\*\*

---

The issue of safe dismantling of nuclear power plants, which has played an important role as a major energy source for the Korean economy, has been actively raised as a policy issue since entering the Moon Jae In government. Therefore, the main purpose of this study is to analyze the role of intelligent information technology for the safe dismantling of nuclear power plants. To this end, a technology demand analysis was conducted targeting experts and institutions related to the nuclear dismantling industry, and elements of intelligent information technology could be derived from the derived technology demands. It can be seen that the derived intelligent information technology is being combined with intelligent information technology as a way to secure the safety and reduce risks of nuclear power plant decommissioning, secure public trust, and upgrade existing technologies. As a result of this study, it is suggested that openness and transparency can be secured for effective management of nuclear power plant decommissioning policy using intelligent information technology and building trust with the public.

**Key words** \_ Nuclear decommissioning technology, Intelligent information technology, Technology demand analysis, Social transaction cost

---

\* Principle Researcher, Korea Research Institute of Mechanical Facilities Industry(First Author)

\*\* Professor, Graduate School of Public Administration and Legal Studies, Dankook University(Corresponding Author)

# I. 서론

1978년 4월에 우리나라 최초의 상업용 원자로인 고리1호기가 상업운전을 시작한 이후 원자력발전은 안정적인 전력공급을 통해 우리나라 에너지의 주력 발전원을 담당해 왔다. 하지만 그동안 건설·운영되던 23기의 국내 원자력발전소(이하 ‘원전’으로 지칭) 중에서 가동 연수가 30년 이상 된 원전의 비중이 전체 51%에 육박하면서 본격적인 노후화 단계로 진입했다고 평가받고 있다(관계부처 합동, 2015). 일례로 고리1호기는 2007년에 30년의 설계수명을 다해서 10년간의 계속운전을 허가받았지만, 결국 2015년 6월에 해체가 결정되어 2017년 6월부터 폐로 절차에 들어갔다. 또한, 월성1호기 역시 운영정지 상태에 돌입하여, 현재 해체를 위한 준비단계에 들어간 상태이다(관계부처합동, 2019). 이렇게 원전의 설계수명이 다하여 노후화되는 상황은 우리나라만 해당하는 것은 아니다. 주로 원전을 조기에 적극적으로 도입한 주요 선진국들의 노후화 정도는 더욱 높은 수준이기 때문에 향후 영구정지되는 원전의 수는 더욱 늘어날 것으로 예상된다(진상기 외, 2020).

그렇게 되자 정책담당자나 일반 국민들에게 쉽게 체감되지 못하던 노후화된 원전의 가동 중단, 안전한 해체 그리고 사후관리의 문제는 여러 국가에 중요한 정책문제이면서도 새로운 시장 개척이라는 모습으로 다가왔다. 전 세계적으로도 안전하고 깨끗한 에너지원으로 전환하려는 에너지 정책의 변화가 대세가 되어가면서 한때 과학기술의 총아로 여겨지던 원전의 가동 중단을 둘러싼 다양한 논의가 제기된 것이다. 현재는 에너지 수요증대에 맞는 안정적인 공급, 기후변화 대응과 안전성 확보를 함께 적극적으로 고려해야 한다는 정책적 요구가 점차 늘어나고 있다. 그 내용은 즉각적인 원전 중단과 신재생에너지원으로 전면 대체해야 한다는 시민사회단체의 급진적 주장부터 현실적으로 사회경제적 부담을 감내할 수 있는 수준에서 최대한 점진적으로 에너지 전환이 진행되어야 한다는 경제계의 주장까지 다양하다. 그중 국내 에너지 수급 현황을 고려하고 친환경정책의 지속적 유지를 위해서 2020년 기준 전체 전력생산의 29% 수준으로 원전을 운영하는 것이 필수적인 상황임을 고려한다면, 사용수명이 다된 구형 원전을 안전하게 해체하여 신형 스마트원전을 구형 원전의 해체부지에 재건설하는 방안은 사회경제적 비용부담을 감소시킬 수 있는 또 다른 대안이라고 할 것이다(진상기, 2020)<sup>1)</sup>.

하지만 현 정부의 탈원전 기조 유지나 안전성이 강화된 신형 원자로의 도입 결정 여부와 관계없이 향

1) 우리나라는 남북이 분단된 사실상 에너지 섬 국가이며, 폭이 300km, 길이가 600km의 좁은 영토에서 원전 구축부지의 선정이 쉽지 않은 지리적 한계를 가지고 있다. 신원전정책은 이러한 지리적 한계를 극복하고 국가에너지 정책을 유지하기 위해서 구형 원자로의 안전한 해체를 전제로 해당(해체) 부지에 안전성과 효율성이 강화된 신형 원자로를 재구축한다는 이른바 1대1방식(one out-one in)으로 원전정책을 검토하는 것을 의미한다.

후 대전제로 해결되어야 할 가장 중요한 정책문제는 과거의 기술로 만들어져 설계수명이 종료된 ‘구형 원자로의 안전한 해체’이다. 지난 40여 년 동안 원자력 관련 분야를 보면 많은 기술적 진전이 있었으며, 현재 다양한 지능정보기술의 비약적인 발전에 힘입어 그동안 가능하지 않았던 원자력 공정관리가 가능해졌다. 이를 어떻게 활용할 것인지를 파악하고 실행할지는 정부와 민간부문 모두 상당히 중요하다고 할 것이다. 정부로서는 안전하고 효과적인 원전해체 작업을 진행하여 완료하는 것이 다음 단계의 정책 방향과 내용을 결정하는 중요한 가늠자가 된다. 민간 기업으로서도 원전해체는 전 세계적으로 형성된 원전 시장에서의 경쟁력 확보 차원에서 놓칠 수 없는 생존 문제이다. 따라서 원전을 둘러싼 정치적 입장을 떠나 정책환경과 사회경제 여건에 맞게 원전해체에 새로운 지능정보기술이 어떠한 기여를 할지를 중립적 관점에서 분석하는 것이 복잡한 정책문제 해결의 객관적인 실마리를 제공한다.

원자력 기술기반 측면에서 보더라도 에너지 전환이라는 정책환경의 변화에 대응하고 원자력 정책을 성공적으로 추진하기 위해서는 신형 원자로의 개발과 운영기술 획득이라는 한 축이 필요하고, 다른 한 축으로는 기존 구형 원전의 안전한 해체기술 확보라는 이종의 기술투자가 동시에 필요한 상황이다. 현재 우리의 신형 원자로 기술은 세계적인 수준으로 평가되며, 현재 유럽과 미국의 기술인증을 획득하고 해외 시장에 진출을 가속화 하고 있어 긍정적으로 볼 수 있다. 반면에 원전의 해체기술은 한국이 아직 그 기술축적이 미진하고 상용기술의 획득이 상대적으로 어려운 영역이다(전기신문, 2017). 실제로 우리가 2000년대 초부터 원전해체기술 확보를 위한 다각적인 노력을 기울였던 것은 사실이지만, 원전의 원전해체를 성공적으로 할 수 있는 기술을 가지고 있는 국가는 미국, 독일, 스페인 등 극히 일부 국가<sup>2)</sup>에 한정된다고 할 것이다.

본 연구는 이러한 배경과 문제의식을 바탕으로 과거 기술에 기반한 구형 원자로의 안전한 해체에 필요한 원전해체기술이 최근 주목받고 있는 지능정보기술과 연계·접목되면 얼마나 더 성과를 가져올 수 있을지 살펴보고자 하였다. 이에 본 연구는 기술수요분석에 따른 실태조사와 전문가조사를 시행하였고, 해당 조사를 통해 지능정보기술이 원전해체산업에 기여하는 역할과 안전한 원전해체를 위해 추가로 발굴되어야 하는 기술요소들이 무엇인지를 발굴해 내는데 주안점을 두었다. 마지막으로, 본 연구는 우선순위를 통한 정책지원 필요성을 검토하면서 실질적이고 제도적인 정책제언을 도출하고자 노력하였다.

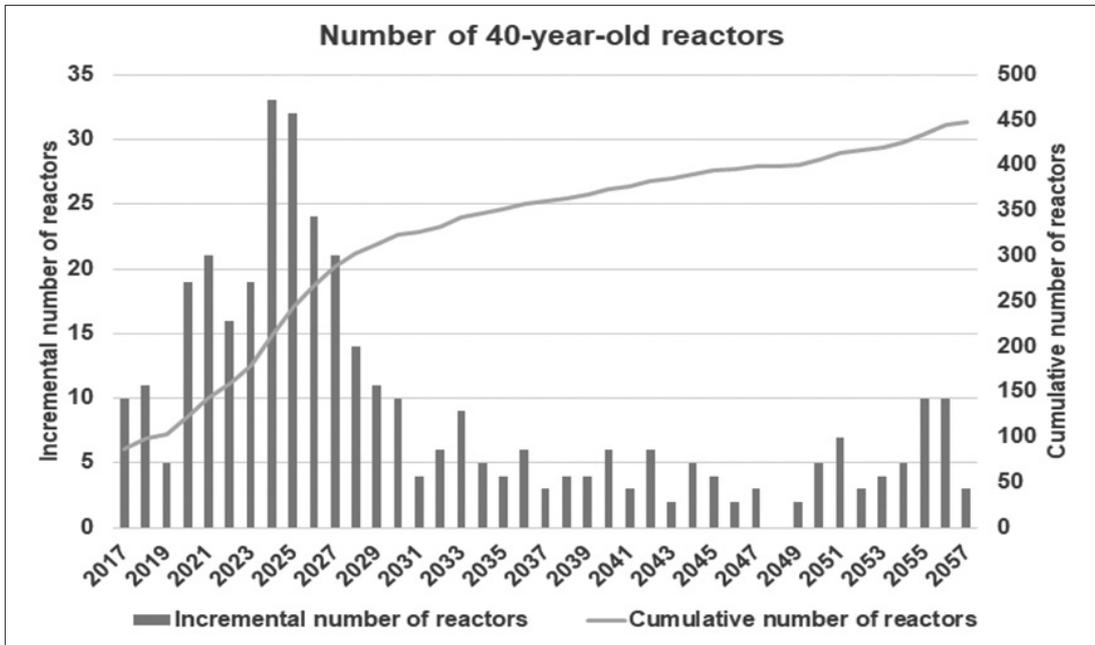
2) 2021.6월 기준으로 원전 해체 경험국가는 미국, 독일, 일본, 스위스, 스페인 5개국이며, 상업용 원전 10기(미국8, 스페인 2), 실증로·원형로 13기(미국8, 독일3, 일본1, 스위스 1) 등이 해체 완료되었다.

## II. 원전해체 관련 산업 및 시장 현황 분석

### 1. 글로벌 원전해체 환경과 국내 현황

전 세계적으로 1960~1980년대에 많이 건설된 1, 2세대 원전들은 2020년을 기점으로 설계수명 기한이 만료되고 있으며(〈그림 1〉 참고), 이에 따라서 영구정지된 원전도 크게 증가하고 있다(변충섭, 2018). 전 세계 가동원전(453기) 중 30년 이상의 원전 비중이 68%에 달하여 우리나라를 포함한 주요국들의 원전해체 수요가 증가될 것으로 예상하고 있으며, 글로벌 원전해체시장 규모도 급격히 증대되고 있다(진상기, 2020)<sup>3)</sup>. 한편 초기 원전도입국을 중심으로 해체시장이 형성되는 추세는 2030년까지 계속 이어져 후발 원전도입국으로 시장 범위가 확대될 것으로 관측된다.

〈그림 〉 40년 이상 가동된 원전의 연도별 및 누적 기수(전세계 기준)



출처 : 산업통상자원부(2017).

3) 전세계 619기 원전 현황을 보면 가동 원전이 453기, 영구정지 원전이 166기(해체완료된 원전 23기 포함)이며, 58기는 현재 건설 중이다(IAEA, 2020)

우리나라의 원전 운영현황을 구체적으로 보면 아래 <표 1>과 같으며, 향후 2030년까지 도래할 해체 대상 원전은 12기로 앞으로도 해체수요는 지속해서 발생하게 된다(산업통상자원부, 2017). 현재 경수로(고리1호기)와 중수로(월성1호기) 각각 1기씩이 영구정지에 들어간 상황이며, 해체를 위한 행정절차를 진행 중이다<sup>4)</sup>. 이때 “해체”의 개념은 “원자력 이용시설의 운전 종료 후 해당 용지를 안전하게 개방하기 위한 모든 활동”을 의미하며(www.kndta.or.kr), 유럽연합과 미국 원자력규제위원회(NRC)는 해체(decommissioning)를 ‘원전 시설의 운영정지 및 시설 철거 후 온전한 상태로의 전환을 통한 완벽한 제거’라고 규정하면서 원전의 물리적 철거에서 더 나아가 부지의 완전한 환경 복원까지 확장하여 사용하고 있다(신정희 외, 2018:4).<sup>5)</sup>

법제 차원에서 보면, 우리나라는 「원자력안전법」 제28조에 발전용 원자로 및 관계시설을 해체할 때 원자로운영자는 발전용 원자로 및 관계시설의 해체계획서를 작성하고 총리령(원자력안전법 시행규칙)으로 정하는 서류를 첨부하여 위원회의 승인을 받도록 규정하고 있다. 또한, 원자력안전법 시행령 제41조의 2항에는 원자로 시설의 해체승인을 받으려는 발전용 원자로 운영자가 먼저 영구정지에 관한 변경허가를 받고 원자로 시설을 영구정지한 날부터 5년 이내에 총리령으로 정하는 바에 따라 해체승인서를 작성하여 위원회에 제출하여야 한다고 규정하고 있다. 이와 관련하여 원자력안전법 시행규칙이 일부 개정되며 ‘원자력 이용시설 해체계획서 등의 작성에 관한 규정’(원자력안전위원회고시 제2015-8호)이 세부규정으로 처음 제정되었다. 해당 규정은 2018년 이후 매년 개정되었으며 2021년 6월에 해체계획서 작성에 관한 기술기준 마련, 예비해체계획서에 관한 예외사항 명확화, 고시의 재검토기한 보완, 별표 수정 등을 사유로 최종 개정된 상태이다.

현재 우리나라의 원자력 관련 법제의 특징을 보면, 운영과 해체 관련 규제가 이중구조를 보인다고 표현할 수 있다. 일례로 원자로 설계, 건설, 운영의 많은 부분이 미국의 법제 및 운영방식을 따르고 있는 반면에, 원자력 안전과 해체 관련 사항들은 국제원자력기구(IAEA)의 안전 요건 및 기준에 상당한 영향을 받고 있음을 알 수 있다(대한기계설비산업연구원, 2018). 총 10조로 구성된 현행 원자력안전위원회고시(제2021-10호)는 해체계획서를 예비해체계획서(건설·운영 단계의 해체계획서)와 최종해체계획서(해체승인 신청을 위한 해체계획서)의 두 단계로 나누어 제출토록 규정하고 있다. 이는 국내의 모든 원자력 시설(발전용 원자로 및 관계시설, 연구용 또는 교육용 원자로 및 관계시설, 핵연료주기시설)에 공통으로 적용되고 있는 규제 기준이다.

4) 고리1호기 해체계획서가 2020년 5월 원자력안전위원회에 접수되어 심사중에 있고, 원자력발전소 해체를 위한 행정절차 완비를 위한 원자력안전법의 일부 개정안이 2021년 9월 현재 국회 심사 중이다.

5) 우리나라는 현행「원자력안전법」에서 “해체”를 “시설의 운영을 영구적으로 정지한 후, 해당 시설과 부지를 철거하거나 방사성 오염을 제거함으로써 이 법의 적용대상에서 배제하기 위한 모든 활동”으로 규정하고 있다(원자력안전법 제2조24항).

〈표 1〉 우리나라 운영원전의 해체 도래 시기

구분	발전소명	운영허가일 (최초입계일)	설계 수명	설계수명 만료일	설비용량 (MW)	노형
1	고리 1호기	'72. 05. 31 ( '77. 06. 19)	30년	'17. 06. 18(10년 계속) (연구정지 '17. 6. 18)	587	경수로
2	월성 1호기	'78. 02. 15 ( '82. 11. 21)	30년	'22. 11. 20(10년 계속) (연구정지 '19. 12. 24)	679	중수로
3	고리 2호기	'83. 08. 10	40년	'23. 08. 09	650	경수로
4	고리 3호기	'84. 09. 29	40년	'24. 09. 28	950	경수로
5	고리 4호기	'85. 08. 07	40년	'25. 08. 06	950	경수로
6	한빛 1호기	'85. 12. 23	40년	'25. 12. 22	950	경수로
7	한빛 2호기	'86. 09. 12	40년	'26. 09. 11	950	경수로
8	월성 2호기	'96. 11. 02	30년	'26. 11. 01	700	중수로
9	한울 1호기	'87. 12. 23	40년	'27. 12. 22	950	경수로
10	월성 3호기	'97. 12. 30	30년	'27. 12. 29	700	중수로
11	한울 2호기	'88. 12. 29	40년	'28. 12. 28	950	경수로
12	월성 4호기	'99. 02. 08	30년	'29. 02. 07	700	중수로
13	한빛 3호기	'94. 09. 09	40년	'34. 09. 08	1,000	경수로
14	한빛 4호기	'95. 06. 02	40년	'35. 06. 01	1,000	경수로
15	한울 3호기	'97. 11. 08	40년	'37. 11. 07	1,000	경수로
16	한울 4호기	'98. 10. 29	40년	'38. 10. 28	1,000	경수로
17	한빛 5호기	'01. 10. 24	40년	'41. 10. 23	1,000	경수로
18	한빛 6호기	'02. 07. 31	40년	'42. 07. 30	1,000	경수로
19	한울 5호기	'03. 10. 20	40년	'43. 10. 19	1,000	경수로
20	한울 6호기	'04. 11. 12	40년	'44. 11. 11	1,000	경수로
21	신고리 1호기	'10. 05. 19	40년	'50. 05. 18	1,000	경수로
22	신고리 2호기	'11. 12. 02	40년	'51. 12. 01	1,000	경수로
23	신월성 1호기	'11. 12. 02	40년	'51. 12. 01	1,000	경수로
24	신월성 2호기	'14. 11. 14	40년	'54. 11. 13	1,000	경수로
25	신고리 3호기	'15. 10. 30	60년	'75. 10. 29	1,400	경수로

출처 : 산업통상자원부(2017. 06)

## 2. 원전해체 비용 및 해체산업 시장 규모

원전해체산업 시장의 규모를 살펴보기 위해서는 일차적으로 개별 원전의 해체비용에 대한 검토가 필요하다. 그리고 원자력발전소 해체비용을 신뢰성 있게 추산하기 위해서는 가능한 많은 관련 데이터가 요구된다(신상화, 2017). 하지만 원자력발전소 해체를 결정한 시점이나 해체 초기 단계에서는 데이터 부족으로 인하여 해체비용의 정확한 산정이 쉽지 않으며(전기신문, 2017), 해체된 원자로 설계특성 및 출력, 운영 기간, 각국의 규제 기준 등이 상이하어 그 비용은 큰 편차를 보이는 것이 사실이다(진상기 외, 2019; 주한영·문주현 외, 2020). 이러한 이유에서 현재까지 실질적으로 진행된 원자력발전소의 해체비용은 아래 <표 2>에서 보는 바와 같이 원전에 따라 상당한 차이가 난다고 할 수 있다.

<표 2> 해체 중 또는 해체 완료된 PWR 및 해체 비용 요약

Country	Name	Operating period [Year]	Thermal capacity [MWT]	Operation factor [%]	Contamination factor	Decommissioning period [Year]	Cost [M US \$]	Present value [M US \$] *Nov, 2019
United State	Haddam Neck* <sup>1)</sup>	28	1825	76.0	159.79	10	819	872.80
	Maine Yankee* <sup>2)</sup>	24	2630	73.0	137.96	8	592	641.57
	Rancho Seco* <sup>2)</sup>	14	2772	46.4	51.05	20	466	504.02
	Three Mile Island 1 <sup>1)</sup>	45	2568	76.7	272.03	62	1228	1255.43
	Trojan* <sup>2)</sup>	16	3411	57.9	75.49	13	429	600.04
	Yankee Rowe* <sup>2)</sup>	30	600	77.4	147.76	15	608	658.91
	Zion 1* <sup>2)</sup>	24	3250	63.9	124.21	10	500	540.80
	Zion 2* <sup>2)</sup>	24	3250	65.9	128.09	10	500	540.80
	San Onofre1* <sup>2)</sup>	24	1347	55.1	95.11	32	622	674.08
	Crystal river 3* <sup>4)</sup>	36	2568	66.9	189.36	56	895.9	945.16
	Fort Calhoun 1* <sup>5)</sup>	43	1500	77.3	242.14	48	1213	1240.30
	Kewaunee* <sup>6)</sup>	39	1772	85.1	247.96	62	919	11084.60
	Indian Point 1* <sup>7)</sup>	12	615	NC*	53.94	10	598	598.0
	Indian Point 2* <sup>7)</sup>	46	3216	77.1	286.41	11	701	701.82
	Indian Point 3* <sup>7)</sup>	45	3216	73.7	267.83	12	1002	1002.38
Spain	Jose Cabrera 1(Zorita)	36	510	78.9	177.30	11	341	358.3
Average		30.4	2190.6	70.08	166.03	24.4	714.7	763.74

\*1) Helena Larsson, Åke Anunti, Mathias Edelfborg, "Decommissioning Study of Oskarshamn NPP", SKB R-13-14, (2013).

\*2) Wuppertal Institut für Klima, Umwelt and Energie GmbH, Comparison among different decommissioning funds methodologies for nuclear installations, Science Centre North Rhine-Westphalia S07.55436, (2007).

\*3) U.S Department of Energy, Decommissioning of the Shippingport Atomic Power Station- Final environmental impact statement, DOE/EIS-0080F (1982).

\*4) Portland Gas and Electric, Trojan Defueled Safety Analysis Report and License Termination Plan (LTP), Rev. 21, (2005).

\*5) Yankee Atomic Electric Company, Yankee Rowe License Termination Plan, Rev. 1, YAEC Submittal, MN-04-026 (2001).

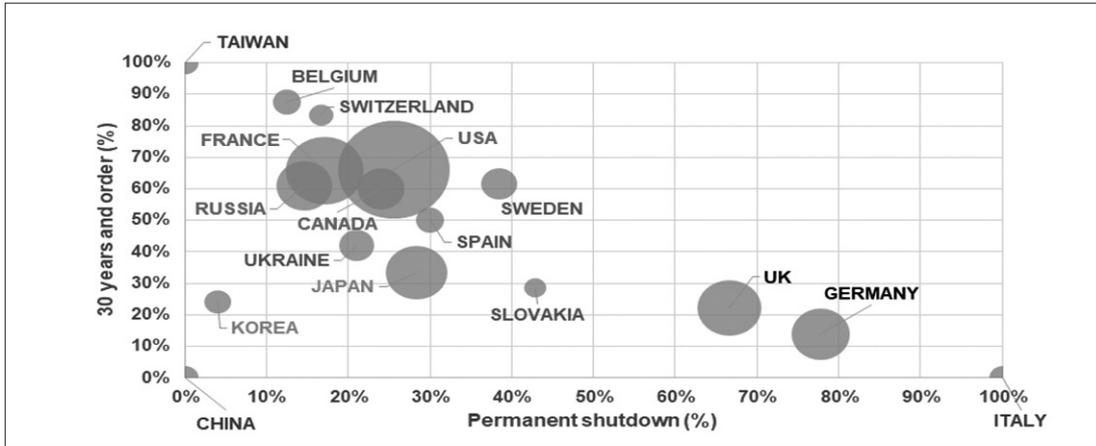
\*6) M. Naughton, San Onofre Nuclear Generating Station – Unit 1 Decommissioning Experience Report, Electric Power Research Institute (EPRI) (2008).

\*7) Holtec Decommissioning International, Indian Point Energy Center Indian Point Units 1,2 and 3 Post-Shutdown Decommissioning Activities Report, Rev. 0, 17-18, (2019).

출처 : 진상기 외(2020, 2021), Portland General Electric Company(2001), US NRC(2019) 재구성

따라서 각국은 원자력발전소 해체비용을 충당하기 위한 근거를 마련하기 위해 해체비용을 비교적 정확하게 추산하기 위한 노력을 다각적으로 기울이고 있으며(주한영·문주현 외, 2020), WBS(Work Breakdown Structure) 및 ISDC 등을 바탕으로 구축한 평가프로그램을 이용해 해체비용을 추산하고 있다(Monteiro, etal, 2019)<sup>6)</sup>. 이러한 프로그램을 활용하여 실제로프랑스는 전 세계 원자력발전소 호기당 평균 해체비용을 6,546억 원으로 추정한 바 있다(Cour des Comptes, 2012). 우리나라의 경우 원전 해체비용 충당금을 2년마다 검토하여 고시하고 있는데, 2019년 고시한 해체비용은 8,129억 원이며, 2017년 고시한 7,500억 원 대비 9.2% 인상된 금액이다(MOTIE, 2019). 각 국가별 원전해체 비용을 기준으로 앞에서 제시된 해체가 필요한 노후 원전 규모를 고려해 전 세계 국가별로 예상되는 원전해체비용, 즉 원전해체산업 시장 규모를 추산할 수 있다. 이를 그림으로 정리하면 아래 <그림 2>와 같이 나타낼 수 있다. 규모별 크기로 볼 경우, 미국, 프랑스, 러시아 캐나다 순으로 그 산업 규모가 크며, 시장 영역으로 보면 미국과 유럽연합 시장이 전체 산업구조의 70%를 차지하고 있음을 알 수 있다.

<그림 2> 국가별 해체시장 규모

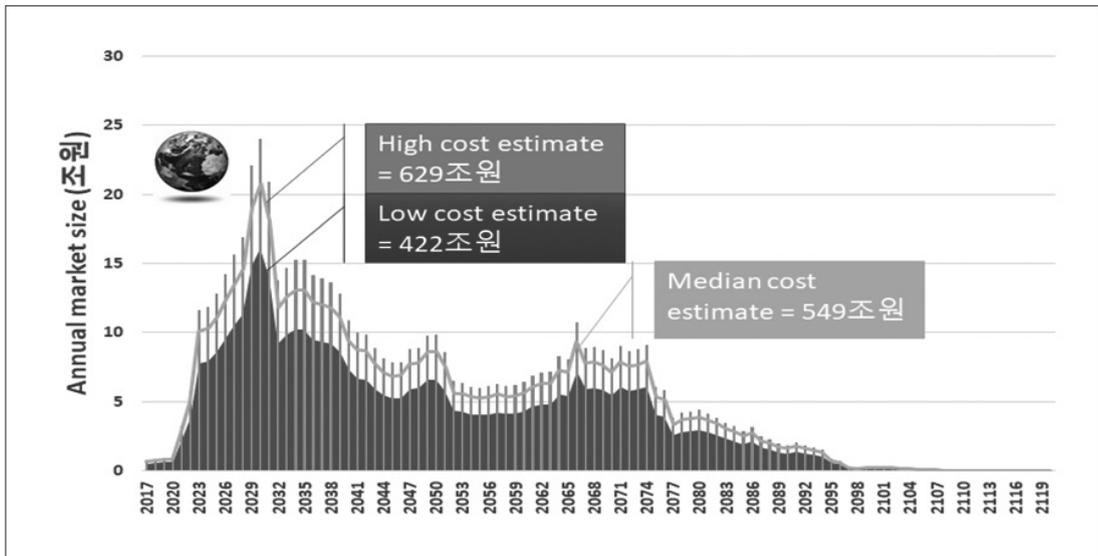


출처 : 산업통상자원부(2017), MOTIE(2019), Mycle Schneider(2019)의 재구성

6) 미국은 CECP(PNL), DECAS(AVZ), DECCER(TRG), CAT(RSCS) 등과 같은 해체비용 평가프로그램을 개발하였으며, 일본 JAERI는 JPDR 해체 경험을 기반으로 COSMARD을 개발하였다. 슬로바키아 SLOVAK ELECTRIC는 OMEGA를, 영국 UKAEA는 PRICE를 개발하였다(Kim, C.R. etal., 2018).

원전해체산업 규모는 연도별 추세를 보더라도 2017년을 기점으로 2030년까지 급속한 증가세를 보이며(이장화·김도겸·권기현, 2017), 이후 점진적으로 안정세를 보일 것으로 추정되고 있다. 이때 글로벌 차원의 전체 규모는 최대 629조 원에서 최소 422조 원의 시장 규모를 보일 것으로 예상된다. 현재 우리 정부는 '20년대 후반부터 본격 확대될 것으로 전망하는 국내 해체시장의 규모를 22.5조 원+α로 보고 있으며, 글로벌 해체시장의 전체 규모는 약 549조 원으로 추산하고 있다(관계부처 합동, 2019:3-4).

〈그림 3〉 연도별 해체시장 규모



출처 : 산업통상자원부(2017)

### Ⅲ. 연구 설계 및 분석 모형

#### 1. 선행연구 검토

기존의 원자력정책과 관련한 연구는 여러 학문분과에서 진행되었으며, 우리나라의 원자력 정책이 진행되어 오면서 관련 주제와 이슈도 다양해졌다고 할 수 있다. 최근 연구를 보더라도 원자력에 관한 법·규제 연구(이진철, 2020; 김영준·이찬구, 2018), 원자력 정책과정의 갈등과 수용성에 관한 연구(김근식, 2019; 한인섭 외, 2017; 목진휴, 2017; 왕재선, 2019; 김주경·임은옥, 2019), 원자력 정책과정의

역사적 전개과정과 정책변화에 관한 연구(김길수, 2016; 이원희, 2018; 유한별·김인수, 2018), 원전이 미치는 편익과 경제적 영향 분석(진상현·타카노 사토시, 2021; 최용석·조창익, 2019; 김서용·김선희, 2017), 원자력 거버넌스 연구(임성진, 2015), 원자력정책 관련 커뮤니케이션 연구(양수임·김태윤, 2019; 이태준, 2017; 정은이·정현주, 2016), 원자력 관련 해외 주요국 비교연구(안선희, 2018; 이준호, 2020; 김중권·김영수, 2020) 등이 분야별로 많이 이루어졌음을 알 수 있다.

하지만 앞서 살펴본 많은 선행연구들은 원자력정책 전반이나 원전운영과정 전체에 대하여 총괄적인 시각에서 특정 이론을 적용하는 경우가 대부분이었으며, 원전해체와 같은 원전운영의 개별 단계에 나타날 수 있는 정책이슈나 현안을 살펴보는 경우는 극히 일부분이었다. 즉 현재 원자력발전설비 해체로 주제를 좁혀 본다면 관련된 이론이나 선행연구는 다양하지 않은 실정이다. 그 이유로는 먼저 국내외적으로도 원전의 해체가 많이 이루어지지 않았기에 연구분석을 위한 사례확보에 제약이 있다는 점이 현실적 한계였다고 할 수 있다.<sup>7)</sup> 글로벌 차원에서 원전 해체시장의 규모가 커지고 있는 점은 사실이지만 개별 국가 차원에서 여러 원전에 대하여 해체가 동시에 진행되는 것이 아니며, 결국 해외 주요국에 관한 비교연구나 탐색적 차원으로 진행될 수밖에 없었다고 본다. 또 하나를 제시한다면 원자력 분야가 가지는 고도의 과학성과 기술적 전문성이 정책연구의 제약으로 작용하였다는 점이다. 각 공정과 기술수요에 대한 명확한 분석과 처리·획득이 이루어져야 하는 원전운영의 경우는 연구자의 개별적인 판단을 적용하거나 사회과학적인 해석이 제한된다고 할 수 있다.

원전해체에 초점을 두고 있는 본 연구는 기존의 선행연구와 기술연구 동향에 대한 문헌검토를 통하여 기존 원전연구와 같은 이분법적인 구분이 아니라 양자를 절충시켜서 접근할 수 있는지를 살펴보았다. 국내외 원전해체와 관련된 이론적 논의의 주요 내용을 ① 원전의 해체 비용 산정, ② 원전해체를 위한 제도 개선 연구 그리고 ③ 원전해체를 위한 기술개발 연구로 구분해 살펴보았으며, 이를 <표 3>과 같다.

이 밖에도 본 연구에서는 정부에서 진행된 공식적인 사업분석이나 정책연구보고서를 함께 검토하였다. 최근 원전해체 관련 정책이슈가 쟁점화(전기신문, 2017)됨에 따라서 정부는 각종 정책연구를 진행하는 중이다. 정부 또는 산하기관을 중심으로 진행된 정책연구로는 『안전하고 경제적인 원전해체와 원전해체산업 육성을 위한 정책방향』(관계부처 합동, 2015), “원전해체 산업 육성전략: 원자력산업의 새로운 미래”(관계부처 합동, 2019), 『글로벌원전 건설시장과 해체시장에 관한 비교연구 최종보고서』(산업통상자원부, 2017) 등이 대표적이며, 해당 정책 보고서에서는 위에서 언급한 선행연구의 3가지 주제에 대해 쟁점별로 모두 다루고 있다. 다만 이러한 선행연구들은 안전한 기술개발을 위한 기술개발과 산

7) 미국, 독일, 일본과 스위스에서 총 21기 원전이 해체 완료되었지만, 실증로나 실험로가 아닌 상업용 원전을 해체한 국가는 미국이 유일하다.

업현장의 수요를 종합적으로 다루고 있지 않고, 최근 강조되고 있는 지능정보기술의 활용에 대한 정책적 기술적 검토가 이루어지지 않은 한계점이 있다. 다시 말해 전통적인 원자력기술을 중심으로 원전해체를 바라보고 있다는 점에서, 지능정보기술의 활용한 안전한 원전해체 방안을 연구한 본 연구와 차이가 있다. 본 연구는 기술환경변화에 따른 지능정보기술의 적극적인 활용과 시장의 수요변화에 따른 기술개발 환경의 변화성을 강조하는 점이 기존 선행연구들과 그 차별성을 가진다고 본다.

〈표 3〉 원전 해체 관련 선행연구 분석

원전의 해체 비용 산정	제도 개선 연구	기술 개발 연구
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신상화(2017)</li> <li>• 주한영·문주현 외(2020)</li> <li>• 진상기 외(2020)</li> <li>• Cour des Comptes(2012)</li> <li>• Electric Power Research Institute(2005)</li> <li>• EPRI(2009)</li> <li>• Helena Larsson, Ake Anunti, Mathias Edelborg(2013)</li> <li>• IAEA(2009)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 문주현 외(2013)</li> <li>• 변충섭(2018)</li> <li>• 조경영·문주현(2011)</li> <li>• 진상기 외 (2019)</li> <li>• 한국원자력산업회의(2020)</li> <li>• IAEA(2013)</li> <li>• US NRC(2019)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 김별·이주성·이상호·안용한(2017)</li> <li>• 신경화·이희선·조공장·김경호·양경·권진경(2018)</li> <li>• 이장화·김도겸·권기현(2017)</li> <li>• 한국원자력연구원(2018)</li> <li>• Kim, C.R. et al(2018)</li> <li>• Monteiro, et al.(2019)</li> </ul>

## 2. 연구 모형 설계

본 연구는 원전해체 기술개발과정과 산업현장의 기술수요 일치를 강조하고, 원전해체사업에서 지능정보기술의 역할과 정책적 활용성을 탐색하는 것이 주목적이며, “기술수요 분석”을 주된 연구방법으로 사용하며 분석을 시행하였다. 기술수요분석은 과학기술 요소들 간의 시간적 또는 구조적 관계를 밝혀 기술개발과 산업현장의 불일치 현상을 최소화하는 방법으로 강조되고 있는 기법이다(Kostaff & Shaller, 2001). 기술수요 분석은 Motorola사에서 최초로 개발되어 주로 기술집약적 대기업에서 기술 예측 및 연구기획을 위해 사용되기 시작되었으며, 현재에는 기업은 물론 정부 부문에서도 주요 연구기획기법 중 하나로 널리 사용되고 있다(Kappel et al, 1997).<sup>8)</sup>

일반적으로 안전한 원전해체를 위해서는 산업현장에서 실제로 요구되고 필요한 기술을 적시에 개발해 낼 수 있는 R&D체계 구축과 이를 원활히 진행해 나갈 수 있는 정부의 정책적 지원이 필요하다고 할

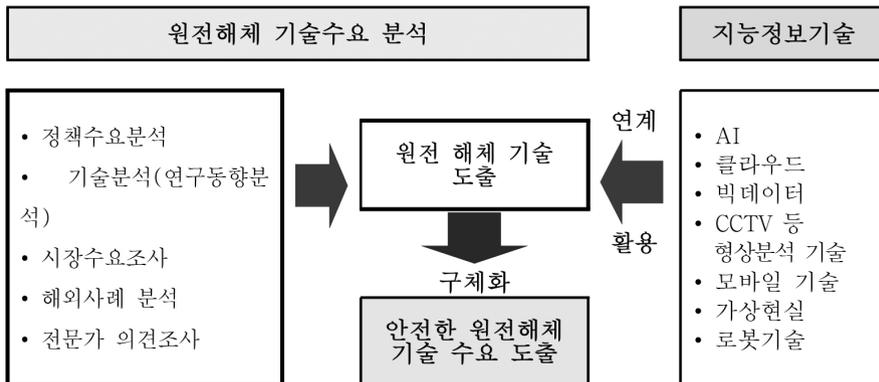
8) 우리나라의 “기술수요 분석”은 삼성종합기술원이 1999년부터 반도체 디스플레이(Display), 광통신 등의 기술기획에 활용하면서 소개되기 시작하였다(문화체육관광부·한국콘텐츠진흥원, 2009:10). 부처 차원에서는 산업차원부가 2000년9월부터 1단계로 디지털가전 광섬유 단백질 무선통신 전자 로봇의 6개분야 산업기술지도를 작성하였고, 국가 전체차원에서는 국가 과학기술위원회가 과학기술부를 통해 2002년 12월 국가기술지도(National Technology Road Map, NTRM)를 작성한 바 있다(문화체육관광부·한국콘텐츠진흥원, 2009:10). 당시 정부는 1단계로 산업분야별로 10년 후의 비전과 전략적으로 개발할 제품, Needs 또는 기능을 선정하고, 이에 필요한 기술을 도출하였고, 그 뒤 기술별 지도를 작성하는 2단계 작업으로 나누어 진행하였다(과학기술부, 2002).

수 있다. 이때 고도의 전문분야인 원전해체 기술의 속성 분석을 위해서는 전문가 자문, 시장 실태조사, 해외사례분석 등을 통해 다양한 기술적 요구사항을 다각도에서 도출해 내는 기술수요 분석방법을 적용하여 연구를 진행하는 것이 바람직하다. 이런 관점에서 본 연구는 원전해체에 있어 지능정보기술의 적용 가능성에 대하여 전문가와 시장 수요 조사를 통해 그 기술수요를 분석해 내고자 하였다.

본 연구에서는 고리1호기와 월성1호기의 해체에 초점을 맞추어 기술수요분석을 진행하였다. 실제 고리1호기의 해체 착수 시점이 임박하였고(22.06 예정), 설계수명이 만료되는 고리1~4호기, 월성1~4호기, 한빛1~2호기, 한울1~2호기 등 지속적인 후속 호기 해체가 2029년까지 도래함에 따라 관련 기술 개발과 정책수립이 시급한 상황이다. 예를 들어 고리1호기(경수로) 해체는 2022년 6월에 착수하여 2032년 12월에 완료 예정이며, 원활한 해체사업 수행을 위해 단기간 대량 발생하는 해체폐기물 핵종분석은 필수적이다. 만일 핵종분석 수요 대응이 지체된다면 전체 해체일정의 지연 초래와 국민의 불안감 조성 등 정책추진 과점상 문제가 될 수 있다(조경영·문주현, 2011). 또한 월성1호기(중수로)도 '19년 12월에 영구정지 후, 본격적인 해체준비 중이다. 전 세계적으로 중수로 해체 경험이 부재하거나 부족한 상황에서 중수로 해체폐기물 핵종분석 장비의 선제적 구축 및 운영으로 중수로 해체의 사전준비가 필요한 상황이다. 이는 안전한 해체를 위한 개발 기술·장비의 현장 적용성 검증·실증이라는 기술수요와 연결되며 해당 사안을 해결하는 것은 또 하나의 과제형태로 주어지게 된다.

이에 본 연구에서는 원전의 안전한 해체를 위한 기술수요 분석과 해당 기술의 효과성과 안전성 제고를 위한 지능정보기술의 접목방안에 관한 연구를 진행하고자 연구모형을 <그림 4>와 같이 설계하였다. 원전해체 기술의 속성 분석을 위해 전문가 자문, 시장 실태조사, 해외사례분석 등을 통해 기술수요를 도출해 내고 이중 지능정보기술의 적용 가능성에 대해 전문가조사를 통해 그 내용을 구체화하였다.

<그림 4> 연구의 분석틀



### 3. 조사 대상 및 방법

본 연구에서는 문헌검토, 전문가조사, 형태소 분석을 중심으로 기술수요분석을 진행하였다. 전체적인 진행 과정을 보면, 우선 원전해체 관련 국내 연구동향 검토를 통한 기술 및 장비 개발 예상 성과물 검토를 시행하였다. ‘원자력시설 해체 핵심 기반기술 개발계획(과기부)’, ‘원전산업 연구개발 미래전략 및 투자방향(산업부)’ 등으로 기술개발 방향을 검토하였고, 해외사례를 기반으로 안전한 원전해체를 위한 기술·장비를 도출하고, 국내 기술·장비의 활용 가능 여부 및 기술수준을 분석하였다. 미국, 영국, 프랑스, 일본 등 원전해체 선진국의 기술개발 동향 및 원전해체 사례분석서(Lessons Learned)에서는 최근 원전해체에 적용되는 고도화된 기술·장비의 개발·실증사례 검토를 하였다. 마지막으로 전문가 자문을 통해 국내 원전해체를 위해 기술개발이 필요한 장비 목록 및 세부 사양을 구체화하였다. 이 과정에서 국내 원전해체에 대비한 다양한 목적의 해체기술 개발 및 전문인력양성에 활용 가능한 지능정보기술들에 대한 조사를 병행하여 진행하였다. 최종적으로 문헌연구와 실태조사를 통해 도출된 자료들을 대상으로 형태소 분석을 시행하여<sup>9)</sup> 지능정보기술을 중심으로 원전해체 기술이 상호 형성하고 있는 관계성을 분석하고, 지능정보기술이 원전해체기술에 미치는 상호영향 관계를 분석해 낼 수 있었다. 또한, 국내 산·학·연을 대상으로 원전해체 기술 및 장비에 대한 실증 및 고도화를 위하여 기본적으로 구축되어야 하는 인프라의 종류와 관련 인프라 활용 여부를 파악하기 위해 전문가조사를 하였다. 조사 대상은 한국수력원자력 등록업체 및 유관기관, 원자력 관련 대학 등 633개였으며, 조사 기간은 2020. 3. 25~4.8까지 15일간이었고, 이를 통해 원전해체를 위해 필요한 기술목록들을 정리하였다.

## Ⅳ. 기술수요분석과 지능정보기술 연계가능성 분석

### 1. 정책 수요분석

안전한 원전해체의 정책추진을 위해 요구되는 정책 수요를 선행연구 및 정부 발간자료 등의 문헌연구 분석을 통해 도출해 낼 수 있었다. 우리나라에서는 본격적인 원전운영 이후 처음으로 논의되는 정책

9) 연구의 정확성을 제고하기 위해 한국원자력산업회의(2019), 한국원자력산업회의(2020), 한국과학기술기획평가원(2020), 한국원자력연구원(2018) 등의 4종의 유사 연구과제에서 제시된 원전해체 관련 기술과 개발필요기술을 추가하여 형태소 연관성 분석을 진행하였고, 이를 통해 지능정보기술의 원전해체 기술과의 연관성을 도출해 낼 수 있었다.

이슈라는 점에서 다양한 측면에서의 정책 수요가 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 그중에서 본 연구에서 분석대상으로 하는 지능정보기술 확보와 관련하여 시사할 수 있는 사항 들을 정리해 보면 다음과 같이 요약정리할 수 있었다.

첫째, 체계적인 기술인프라의 구축이다. 원전해체에 있어서 법제의 정비, 관련 정책을 종합적으로 추진할 수 있는 전략 마련 등이 필요하지만, 현장에서 안전성과 효과성을 확보할 수 있도록 체계적으로 인프라를 구축하는 것도 중요한 과제이다. 특히 고리1호기와 월성1호기의 영구정지와 해당 원전의 해체가 결정된 상황에서 경수로·중수로 해체폐기물(저/극저준위 및 자체처분) 핵종분석을 위한 전용 인프라가 적기에 확보되어야 필요성이 강조되고 있다(한국과학기술기획평가원, 2020). 원자력 전문가들은 원전 해체시 노형별 발생 특성이 다른 방사성물질의 정확한 분석과 그에 부합하는 제염방식을 통한 방사성 해체물질의 관리 기술이 가장 필요한 기술로 꼽고 있다. 이러한 기술인프라는 현재 가동중지가 결정된 2기의 해체작업뿐만 아니라 향후 예상되는 다수호기<sup>10)</sup> 해체를 고려한 더 많은 해체폐기물 핵종 분석 수요 대비에도 활용된다고 하겠다.

둘째, 현장에서 요구되는 것은 해체기술·장비의 현장 적용성 입증을 위한 실증 인프라의 구축이다. 방사성 취급 환경에서의 고방사성물질 재료특성·방사화학분석 장비와 국내 개발 장비(TRL 8~9단계<sup>11)</sup>)의 검증·실증을 통해 해체 현장에 적용 여부를 입증하기 위한 실증 인프라 구축이 필요하다. 방사성폐기물을 활용한 해체공정 최적화 및 작업 안전성 검증을 위한 장비의 구축이나 대형 방사성폐기물을 활용한 제염·절단·폐기물처리 기술·장비의 실증으로 해체 현장 적용 안전성 입증 및 성능 보안을 위한 장비 구축도 요구된다고 할 수 있다(김별 외, 2017).

셋째, 경수로·중수로와 같이 노형별 특화 해체기술·장비 개발 및 전문인력양성 인프라의 필요성도 강조되고 있다. 특히 실험실 규모의 기 개발 기술·장비를 Scale-up하여 구축하고, 글로벌 경쟁력 확보 차원에서 중소·중견기업의 해체기술·장비 개발 지원을 위한 공동활용 장비 관련 인프라가 구축되어야 한다(한국원자력산업회의, 2020). 이와 동시에 국내 원전해체 대비 해체 전문인력양성에 필요한 장비, 원자로 절단 및 방사성폐기물 처리 등과 같은 해체 작업자의 안전성 및 방사선 피폭 등이 우려되는 다양한 해체작업에 대한 관련 사전 교육·훈련을 위한 인프라 구축도 필요하다고 파악되었다. 실제 원전 현장에서는 해체 장비를 활용하여 실습과 연계한 교육·훈련으로 해체인력의 숙련도를 제고하고, 해체 작업 안전성 확보를 위한 장비 구축도 요구되고 있다(한국원자력산업회의, 2020).(<표 4> 참고)

10) 원자력발전단지 내에 원자력발전소가 2호기 이상 건설 운영되는 경우를 다수호기라 한다. 현재 우리나라는 8기가 동시에 운영되는 고리, 신고리, 울진 등이 다수호기에 해당한다.

11) 기술성숙도를 TRL(Technical Readness Level) 용어로 규정하고 있다. 이는 미국 NASA에서 우주산업의 기술투자 위험도 관리의 목적으로 1989년 처음 도입되었으며, 핵심요소기술의 성숙도에 대한 객관적이고 일관성 있는 지표로 널리 활용되고 있다.

〈표 4〉 원전 해체 관련 인프라 구축

기술 인프라	실증 인프라	개발 및 전문인력 양성 인프라
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 노형별 해체폐기물 (저/극저준위 및 자체처분) 핵종분석을 위한 전용 인프라</li> <li>• 노형별 해체폐기물 개발 인프라 구축 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개발기술의 실제 작업 환경 적합도 평가</li> <li>• 장비 및 특수 설비의 실제 작업 환경 적합도 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 작업 투입 전 전문기술 습득 및 피폭예방 안전 교육 등</li> <li>• 실제 해체장비를 활용한 교육훈련 실시</li> </ul>

## 2. 기술분석 및 분야별 전문가 의견조사 분석

한국수력원자력 등록업체 및 유관기관, 원자력 관련 대학 등 633개를 대상으로 조사한 원전해체를 위해 필요 기술목록들을 정리해 보면 다음과 같이 요약할 수 있었다. 조사 대상기간 중에 분석에 유의미한 유용한 기술수요에 관한 의견 접수는 총 179건이 있었다. 이 중 유효 수요는 173건 및 특성평가-폐기물관리-절단 순으로 조사되었다. 그 세부 과정별로 보면 특성평가(48건), 폐기물관리(33건), 절단(22건), 부지복원(19건), 제염(8건) 순으로 기술수요가 집계되었다. 또한, TRL 기준 상용화·현장적용형에 해당하는 기술수요는 117건(67.6%), 원전·고도화에 해당하는 기술수요는 56건(32.4%)로 조사되었다. 노형 별로는 기술수요를 분류한 결과, 공통적용 기술은 상용화 기술 88건, 원천기술 44건으로 나타났다며, 경수로 특화적용기술은 14건으로 주로 상용화 기술에 집중되는 현상으로 나타났다.

이와 함께 동일한 633개 대상으로 진행한 원전해체를 위한 산업의 준비 실태조사에서는 총 166개의 설문문이 회수되었다. 원전해체산업 관련 설문조사 결과 총 166명이 응답하였고 원전해체를 위한 기술 개발 필요성 및 시점, 정부주도의 R&D 추진 등에 대해서 업계 전반적으로 공감대가 형성되어 있으며, 실·검증장비에 대한 수요 역시 매우 높은 것으로 나타났다(〈표 5〉 참고).

〈표 5〉 원전해체산업 관련 전문가 응답 결과 요약

기술개발의 시의 적절성		정부주도의 R&D 추진필요성		R&D 실·검증시설·장비구축 필요성	
매우 그렇다	64.5%	매우필요하다	91.4%	매우필요하다	82.3%
그렇다	24.1%	필요하다	8.6%	필요하다	15.9%
보통이다	4.2%	보통이다	0.0%	보통이다	0.9%
그렇지 못하다	2.4%	필요없다	0.0%	필요없다	0.9%
매우 그렇지 못하다	4.8%	-	-	-	-

이상의 설문조사와 함께 본 연구는 안전한 원전해체를 위한 지능정보기술의 역할과 그 수요를 분야별로 정리 분석하고자 분야별 전문가 의견을 분석하였다. 우선, 사회적 측면(Social)에서는 장기가동 원전의 계속 운전에 대한 안전성 우려 및 해체요구와 미확보·미검증 기술에 따른 원전즉시해체에 대한 사회적 우려, 대량 배출 방사성폐기물의 안전한 처리, 관리 및 처분, 해체폐기물 자체처분(재활용) 및 부지복원·재이용에 대한 우려 등이 조사되었다.

기술적 측면(Technological)에서는 대형 상용원전에 대한 해체 경험 부재 및 기술경쟁력 열위, 글로벌 원전해체 전문기업들의 시장선도 및 기술경쟁력 강화, 해체기술의 실·검증 인프라 부재에 따른 개발 기술의 현장적용 가능성 불확실성 내재, 월성1호기 영구정지에 따른 중수로(PWHR) 해체기술 확보 필요성, 다량의 방사성폐기물 일시발생에 따른 감용 요구(14,500 드럼) 및 핵종분석 설비(연간 수만 건 이상) 필요에 대한 의견이 제기되었다.

경제적 측면(Economical)에서는 국내·외 영구정지 원전의 증가 및 원전해체시장 '30년대 이후 원전해체 시장 본격화, 높은 처분비용 부담(약 1,600만원/드럼) 및 폐기물 감용기술 미확보에 따른 해체비용의 급증 가능성, 원전해체 전문인력 부재에 따른 인력수급 필요 및 既 운영인력의 활용방안 대책 필요, 국내 원전해체 산업생태계 미형성에 따른 인프라, 전문인력, 해체종합·특화기업 부재(공급망 부재), 글로벌 해체기업들(미국·영국·프랑스·독일)의 국내시장 진출에 따른 국내 원전해체시장 잠식 및 국부유출 가능성의 의견이 제시되었다.

환경적 측면(Environmental)에서는 해체부지오염 및 사업추진과정에서 오염물질 유출에 따른 주변지역의 환경영향 우려, 다량의 해체폐기물의 일시발생 및 폐기물처분시설 수용능력(처분장 용량: 80만 드럼) 초과 우려, 삼중수소 방출에 따른 주변지역에 대한 환경영향(지하수 등) 및 해수담수화 설비가동에 따른 수용성 이슈 야기, 다양한 성상의 혼합폐기물 등 난처리성 해체폐기물 처리 우려가 제기되었다.

정책적 측면(Political)에서는 사용후핵연료 반출일정의 변동가능성에 따라 원전해체 본격화 시점의 순연가능성, 「9차 전력수급기본계획」확정 및 '29년까지 12기의 국내 원전영구정지(예정)에 따라 해체시점 도래, 원자력시설 폐쇄 시 지역주민 의견수렴과정의 법제화(「원자력안전법 제103조(주민의 의견수렴)」, 「원전해체 산업육성전략(19.04)」등을 통해 원전해체를 원전산업육성을 위한 신규시장으로 목표화 등이 고려되어야 함을 의견으로 제시하였다.

본 연구에서는 이상의 전문가 의견조사를 토대로 안전한 원전해체를 위한 기반 구축, 현장맞춤형 해체 선도기술 개발, 해체폐기물 관리기술 확보로 이뤄진 전략과제 및 세부과제를 정리해 볼 수 있었다. 실태조사에 대한 분석결과를 종합 요약하여 정리한 내용은 아래 <표 6>과 같다.

〈표 6〉 안전한 원전해체를 위한 획득필요기술과 지능정보기술의 연계성 분석표

구분	원전해체를 위한 기술 개발 요소	관련 지능정보기술요소
원전해체 안전기반 구축	해체 방사선·능 분석시설 구축 및 활용	- 3D, VR을 구현한 구조물 해체 실증 시뮬레이션
	과도기 해체설계 및 평가기술 고도화	- AI 기반 해체데이터 분석 핵심기술 개발
	난분석 핵종 방사화 분석기술 고도화	- 사이버 협업 기반 해체작업을 위한 원격자율형 해체 자동화 기술
	해체 전주기 안전성 평가기술 고도화	- 전주기 핵종분석 시스템 자동화
	융복합 기반 현장연계 해체 혁신기술 개발	- 핵종분석 데이터 크라우드딩 및 플랫폼 구축 - IoT 기반 해체정보 실시간 수집 및 연계 기술
현장맞춤형 해체선도 기술	현장연계 방사능 측정기술 고도화	- 현장정보 연계 지능형 측정기술 개발
	원전해체 극한환경 대응 원격절단 플랫폼 기술	- 혼합현실 기반 해체 현장작업자 지원 기술
	고부가가치 창출을 위한 미래 절단 기술	- 원자로 원격절단, 원격 로봇, 마스터-슬레이브 시스템
	자율사물기반 고위험/고난이도 해체작업 원격 자동화 기술개발	- 원전해체 기록관리(형상관리 포함) 시스템
	안전해체를 위한 계통제엄 기술 고도화	- 해체 사이버물리시스템(CPS) 연계를 위한 해체정보 전달체계 표준화 기술 - 사이버물리시스템(CPS)기반 현장연계형 대규모 해체데이터 통합 운용 기술 - 협업 모듈러 로봇기술을 이용한 난 접근 구역 해체작업 자동화 기술
안전/친환경적 기기/구조물 제염 기술	- 해체공정 복합 시뮬레이션 및 시 기반 최적화 기술 - 3D 스캐닝과 BIM 기반의 해체공정 관리 기술	
해체폐기물 관리기술 확보	원자력시설 해체 대형/대량 고체폐기물 처리 고도화 기술개발	- 원전해체 시 발생하는 폐기물 추적 및 이력관리 시스템 - 해체 폐기물처리 DB 개발 및 최적기술 - CCTV 연계 보안 추적(해체단계별 방사선환경 감시 체계 고도화) - 해체부지 방사성 오염 스마트 감시 시스템 - 오염도 실시간 측정 및 빅데이터 분석 기술
	해체 특수폐기물 고도처리 상용기술 개발	
	방사성 폐기물 핵종 분리 및 자원화 신기술 개발	
	해체폐기물 안정화 처리 및 종합관리 체계 개발	
	해체부지 현장 측정평가 및 오염확산 예측 기반 부지특성평가 기술 개발	
	방사성 오염 토양 고도처리 기술 개발	
해체부지 방사성 오염 지하수 정화기술 개발		
전문인력 양성	전문인력 양성 기반 구축	- 3D, VR 기반의 교육 시스템 구축(해체 교육용 시뮬레이터)
	산업인력 기술 고도화 교육	- 원전해체 경험기술 자산화 시스템 개발 - 가상안전 및 시뮬레이션 기반 원격해체 시스템 상호연동 기술

### 3. 과제별 지능정보 기술수요 및 연계분석

본 연구에서는 전문가 의견조사를 통해 이를 토대로 도출된 안전한 원전해체를 위한 기반 구축, 현장 맞춤형 해체 선도기술 개발, 해체폐기물 관리기술 확보로 이뤄진 18개 중점과제로 나눠 그 세부과제들의 속성을 분석하였고, 각 과제에서 요구되는 지능정보기술의 요소들을 도출해 내었다. 본 연구에서는 전문가들이 안전한 원전해체를 위해 접목이 요구된다고 판단한 지능정보기술 요소들을 전략과제별로 구분하여 분석을 시행하였다.

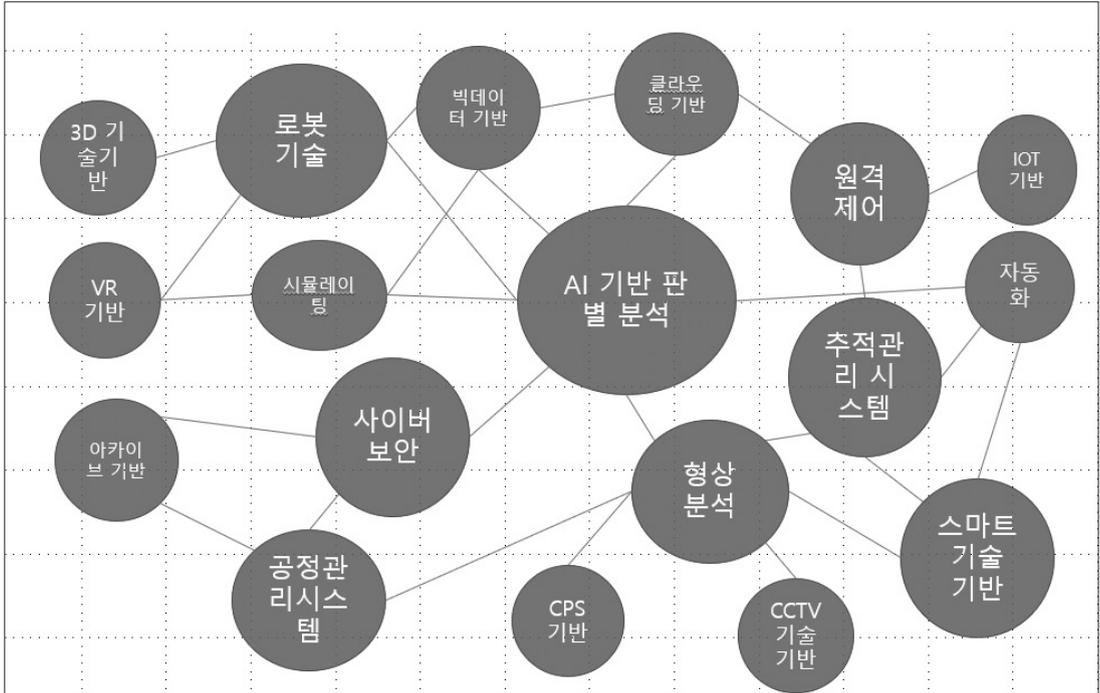
분석 결과를 보면, 과제별 세부과제 중 지능정보기술이 핵심 과제인 경우를 우선 도출해 보았고 전체 수요 중 25%의 비중을 보이는 것으로 나타났다. 원전해체를 위한 기술중 지능정보기술에 해당하는 주요 기술들은 원전해체 안전기반구축의 경우 3D, VR을 구현한 구조물 해체 실증 시뮬레이션, AI 기반 해체데이터 분석 핵심기술, 사이버 협업 기반 해체작업을 위한 원격자율형 해체 자동화 기술, 전주기 핵종분석 시스템 자동화, 핵종분석 데이터 크라우드링 및 플랫폼 구축, IoT 기반 해체정보 실시간 수집 및 연계 기술 등의 기술이 필요한 것으로 도출되었다.

한편 현장 맞춤형 해체선도기술의 구현을 위해 필요한 지능정보기술 수요분석에서 가장 많은 의견이 도출되었다. 주요 내용을 보면 현장정보 연계 지능형 측정기술 개발, 혼합현실 기반 해체 현장작업자 지원 기술, 원자로 원격절단·원격 로봇·마스터-슬레이브 시스템, 원전해체 기록관리(형상관리 포함) 시스템, 해체 사이버물리시스템(CPS) 연계를 위한 해체정보 전달체계 표준화 기술, 사이버물리시스템(CPS)기반 현장연계형 대규모 해체데이터 통합 운용 기술, 협업 모듈러 로봇기술을 이용한 난 접근 구역 해체작업 자동화 기술, 해체공정 복합 시뮬레이션 및 AI 기반 최적화 기술, 3D 스캐닝과 BIM 기반의 해체공정 관리 기술 등이 수요로 조사되었다. 해체폐기물 관리기술확보를 위해서는 원전해체 시 발생하는 폐기물 추적 및 이력관리 시스템, 해체 폐기물처리 DB 개발 및 최적기술, CCTV 연계 보안 추적(해체단계별 방사선환경 감시 체계 고도화), 해체부지 방사성 오염 스마트 감시 시스템, 오염도 실시간 측정 및 빅데이터 분석기술 등의 지능정보 기술이 상호 연계되어야 함을 조사 결과 도출해 낼 수 있었다. 마지막으로 원전해체 전문인력 인력양성을 위해서는 3D, VR 기반의 교육 시스템 구축(해체 교육용 시뮬레이터), 원전해체 경험기술 자산화 시스템 개발, 가상운전 및 시뮬레이션 기반 원격해체 시스템 상호연동 기술 등의 지능정보기술 연계가 필요함을 분석 결과 도출해 낼 수 있었다.

위와 같이 접수된 총 179건의 기술수요서와 전문가의견서를 바탕으로 빅데이터 분석 기법을 활용한 단어 형태소 분석을 시행하여, 지능정보기술에 대한 강도와 빈도 분석을 추가로 시행하였고 그 결과를 정리하면 다음 <그림 5>로 나타낼 수 있었다.

형태소 기반의 빅데이터 분석을 위해 본 연구는 기술수요조사 결과와 분야별 전문가 의견서를 대상으로 크롤링하여 형태소를 추출하는 분석을 시행하였다. 형태소의 기준은 조시시 제공된 ‘기술수요 예시’에서 제공된 예시 기술을 중심으로 명사절 단위로 추출을 하였고, 추출된 기술이 동일 문장에서 연계되어 있는 경우 상호 연관성이 있는 것으로 판단하여 상호 연계성을 도식화할 수 있었다. 그중 본 연구의 주요 대상인 지능정보기술과 관련된 용어들을 중심으로 재정리하였다. 그리고 이들 간의 관계를 빈도는 원의 크기로, 그리고 관계는 실선으로 표시하여 도식화하였다.

〈그림 5〉 원전해체 기술수요 분석을 통한 지능정보기술 요소 도출 및 연계분석 결과



〈표 7〉 기술수요 조사서 및 전문가 의견서 기반의 형태소 분석과 그 빈도\*

추출 형태소	빈도	추출 형태소	빈도
AI 기반 판별분석	215	로봇기술	200
추적관리 시스템	197	스마트기술	196
원격제어	195	형상 분석	195
공정관리 시스템	194	사이버보안	193
클라우드 기반	123	빅데이터 기반	120
시뮬레이팅	120	CCTV 기술기반	100
3D 기술	100	아카이브 개발	97
VR 기반	96	자동화	96
IOT 기반	92	CPS 기반	87

\*참고 : 형태소 빈도 분석 결과 30개 미만 자료는 분석대상에서 제외, 유사 기술은 대표 기술에 포함하여 분석

위에서 제시된 전문가 대상의 ‘안전한 원전해체를 위한 기술수요 분석’ 결과들에 관한 형태소 분석결과로 보면 원전해체를 위한 기술 중 지능정보화 요소가 어떤 구조로 연계되어 있는지를 시각화하여 분석해 낼 수 있었다. 전문가들이 고려하고 있는 원전의 안전한 해체에 필요시 되는 기술, 기술개발을 위한 기술 등에 있어 지능정보 기술이 산발적이고, 산재해서 분포되어 있음을 이번 분석 결과를 통해 알

수 있었다. 그중 핵종분석과 위험성분석 등 고난도의 판단과 결정이 필요하고 반복적인 중요 핵심 결정과 판단을 위한 AI 기술 수요가 가장 큰 것을 알 수 있었다. 이와 관련하여 문주현(2020) 등은 원전해체 또는 원전 사고시 발생하는 핵종에 대한 탐지와 그에 대한 대처방안 수립이 원전 방사능 관리를 위한 중요한 기술임을 강조하고 있다.

다음으로 위험지역에 대한 작업과 사람을 대신한 물리적 작업을 위한 로봇기술의 중요성, 원전해체를 위한 작업의 안전한 원격제어 기술 등에 대한 기술적 수요가 많음을 알 수 있었다. Electric Power Research Institute(2005)에서 보듯이 원전해체 장소의 한정성과 작업환경의 접근 제약성에 따라 위험지역 작업을 대체할 수 있는 기술확보가 점차 증대하고 있음을 알 수 있었고, 이러한 문제 해결의 대안으로 지능정보기술 중 로봇기술에 거는 기대가 점차 커지고 있다(EPRI, 2009).

다음으로 현상 추적 및 관리 기술에 대한 지능정보 기술의 필요성이 강조되고 있다. 방사성 관리의 위험성을 실시간으로 측정 관리 등을 통해 현상을 기록관리 추적할 수 있는 자동적인 기술의 체계적 관리 시스템 개발을 요구하고 있었음을 분석결과를 통해 알 수 있었다.

그리고 작업 전반에 대한 체계적인 업무관리 시스템의 구축 또는 핵종 및 데이터의 체계적 관리를 위한 아카이브 구축 등의 SI(정보화통합관리시스템)구축 수요도 이번 분석결과를 통해 도출해 낼 수 있었다. 이는 ICT가 정보처리 및 관리기술을 넘어 국가의 중요한 발전 프로젝트, 정책을 과학적 기반으로 운영할 수 있는 역량과 기반을 제공해 줄 수 있다는 점에서 맥락을 같이 한다(Jin & Cho, 2015; Jin, 2018). 이러한 관점에서 볼 때 안전한 원전해체를 위한 방대한 정보처리, 적시의 의사결정, 산재하여 있는 자원과 인력과의 연계, 관련 정책과의 연계성 확보 및 성과관리 등의 광범위한 범위에서 지능정보기술이 중요한 역할을 할 수 있다.

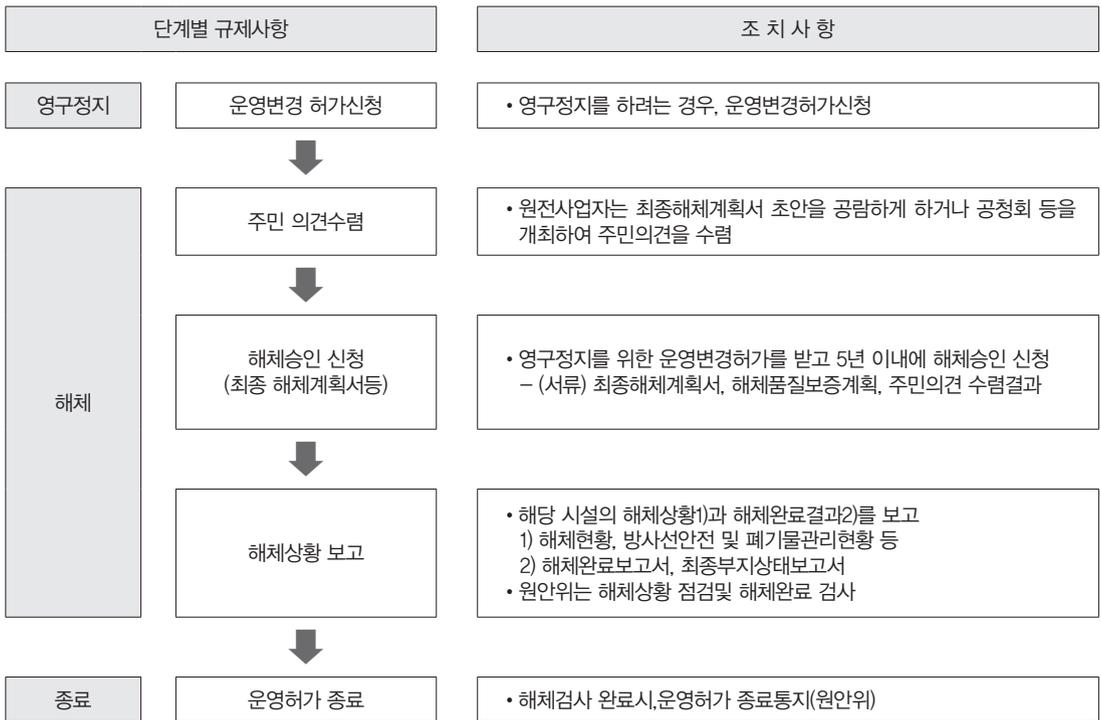
전반적으로 보안 기술과 자동화 데이터 관리, 스마트 기술 등은 각종 기술에 연계하여 개발할 필요성을 보였다. 즉 해당 지능정보기술을 활용하여 기존의 원전해체 기술의 자동화 및 체계화를 통한 고도화를 목적으로 기술융합이 진행되는 현상을 파악할 수 있었다. 교육과 전문인력양성, 작업자의 안전성 확보를 위한 시뮬레이팅 기술과 VR 기술을 활용한 사전 작업 교육 등의 기술 역시 그 수요가 높았다.<sup>12)</sup>

12) 한국원자력연구원(2018), 한국과학기술기획평가원(2020)에서 수행한 전문가 의견조사 역시 원전해체기술의 고도화 및 작업자의 안전관리, 원전해체 관련 정보의 체계적 관리를 위한 정보통신 기술의 필요성에 관해서 본 연구의 분석내용과 상당수 동일하게 포함되는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 해당 조사들은 ICT의 단편적인 수요분석에 한정하고 있었고, 원전해체기술과 지능정보기술의 융합성과 연계성에 관해서는 기술하지 않고 있다는 점에서 본 연구는 차별성이 있다.

#### 4. 원전해체과정의 사회적 거래비용 감축을 위한 지능정보기술의 활용

원전해체에서 국민적 차원의 신뢰성 확보는 그 무엇보다 중요한 성공 요소이다(진상기, 2020). 이런 측면에서 원전해체 과정의 개방성과 정보의 투명성이 매우 중요하다. 이는 공공부문에서의 개방성(openness)이 갖는 중요성(Tapscott, 2013)과 이를 바탕으로 한 개방정부(open government)가 추구하는(Noveck, 2010) 국가 주요 정책을 추진하는 방향성에 부합하는 중요한 요소이다. 안전한 원전해체는 ‘안전한’에 대한 국민의 신뢰를 얻지 못하는 순간 과학적인 안전성과는 별개로 그 ‘안전성’에 대한 불신을 자초할 수 있고, 이는 곧 ‘안전한 원전해체와 신원전정책’의 정책실패로 이어질 수 있다(대한기계설비산업연구원; 2018, 대한기계설비산업연구원; 2019).

〈그림 6〉 원전해체를 위한 행정 조치 단계 요약

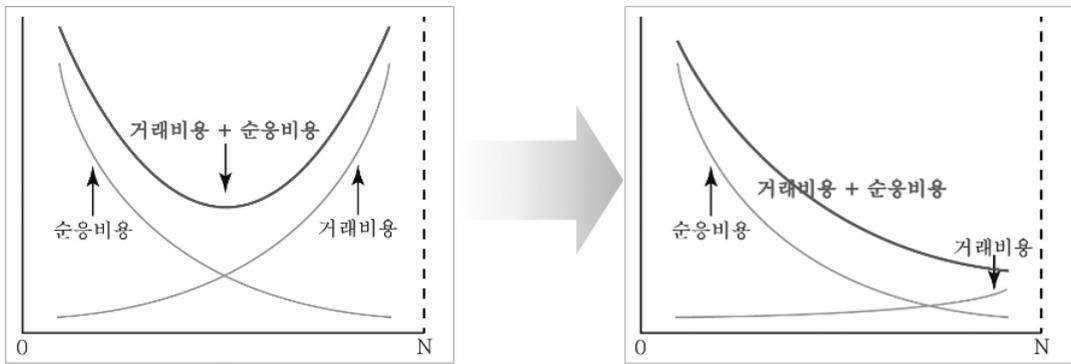


출처 : 진상기(2020), 산업자원부(2017), 문주현 외(2013), 원자력안전법(2021) 등의 재구성

현재 원전해체 과정에서도 국민들과 주민들의 이해를 구하고 서로 정보를 공유하기 위한 제도적 절차를 마련하고 준비하고 있는 것이 사실이다. 정부는 아래 〈그림 6〉에서 볼 수 있듯이 원전해체의 영구정지부터 원전해체 전 과정의 행정절차를 관련법과 고시로 정의하고 이에 대한 각 과정에 정보의 공유

및 신뢰 기반의 공개행정의 원칙을 제시하고 있다. 하지만 해당 내용은 실시간으로 제공되지 않을뿐더러 제시된 내용도 형식적으로 되어있는 경우도 있다. 영국 등 주요국에서는 원전 해체과정에서의 공정별 진척사항이나 폐기물의 반출 및 이송경로, 측정 수치에 대하여 지역주민이나 관련 단체의 요구가 있을 때 즉각적인 확인과 정보공유가 가능하도록 데이터 시스템을 구축하는 작업을 진행 중이다. 이에 비추 본다면 우리나라에서도 원전사업을 바라보는 국민의 눈높이에 부응하기 위해서는 더욱 많은 정보의 공개와 공유가 실시간으로 원활하게 이루어져야 한다. 오늘날의 급격한 사회변화에 대응하는 행정혁신에 부합하고, 가장 효과적으로 정책을 관리할 수 있는 대안으로 지능정보기술이 제시되고 있다(Clay Shirky, 2008). 여기에는 행정 내부적인 차원을 고려하는 것과 함께 변화하는 기술환경에 지능정보기술을 적극 활용하여 일반 국민의 신뢰성을 확보하기 위한 적극적 PR이 포함되며(Jin & Bang, 2019), 사회적 거래비용을 낮출 수 있다.

〈그림 7〉 집합적 의사결정과 순응비용과 거래비용의 변화



출처 : Lee, M. H.(2017), Jin & Bang(2019)를 재구성

지능형 정책관리를 통해 ‘안전한 원전해체 및 신원전정책’의 사회적 신뢰성과 거래비용을 획기적으로 줄일 수 있다. Buchanan & Tullock(1962)은 정치거래이론에 입각하여 이상적인 제도설계의 문제를 순응비용과 거래비용의 이상적인 조합을 통해 이 두 비용의 합을 최소화시키는 문제라 보았다(정책기획위원회, 2018)<sup>13)</sup>. 즉 제도선택 당사자들이 자신의 능력이나 지위에 대해 모르는 상태에 있다면 이

13) 정치거래는 집합적 의사결정이므로 정책의 생산과 소비가 집합적으로 이루어지고 집합적 의사결정과 관련된 비용을 부담해야 한다(문우진, 2007). 집합적 의사결정은 최종적 의사결정을 도출해내는데 필요한 거래비용(transaction cost)과 최종결정이 이상적인 결정이 아님에도 불구하고 준수해야 해서 발생하는 순응비용(conformity cost)을 수반한다. 순응비용과 거래비용은 의사결정 규칙에 따라 영향을 받는다.

들 결정에 영향을 미치는 유일한 변수는 순응비용과 거래비용이다(문우진, 2007). 따라서 최적한 제도 선택 문제는 최적한 결과의 도출문제가 아니라 집합적 의사결정이 수반하는 비용을 최소화하는 문제라는 것이다(문우진, 2007). Buchanan & Tullock에 의하면 순응비용과 거래비용의 관계는 서로 역관계에 있으며 이상적인 제도는 순응비용과 거래비용의 이상적인 조합을 통해 이 두 비용의 총합을 최소화시켜야 한다<sup>14)</sup>(정책기획위원회, 2018).

정책결정과정과 집행의 전 과정에 대한 합리성을 제고하기 위한 방법 중 하나가 ‘참여자의 증대’이다(Hansson & Henrekson, 1994). 이 관점으로 보면 참여 증대에 따라 급증하는 거래비용과 순응비용은 지능정보기술을 활용하여 획기적으로 줄여줄 수 있다고 가정하는 것이 합리적이다. 이때 위의 <그림 7>에서 보듯이 Buchanan(1962)이 제시한 정치거래이론이 변화될 가능성이 있다. 현재 원전해체라는 정책이슈는 정치적 사회적으로 다양한 참여자와 상이한 주장이 혼재하며 충돌하고 있다. 이는 Buchanan(1962)이 언급한 거래비용 증대상황에 부합하고 있는 상황으로, 정책 결정과 집행과정에 많은 거래비용이 소요될 수 있음을 예측할 수 있는 부분이다. 국가 발전과정에서의 전자정부와 민주성과의 관계를 살펴보면 전자정부(지능정보기술)이 정책 참여자 확대를 통한 민주성 제고와 국민들과의 신뢰성 제고로 사회적 거래비용을 줄이는 효과가 나타날 수 있다(Jin, 2018). 안전한 원전해체의 정책과정에서도 정책추진자와 정책참여자, 직간접이해관계자들 간의 참여 활동을 저렴한 비용과 투명한 정보 처리를 통해 수렴한다면 정책과정의 신뢰성을 제고시킬 수 있을 것이다.<sup>15)</sup>

## V. 결론

지난 40여년간 전체 전력 생산량 중 25~29%에 달하는 우리 경제의 주요 에너지원으로 큰 역할을 해 온 원전의 안전한 해체 문제는 현재도 계속 진행 중이다. 이에 본 연구는 새로운 원전정책을 모색하고 안전한 원전해체를 성공적으로 달성하기 위한 지능정보기술의 역할에 대해 분석함이 본 연구의 주요

14) <그림 7>은 Buchanan & Tullock이 제시한 순응비용과 거래비용의 관계를 보여준다. 가로축은 집합적 의사결정을 도출하기 위해 필요한 사람의 수를 나타내며 세로축은 의사결정 비용의 현재가치(present value)를 나타낸다. 세 곡선은 각각 거래비용, 순응비용, 두 비용의 합을 나타낸다(정책기획위원회, 2018).

15) 예를 들어 블록체인 기술의 발전과 정책과정의 접목은 사회적 신뢰성 확보에 크게 기여할 것으로 관측된다. 앞서 언급한 정치거래이론에서 강조하는 비용 발생의 큰 이유의 근본은 바로 신뢰성 확보에 필요한 비용의 증대라고 볼 수 있다. 하지만 블록체인 기술은 이러한 순응비용과 참여 거래비용을 획기적으로 줄이면서도 신뢰성이 가지는 본질에는 훼손 없이 도리어 더욱 강화해 줄 수 있다는 장점이 있다.

목적이었다. 특히 안전한 원전해체를 위해 요구되는 기술들과 이를 위한 기반 기술에 지능정보기술의 요소들이 무엇이 있고, 상호 기술 연계성을 분석해 보았다. 원자력해체산업 관련 전문가들과 기관을 대상으로 기술수요분석을 하였고, 도출된 기술수요 중 지능정보기술의 요소들을 도출해 낼 수 있었다. 도출된 지능정보기술은 원전해체의 안전성 확보와 위험성 감소, 대국민 신뢰성 확보, 현존 기술의 고도화를 위한 방안으로 지능정보기술이 접목되어 나타나고 있음을 알 수 있었다.

안전한 원전해체를 위한 기술확보를 위한 정부의 R&D 정책과 관련 산업이 육성전략에 있어 원전해체기술과 본 연구를 통해 도출된 지능정보기술의 기술적 융합이 이루어질 수 있는 정책과 전략이 필요하다는 것을 본 연구를 통해 확인할 수 있었다. 또한, 지능정보기술을 활용한 원전해체 정책의 효과적인 관리와 대국민 신뢰형성을 지속해나간다면 개방성과 투명성을 확보하여 원전정책의 사회적 거래비용을 최소화시킬 수 있다는 점도 역시 본 연구의 결과로 제시할 수 있다. 특히 정부에서 준비하고 있는 원자력해체계획 수립과정에서 기술적 안전성 외에 해체과정에서 발생 가능한 갈등관리에 대한 고려가 포함되는 것이 바람직할 것이다. 인근 지역주민, 일반 국민들과의 적극적인 소통과 투명한 정보제공을 통해 정책순응을 확보하는 것이 국내 최초로 시도되는 원전해체사업의 성공과 비용의 최소화라는 정책 성과를 만들어 낼 수 있을 것이다.

## ■ 참고문헌 ■

- 과학기술부(2002). 『국가기술지도 작성 추진계획』, 과학기술부.
- 관계부처 합동(2015). 『안전하고 경제적인 원전해체와 원전해체산업 육성을 위한 정책방향』
- 관계부처 합동(2019). “원전해체 산업 육성전략: 원자력산업의 새로운 미래”, 경제활력대책회의 (2019.4.17.)
- 김근식(2019). “객관적 원자력 지식수준이 원자력 수용성에 미치는 영향에 대한 실증분석: 인터넷 사용자 인식을 중심으로”, 『행정논총』, 57(3): 261-295.
- 김길수(2016). “원자력 안전규제정책의 변동에 관한 연구 - 단절적 평형이론의 적용을 중심으로”, 『한국자치행정학보』, 30(2): 57-70.
- 김별·이주성·이상호·안용한(2017). “원전 차폐구조물 제염해체공사 리스크 요인 도출: 구조적/작업 리스크를 중심으로”, 『2017 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집』, 37(1): 825-828.
- 김서용·김선희(2017). “원전지역주민의 원자력 수용성에서 지각된 편익의 조절효과 분석”, 『국가정책연구』, 31(4):215-242.
- 김영준·이찬구(2018). “다중흐름모형을 적용한 원자력 규제정책의 의제설정과정 분석: 2011년 원자력

- 안전법안 형성을 중심으로”, 『한국행정연구』, 27(4) 233-276.
- 김주경·임은옥(2019). “원전지역 주민의 원전 수용성 결정요인 분석: 커뮤니케이션, 투명성, 경제적 편익 인식과 신뢰를 중심으로”, 『한국정책학회보』, 28(3): 221- 247.
- 김중권·김영수(2020). “독일 연방헌법재판소의 원전폐쇄판결에 따른 후속 입법상황에 관한 고찰”, 『환경법연구』, 42(2): 237-266.
- 대한기계설비산업연구원(2018). 『국제원자력안전기구(IAEA) 출장 결과 보고서』.
- 대한기계설비산업연구원(2019). 『독일 연방환경자연보호 원자력 안전부 출장결과보고서』.
- 목진휴(2017). “위험인식과 정책수용: 원자력 지식수준의 조절효과를 중심으로”, 『한국정책학회보』, 26(2): 419-449.
- 문우진(2007). “대의민주주의의 최적화와 헌법설계: 정치거래 이론과 적용”, 『한국정치학회보』, 1(3): 5-31.
- 문주현 외(2013). 『원자로시설 해체계획서 세부 작성지침에 대한 연구』. 원자력안전위원회 연구보고서.
- 문주현(2020). “국내 방사능재난대응체계 실효성 제고를 위한 제언”, 『한국방사성폐기물학회지』, 18(2): 195-206.
- 문화체육관광부·한국콘텐츠진흥원(2009). 『기술수요지도(TDM) 개념과 구축 및 활용방안』. 문화체육관광부 연구보고서.
- 변충섭(2018). “해외 안전기준 현황 및 시사점”. 『2018 원자력안전규제 정보회의』. 원자력안전위원회.
- 산업통상자원부(2017). 『글로벌원전 건설시장과 해체시장에 관한 비교연구 최종보고서』. 산업통상자원부.
- 신경희·이희선·조공장·김경호·양경·권진경(2018). 『원자력시설 해체 부지의 재사용을 위한 환경관리 전략: 토양 및 지하수 분야를 중심으로』. 한국환경정책·평가연구원 연구보고서.
- 신상화(2017). 『사용 후 핵연료 중간저장 비용 및 원전 해체 비용 산정에 관한 연구』, 경희대학교 원자력공학과 박사학위논문
- 안선희(2018). “일본 원자력 규제체계의 재편과정 분석: 합리적 선택 신제도주의에 의한 접근”, 『한국행정학보』, 52(2): 267-300.
- 양수임·김태운(2019). “정부신뢰와 정책 선호 - 원자력발전소 해체관련 주민들의 커뮤니케이션 정책 선호를 중심으로”, 『한국정책학회보』, 28(1): 159-194.
- 왕재선(2019). “정책참여, 정부신뢰 그리고 정책수용: 원자력 정책 사례”, 『한국행정연구』, 28(1): 33-60.
- 유한별·김인수(2018). “원자력 정책 이슈의 생애주기 탐색 연구 : 수명 연장, 입지를 중심으로”, 『한국행정연구』, 27(3): 165-190.
- 이원희(2018). “사용후핵연료 관리 정책의 딜레마와 정책의 표류 - 정책변화와 사용후핵연료 관련 용어 및 개념 변화의 상관관계”, 『법과 정책연구』, 18(2): 403-446.

- 이상화·김도겸·권기현(2017). “원자력발전소 해체기술 및 시장 현황과 전망”. 『대한토목학회지』, 65(11): 20-26.
- 이준호(2020). “프랑스의 지역혁신클러스터 이니셔티브: 원자력 클러스터 사례를 중심으로”, 『지방정부연구』, 24(2): 87-112.
- 이진철(2020). “원자력 발전소 설비 폐쇄의 헌법적 쟁점: 최근 독일 연방헌법재판소 결정을 중심으로”, 『환경법연구』, 42(2): 129-164.
- 이태준(2017). “숙의적 원자력 커뮤니케이션 활동과 정책이해관계자의 심리적 거버넌스 변화에 관한 현장실험연구: 원자력 지식보정(knowledge calibration)을 중심으로”, 『한국행정학보』, 51(1):233-262.
- 임성진(2015). “한국의 방사성폐기물 정책과 거버넌스”, 『한국거버넌스학회보』, 22(3): 167-189.
- 전기신문(2017). “원전해체 소요비용에 대한 논쟁”. 기획기사(2017.9.17.).
- 정은이·정현주(2016). “원자력 안전 규제 홍보실태와 해외사례에 관한 연구: 대국민과 지역주민을 위한 홍보방안을 중심으로”, 『스피치와 커뮤니케이션』, 15(2): 249-280.
- 정책기획위원회(2018). 『국가중장기발전전략 사례분석을 통한 향후 미래비전 수립방향』. 정책기획위원회 연구보고서.
- 조경영·문주현(2011). “원자력 시설 주변 지역주민의 원자력에 대한 인식 조사”, 『한국방사성폐기물학회지』, 9(3): 181-189
- 주한영·김재욱·정소윤·문주현(2020). “회귀 분석 모델을 이용한 고리 1호기 해체 비용 추정”, 『한국방사성폐기물학회지』, 18(2): 247-260.
- 진상기 외 (2019), 『플랜트설비산업의 원자력해체사업 진출 방안 연구』. 대한기계설비산업연구원 연구보고서.
- 진상기 외 (2020), 『플랜트설비산업의 원자력해체사업 진출 방안 연구(II)』. 대한기계설비산업연구원 연구보고서.
- 진상현·타카노 사토시(2021). “원전이 지역에 미치는 경제·사회·환경적 영향 분석”, 『융합사회와 공공정책』, 15(1): 3-32.
- 최용석·조창익(2019). “산업연관관계에 의한 원자력발전의 경제적 효과”, 『사회과학연구』, 45(3): 125-19.
- 한국과학기술기획평가원(2020). 『2020년도 예비타당성조사 보고서: 원전해체핵심 기술개발사업』, 한국과학기술기획평가원 조사보고서.
- 한국원자력산업회의(2019). 『2017년도 원자력산업실태조사』. 과학기술정보통신부.
- 한국원자력산업회의(2020). 『2020년도 원자력산업실태조사: 장비, 기술, 인력 보유 현황 조사』. 과학기술정보통신부.

한국원자력연구원(2018), 『원자력 해체산업 고도화 과제』, 한국원자력연구원.

한인섭·이민창·왕재선(2017). “원자력발전소 주변지역 지원사업의 원자력 신뢰도와 수용성 제고 가능성에 대한 탐색적 연구”, 『한국거버넌스학회보』, 24(3): 231-257.

Buchanan, James M.(1962) *The Calculus of Consent: Logical Foundation of Constitutional Democracy*. The University of Michigan Press

Cour des Comptes(2012), “The costs of the nuclear power sector”, *Cour des Comptes—Thematic public report*, 84-115.

Electric Power Research Institute(2005). *Maine Yankee Decommissioning Experience Report : Detailed Experiences 1997-2004*, New Horizon Scientific, LLC

EPRI(2009). *Cost EstiMATE for an Away-From-Reactor Generic Interim Storage Facility (GISF) for Spent Nuclear Fuel*

Hansson & Henrekson(1994). “A New Framework for Testing the Effect of Government Spending on Growth and Productivity”, *Public Choice*, 81(3-4) : 381-401.

Heady Christopher, Theodore Mitrakos and Panos Tsakoglou(1999). *The Distributional Impact of Social Transfers in the European Union : Evidence from the ECHP*, European Research Institute.

Helena Larsson, AKe Anunti, Mathias Edelborg(2013). *Decommissioning Study of Oskarshamn NPP*. Westinghouse Electric Sweden AB, June 2013

IAEA(2009). *Costing of Spent Nuclear Fuel Storage*, IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-3.5,

IAEA(2013). *Safety Assessment for Decommissioning. Safety Reports Series*, No.77 : 107-110

Jin & Bang(2019). “The Vision and Challenge of Government Toward the Smart Society:Lessons from Korea”, *Journal of Korean Association for Regional Information Society*, 22(4) : 87-110

Jin, Sangki & Cho, Cheongmoon(2015). “Is ICT a new essential for national economic growth in an information society?”. *Government Information Quarterly*, 32(3) : 253-260

Jin, Sangki(2018). “Securing the National Growth Power with the Fourth Industrial Revolution. *Asian Journal of Information and Communications*, 10(2) : 90-103

Kim, C.R. etal(2018) “Development of regulation technology for decommissioning and decontamination of nuclear power plants”, *Nuclear Safety and Security Commission*,

38-41, TRKO201800042525

Lee, M. H.(2017) “The Growth and Industry of Korea in the Fourth Industrial Revolution Period”, preceding of the National Assembly’s Convergence Economic Forum

Manuel Rodríguez Silva(2011). DECOMMISSIONING EXPERIENCE IN SPAIN. *ISPRA*, July 2011

Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE) (2019), Regulation on Estimation of Management Cost of Radioactive Waste and Management Share of Spent Fuel, Notice No. 2019-217

Monteiro, etal.(2019). “A new management tool and mathematical model for decommissioning cost estimation of multiple reactors site”, *Progress in Nuclear Energy.*, 114, 61-83

Mycale Schneider(2019). World Nuclear Industry Status as of 1 January 2019,

Portland General Electric Company(2001). Trojan Nuclear Plant Decommissioning Plan and License Termination Plan (PGE-1078).

US NRC(2019). NRC Regulations : Title 10, Code of Federal Regulations. <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/>

---

원 고 접 수 일 | 2021년 10월 10일

심 사 완 료 일 | 2021년 11월 16일

최종원고채택일 | 2021년 11월 25일

**진상기** wooyul10@gmail.com

성균관대학교 국정관리대학원에서 행정학 학위(2008년)를 받았다. 2003년부터 한국정보화진흥원 책임연구원, 한국장학재단 감사팀장, 한국지역정보개발원 기획예산부장, 대한기계설비산업연구원 산업정책실장을 역임하고 있다. 주요 연구는 “Searching for a New Dimension of ODA(Journal of Korea Trade, 2013)”, “Revisiting Effects and Strategies of Official Development Assistance(International Review of Public Administration, 2012)”, “Is ICT a new essential for national economic growth in an information society?(Government Information Quarterly, 2015)”, “Vision of future e-government via new e-government maturity model(Telecommunications Policy, 2018)”, “Securing the National Growth Power with the Fourth Industrial Revolution(Asian Journal of Information and Communications, 2018) 등이 있으며, 저서는 『지방정부감사론』(공저, 2011, 법문사), 『기계설비법령의이해』(공저, 2020, 한미)가 있다.

**방민석** futurama@dankook.ac.kr

성균관대학교 일반대학원에서 행정학박사를 취득하고, 한국행정연구원 규제연구센터 수석연구원을 거쳐 2004년부터 현재까지 단국대학교 행정법무대학원 행정학과 교수로 재직 중이다. 최근 연구로는 “지방공공기관 경영정보공개시스템의 성과와 향후 발전 방향”(2020), “The Vision and Challenge of Government Toward the Smart Society:Lessons from Korea”(공저, 2019), “제4차산업혁명에 대응하는 공공관리의 변화와 향후 과제: 사회-기술시스템론적 접근을 중심으로(공저, 2018)”, “환경안보 차원에서 보는 월경성 대기오염 문제 해결을 위한 정책 과제: 동북아 환경 거버넌스 구축을 중심으로”(2018) 등이 있다. 주요 관심분야는 전자정부, 과학기술정책, 규제개혁, 정부PR이다.