

원자력발전소 형상관리 적용을 위한 Framework 및 생애주기단계별, 관리기법별 기능리스트 도출

강미연¹ · 정영수*

¹명지대학교 건축학과

Framework & Functions of Configuration Management (CM) in Nuclear Power Plants (NPP)

Kang, Mi-Yeon¹, Jung, Youngsoo*

¹College of Architecture, Myongji University

Abstract : In the 1950s, the concept of configuration management (CM) was started by the US Department of Defense (DOD). Later, it has begun to be applied in aerospace, software, engineering, construction, and nuclear power industry. However, configuration management (CM) in the Korean nuclear industry was firstly utilized in 2006 only for selected parts of facilities, while the US nuclear industry has applied CM for the facilities' entire systems since 1990s. Furthermore, configuration management (CM) is in its conceptual stage in the Korean nuclear industry because of ambiguous CM concepts, lacks of CM professional manpower, non-computerization, and inadequacy of CM procedures and processes. In order to address this issues, seven industries (including defense, aerospace, software, engineering, architecture, civil engineering, nuclear power) that utilize the concept of configuration management (CM) were compared and analyzed based on the CM purpose, technique, and life-cycle perspectives. By an extensive literature review and expert interviews, this paper developed a framework of configuration management (CM) for the nuclear industry. And also, a list of functions based on life-cycle stages and CM techniques are developed for clarifying CM framework in order to promote practical applications.

Keywords : Configuration Management (CM), Change Management, Requirement Management, Information Management, Interface Management, Nuclear Power Plants (NPP)

1. 서론

국제원자력기구 (International Atomic Energy Agency, IAEA)에 따르면 전 세계적인 저탄소사회 실현을 위해 2030년까지 약 400여기의 신규원전 건설을 예상하고 있으며, 세계원자력협회(World Nuclear Association, WNA)는 약 1,200조 원 규모의 원자력발전소 건설시장이 형성될 것으로 전망하고 있다. 이러한 국제적 흐름에 힘입어 국내에서도 2030년까지 석탄 및 석유 비중은 줄이고, 원자력과 신재생에너지의 비중을 늘리기로 결정하였으며, 약 40여기의 원자력발전소 가동을 목표로 하고 있다(Lee 2011).

그러나 2011년 3월에 발생한 일본 후쿠시마 사고가 1986년 체르노빌 원전사고와 동일한 최악의 등급인 7등급을 받으면서 전 세계적으로 원자력발전소의 안전을 우려하는 목소리가 높아졌고, 원전의 안전은 정치적·사회적 이슈가 되었다.

이를 위해 원전 기기·설비 등의 성능 및 기능이 설계된 대로 작동·유지될 수 있도록 안전성 및 신뢰성을 제공하기 위한 활동 중 하나로 형상관리(Configuration Management)의 중요성이 강조되고 있다(KINS 2013).

형상관리란 1950년대 미 국방성에서 시작된 개념으로서, 원전산업에 있어 일반적으로 발전소의 구조물, 계통, 기기 (Structure, System, Component; SSCs)에 대한 3요소(설계요건, 물리적형상, 형상정보)의 특징을 규명하고 일치성을 유지시켜주는 프로세스로 정의하고 있다(IAEA 2003, IAEA 2010, INPO 2005, EPRI 2011).

원전 산업은 다른 산업에 비해 40~60년의 긴 생애주기 및 다양한 참여주체, 대량정보발생(Ryu et al, 2013)으로 인하

* Corresponding author: Youngsoo Jung, College of Architecture, Myongji University, Yongin 449-728, Korea
E-mail: yjung97@mju.ac.kr
Received February 15, 2015; revised March 27, 2015
accepted April 22, 2015

여 원전 생애주기 내 모든 정보의 지식화 및 정보화가 요구되며(Yu 2011), 이러한 관점에서 형상관리의 중요성이 강조되고 있다. 그러나 아직까지 형상관리를 위한 프로세스 및 절차가 미흡하며(IAEA 2003), 형상관리라는 모호한 개념(KINS 2013)으로 실제 사업에 적용하기에는 어려움이 있다.

특히 한국 가동원전에 대한 형상관리 적용에 있어서, 앞서 서술한 문제점을 포함하여 형상관리 인력부족, 운영체계 전산화 부족(KINS 2013) 등으로 형상관리 활용이 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 여러 관련 산업에서 활용하고 있는 형상관리 개념을 비교분석함으로써 원전건설 형상관리 Framework를 도출하고, 이를 실제 원전사업에 적용하기 위한 구체적인 방법을 제시하는데 그 목적이 있다.

연구방법으로는, 형상관리 관련 문헌고찰을 통해 먼저 1) 형상관리를 활용하고 있는 7개 산업에서 형상관리의 활용목적, 관리기법, 생애주기 관점을 비교분석하였다. 다음으로 2) 원전산업에서의 공통적인 형상관리 관리대상 및 관리요소를 정의하여 원전 형상관리 Framework를 도출하였으며, 마지막으로 3) 생애주기단계별 · 관리기법별 형상관리 기능리스트 항목을 세부적으로 정의함으로써 원전 형상관리 Framework 개념을 구체화하였다.

2. 형상관리 문헌고찰

형상관리는 1950년대 미 국방성 (Department of Defense; DoD)에서 시작된 개념으로서, 미 국방산업뿐만 아니라 항공우주산업에서도 설계 및 제품제작단계에서 발생하는 안전관련 이슈를 다루기 위해 형상관리 개념을 도입하였으며, 이를 시작으로 다양한 산업으로 확산되어왔다(DoD 2001, Burgess et al. 2005). 소프트웨어 산업에서는 1980년대에 형상관리 개념을 처음 적용하여(Bersoff 1984) 현재까지 가장 형상관리를 활발하게 활용하고 있는 산업 중 하나로, 이후 1987년에 형상관리 개념정의 표준인 ISO 9000과 1995년에 형상관리 프로세스 표준인 ISO 10007을 통해 모든 산업 전반에 걸친 제품에 적용할 수 있는 형상관리 표준을 개발하였으며(ISO 2003, ISO 2005), 1990년대에는 건설분야까지 폭넓게 활용되기 시작하였다(MBTA 2011). 원전산업에 있어서는 미국의 경우 1990년대에 일찍이 가동원전의 전 계통을 대상으로 형상관리를 적용하기 시작하였으나, 국내에서는 그보다 훨씬 후인 2006년에 처음으로 일부 계통을 대상으로 가동원전에 형상관리를 적용하기 시작하였으며(KINS 2013), 우리나라 원전산업에서는 아직까지 형상관리가 개념적용 단계인 것으로 보인다.

이러한 형상관리의 역사적 배경을 바탕으로 문헌고찰을 통해 형상관리 국제표준인 ISO 9000(2005)과 ISO 10007(2003), 그리고 형상관리를 활용하고 있는 7개 산업(군

수, 항공우주, 소프트웨어, 엔지니어링, 건축, 토목, 원전)에서 형상관리 활용목적, 관리기법, 생애주기 관점으로 비교분석하였으며, 이는 Table 1과 같다.

2.1 형상관리 활용목적

먼저 형상관리 활용목적에 있어, 7개 산업 및 ISO 표준 모두 공통적으로 형상관리를 통한 변경관리의 중요도가 가장 높았으며, 특히 군수 · 항공우주뿐만 아니라 원전산업에서 안전관리를 위한 형상관리의 중요성을 강조하고 있었다.

또한 항공우주 · 건축 · 원전산업의 경우 안전문제와 직결되는 품질보증을 위해 형상관리 활용의 중요성을 인식하고 있었으며, 소프트웨어산업에서는 관점은 다르지만 형상관리에 있어 품질보증에 대해 가장 중요하게 다루고 있는 분야 중 하나였다. 소프트웨어산업에서 의미하는 소프트웨어 품질보증(Software Quality Assurance)이란, 전 생애주기에 걸쳐 소프트웨어제품과 이의 개발 프로세스가 품질요건에 부합하도록 관리하는 것으로 정의하고 있었으며, 이러한 소프트웨어 품질보증의 목표를 실현할 수 있도록 하는 것이 소프트웨어 형상관리(Software Configuration Management, SCM)라고 정의하고 있다(IEEE 1990, Scott and Nisse 2001).

또한 형상관리를 통한 원가 및 공정관리에 있어서는 군수 · 항공우주 · 건축 · 토목산업에서는 중요하게 다루고 있었지만, 아직까지 원전산업에서는 형상관리와 원가 및 공정관리와의 연계성에 대한 인식이 부족한 것으로 나타났다.

2.2 형상관리 기법

형상관리기법에 있어서는, 소프트웨어산업을 제외하고는 모든 산업에서 공통적으로 변경관리, 요건관리, 정보관리, 인터페이스 관리를 주요기법으로 언급하고 있었다.

소프트웨어산업의 경우 형상관리를 통한 변경관리를 중심으로 버전관리, 빌드관리, 릴리즈관리를 주요 기법으로 정의하고 있었으며, 군수 · 원전산업에서는 위에서 언급한 4가지 주요기법 외에 변경사항에 대한 추적관리를 위한 소프트웨어 형상관리까지 고려하고 있었다.

또한 엔지니어링 산업의 경우, Carnduff et al.(2004)에서는 Version Binding을 통해 형상들 사이의 version이 위계구조를 갖도록 조합하는 방법을 제안하였으며, 아직까지 형상관리의 개념이 버전관리, 변경관리로 국한되어 적용되고 있었다.

건축 및 토목 산업에서는 변경, 요건, 정보, 인터페이스관리 외에 기준선 관리(Baseline Management)도 언급하고 있었으며, 기준선(baseline)이란 프로젝트의 milestone 또는 특정 시점에서 형상 항목(Configuration Item, CI)과 관련하여 승인된 문서를 정의하고 변경발생 시 참고기준으로서 활용되는 것으로, 전 생애주기에 걸쳐 해당 형상항목에 대해 기술

Table 1. Literature Review of Configuration Management (CM)

Area	DOD (2001)	Burgess et al. (2005)	Xu et al. (2013)	Bersoff (1984)	IEEE (1990)	ISO 9000 (2005)	ISO 10007 (2003)	Carnduff et al. (2004)	Schenk (1985)	Ko and Park (2009)	Steinberg and Otero (2010)	Admiri and Williams (2010)	MBTA (2011)	IAEA (2003)	INPO (2005)	IAEA (2010)	EPRI (2011)	Kang and Jung (2015)	
	Defense	Aerospace	1950s	1984	1990s	1987	1995	Engineering	Architecture	Civil Engineering	1990s	ONPP ¹	ONPP ¹	ONPP ¹	ONPP ¹	ONPP ¹	ONPP ¹	ONPP ¹	
CM Purpose	Change Mgmt.	●	●	●	●	●	●	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Quality Assurance	-	○	-	●	●	-	-	○	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○
	Safety Mgmt.	○	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	●	●	●	●
	Cost Control	○	-	○	-	-	-	-	●	-	○	○	-	○	-	○	-	-	-
	Schedule Mgmt.	○	-	○	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-
CM Technique	Others	-	-	-	-	-	-	Version Mgmt.	-	Planning Mgmt. / Risk Mgmt. / Deliverable Mgmt.	-	Scope Mgmt.	-	Information Mgmt.	-	-	-	-	Planning Risk Mgmt.
	Change Mgmt.	●	●	●	-	●	●	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Requirement Mgmt.	●	-	●	-	●	●	-	●	●	-	-	-	●	-	●	●	●	●
	Information Mgmt.	●	●	●	-	●	●	-	-	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Interface Mgmt.	●	●	-	-	-	●	-	●	-	-	-	●	●	-	-	●	●	●
Life cycle	Others	Software Configuration Mgmt.	-	-	Version Mgmt. Build Mgmt. Release Mgmt.	-	-	Version Binding	Baseline Mgmt.	-	Baseline Mgmt.	Record Mgmt. Baseline Mgmt.	Baseline Mgmt.	-	-	Work Mgmt. Software Configuration Mgmt.	Software Configuration Mgmt.	Software Configuration Mgmt.	
	Planning	Concept & Technology Development	-	-	Concept exploration & Requirement	throughout the lifecycle of product													
	Engineering	System Development & Demonstration	Design	Design	-	Design & Implementation, Test	-	●	-	●	●	●	●	●	-	-	-	●	●
		Production & Deployment	Manu facture	Manu facture	-	Installation & Checkout	-	-	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Procurement	Support	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Support	Support	Support	Service	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Construction (Commissioning)	Support	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Support	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	O&M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Decommissioning	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1 ONPP (Operating Nuclear Power Plants)
2 NNPP (New Nuclear Power Plants)

적/관리적 방향을 제시할 수 있다(IEEE 1990, DOD 2001). 이렇듯 건축 및 토목 산업에서는 각 생애주기단계별 형상항목에 대한 기준선을 정의 및 문서화하여 이의 변경을 통제하는 기준선 관리를 형상관리의 세부 기법으로서 언급하고 있다.

마지막으로 원전산업에서는 변경, 요건, 정보관리와 더불어 참여자들 사이의 업무 및 문서의 관계를 정의하는 인터페이스관리, 작업관리 또한 중요도가 높은 것으로 나타났다(IAEA 2003, IAEA 2010, EPRI 2011).

2.3 생애주기

형상관리 생애주기에 있어 군수·항공우주·소프트웨어·ISO 표준의 경우 건설분야와는 생애주기가 상이했지만, 각 단계별로 수행하는 업무를 중심으로 건설산업 생애주기와 비교분석하여 매칭한 결과이며, 제품개발(기획)단계부터 엔지니어링, 제작, 운영(서비스) 단계까지 폭넓게 적용하고 있었으나, 대부분 변경관리 중심의 업무구성이었다. 또한 엔지니어링 산업에서는 설계단계를 중심으로 설계변경관리, 버전관리를 위해 형상관리를 활용하고 있었으며, 건축 및 토목 산업에서는 설계, 시공, 운영단계를 중심으로 형상관리를 활용하고 있었으나, 그 범위자체가 역시 단계별로 발생하는 변경사항을 다루기 위한 변경관리 중심의 업무구성이었다.

마지막으로 원전산업의 경우 운영원전 및 신규원전을 대상으로 하는 EPRI(2011)를 제외하고는 대부분 운영원전을 대상으로 시공부터 시운전, 운영단계까지 형상관리를 적용하고 있었으며, 설계 및 시공단계에 집중되어 있는 노력을 전 생애주기로 확대할 필요성을 확인할 수 있었다.

종합하자면 원전산업에서의 형상관리 개념을 도출하기 위해 형상관리를 활용하고 있는 7개 산업에서 형상관리 활용목적, 관리기법, 생애주기관점에서 비교분석을 하였으며, 그 결과 원전산업의 경우 다른 산업에 비해 특히 발전소의 안전, 품질보증을 주요 목적으로 변경, 비용 및 일정관리, 기획관리, 리스크관리까지 고려하고 있었으며, 관리기법에 있어서는 변경, 요건, 정보, 인터페이스관리가 가장 빈도가 높았고, 그 외에 소프트웨어 형상관리를 통해 변경발생 시 추적관리도 적용하고 있었다.

마지막으로 생애주기에 있어서는 원전산업의 경우 주로 설계·시공단계에서의 변경관리에 국한되어 있어 이를 전 생애주기로 확대할 필요가 있었다. 본 장의 이러한 형상관리 관련 문헌고찰 비교분석 결과를 종합하여 다음 장에서는 원전 형상관리 Framework를 제안하였다.

3. 원전 형상관리 Framework

2장에서 형상관리를 활용하고 있는 7개 산업에서의 형상관리 선행연구 비교분석을 바탕으로 기존의 형상관리 개념

을 구체화함과 동시에 원전산업에서의 형상관리를 위한 Framework 및 고려요소를 도출하였으며, 본 연구에서는 원전 형상관리 Framework를 Fig. 1과 같이 정의하였다.

본 논문에서 정의하는 원전 형상관리란, ‘원전 안전 및 품질보증을 목적으로 전 생애주기에 걸쳐 효율적으로 변경, 요건, 정보, 인터페이스 관리를 하는 종합적인 관리체계로서, 변경발생 시 추적관리를 위해 모든 생애주기데이터는 자동연계를 통해 정보시스템으로 관리하는 것’을 의미한다. 여기에서 변경에 따른 안전성 검토뿐만 아니라 비용평가, 일정분석과 같은 엔지니어링 분석도 고려되어야 한다.

본 연구에서 정의한 원전 형상관리 Framework 개념을 바탕으로 원전 형상관리의 관리대상, 관리요소에 대한 개념을 정의하였다.

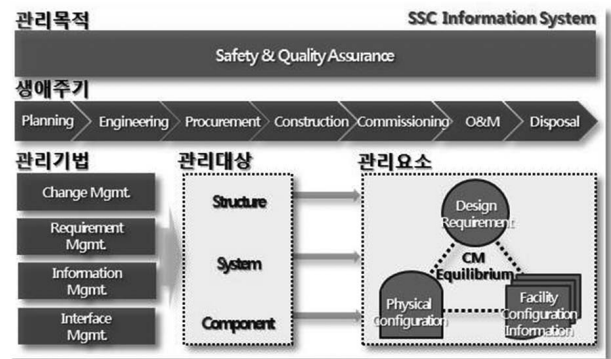


Fig. 1. Framework of Configuration Management (CM) in NPP

3.1 관리대상

원전 형상관리 Framework 요소 중 관리대상은 발전소의 구조물, 계통, 기기(Structures, Systems, Components, SSCs)를 의미한다. 먼저 구조물(Structure)은 지지(support) 또는 인클로저(enclosure)를 제공하는 구성요소(EPRI 2011)로서 주로 발전소 시설물을 의미한다. 계통(System)은 발전소의 특정 기능을 수행하기 위한 기기들의 집합으로(EPRI 2011), Reactor coolant system, I&C System, HVAC system 등이 이에 해당한다. 마지막으로 기기(Component)는 System의 구성요소로서(EPRI 2011), 펌프, 밸브, 파이프 등과 같은 기기들이 이에 포함된다.

3.2 관리요소

원전 형상관리에 있어 설계요건과 물리적형상, 그리고 형상정보 간의 일치성을 관리하는 것은 시설물의 안전 및 효율적 관리에 있어 매우 중요하다(IAEA 2003). 이를 위해 물리적형상은 형상정보, 설계요건과 항상 일치성을 유지해야 하고, 설계요건의 변경발생 시 반드시 물리적형상과 형상정보에 반영이 되어야하며, 형상정보의 변경 또한 설계요건과 일관성을 유지해야 한다(IAEA 2003, INPO 2005, EPRI 2011).

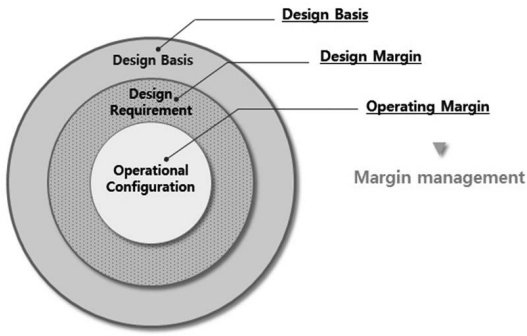


Fig. 2. Relation of Design Basis, Design Margin, and Operating Margin

먼저 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 설계요건에서 설계기반 이 가장 넓은 의미로, 설계요건 및 운영형상을 포함하고 있다. "설계기반(Design Basis)"이란, 규제요건이나 발전소 분석에 근거한 발전소 SSCs에 대한 최상위 기능적 요건을 말하며(INPO 2005), SSCs에 대한 특정기능을 정의하는 정보인 설계기반기능(Design bases functions) 및 설계를 위한 참조한계로서 관리되는 변수로 선정된 특정 값이나 값의 범위를 의미하는 설계기반값(Design bases values)으로 구성된다(10CFR50.2).

"설계요건(Design Requirement)"이란 발전소 SSCs에 대한 기술적 요건으로, 용량, 전압, 압력, 크기 및 치수, 한계치 및 설치치 등을 말하며, "운영형상(Operational Configuration)"이란, 발전소 SSCs의 현재 상태(on/off, open/closed, operating/non operating)를 의미한다(IAEA 2003, IAEA 2010, INPO 2005).

형상관리란 설계기반 및 인허가요건에서 도출된 발전소

SSCs의 성능과 운전조건을 유지하기 위해서 설정된 값이나 값의 범위 내에서 설계여유도(Design Margin) 및 운전여유도(Operating Margin)를 유지하기 위함이며, 이를 "여유도 관리(Margin Management)"라고도 정의한다(KINS 2013). 이를 통해 설계기반(Design Bases)과 인허가기반(Licensing Bases)내에서 발전소가 운전되고 있음을 의미함과 동시에 원전 형상관리의 본질적인 목적인 발전소의 안전 운전에 대한 신뢰성을 제공할 수 있다.

다음으로 "물리적형상(Physical Configuration)"이란 발전소 그 자체를 의미하는 것으로 발전소 SSCs의 실제 물리적 위치 및 배열, 재질의 상태를 의미하며(INPO 2005), 발전소의 모든 하드웨어 장비 및 기능 소프트웨어도 포함한다(IAEA 2003).

마지막으로 "형상정보(Facility Configuration Information, FCI)"란, 발전소 SSCs와 관련된 모든 기록문서를 의미하며, 설계요건 및 설계기반과 관련된 데이터 또는 결과, 그리고 SSCs와 관련된 모든 속성을 정의하고, 현재의 상태를 보고하기 위함이다(IAEA 2003). 형상정보는 설계요건 및 설계기반과 관련된 설계정보(Design Information)와 발전소 SSCs의 특정상태 또는 운영절차 상의 특정단계를 기록하는 운전형상정보(Operational Configuration Information), 그리고 구매, 운전, 정비 및 직원교육에 필요한 기타 형상정보로 구성된다(IAEA 2003).

종합하자면 본 장에서는 문헌고찰을 통해 원전 형상관리에서 의미하는 공통적인 관리대상 및 관리요소를 도출하였으며, 관리대상으로서 구조물, 계통, 기기(SSCs)와 관리요소로서 설계요건, 물리적형상, 형상정보의 개념을 정의하였다. 특

Table 2. Configuration Management (CM) Functions by Project Life Cycle

Planning	Engineering	Procurement	Construction	Commissioning	O&M
PRE.A1 Definition of technical bases about Reactor Design	ENG.A1 Definition of licensing and design bases	PRO.A1 Manufacture of equipment	CON.A1 Work Breakdown Structure (WBS)	CMS.A1 Establish procedures for commissioning and O&M	OPR.A1 Training
PRE.A2 Definition of technical bases about facility layout	ENG.A2 Building layout and drawings	PRO.A2 QA for procurement	CON.A2 Installation	CMS.A2 Turnover Process	OPR.A2 Maintenance, Periodic Testing, and Inspection
PRE.A3 Composition of project team	ENG.A3 Design change process and Verification & Validation (V&V)	PRO.A3 Documentation of related data about manufacture	CON.A3 QA for construction	CMS.A3 Pre-Operational Test	OPR.A3 Ageing Management
	ENG.A4 Definition and Documentation of design margins & operating margins		CON.A4 Construction Inspection	CMS.A4 Startup Test	
	ENG.A5 Detailed drawings for manufacturing equipment				
PRE.A1~PRE.A3	ENG.A1~ENG.A5	PRO.A1~PRO.A3	CON.A1~CON.A4	CMS.A1~CMS.A4	OPR.A1~OPR.A3

* This table is overall results by literature review (EPRI 2011; IAEA 1996; IAEA 2006; EPRI 2008; IAEA 2008; IAEA 2012a; IAEA 2012b; IAEA 2014)

히 원전 형상관리에 있어 설계요건과 물리적형상, 그리고 형상정보와의 일치성을 관리하는 것은 시설물의 안전 및 효율적 관리에 있어 매우 중요하며, 이를 실현하기 위한 구체적인 방법을 제시하기 위해 다음 장에서는 생애주기단계별·형상관리기법별 기능리스트를 도출하여 형상관리 개념을 구체화하였다.

4. 생애주기단계별 형상관리 기능리스트

인허가서류는 각각의 단계별로 반드시 제출해야하는 문서로 이는 발전소의 안전에 근거한 것이며, 원전 형상관리에 있어 각 생애주기단계별로 항상 인허가절차와 함께 고려할 필요가 있다. 최종적으로 운영 전 시운전단계에서 EPC가 Owner/Operator에게 SSCs를 인수하게 되면, 설계요건과 각종 형상정보, 인허가 서류가 실제 발전소 형상과 일치하는지 부합성을 검증하는 ITAAC(Inspection Testing and Acceptance Criteria)를 수행하게 되며, 이는 형상통제(configuration control)에 있어 매우 중요한 의미를 갖는다.

Table 2는 생애주기단계별 형상관리 기능리스트를 정리한 표로, 이는 원자력발전소 생애주기단계별 수행업무와 관련된 문헌을 종합하여 도출한 것이다.

각각을 살펴보면 먼저 초기 기획단계에서는 법규 및 인허가 요건과 열 출력량 등과 같은 기술적 요건과 함께 산업표준, 코드를 반영하여 발전소에 대한 전반적인 기술적 기반을 정의하여야 하며(PRE.A1, PRE.A2), 프로젝트 팀을 구성할 시 팀별 요구되는 기능에 따라 분류하여 이를 업무프로세스와 연계하여 정의해야한다(PRE.A3), (EPRI 2008, EPRI 2011, IAEA 2012a). 이는 참여자들 사이의 인터페이스를 정의하는 것이며(IAEA 2012b), 변경발생 시 변경사항과 관련되어 있는 모든 참여자와 이들이 수행하여야 하는 역할을 분배하여 변경사항을 처리하고, 효율적인 정보관리 및 커뮤니케이션 관리를 하기 위함이다. 또한 기획단계에서는 Reactor vendor와 contractor가 선정되며, Reactor vendor는 인허가 기관으로부터 승인받은 발전소와 관련된 설계요건을 정의해야한다(EPRI 2011).

다음으로 설계단계에서는 초기기획단계에서 Reactor vendor가 정의한 승인된 설계요건을 바탕으로 계통 레벨에서 설계요건을 구체화하고(ENG.A1), 발전소 building layout 및 각종 계통에 대한 drawings을 작성해야한다(ENG.A2), (EPRI 2008, EPRI 2011). 이때 발전소의 안전성 및 신뢰성을 제공하기 위해 효율적인 설계변경 프로세스를 수립하여 변경사항에 대한 검토, 확인, 문서화를 통한 승인이 이루어져야하며, 설계변경검토 및 Verification & Validation(V&V) 결과는 반드시 문서화되어야한다(ENG.A3), (IAEA 2012a). 또한 설계도면 작성 시 법규요건, 안전요건, 국가코드 및 국제코드, 표준

을 모두 고려하여 설계요건을 설정해야하며, 발전소 기기들이 신뢰도를 유지하며 안전기능을 수행하기 위해 설계단계에서 설정된 설계요건값 내에서 운영 및 폐로까지 충분한 운전여유도를 유지할 수 있어야한다(ENG.A3), (IAEA 2012a). 마지막으로 사고발생위험을 최소화하기 위해 Probabilistic Safety Assessment(PSA)와 같은 엔지니어링 분석도 수행되어야 하며, 이의 결과를 충분히 고려하여 최종적으로 설계문서가 승인되면, 기기제작 및 시공을 위한 상세설계가 진행된다(ENG.A4), (EPRI 2008, EPRI 2011, IAEA 2012a).

기기제작단계에서는 설계단계에서 설정된 법규 및 인허가 요건을 기반으로 제작된 아이템이 설계요건과 부합하는지 확인하기 위해 품질보증계획을 수립해야하며, 기기제작 중에도 품질이 유지되고 있는지 확실히 하기 위해 periodic audits, quality check가 이루어져야한다(PRO.A1, PRO.A2), (IAEA 2012a). 또한 기기 불일치(non-conformance) 내역 및 기기, 자재에 대한 모든 요건을 문서화하고, 최종 품질감사 결과와 실제 제작된 형상이 일치한다는 것을 증명할 수 있는 정보 및 문서도 함께 보존되어야한다(PRO.A3), (IAEA 1996, IAEA 2012a).

시공단계에서는 Work Breakdown Structure(WBS) 상의 work item과 참여자 사이의 관계를 정의하기 위해 Responsibility Assignment Matrix(RAM)를 작성해야 한다(CON.A1), (IAEA 2012a). 또한 발전소 구조물, 계통, 기기(SSCs)가 승인된 시공계획 및 품질보증 절차에 따라 제작, 수정, 수리되었는지 확인해야 하며(CON.A2, CON.A3), 이 단계에서는 pressure test, loading and leak tightness test, functional test와 같은 construction inspection이 수행된다(CON.A4), (EPRI 2008, EPRI 2011, IAEA 2012a).

시운전 단계에서는 시운전 및 운영을 위한 절차를 수립해야하며 관련 인력을 배치한다(CMS.A1), (IAEA 2012a, IAEA 2014). 또한 이 단계에서는 Pre-operational test가 수행되는데, construction test라고도 불리며, 발전소의 구조물, 계통, 기기(SSCs)가 설계문서에 기재된 대로 발전소가 관련기능을 수행하는지 시험하는 것이다(CMS.A3), (IAEA 2014). 시험이 완료된 후에는 owner/operator에게 최종적으로 발전소 관련 모든 history를 담고 있는 정보를 인수(turnover) 하게 되며(CMS.A2), 연료 장전 후 발전소 운영조직은 출력상승테스트 및 상업운전을 위한 performance test를 수행하게 된다(CMS.A4) (IAEA 2012a, IAEA 2014).

마지막으로 운영단계에서는 안전과 관련된 요건을 발전소가 충족하고 있는지, 발전소에 요구되는 안전기능을 유지하기 위해 효율적으로 운영되고 있는지 확인하기 위해 정비(Maintenance), 정기시험(Periodic Testing) 및 정기검사(Inspection)를 수행하며, 이와 관련된 모든 기록은 문서화되고, 시스템을 통해 통제되어야 한다(OPR.A2, OPR.A3). 또한

운영조직은 모든 정비, 발전소 운영관련 직원을 대상으로 형상관리 vision, 안전 문화, 발전소의 계통 및 기기에 대한 전문지식, 발전소의 설계기준·운전제한치, 정비·정기시험·정기검사 절차, 위험상황 대처 방법 등과 관련된 교육을 수행하여 사고발생위험을 미연에 방지해야한다(OPR,A1), (EPRI 2011, IAEA 2006, IAEA 2008, IAEA 2014).

종합하자면, 본 연구에서는 원전건설 Framework 개념을 구체화하기 위해 관련 문헌고찰을 통해 생애주기단계별 기능리스트를 작성하였으며, 기획단계 3개 항목, 설계단계 5개 항목, 구매조달단계 3개 항목, 시공단계 4개 항목, 시운전 단계 4개 항목, 운영단계 3개 항목을 도출하였다.

5. 형상관리기법별 기능리스트

제 3장에서 도출한 원전 형상관리 Framework 요소 중 관리기법별 문헌고찰을 통해 기법별 기능리스트를 Table 3과 같이 도출하였으며, 본 연구에서는 변경관리, 요건관리, 정보관리의 경우 각각 6개 항목씩, 인터페이스관리의 경우 3개 항목을 선정하였다.

Table 3. Function Lists of Four Techniques for Configuration Management (CM) in NPP

MC.	Change Management	MC1.	Maintain the conformance of 3 elements (Design requirement, Physical configuration, Facility configuration Information)
		MC2.	Analysis and documentation of planned change
		MC3.	Change process based on safety, regulations, economics
		MC4.	Engineering analysis such as Probabilistic Safety Assessment (PSA) and Probabilistic Risk Assessment (PRA)
		MC5.	Linkage and Control with cost and schedule
		MC6.	Traceability
MR.	Requirement Management	MR1.	Documentation of design bases, licensing bases
		MR2.	Industry codes and standards requirements
		MR3.	Economic impact and PRA, PSA results
		MR4.	Owner's requirements
		MR5.	Definition and documentation of design requirements
		MR6.	Margin management
MD.	Information Management	MD1.	Documentation of facility data throughout the entire lifecycle
		MD2.	Linkage with SSCs by numbering
		MD3.	Document management system
		MD4.	Traceability
		MD5.	version and revision management
		MD6.	Reconstitution of design documentation
MI.	Interface Management	MI1.	Organization management
		MI2.	Process control
		MI3.	Program interface

* This table's contents is overall results by literature review (IAEA 2003; INPO 2005; EPRI 2011; KINS 2013)

5.1 변경관리 (Change Management)

원전 형상관리에 있어 변경관리 기능리스트를 도출하기 위해 엔지니어링, 토목, 건축, 원전을 대상으로 한 변경관리관련 문헌을 비교분석하였으며, 이는 Table 4와 같다.

먼저 엔지니어링 산업의 경우, Carnduff et al.(2004)에서는 위계구조를 가진 객체 및 버전들의 조합을 형상(configuration)이라 정의하였으며, 이러한 형상의 진화를 통제하는 것을 변경 또는 버전관리라 정의하였다. 이러한 개념을 바탕으로 설계단계를 중심으로 버전관리 관점에서 설계 최종성과품에 대한 품질을 중요하게 다루고 있었다.

건설산업에서의 변경관리 문헌을 살펴보면, 변경관리를 통한 비용 및 일정관리의 중요성을 강조하고 있었으며, 일부 문헌에서는 품질관리 관점에서의 변경관리도 중요하게 다루고 있다. 그러나 변경관리를 적용하는 생애주기에 있어서는 설계 및 시공단계에 국한되어 있었으며, 전 생애주기에 걸쳐 폭넓게 변경관리를 적용하고 있지 않는 것으로 나타났다.

원전산업에서는 시간, 비용, 품질 관점뿐만 아니라 특히 안전관점에서 설계요건, 물리적형상, 형상정보와의 일치성을 유지하기 위해 변경관리를 강조하고 있었으며, 생애주기에 있어서는 설계단계부터 구매조달, 시공, 시운전, 운영단계까지 폭넓게 적용하고 있었고, 특히 운영단계에서의 변경관리 중요성을 강조하고 있었다.

따라서 본 연구에서는 원전 형상관리기법 중 변경관리에 있어 시간, 비용, 품질뿐만 아니라 특히 원전 안전운동을 위해 기획단계에서 폐로까지 전 생애주기를 고려해야한다고 보았다. 또한 원전 변경관리의 가장 본질적인 목적인 설계요건, 물리적형상, 형상정보의 3요소에 대한 일치성 보장(IAEA 2003, INPO 2005, EPRI 2011, KINS 2013)을 통한 전 생애주기에 걸친 변경관리는 특히 운영단계에서 정확한 발전소 정보 및 데이터를 활용함에 그 목적이 있다고 보았다. 이를 위해 발전소 item에 대한 numbering을 통해 추적성(Traceability)을 제공하여 변경발생 시 형상 또는 문서의 status를 실시간으로 추적하는 것이 중요하다(IAEA 2003).

또한 원전 변경관리 프로세스를 살펴본 결과(Fig. 3), 먼저 예상 변경요인을 사전에 규명하고 해당요인의 변경에 따른 안전, 리스크 영향을 분석 및 평가하여 대안을 문서화해야한다(IAEA 2003). 여기서 의미하는 예상 변경요인이란 IAEA (2003)에서는 지진, 홍수, 동결, 화재 등의 요인에 따른 변경에 대해 다루고 있었으며, IAEA (2001)에서는 내부적/외부적 요인으로 분류하여 내부적요인의 경우 성능개선 등에 따른 설계변경을, 외부적요인의 경우 법규변경 또는 정치적 이유로 인한 변경, 규제완화 등에 따른 변경에 대해 다뤘다.

다음 단계로는 프로젝트 수행 중 변경사항이 발생했을 때, 변경대안에 대한 평가가 진행되며 세부단계로는 변경

Table 4. Literature Review of Change Management

		Carnduff et al. (2004)	MBTA (2011)	Lee et al. (2005)	Zhao et al. (2010)	Keane (2010)	Steinberg et al. (2010)	IAEA (2001)	INPO (2005)	EPRI (2011)	Kang and Jung (2015)
		Engineering	Civil Engineering	Architecture	Architecture	Architecture	Architecture	NPP	NPP	NPP	NPP
Purpose	Time	-	●	○	○	●	●	○	-	-	●
	Cost	○	●	○	○	●	●	○	○	-	●
	Quality	◎	-	●	-	◎	-	○	○	○	●
	Safety	-	-	-	-	-	-	●	●	●	●
Lifecycle	Planning	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●
	Engineering (version mgmt.)	●	●	●	-	●	●	●	-	●	●
	Procurement	-	●	-	-	-	-	●	-	●	●
	Construction	-	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	(Commissioning)	-	-	-	-	-	-	●	●	●	●
	O&M	-	-	-	-	-	-	★	★	★	★
	Disposal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●

대안에 대한 우선순위 선정 및 변경대안에 대한 리스크분석이 이루어져야한다 (IAEA 2001, IAEA 2003). 먼저, 변경대안에 대한 우선순위 선정에 있어 안전성, 법규, 유지관리 요건, 운영 경제성, 폐기물 처리 등의 정보를 검토 및 활용하여 변경대안에 대한 우선순위를 선정해야한다 (IAEA 2003). 이후 리스크분석단계에서는 먼저 리스크인자를 식별하여 Probabilistic Safety Assessment(PSA), Probabilistic Risk Assessment(PRA)를 통해 도출된 리스크인자들에 대한 리스크 발생가능성, 영향도, 비용영향평가 분석이 이루어진다. IAEA(2001)에 따르면 Safety, Environment, Operational Conditions, Customer Satisfaction, Commercial Performance, Technical Capability, Public Perception, Legal Compliance, Social과 관련된 총 9가지 카테고리에 따라 리스크 인자를 식별하도록 정의하였다.

이러한 리스크평가 결과를 바탕으로 변경대안을 선정하고 Change request를 발행하게 되며(IAEA 2003), 이후 변경계획에 따라 변경사항 처리 후에도 변경을 감시하고 통제하여 지속적인 피드백을 통해 변경프로세스의 개선이 이루어져야 한다(IAEA 2003).

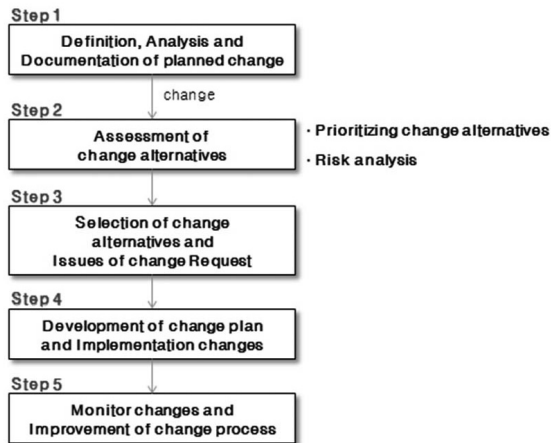


Fig. 3. Change process

따라서 본 연구에서는 위에서 서술한 관련 문헌고찰을 통해 원전 형상관리기법 중 변경관리의 세부기능리스트로서 MC1~MC6까지 총 6개 항목을 선정하였다(Table 3).

5.2 요건관리 (Requirement Management)

원전 형상관리에 있어 요건관리 기능리스트를 도출하기 위해 건축 및 플랜트를 대상으로 하는 문헌고찰을 통해 요건관리의 개념을 살펴보았다.

일반적으로 건축 및 일부 플랜트 문헌에서 의미하는 요건관리는 요구사항관리라고도 하며, 발주자 요구사항을 관리하기 위한 목적으로 초기기획단계 및 설계단계에서 발주자의 요구사항을 정의하고 이에 따라 설계가 진행되도록 관리하는 업무로 정의하고 있다(Cho et al. 2007, Yoo et al. 2006). 그러나 이는 원전산업에서 의미하는 요건관리 개념의 극히 일부에 해당하는 것으로, 이의 개념을 적용하기에는 어려움이 있었다.

따라서 원전을 대상으로 하는 요건관리 문헌을 살펴본 결과(Table 5), Ryu et al.(2013)를 제외하고는 원전 요건관리에 대해 연구한 문헌은 극히 드물었으며, 대부분의 문헌이 형상관리는 범주 안에서 하나의 기법으로서 요건관리를 정의하고 있었다.

요건관리 목적에 있어 형상관리와 동일하게 안전관리의 빈도가 가장 높았으며, 앞선 일반 건축/플랜트 문헌에서 요건관리의 활용목적 중 가장 빈도가 높았던 발주자요건관리에 대해 원전 요건관리에서는 중요도가 낮은 것으로 나타났다. 또한 요건관리를 통해 전 생애주기에 걸쳐 요건의 일치성을 유지하고, 변경발생 시 안전성 및 리스크영향에 따른 분석기준으로서 의사결정을 하기 위한 변경관리 및 기준선관리 관점에서의 요건관리를 강조하는 문헌도 있었다.

요건을 정의하는 참여자 관점에서는 전 생애주기에 걸쳐 발주자/원전운영자 및 EPC, Supplier가 모두 요건을 정의 및 문서화해야하며, 요건을 활용하는 참여자 관점에서는 정의된

Table 5. Literature Review of Requirement Management

● focused ○ covered ○ mentioned		INL (2008)	INPO (2005)	EPRI (2011)	Ryu et al. (2013)
Area		NPP	NPP	NPP	NPP
Objective	Owner-Req. Mgmt.	●	○	○	-
	Safety Mgmt.	-	●	●	●
	Change Mgmt.	-	-	●	-
	Baseline Mgmt.	-	-	-	●
Participant	Owner/Operator	●	●	●	●
	EPC	○	-	●	-
	Supplier	-	-	-	-
Lifecycle	Planning	-	-	-	-
	Engineering	● (Develop)	-	● (Develop)	-
	Procurement	○ (-)	-	○ (V & V)	-
	Construction	○ (-)	-	○ (V & V)	-
	(Commissioning)	○ (V & V)	-	○ (ITAAC)	-
	O&M	● (Use)	-	● (Use)	-
Disposal	○ (-)	-	-	-	
RM Classification Criteria	Top Level	Mission Need	Design Basis	Owner Requirement	Top-Tier Requirement (법규, 설계기반)
		Program			
		End User			
		Public-Private Partnership			
	Regulatory	Design Bases			
	Functional Requirement				
	-	Licensing Bases			
	-	Industry Codes/Standards			
-	Economic Impact				
Technical Requirement / Design Requirement	Design Requirement	Design Requirement	SSC Requirement		
-	Operational Configuration	Operational Configuration	-		

설계요건은 특히 O&M단계에서 부품교체나 사고발생 시의 사결정 지원을 위한 것이라는 점에서 발주자 및 원전운영자 관점의 요건이라는 것으로 분석된다.

요건관리 생애주기 관점에서는 많은 문헌에서 설계 및 운영단계에서 요건관리의 중요성을 강조하고 있었으며, 특히 운영단계에서의 요건의 활용을 위해 초기 설계단계에서부터 요건을 정의하고 이를 문서화하여 구매조달, 시공, 시운전단계까지 실제 발전소와 요건정보가 일치하는지 확인하는 Verification & Validation(V&V)이 중요하다는 것을 알 수 있었다.

다음은 요건관리 분류기준에 있어서는 다수의 문헌에서 최상위 요건으로서 법규나 인허가, 산업표준과 같은 요건보다는 발전소 운영목표나 사용자 요건, 발전소 건설로 인한 공공-민간 파트너십 요건 등을 강조하고 있었으며, 법규제나 인허가, 산업표준과 같은 상위요건은 고려하고 있지 않았다. 따라서 본 연구에서는 미국의 형상관리에 관한 규제체계에

대해 법적근거를 두고 있는 10CFR을 고려한 EPRI(2011)에서의 분류를 기준으로 연구를 진행하였으며, 원전 형상관리에 있어 “요건관리(Requirement Management)”란, 원전의 안전성 확보를 위해 설계 및 인허가기반, 산업규격 및 표준, 경제적 영향 분석을 근거로 발주자 요구사항까지 고려하여 설계요건을 정의 및 문서화하고, 전 생애주기에 걸쳐 물리적형상과 형상정보와의 일치성을 유지하도록 관리하는 기법이라 정의하였다.

종합하자면, 앞선 원전 형상관리 Framework 개념을 구체화하기 위해 요건관리관련 문헌고찰을 통해 원전 형상관리기법 중 요건관리의 세부기능리스트로서 MR1~MR6까지 총 6개 항목을 선정하였다(Table 3).

5.3 정보관리 (Information Management)

HM Global(2010)에 따르면, 정보관리는 문서관리와 전자 문서관리를 모두 포함하고 있는 개념으로 원전 형상관리에 있어 "정보관리(Information Management)"는 전 생애주기에 걸쳐 발전소와 관련된 모든 형상정보를 정의하고, 물리적형상과 설계요건과의 일치성을 유지시키는 것으로, 원전 안전을 중심으로 우선순위 도출, 정보연계 및 시스템화를 통해 변경발생 시 추적관리가 가능해야한다(IAEA 2003, EPRI 2011).

특히 원전 정보관리에 있어 가장 중요한 것은 설계기반 및 인허가기반 정보를 초기 설계단계부터 효율적으로 관리하는 것이 중요하며, 이를 통해 Operator가 복잡한 법률적 문제로부터 리스크를 방지하고 이를 미연에 예방함으로써 비용절감 효과를 가져올 수 있다(EPRI 2009). 또한 설계단계에서 생성된 많은 정보들은 시공단계보다는 40-60년의 원전 운영동안 더 많은 영향을 미치기 때문에 Information Handover 및 Interoperability가 중요하며(EPRI 2009), 이를 위해 numbering을 통해 발전소 SSCs와 문서와의 연계가 요구된다(IAEA 2003). 이와 더불어 문서관리시스템을 구축하여 변경사항에 대해 문서의 모든 버전과 revision, history를 저장함과 동시에 변경발생 시 추적성도 부여해야한다(IAEA 2003). 마지막으로 변경발생 시 의사결정 지원을 위해 발전소와 관련된 모든 정보 및 문서를 안전 중요도에 따라 우선순위를 선정하는 것이 중요하며(EPRI 2009), IAEA(2003)에 따르면 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 안전 중요도, 리스크 중요도, 문서활용빈도, 복잡성, 수정빈도, 운영단계 중요도에 따라 발전소 관련 모든 문서의 중요도를 평가하여 설계문서의 재구성(reconstitution)을 강조하였다.

종합하자면, 앞선 원전 형상관리 Framework 개념을 구체화하기 위해 정보관리관련 문헌고찰을 통해 원전 형상관리기법 중 정보관리의 세부기능리스트로서 MD1~MD6까지 총 6개 항목을 선정하였다(Table 3).

Document	Safety	Risk	Number of Accesses			SSCs	Number of Modification		Operational
	Significance	Significance	Per Day	Per Month	Per Year	Complexity	Per Month	Per Year	Significance
System Description									
System Diagram/3D									
Piping Calculation Isometric									
Piping Fabrication Isometric									
Chill Plans									
Steel Structure Plan									
Operational Handbook									
IBC Diagrams									
Component Specification									
Weld Inspection Specification									
X-ray Diagrams									
Ultrasonic Inspection Results									

Fig. 4. Reconstitution of Design Documentation

5.4 인터페이스관리

인터페이스관리는 미국 CII에서 시작된 개념으로(CII 2012), 조직 간의 물리적 업무흐름을 규정하여 참여자간 정보 및 시스템 상호교환을 위한 새로운 형태의 사업관리체계를 의미한다(Steinberger 2011, Khadimally 2011).

원전 형상관리를 위한 인터페이스관리는 초기기획단계에 발전소 생애주기단계별 수행업무에 따라 조직을 분류하고 (IAEA 2003, EPRI 2011), 참여자 간 key role을 부여하는 조직관리가 요구된다(IAEA 2003). 또한 발전소 전 생애주기동안 발생하는 변경사항에 대한 프로세스 간 인터페이스를 통제하고, 참여자간 수행 activity와 변경정보 사이의 인터페이스 통제 및 관련속성 정의를 위한 프로그램 인터페이스가 이루어져야 한다(IAEA 2003).

따라서 본 연구에서는 원전 형상관리기법 중 인터페이스관리의 세부기능리스트로서 MI1~MI3까지 총 3개 항목을 선정하였다(Table 3).

6. 결론

형상관리는 1950년대 미 국방성에서 시작되어 소프트웨어, 엔지니어링, 건설을 거쳐 원전 산업으로 개념이 발전되어 왔다. 그러나 아직까지 국내는 물론 해외에서도 형상관리에 대한 프로세스 및 절차가 미흡하며, 형상관리라는 모호한 개념으로 실제 원전사업에 이의 개념을 적용하기에는 어려움이 있었다.

따라서 본 연구에서는 문헌고찰을 통해 형상관리를 활용하고 있는 각 분야별로 관리목적, 관리기법, 생애주기 관점에서 형상관리 개념을 비교분석하였으며, 그 결과 형상관리 활용 목적에 있어서 원전산업의 경우 특히 안전 및 품질보중에 대한 중요성을 강조하고 있었으나, 타 산업에 비해 원가 및 공정관리와의 연계성은 부족한 것으로 나타났다. 또한 형상관리기법에 있어서는 모든 산업에서 공통적으로 변경, 요건, 정보, 인터페이스관리를 주요기법으로 언급하고 있었으며, 원전산업에서는 특히 변경사항에 대한 추적관리를 위한 소프트

웨어 형상관리와 참여자들 사이의 수행업무를 정의하는 작업관리의 중요도도 높은 것으로 나타났다. 형상관리 적용생애주기에 있어서는 엔지니어링, 건축, 토목뿐만 아니라 원전산업에서도 설계 및 시공단계에서의 변경관리를 중심으로 형상관리를 활용하고 있었으며, 이를 초기 기획 단계부터 설계, 기계제작, 시공, 시운전, 운영, 폐로까지 적용범위를 확대할 필요가 있었다.

또한 원전을 대상으로 하는 문헌고찰을 통해 공통적으로 다루고 있는 형상관리대상 및 관리요소를 도출하였으며, 관리대상으로 발전소의 구조물, 계통, 기기(SSCs)와 관리요소로서 설계요건, 물리적형상, 형상정보의 3요소에 대해 개념을 정의하였다. 도출된 원전 형상관리 Framework 개념을 구체화하기 위해 생애주기단계별 형상관리 기능리스트로서 기획단계 3개 항목, 설계단계 5개 항목, 구매조달단계 3개 항목, 시공단계 4개 항목, 시운전단계 4개 항목, 운영단계 3개 항목을 도출하였으며, 원전 형상관리를 위한 관리기법으로서 선정된 4가지 기법에 대해 기법별 문헌고찰을 통해 기능리스트 항목을 제시하였으며, 변경관리, 요건관리, 정보관리 각각 6개 항목씩, 인터페이스관리 3개 항목을 도출하였다.

특히 문헌고찰 결과 형상관리의 효율적인 활용을 위해 발전소와 관련된 모든 SSCs 항목과 관련 문서에 대해 numbering을 통해 자동연계 및 시스템화함으로써 변경발생시 추적성(Traceability)을 제공하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있었다.

종합하자면 본 연구에서 도출한 원전 형상관리 Framework는 문헌고찰을 통해 분석된 현행 원전 산업에서의 형상관리 활용에 있어 개념 및 프로세스, 절차의 미흡을 보완하기 위해 기존의 형상관리 개념을 전 생애주기로 확대시켜 원전 산업에 적합하도록 새롭게 재정의하였다. 또한 도출한 형상관리 개념을 실무적 차원에서 활용할 수 있도록 4가지 관리기법(변경, 요건, 정보, 인터페이스관리) 및 생애주기단계별 형상관리 수행방법에 대해 각각의 항목별로 제시하여 개념을 구체화하였다.

추후 연구방향으로는 본 연구에서 도출된 형상관리기법별·생애주기단계별 기능리스트에 대한 평가요소를 도출하여 원전 형상관리 Framework의 관리대상인 발전소의 구조물, 계통, 기기 (SSCs)별 중요도 평가를 진행하여 실제 원전 사업 수행 시 SSCs별 형상관리 적용 우선순위를 도출하여 형상관리 가이드라인을 제시하고자 한다. 또한 발전소의 안전에 대한 신뢰도를 제공하기 위해 전 생애주기에 걸친 모든 설계정보, 품질문서, 구매문서, 그리고 교체이력, 정비 등과 관련된 운전형상정보를 철저히 관리하기 위한 형상관리시스템 개발에 대한 연구가 진행될 것이며, 이는 원전 사업관리, 생애주기관리를 위한 실무적 차원에서의 효율적인 관리도구로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 ‘기초연구사업’ (No. NRF-2014R1A2A2A01006984) 결과의 일부임.

References

- Admiari, A. R. and Williams, T. P. (2010). “A study of configuration management implementation in the construction industry”, Rutgers University.
- Bersoff, E. H. (1984). “Elements of software configuration management”, *IEEE Transactions on Software Engineering*, 10(1), pp. 79–87.
- Burgess, T. F., Mckee, D. and Kidd, C. (2005). “Configuration management in the aerospace industry: a review of industry practice”, *International Journal of Operations & Production Management*, 25(3), pp. 290–301.
- Carnduff, T. W. and Goonetillake, J. S. (2004). “Configuration management in evolutionary engineering design using versioning and integrity constraints”, *Advances in Engineering Software*, 35(3), pp. 161–177.
- Cho, S., Lee, J. and Chun, J. (2007). “Constitution of the Client's Requirements Definition Model according to Value Characteristic in Pre-design Phase”, *Journal of the Seismic Retrofitting & Remodeling Research Center (SRRC)*, 5(1), pp. 51–57.
- DOD (2001). “MIL-HDBK-61A Configuration Management Guidance”, Department of Defense (DoD), MIL-HDBK-61A Configuration Management Guidance.
- EPRI (2008). “Program on Technology Innovation: New Plant Deployment Program Model”, Final Report.
- EPRI (2011). “Elements of Pre-Operational and Operational Configuration Management for a New Nuclear Facility”, Technical Report, 1022684.
- HM Global (2010). “Construction Management A to Z”, Bomoondang, Seoul, Korea.
- IAEA (1996). “Management of procurement activities in a nuclear installation”, IAEA-TECDOC-919.
- IAEA (2001). “Managing change in nuclear utilities”, IAEA-TECDOC-1226.
- IAEA (2003). “Configuration management in nuclear power plants”, IAEA-TECDOC-1335.
- IAEA (2006). “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors”, No. NS-G-4.2.
- IAEA (2008). “Commissioning for Nuclear Power Plants Training and Human Resource Considerations”, No. NG-T-2.2.
- IAEA (2010). “Information Technology for Nuclear Power Plant CM”, IAEA-TECDOC-1651.
- IAEA (2012a). “Project Management in Nuclear Power Plant Construction: Guidelines and Experience”, NP-T-2.7.
- IAEA (2012b). “Safety of Nuclear Power Plant: Design”, No. SSR-2/1.
- IAEA (2014). “Commissioning for Nuclear Power Plants”, No. SSG-28.
- IEEE (1990). “IEEE standard glossary of software engineering terminology”, IEEE Std 610.12-1990.
- INL (2008). “Next Generation Nuclear Plant System Requirements Manual”, Idaho National Laboratory (INL), INL/EXT-07-12999.
- INPO (2005). “Configuration Management Process Description”, Process Description AP-929 1 Revision.
- ISO (2003). “Quality management systems – Guidelines for configuration management (ISO 10007)”, International Organization for Standardization (ISO).
- ISO (2005) “Quality management systems – Fundamentals and vocabulary (ISO 9000)”, International Organization for Standardization (ISO).
- Keane, P., Sertyesilisik, B., and Ross, A. D. (2010). “Variations and change orders on construction projects”, *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 2(2), pp. 89–96.
- KINS (2013). “Study on Establishment of Regulation Policy for the Reinforcement of Configuration Management and Application in Nuclear Power Plants”, Korean Institute of Nuclear Safety (KINS), No. KINS/GR-546.
- Ko, H. and Park, H. (2009). “A Study of Development of Change Process for Configuration Management in Construction Project Management”, *Journal of The Korean Society of Civil Engineering*, KSCE, 29(1), pp. 81–89.
- Lee, S., Peña-Mora, F., and Park, M. (2005). “Quality and change management model for large scale

- concurrent design and construction projects”, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 131(8), pp. 890–902.
- Lee, Y. (2011). "Nuclear Power in Korea & Vision for the Future", *Physics & High Technology*, 20(6), pp. 2–8.
- MBTA (2011). "Project configuration management plan (CMP) for preliminary engineering and design/build procurement", Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA), No. E22PS02.
- Rafiq Khadimally (2011). "Project Interface Management", PMI Houston Energy Corridor Meeting.
- Ryu, D., Lee, S. and Han, S. (2013). "Requirement analysis for developing a data model of nuclear power plant", *Proceeding of CAD/CAM Annual Conference*, pp. 710–715.
- Scott, J. A. and Nisse, D. (2001). "Software configuration management", SWEBOK, 103.
- Schenk, R. W. (1985). "Configuration management as applied to engineering projects", *Journal of Management in Engineering*, ASCE, 1(3), pp. 157–165.
- Steinberg, M. and Otero, F. (2010). "Using Configuration Management to Mitigate the Impact of Design and Construction Contract Changes", Technical white paper presentation at the 2008 CMAA conference.
- Steinberger, L. (2011). "Configuration Management_ Mega building construction programs", *Presentation Material at KICEM Seminar*, August 11, 2011, Seoul, Korea.
- Yoo, S., Yi, J., Par, J. and Jun, J. (2008). "A Study on Developing Systems for Managing Information on Owner's Requirements in the Design Phase", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 9(3), pp. 126–135.
- Yu, W. (2011). "Technology Development for Integration and Automation of Construction Management (CM) Using Nuclear Power Plant Data", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 12(5), pp. 55–59.
- Xu, Y., Malisetty, M. K., and Round, M. (2013). "Configuration Management in Aerospace Industry" *Procedia CIRP*, 11, pp. 183–186.
- Zhao, Z. Y., Lv, Q. L., Zuo, J., and Zillante, G. (2009). "Prediction system for change management in construction project", *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 136(6), pp. 659–669.
- 10CFR50.2, "Part 50: Domestic licensing of production and utilization facilities – 50. 2 Definition", NRC Regulations Title 10, Code of Federal Regulations, U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC).

요약 : 2011년 3월에 발생한 일본 후쿠시마 사고를 계기로 전 세계적으로 원자력발전소의 안전을 우려하는 목소리가 높아졌으며, 원전의 안전은 정치적·사회적 이슈가 되었다. 이를 위해 원전 기기·설비 등의 성능 및 기능이 설계된 대로 작동·유지될 수 있도록 안전성 및 신뢰성을 제공하기 위한 활동 중 하나로 형상관리의 중요성이 강조되고 있다. 그러나, 국내외적으로 형상관리를 위한 프로세스 및 절차의 미흡, 형상관리라는 모호한 개념, 형상관리 인력부족, 운영체계 전산화 부족 등으로 아직까지는 형상관리 활용에 있어 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 문헌고찰을 통해 형상관리를 활용하고 있는 7개 산업에 대해 활용목적, 관리기법, 생애주기 관점에서 형상관리 개념을 비교분석하여 원전 형상관리 Framework를 도출하였다. 또한 생애주기단계별·형상관리기법별 기능리스트 항목을 세부적으로 정의함으로써 원전 형상관리 Framework의 개념을 구체화하였다. 본 연구에서 도출한 원전 형상관리 Framework 및 생애주기단계별, 관리기법별 기능리스트는 문헌고찰을 통해 분석된 현행 원전산업에서의 형상관리 활용 문제점을 고려하여 재정의한 것이며, 기존의 형상관리 개념을 전 생애주기로 확대시킴과 동시에 구체적으로 실제 원전사업에 형상관리 개념을 적용할 수 있는 방법을 제시하였다.

키워드 : 형상관리, 변경관리, 요건관리, 정보관리, 인터페이스관리, 원자력발전소
