KJCEM 18. 1, 048~057
JANUARY 31, 2017

www.kicem.or.kr (pISSN 2005-6095 / eISSN 2465-9703)
http://dx.doi.org/10.6106/KJCEM.2017.18.1.048

원전건설의 성공적인 시공을 위한 핵심성공요인(CSFs) 도출

신기성[1] · 방성덕[2] · 김경석[2] · 김형관*
[1]GS건설 · [2]연세대학교 토목환경공학과

Critical Success Factors for Nuclear Power Plant Construction Projects

Shin, Gisung[1] · Bang, Seongdeok[2] · Kim, Kyeongseok[2] · Kim, Hyoungkwan*
[1]Corporation of GS Engineering and construction
[2]Department of Civil & Environment Engineering, Yonsei University

Abstract : The construction of the first nuclear power plant (Kori #1) in Korea started in 1971, Korea operates 24 nuclear power plants and is constructing 4 in 2015. During about 45 years of construction experience, insufficient studies have been investigated for the identification of critical success factors(CSFs) for nuclear power plant construction. Based on literature reviews and focus group interviews, this study presented a list of CSFs for construction of nuclear power plants. A survey for validating the results of CSFs was conducted with 164 experts. This study indicates that attentions should be placed upon the lowest price-based contract awarding policy, the need for reasonable pricing standard implementation, database development, and deployment for experienced nuclear power plant construction workers, identification and nurturing of competitive subcontractors, and minimization of lag times in construction activities.

Keywords : Nuclear Power Plant, Successful Construction, Focus Group Interview, Critical Success Factors(CSFs)

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라의 국내 총 전력소비량은 2014년 477,592GWh에서 2029년 766,109GWh에 이를 것으로 예상되며, 2015년에 에너지의 95%를 해외에서 수입하고 있고 그 금액은 1,787억 달러에 달한다(지식경제부, 제7차 전력수급기본계획, 2015). 우리나라는 고유가, 기후변화 협약 등으로 인해 기존의 화석에너지의 사용을 낮추고, 그에 상응하는 저탄소 에너지인 풍력 및 태양광 등의 신재생에너지에 대한 비중을 확대 해야하나, 경제성이나 기술적인 면을 고려할 때 화석에너지를 대체하기가 아직까지 쉽지 않다. 따라서 신재생에너지가 화석에너지를 대체할 때까지 저탄소 에너지원인 원자력발전의 안정성을 강화하면서 그 이용을 늘려야 할 것이다. 이에 따라 국내 원자력 발전 비중 역시 2010년 31.4%에서 2024년에는 48.5% 수준으로 증가할 것으로 전망된다. 2016년 국내의 원자력발전소(이하 원전)는 24기가 운영되고 있으며 4기가 건설 중에 있다 (한국원자력산업회의, 2016).

원전 건설은 정부의 행정승인이 정상적으로 이루진다는 가정 하에, 부지조성공사 시점부터 준공까지 건설기간만 평균 7년이 소요되는 장기사업이다. 장기적인 시공기간을 고려하면 원전 건설 사업은 공기의 최적화, 최고 품질 확보, 안전성 향상 및 경제성 확보하기 위해 시공 참여자의 건설지식과 시공경험이 반드시 활용해야만 된다. 하지만 시공단계에서의 건설지식과 시공경험은 그 중요성에 비해 저평가 되어 있고 그에 대한 연구 또한 전무하다. 따라서 본 연구에서는 대형 종합플랜트 공사인 원전 건설의 성공적인 시공의 중요성을 인식하고 국내 원전 시공 포커스 그룹과의 인터뷰와 통계분석을 통해 원전 건설의 성공적인 시공을 위한 CSFs를 도출하여 원전 건설에 적용할 수 있는 이론적 기반을 마련하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 원전 건설 참여경력 최소 17년 이상인 PM (Project Manager) 또는 현장 소장 경험이 있는 전문가 포커스 그룹 인터뷰와 통계분석을 통해 원전 건설의 성공적인 시공을 위한 핵심성공요인(Critical Success Factors : 이하 CSFs)를 도출하였다. 원전 건설의 일반적인 단계인 설계, 구

* Corresponding author: Kim, Hyoungkwan, Department of Civil & Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea
E-mail: hyoungkwan@yonsei.ac.kr
Received July 6, 2016: revised December 6, 2016
accepted December 21, 2016

매, 시공 및 시운전 단계에서 CSFs를 도출하는 것이 바람직하나 사업주, 설계자, 각종 기자재 공급사, 시공사 등의 역무가 명확하게 구분되어 있어 지식공유가 쉽지 않은 원전 건설사업의 특성상 기본적인 시공단계에서 성공적 시공을 위한 CSFs를 도출하는 것으로 연구 범위를 한정하고자 한다.

2. 연구의 이론적 고찰

원전 건설사업의 성공적 시공을 위한 CSFs를 도출하기에 앞서 CSFs의 개념을 확인하고 원전 건설의 성공적인 시공과 관계된 선행 연구의 동향을 살펴보았다.

CSFs는 기업 또는 프로젝트 목표 및 목적을 이루기 위한 요인으로 Daniel(1961)의 정보요구에 관한 연구에서 처음으로 소개된 후 꾸준히 활용되어 왔다. CSFs는 Rockart (1979)가 CSFs 분석에 의한 경영관리자의 정보요구사항 결정방안을 구체화하면서 경영자의 주요관심사로 부각되었다. 또한, CSFs가 시간 의존적이고, 산업에 특성에 따라 달라지며, 기업의 내 · 외부 환경에 따라 변하고, 최고경영자의 의지나 가치관에 의해 달라질 수 있다고 특징을 제시하였다. 따라서 CSFs는 일정기간이 지나면 재평가 하거나 지속적인 관리를 실시할 필요성이 있다(Jeong et al., 2005).

본 연구에서는 원전 건설의 성공적인 시공을 위한 CSFs 도출을 위해 원전 건설 분야 뿐만 아니라, 일반 건설 부문의 성공적인 시공 인자에 대한 기존 연구문헌도 함께 고찰 하였다. 조영석(2002)은 원전의 효율적인 시공관리와 생산성 향상을 위해 품질 실패 사례 분석 및 예방 활동으로 선행호기에서 발생한 NCR (Non-Conformance Report) 분석 재발방지 노력, 작업실명제 실시, S등급 검사 강화 및 검사적발지적서 제도를 도입하였다. 또한 신속 검사 체제 도입을 위해 전자 Network 구축, 품질 서류 최적화와 관리기법 개선을 위해 전자식 출입 통제 시스템 운영 및 현장 투입 시간 절감을 적용한 사례를 소개하였다. 정경화(2002)는 원전 발전소 건설에서 설계 및 건설업무 수행을 위한 3차원 CAD 시스템의 필수 기능 요건으로 계통 DB와 3차원 모델의 DB 연계성, 입력기능, 통합기능, 그래픽 Review 기능, 간섭 검토 기능, 도면 생산 기능, 시공 시뮬레이션 기능, 자재관리 기능, 시공 패키지 관리 기능, 시공 현황 관리 기능을 제시하였다. 문병석(2009)은 원전 건설 시공관리 분야에서 효과적인 사업관리를 위해 시공성과 리스크 관리 및 사업비 예측을 위한 일정과 비용을 통합할 수 있는 EVMS (Earned Value Management System) 모델의 개발을 제시하고 있다. 사업주와 시공사가 주기적으로 생산성 향상 workshop을 개최하여 사업관리 및 시공분야에서 공동도급의 현장 조직 효율적 운영 방안을 논할 수 있도록 제시하였다. 손창백(2005)은 원전 건설시 생산성 향상 요인을 정리하였다. 건설인력 관련 요인으로는 인력절감형 공법 적용, 관리자의 위기관리능력 향상, 원활한 인력 수급체계 구축, 작업자의 동기부여, 숙련공 투입, 공종별 작업자의 역할분담 명확화, 교육 훈련 프로그램 시행 등을 분류하였고 설계관리 관련요인으로 설계 VE (Value Engineering) 적용 활성화, 시공성을 고려한 설계, 정확하고 완성도 높은 설계도서, 설계 표준화로 분류하였다. 공사관리 관련요인으로 효율적인 공법 선택, 합리적인 현장배치, 효율적인 작업조 편성, 합리적인 작업순서 및 작업일정, 정확하고 신속한 작업지시 및 승인, 시공의 기계화 및 자동화, 신기술 개발 및 적용, 원활한 정보교환 체계 구축, 공사관리의 전산화, 작업매뉴얼 제작 · 보급, 시간 · 활동 분석 등을 분류하였다. 투입자원 관련요인으로 원활한 자재 조달체계 구축, 원활한 장비 조달체계 구축, 투입자원의 효율적인 배분, 자원관련 정보의 사전입수 및 축적을 분류하였으며, 공사성격 및 공사외적 요인으로는 건설 현장 작업에 대한 각종 규제의 현실화, 현장 지원업무의 전산화, 현장 작업환경 개선의 분류체계를 제안하였다. 서용관(2009)은 기존 문헌조사를 바탕으로 생산성 저하요인을 분류하였다. 건설인력 관련해서는 작업자의 책임감 부족, 작업자의 기능 부족, 작업자의 동기부여 부족으로 분류하였다. 설계 관련요인으로는 설계도서 미흡, 과도한 설계 변경, 시공성을 무시한 설계로 분류하였다. 공사관리 및 작업계획 관련 요인으로 불합리한 공법 선택, 잘못된 작업 간 순서계획과 일정계획, 의사소통 미흡, 불합리한 현장배치, 안전재해 등으로 분류하였다. 건설공사 투입자원 관련요인으로는 자재와 장비조달 지연과 노후화된 장비로 인한 효율성 감소를 분류하였다. 시공외적으로는 현장의 불리한 입지조건, 열악한 작업환경, 민원발생, 파업을 세부요건으로 도출하였다. 결국 건설생산성 향상을 위해서 도출된 저하요인을 우선적으로 축소하는 것이 생산성 향상에서 중요한 일임을 제안하였다.

원전 건설의 시공성 및 생산성 향상, 공기단축, 효율적인 시공관리, 시공경험 등과 일반건설 산업의 시공성 및 생산성과 관련한 기존 연구문헌의 고찰을 통해 도출한 성공요인을 정리하여 성공적인 시공을 위한 CSFs 인자를 도출하여 Table 1과 같이 정리하였다(서용관, 2009; 손창백, 2005; 조영석, 2002; 문병석, 2005; 정경화, 2002).

3. 원전 건설의 성공적인 시공을 위한 CSFs 도출

3.1 포커스 그룹 인터뷰 실시

원전 건설의 성공적인 시공을 위한 CSFs 도출을 위해서 기존 연구문헌에서 도출한 성공요인 인자들을 바탕으로 원전 건설 참여경력 최소 17년 이상인 PM 또는 현장 소장급의 전문가 포커스 그룹을 상대로 인터뷰를 실시하였다.

포커스 그룹 인터뷰는 정성적 연구에서 많이 사용되는 연

구방법으로, 적은 수의 전문가로 구성된 그룹을 대상으로 자연스럽게 인터뷰가 진행되며, 훈련된 사회자가 토의를 이끌어나가게 된다. 연구자가 미처 생각하지 못했던 새로운 사실을 발견 또는 정보를 얻는 것이 포커스 그룹 인터뷰의 목적이다(Lee, 2007). 포커스 그룹 인터뷰의 대상자와 실시 현황은 Table 2와 Table 3에 나타난다.

Table 1. CSFs from existing research

Section	CSFs
Labor	• Education and Training program • Motivation program (Encourage membership) • Administrator's calibrate and problem-solving skill • Building of smooth manpower supply system • Clarification of role sharing • Promotion of a sense of membership
Resource	• Efficient distribution of resources • Development and application of new material • Building of smooth material supply system • Enlargement and modernization of equipment • Building of smooth equipment supply system • Understanding and accumulation of resource information
Management	• Reasonable field deployment planning • Efficient method of construction • Efficient organization of work task • Efficient working order planning • Reasonable process planning • Accurate and timely work order and approval • Mechanization and automation of construction • Development and application of new technology • Building of smooth communication system • Computerization of construction management • Creation and diffusion of work manual • Application of scientific management technique • Reinforcement of safety management
Extra factor	• Risk management • Rationalization of regulations in construction site • Computerization of business support • Improvement of working environment

Table 2. Interviewees of focus group interview

Name	Career	Professional field
Mr. Gong	30 years	Project Management, Construction site management
Mr. Kim	28 years	Construction site management
Mr. Kim	24 years	Construction site management
Mr. Park	20 years	Project Management
Mr. Yoon	18 years	Project Management, Construction site management
Mr. Yoon	18 years	Construction site management
Mr. Choi	17 years	Construction site management
Mr. Heo	20 years	Project Management, Construction site management

Table 3. Detail of focus group interview

Method	Focus group interview
Date and Time	20 October 2011, 15:00
Location	Conference room in A construction company
Interview time	2 Hours
Subject	Critical Success Factors for Nuclear Power Plant Construction Projects
Interviewees	8 peoples who engage in project management and construction management

3.2 인터뷰 결과

포커스 인터뷰 결과 도출된 29가지의 CSFs를 인력/조직, 자재/장비, 시간관리, 공사비, 공법/기술, 사업환경 등 6개의 범주로 Table 4와 같이 분류하였다.

Table 4. CSFs from interview results

Section	CSFs	Code
Manpower / Organization	• Securement of experienced workers	a1
	• Securement of certificated workers	a2
	• Building of smooth manpower supply system	a3
	• Capabilities and problem-solving skills of managers	a4
	• Training program for improving construction ability	a5
	• Efficient composition of field organization	a6
	• Strengthening of relationship with stakeholder	a7
	• Friendly and fast communication system	a8
Materials / Equipment	• Securement of multiple material suppliers	b1
	• Building of smooth material supply system	b2
	• Effective management of carry-in material and owner supplied materials	b3
	• Development and application of new material	b4
	• Building of smooth equipment supply system	b5
	• Effective planning of equipment use	b6
Time Management	• Reasonable process planning	c1
	• Minimizing standby time caused by inspection and interference	c2
	• Application of scientific management technique	c3
Construction Cost	• Arrangement of optimal construction cost	d1
	• Effective disbursement of total construction cost considering workability	d2
	• Proper payment of construction cost	d3
Method of construction / Technology	• Selection of effective method of construction (new technology)	e1
	• Grafting automation and IT onto construction	e2
	• Utilization of historical technology data	e3
	• Preparing alternatives after benchmark of previous construction	e4
	• Performance of subcontractors	e5
Project Environment	• Planning of reasonable arrangement in field	f1
	• Improvement of working environment	f2
	• Strengthening of relationship with local community	f3
	• Strengthening of safety and environment management	f4

3.3 CSFs 검증을 위한 전문가 설문조사 수행

포커스 그룹 인터뷰는 대상이 제한적이고 소수로서 대표성이 없는 표본으로부터 얻은 결론이기 때문에 결과에서 나타날 수 있는 일반화 문제에 주의하여야 한다(Park et al., 2009). 따라서 본 연구에서는 인터뷰 결과를 검증하고 현업에서 CSFs의 중요성과 수행도를 도출하기 위해 원전 건설에 참여중인 발주기관, 설계사, 건설사 및 협력업체의 원전 실무 관련자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문은 Case의 중요도와 현재 수행도를 7단계 리커드척도(Likert scale)를 사용하여 작성하였다. 여기서 중요도는 본 항목이 원전 건설의 성공적인 시공에 있어서 얼마나 중요한지를 나타내고, 현재수준은 본 항목에 현재 시점에서 원전 건설의 성공적인 시공에 있어서 얼마나 활용 및 적용되고 있는지를 나타내는 척도이다.

설문은 2차에 걸쳐 실시하였으며, 총 230부를 배포하여 184부를 회수, 80%의 회수율을 보였다. 설문대상 별로는 발주기관 50명, 설계사 40명, 건설사 82명, 협력업체 12명이 설문에 응답하였다. 일대일 대면 방식으로 설문을 실시하였고, 원전 건설 경험이 있는 실무자들을 대상으로 실시하였기 때문에 설문에 대한 이해도가 높았다. 누락, 이중체크, 건설경력 미비 등의 결측치를 제외한 164부가 최종 설문 분석에 이용되었다. 설문에 응답한 응답자의 건설경력은 평균 16.4년이며 그 중 원전 건설 참여 경력은 평균 12.4년이었고 원전 건설 경력이 7년 이상인 실무 경험자의 비율은 71.3%였다.

3.4 설문 결과 분석

3.4.1 도출된 CSFs의 범주별 중요도 및 현수준 분석

설문결과에 따르면 포커스그룹 인터뷰를 통해 도출한 6개 범주의 CSFs는 리커드 7점 척도에서 6.24점에서 5.804점 사이의 높은 수준을 보여 다수의 전문가 설문을 통해 그 유용성이 검증 되었다. 도출된 CSFs의 설문 결과는 Table 5와 같다. 중요도의 경우 공사비, 인력/조직, 시간관리, 자재/장비, 공법/기술, 사업환경 범주 순으로 중요하다고 나타났으며, 현수준의 경우는 사업환경, 자재/장비, 공법/기술, 시간관리, 인력/조직, 공사비 범주 순으로 나타났다. 공사비 범주의 경우 기술제안입찰에 따른 총 공사비 상승에 대한 우려로 중요도가 제일 높게 나오고, 현재수준성이 제일 낮게 나온 것이라 분석된다. 사업 환경 범주는 간접적인 시공요인이기 때문에 중요도는 상대적으로 낮게 평가되고 있지만 다른 범주보다 관리하기가 용이하고 인위성이 크기 때문에 현재수준이 가장 높게 나온 것으로 분석된다.

Table 5. Importance and present level of CSFs

Section	Code	Average of impotance	Average of present level
Manpower / Organization	a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7, a8	6.065	3.899
Materials / Equipment	b1, b2, b3, b4, b5, b6	5.885	4.061
Time Management	c1, c2, c3	5.996	3.917
Construction Cost	d1, d2, d3	6.240	3.392
Method of construction / Technology	e1, e2, e3, e4, e5	5.871	4.020
Project Environment	f1, f2, f3, f4	5.805	4.384
Average		5.977	3.945

3.4.2 CSFs의 중요도 분석

중요도의 평균은 5.977점으로 리커드 7점 척도에서 높은 수준을 보이고 있다. 설문대상별로 중요도 평균은 설계사(6.144점), 건설사(6.043점), 발주기관(5.810점), 협력업체(5.661점) 순으로 나타났다. 중요도 상위 5개 항목은 적정 공사비 책정(6.317점), 적정공사비 지급(6.274점), 관리자의 자질 및 문제해결능력(6.232점), 선행호기 건설 경험 인력의 확보(6.220점), 합리적인 공정계획(6.201점) 순으로 나타났다. 인력/조직 범주의 관리자의 자질 및 문제해결능력과 선행호기 건설 경험 인력의 확보는 원전 시공 시 관리직 인원만 약 400명이 투입되고 기능인력 또한 일 출력인원이 3,000명을 넘으며 공종 간(토목, 건축, 기계, 전기)의 협의가 필수적인 원전 건설 프로젝트라는 점에서 중요도 결과가 높게 나타났다. 격납과 차폐 개념의 구조물에 원자로 등 주기기와 수많은 보조기기가 포함된 계통설비, 각종 전기기기 및 케이블을 설치하기 위해 수많은 인력과 장비가 투입되는 원전 건설에서 합리적인 공정계획 또한 중요도가 높은 수준을 보였다.

CSFs 중 상대적으로 중요도가 낮은 5개 항목은 건설의 자동화 및 IT 접목(5.500), 신자재 및 신소재 자재의 개발 및 적용(5.549), 시공능력향상교육 프로그램의 개발(5.610), 합리적인 현장 배치계획(5.646), 시간, 활동분석 등 과학적인 관리기법 적용(5.652)으로 나타났다. 건설의 자동화 및 IT 접목은 원자로건물 외벽 철판(CLP) 및 원자로냉각재계통(RCL)배관의 자동용접 적용, 발주기관의 원전 건설관리시스템(NPCMS : Nuclear Powerplants Construction Management System) 개발과 적용에 따른 Real Time사업관리, 3D CAD를 이용한 시공 시뮬레이션 등 적지 않은 분야에서 활용되고 있음에도 불구하고 일부 공정 적용 및 소프트웨어 성격의 지원 체계라는 인식 등으로 중요성이 상대적으로 가장 낮게 나타나고 있다. 하지만 하드웨어 보다는 소프트웨어의 중요성이 강조되고 효율성이 검증되고 있는 앞으로의

건설 추세를 감안하면 건설 자동화 및 IT 접목의 활용도는 보다 증대할 것이고 중요성에 대한 시공 참여자의 인식 또한 변화하게 될 것이다. 신자재 및 신소재의 개발 및 적용 또한 그 필요성에도 불구하고 관련 코드에 의한 적합성 검증 절차의 어려움, 제한적인 수요처에 따른 경제성 확보 문제 등으로 활용도가 저조하여 중요도가 낮게 나타난 것으로 분석된다. 시공능력향상 교육 프로그램의 개발, 합리적인 현장 배치계획, 시간, 활동 분석 등 과학적인 관리기법의 적용 항목 또한 공사에 직접적인 영향을 미치는 요인이 아니기 때문에 중요도가 상대적으로 낮게 나타난 것으로 분석된다.

3.4.3 CSFs의 현재수준 분석

현재수준의 평균은 3.945점으로 리커드 7점 척도에서 약 4점(보통) 수준을 보이고 있으며 설문대상별로는 발주기관(4.506점), 건설사(3.996점), 협력업체(3.584점), 설계사(3.351점) 순으로 나타났다. 현재수준의 상위 5개 항목은 원전 건설의 안전 및 환경관리의 강화(4.799), 지역사회와의 유대관계 강화(4.451), 합리적인 공정계획(4.396), 선행호기 성공/실패 분석 후 대안 마련(4.366), 선행호기 기술자료의 활용(4.341) 순으로 나타났다.

안전 및 환경관리의 강화와 지역사회와의 유대관계 강화 항목은 각각 건설현장에서의 환경관리 강화 추세 및 원전에 대한 국민 수용성 증대라는 정부 시책의 영향으로 상대적으로 현재수준이 높게 나타난 것으로 분석된다. 합리적인 공정계획, 선행호기 성공/실패 분석 후 대안 마련, 선행호기 기술자료의 활용 항목은 원전 건설의 반복 건설에 따른 공정관리의 노하우 축적과 선행호기의 시공(실패)경험 등 기존자료의 활용이 성공적인 공사 수행에 큰 성과를 보게 됨을 경험함으로써 현업에 적극 반영, 현재수준이 상대적으로 높게 나타난 것으로 분석된다. 현재수준의 상위 5개 항목 중 합리적인 공정계획만 중요도가 높은 5개 항목과 일치할 뿐 현재수준은 상대적인 중요도와 상관없이 실행 또는 적용하기 수월한 항목이 현재수준도 높게 나타난 것으로 분석된다.

CSFs의 현재수준에서 낮은 5개 하위 항목은 원전 건설공사의 적정공사비 책정(3.250), 적정공사비 지급(3.335), 신자재 및 신소재 자재의 개발 및 적용(3.421), 원활한 인력 수급 체계 구축(3.463), 작업성을 고려한 전체 공사비의 효율적인 배분(3.335) 순으로 나타났다. 현재수준이 상대적으로 낮은 5개 항목 중 3개 항목이 공사비와 관계된 항목으로 공사비 책정 시 각 공정 간에 효율적으로 공사비 배분이 이루어지지 않아 상대적으로 현 수준이 낮은 것으로 분석된다. 신소재 자재의 개발 및 적용은 신자재에 대한 검증 및 경제성으로, 원활한 인력 수급 체계 구축 항목은 원전인력 관리시스템의 부재 등으로 효과적으로 원전 건설 관련 인력을 관리할 수 없기 때문에 현재수준성이 낮은 것으로 분석된다.

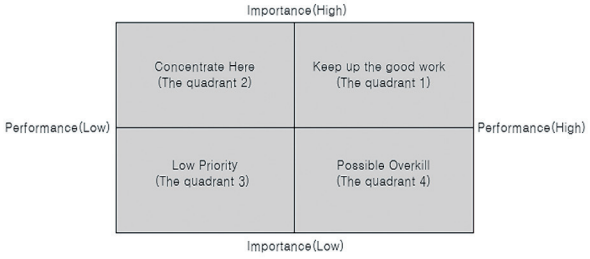

Fig. 1. Importance - Performance matrix

3.4.4 격차분석

Martilla and James (1977)에 의해 중요도-실행도 분석은 평가요소의 중요도와 실행도를 측정하여 2차원의 4분면위에 표시하고, 그 위치에 따라 의미를 부여한다. 격차는 중요도에서 현재수준을 뺀 값으로, 격차가 클수록 중요도에 비해서 실행도가 낮다고 볼 수 있다.

중요도-실행도 분석은 Fig. 1과 같이 평가요소의 중요도와 실행도를 측정하여 2차원의 4분면위에 표시하고, 그 위치에 따라 의미를 부여한다. 제 1사분면인 유지(Keep Up The Good Work)면에 표시된 평가속성은 중요도가 높고 실행도 비교적 잘 이루어지고 있는 것으로 계속 유지해 나가는 것이 바람직함을 의미한다. 제 2사분면인 집중(Concentrate Here)면에 표시된 평가속성은 중요도는 높지만 실행이 잘 되지 않는 것으로 향후 개선의 집중 대상이 된다. 제 3사분면인 저순위(Low Priority)는 중요도와 실행도가 모두 낮은 상태이며, 의사결정에서 가장 낮은 순위이다. 제 4사분면이 과잉(Possible Overkill)면에 표시된 평가속성은 별로 중요하지도 않은 곳에 과잉 실행된 상태이므로 실행을 줄이거나 상황에 따라 중단하여도 좋다(Choi et al., 2001). Table 6에서는 각 속성별 중요도, 실행도 및 격차를 순서대로 정리하였다.

Table 6. Differential of priority order

Ranking	Code	Average of importance	Average of present level	Differential
1	d1	6.317	3.250	3.067
2	d3	6.274	3.335	2.939
3	a3	6.110	3.463	2.646
4	d2	6.128	3.591	2.537
5	c2	6.134	3.695	2.439
6	a1	6.220	3.841	2.378
7	e5	6.110	3.805	2.305
8	a2	6.098	3.817	2.280
9	a8	6.152	3.988	2.165
10	b4	5.549	3.421	2.128
11	b2	6.122	4.104	2.018

12	a6	6.055	4.055	2.000
13	a7	6.043	4.049	1.994
14	c3	5.652	3.659	1.994
15	a4	6.232	4.250	1.982
16	b1	5.945	3.988	1.957
17	e1	5.738	3.799	1.939
18	a5	5.610	3.732	1.878
19	c1	6.201	4.396	1.805
20	e2	5.500	3.787	1.713
21	e4	6.061	4.366	1.695
22	b3	5.970	4.329	1.640
23	b5	5.793	4.183	1.610
24	e3	5.945	4.341	1.604
25	b6	5.933	4.341	1.591
26	f1	5.646	4.128	1.518
27	f2	5.665	4.159	1.506
28	f4	6.140	4.799	1.341
29	f3	5.768	4.451	1.317

본 연구에서는 상대적인 중요도와 실행도를 파악하기 위해 중요도와 실행도 각각 평균값의 최댓값과 최솟값을 범위로 하고 그 중앙값을 매트리스의 원점으로 하여 상대적인 중요도-현재수준 매트릭스 분석을 실시하였다(Fig. 2).

3.4.5 설문결과 분석의 시사점

포커스 그룹 인터뷰에서 도출한 29개의 CSFs를 중요도-실행도의 격차 분석을 통해 좀 더 미시적인 측면에서 분석해 보았다. 상대적인 중요도-현재수준 매트릭스 분석 결과는 다음과 같다. 우선 1사분면에 포함된 '합리적인 공정계획', '선행호기 성공/실패 사례 반영', '원활한 자재 조달 체계 구축' 등 반복 건설에 따라 노하우가 구축된 항목들과 '건설 참여자의 안전/환경 관리에 대한 의식 강화', '자질 및 문제해결 능력'은 상대적으로 중요도와 실행도 모두 높게 나타나 현 상태를 유지시키는데 집중해야 할 것이다. 2사분면에 포함된 '공사비', '경험인력', '작업자 대기시간 최소화', '외주업체의 공사수행 능력' 항목은 중요도에 비해 상대적으로 실행도가 낮게 나와 향후 집중적인 개선이 요구되고 있다. 3사분면에 포함된 신소재, 자재 개발', '건설의 자동화 및 IT의 접목', '시공능력 향상 교육' 등 검증에 많은 시간이 소요되고 효과가 늦게 나타나는 항목은 2사분면에 포함된 항목들의 개선이 이루어진 후 차선으로 고려되어야 할 항목들로 판단되었다. 4사분면에 포함되는'원활한 장비조달 체계 구축 항목'및 사업환경 범주의 항목들은 중요도에 비해 현재 실행 정도가 높아 실행 정도를 줄여도 괜찮은 것으로 판단되었다.

원전건설의 인력, 공사기간, 공사비 등이 어느 정도 한정되어 있는 상황에서 어떤 항목에 대한 선택과 집중이 우선적으로 이루어져야 하는지 도출하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 설문결과 분석을 통해 원전건설의 전문가들이 원전건설의 시공단계에서 어떤 요소를 중요하게 인식하는지, 그리고 중요하다고 인식하는 것에 비해 현재의 실행 수준은 어떠한지 파악하여 원전건설의 성공적인 시공 방안에 기여하였다.

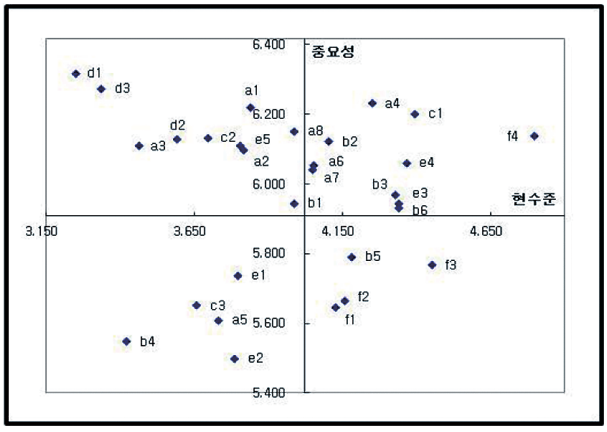

Fig. 2. Result of Importance - Performance matrix

4. 사례 연구

4.1 CSFs 검증을 위한 전문가 설문조사 수행

본 장에서는 도출한 CSFs 중 e4 항목인 선행호기 성공/실패 사례 분석 및 대안 마련 항목과 관련, 선행호기 시공 중 발행된 NCR(불일치보고서) 발생 현황 사례를 분석하여 선행호기의 문제점을 확인하고 개선대책을 유도하여 현장에서 CSFs가 활용될 수 있는 가능성을 확인하였다.

본 사례의 프로젝트는 XX지역에 건설된 한국형 표준형 원전 2기 건설에 참여한 B건설사의 시공 참여분에 대해 약 5년간 발생한 NCR 사례를 분석하였다. 사례 분석은 발생 시기별, 토건 공종별, 발생 원인별, 처리 방안별 및 조치 소요 기간별 5가지로 분류하여 실시하였다.

4.2 사례 원전의 NCR 발행 현황 분석

본 연구에서 도출한 CSFs의 유용성과 활용방안을 알아보기 위해 선행호기 성공/실패 사례 분석 및 대안 마련 항목과 관련 선행호기의 NCR 발행 현황 사례를 분석하였다. 사례 분석은 발생 시기별, 토건 공종별, 발생 원인별, 처리 방안별 및 조치 소요기간별 5가지로 분류하여 실시하였다.

4.2.1 발생 시기별 분석

선행호기 건설시 발생된 NCR의 분석결과 1개 프로젝트 수행 시 약 연 200여건의 NCR이 발생하였다. NCR을 발생 시기별로 분류할 시 최초콘크리트 타설 후 3년차 및 4년차에 가장 많이 발생하며 공사 후반일수록 기전분야에서 집중적으로 발생됨을 알 수 있다(Table 7).

Table 7. Categorization of NCR by season

Section	Structure	Civil	Architecture	Electric generation	Total
1st year	51	11	–	36	98
2nd year	134	17	10	39	200
3rd year	94	19	56	130	299
4th year	99	20	26	256	401
5th year	26	5	22	169	222
Total	404	72	114	630	1,220

4.2.2 토건 공정별 분석

토건 공종별 NCR 발행건수는 콘크리트 작업 260건, 철근 작업 96건, 철골 및 잡철물 작업 87건, 매설물 작업 72건으로 콘크리트 작업과 관련한 NCR이 차지하는 비율은 약 44%이다(Table 8).

Table 8. Categorization of NCR by process

Section	Structure	Civil	Architecture	Total
Concrete work	212	47	1	260
Rebar/Cadweld work	94	2	–	96
Steel frame and iron work	1	–	86	87
Utility work	55	13	4	72
Waterproof work	19	–	–	19
Cut-off plate installment work	12	4	–	16
Painting work	–	–	13	13
Besides	11	6	10	27
Total	404	72	114	590

4.2.3 발생 원인별 분석

발생 원인별 NCR 발행 건수는 도면/기술 시방서 및 기자재 공급자 지침서 요건 위반 사례가 30%로 가장 많았으며 작업자의 기량 미숙으로 인한 사례는 28%, 지침서/절차서 위반은 19%로 나타났다(Table 9). 특히 기전 공사에서는 대부분이 작업자의 기량 미숙과 감독 소홀로 NCR이 발생하는 것을 볼 수 있다.

Table 9. Categorization of NCR by cause of occurrence

Section	Structure	Civil	Architecture	Electric generation	Total
Violation of plan drawing, specification and supplier guidebook	166	30	71	96	363
Lack of worker's skill	4	–	5	327	336
Violation of work procedure	174	35	4	21	234
Negligence of supervision	10	2	–	107	119
Work without notice	33	2	26	5	66
Insufficient of management and activity identification after construction	15	2	3	18	38
Damage and flaw	2	–	3	34	39
Besides	–	1	2	22	25
Total	404	72	114	630	1220

4.2.4 처리 방안별 분석

발행된 NCR의 처리 유형을 살펴보면 구조물을 포함한 토건의 경우 수리가 전체 590건의 64%인 378건이며 기전의 경우 630건의 NCR 중 현상사용이 52%인 325건이고 수리 및 재작업이 47%인 295건으로 나타났다(Table 10).

Table 10. Categorization of NCR by disposal method

Section	Structure	Civil	Architecture	Electric generation	Total
Use-as-is	104	24	29	325	482
Repair	265	46	67	188	566
Rework	28	2	17	107	154
Reject	2	–	–	6	8
Besides	5	–	1	4	10
Total	404	72	114	630	1,220

4.2.5 조치 소요기간별 분석

NCR 조치 소요기간 분석 결과 3개월 미만인 경우가 약 62%, 3개월 이상이 항목이 약 38%를 차지하는 것으로 나타났다(Table 11).

Table 11. Categorization of NCR by lead time

Section	Structure	Civil	Architecture	Electric generation	Total
Under 1 month	120	23	22	172	337
Under 3 months	129	24	40	228	421
Under 6 months	112	12	33	135	292
Above 6 months	43	13	19	95	170
Total	404	72	114	630	1,220

4.3 NCR 발생 분석 및 개선방안 제안

선행호기 건설시 발행된 NCR의 분석결과 1개 프로젝트 수행 시 연간 약 200여건의 NCR이 발생하였으며 NCR 처리 소요기간은 3개월 미만인 경우가 62%, 3개월 이상 소요되는 항목이 약 38%를 차지하였고 처리방안으로는 수리 및 재작업이 약 60%를 차지하고 있어 NCR 처리에 많은 시간과 비용이 소요됨을 알 수 있다.

원전건설은 계측제어설비와 원자로냉각재 펌프설비를 포함한 핵심공정에서 기전 작업, 설비 작업 및 화학 작업 등 토건 작업 외의 비중이 매우 높다. 특히 핵분열시 발생하는 막대한 열과 방사능 누출 위험 때문에 매우 정밀한 시공을 요구한다. 이에 따라 타 건설프로젝트보다 경험 부족 및 도면 숙지 미흡, 허용오차 초과에 관한 NCR이 많이 발생하였다. 또한 설계 및 기자재와 관계된 NCR의 처리는 필요에 따라 엔지니어링 및 제작사의 검토를 받아야 하는 이유로 조치에 많은 시간이 소요되는 것으로 나타났다.

이러한 원전건설의 특수성을 고려하여 후속호기의 건설 시 원전 건설 참여 전문가의 의견을 수렴한 효과적인 재발 방지 대책을 제공해야 한다. 이에 따라 앞서 고찰한 선행호기의 NCR 발행 현황을 바탕으로 관련 프로젝트에 참여했던 원전 시공 전문가와 개별 인터뷰를 실시하여 NCR이 발행된 발생 원인별로 선행호기의 문제점을 분석하고 향후 원전 건설의 성공적인 시공을 위한 개선 방안을 도출하였다(Table 12).

Table 12. Pre-construction problems and improvements

Section	Main problems of preconstruction	Improvement
Violation of plan drawing, specification and guidebook of equipment supplier	• Lack of worker's experience • Insufficient understanding of plan drawing • Excess of allowable error • Unsatisfaction of design requirement	• Securement of certificated experts • Accuracy instruction • Sufficient education of code and specification • Perpect supervision and management
Lack of worker's skill	• Lack of construction workers specialized in nuclear power plants • Excessive fluidity of manpower • Insufficient education of new hires	• Education for improving construction ability • Building of smooth manpower supply system • Reinforcement of quality education for new hires
Violation of work procedure	• Insufficient understanding of work procedure • Lack of awareness for quality • Occurrence of repeated mistakes	• Education for improving construction ability • Reinforcement of quality education for workers • Active utilization of corrective action report
Carelessness of quality and safety supervision	• Lack of safety consciousness and responsibility for workers • Lack of responsibility for quality inspection	• Reinforcement of preventive activity • Responsible construction by reinforcement of inspector's discretionary power

4.4 사례 연구의 시사점

본 장에서는 3장에서 도출한 29개의 CSFs 중 중요도-실행도 매트리스 분석의 1사분면에 속해 있는 선행호기의 NCR 분석 활용 예시를 통해 CSFs의 활용방안을 제시하였다. 이러한 선행호기의 문제점 분석 및 개선 방안 마련은 후속호기의 건설시 효과적인 재발 방지 대책을 제공하고 또한 원전 건설의 성공적인 시공을 위한 핵심성공요인으로 활용 될 수 있다.

상기 외 도출된 다른 CSFs 또한 개별적 분석 및 활용 가능성에 대한 지속적인 연구가 이루어지고 원전 건설 참여 전문가의 의견을 수렴한 개선 방안을 도출하여 후속호기에 적용한다면 공기단축, 고품질 제고 및 경제성 확보에 상당한 기여를 할 것으로 기대된다. Table 13은 전문가 인터뷰 및 설문의 기타의견을 반영하고 도출한 주요 CSFs에 대한 활용 가능 세부 Item의 예시를 나타낸 것이다. 다음 예시와 같이 원전 건설의 포커스 그룹 인터뷰 및 설문조사를 통해 도출한 CSFs는 원전건설의 성공적인 시공에 유용하며, 지속적인 연구를 통해 계속 활용된다면 원전건설의 성공적인 시공에 상당한 도움이 되는 역할을 하게 될 것임을 기대할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 원전 건설의 성공적인 시공을 위한 CSFs를 도출하기 위하여 국내 원전 건설의 시공단계에서의 성공요인과 관련된 연구 문헌 및 자료를 조사하고 건설 생산성 및 시공성 향상 요인에 대한 기존 연구에서 제시된 시공 요인들과 고찰한 원전 건설의 시공요인을 바탕으로 원전 건설경력이 17년 이상인 사업관리 및 시공 전문가 8명을 대상으로 포커스 그룹 인터뷰를 실시하여 원전 건설의 성공적인 시공을 위한 CSFs를 도출하였다. 도출한 CSFs는 일반화를 위해서 현재 원전 건설에 경험이 있는 실무 전문가 164명을 상대로 설문을 실시하였다. 설문 결과를 토대로 CSFs의 중요도, 현재수준 및 격차 분석을 하였다. 적정 공사비 책정 및 지급, 관리자의 리더십, 선행호기 건설 경험 인력 확보, 합리적인 공정 계획 등 직접적이고 하드웨어 성격의 항목이 상대적으로 중요도가 높게 나타났으며 그중 중요도가 가장 높은 적정 공사비의 책정 및 지급 항목은 현 수준에서 가장 낮은 수준으로 가장 큰 격차를 나타냈다. 시공능력 향상교육, 건설자동화 및 IT 접목, 지역사회와의 유대 강화, 신소재 개발 및 적용, 효율적인 공법 선정 등 소프트웨어적이고 검증과 효과 실현에 많은 시간이 소요되는 항목은 상대적으로 중요도가 낮게 나타났다. 격차분석을 통하여 원전 건설의 성공적인 시공을 위한 CSFs의 현재수준은 보통 수준으로 중요도의 높은 수준에 비해 낮게 나타나 CSFs의 적극적인 활용 또는 개선의 필요성을 도출하였으며 특히, 중요도-현재수준 매트릭스 분석결과 적정공사비 책정 및 지급, 전체공사비의 효율적인 배분, 선행호

기 경험 인력 및 전문 기능 인력의 확보, 외주업체의 공사수행 능력, 검사 · 간섭 등으로 인한 작업 대기시간의 최소화 등의 항목이 '집중'면에 속해 있어 각각 합리적인 공사비 산정기준 수립, 원전 건설 경험 인력 관리시스템 구축 및 활용, 경쟁력 있는 협력업체 발굴 및 육성 방안 마련 및 검사 절차 개선 등으로 작업 대기시간의 최소화 방안 등에 대해 검토 및 개선이 이루어져야 함을 도출 하였다.

사례 연구에서 살펴보았듯이 포커스 그룹 인터뷰 및 설문조사를 통해 도출한 CSFs는 성공적인 시공에 도움이 되는 역할을 될 것이다. 향후 연구에서는 계획, 설계, 구매 및 시운전 단계 등 건설의 모든 사업단계에서의 CSFs를 도출하고 사례연구에서 그 가능성을 확인한 CSFs의 적용 및 개선에 따른 경제성 평가 등의 정량적 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 2009년 12월 첫 원전 수출의 쾌거를 이루었으므로 국내 원전의 수출 경쟁력 확보를 위해 해외 원전 건설의 성공적인 시공을 위한 CSFs에 대한 연구도 이루어져야 할 것이다.

Table 13. Examples of available items on CSFs

Section	Examples of available items on CSFs
Manpower / Organization (a1~a8)	• Building the management system about labor/staff of nuclear power plant • Deduction of optimal injection ratio of experienced manpower • Builing the communication & control System • Multifunctional manpower utilization & Operating the cooperated work crew consisted of individual technicians • Obliging completion of training center during a certain period for technicians
Materials / Equipment (b1~b6)	• Tracing materials using RFID • Improving the availability of domestic materials • Construction ability improvement of large-diameter rebar such as N14(43mm), N18(57mm) • Review about Arrangement of tower crane • Review about utilization of large salvage equipment(above 2,500t)
Time Management (c1~c3)	• Time management using RFID (Commuting, work input, etc.) • Active application of duration reduction plan from material supplyers and construction specialty companies • Active utilization of corrective action report • Time lag occurrence in change of plan drawing due to security of nuclear power plant • Reduction of inspection time by computer aid inspection and simultaneous inspection
Construction Cost (d1~d3)	• Proper proposal for technical proposal bidding system • Setting a criterion for reasonable construction cost disbursement of each package • Reinforcement of approval system for susbcontract
Method of construction / Technology (e1~e5)	• Expanding PC and modular system • Application of open top construction and SC(Steel Plate Concrete) method • Minimizing welding and expanding use of automation • Construction monitoring using 3D/4D • Sharing the case of previous constructions • Building the knowledge management program about nuclear power plant • Program development of fostering subcontractors • Reduction rework due to update delay of previous projects and non-reflection of error
Project Environment (f1~f4)	• Reasonable site utilization considering work movement and transport distance • Improvement accessibility of sealed or containment structures • Reinforcement of patrol operation for safety/environment • Regional activation and developing a service program to the public relationship program • Building the manpower training system of nuclear power plant for local economic activation

감사의 글

본 연구는 2016년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No.2011-0030040, NRF-2014R1A2A1A11052499).

References

Choi, G., and Park, S. (2001). "Importance - Performance Analysis to Evaluate Tourist Destinations : The Case of San - Jung Lake" *Korean Journal of Hotel Administration*, 10(1), pp. 275-289.

Daniel, D. Ronald. (1961). "Management Information Crisis" *Harvard Business Review*, 39(5), pp. 111-121.

Jeong, G. (2002). "Construction management method of nuclear power plant using 3D CAD technique" *Korean Institute Of Construction Engineering and Management*, 3(2), pp. 177-181.

Jeong, S. (2005). "A Study on the Critical Success Factors and Performance Measurement of the RFID System" MS thesis, Chungang Univ., Seoul, Korea.

Jo, Y. (2002). "A case study on construction management of nuclear power plant" *Society of Air-conditioning and refrigerating engineers of Korea*, Lecture and others publication.

Lee, K. (2007). Social Science Research, Bobmunsa.

Leidcker, JF, and Bruno, AV. (1984). "Identifying using critical success factor" *Long Lange Planning* , 79(1), pp. 23-32.

Martilla, A., and James, C. (1977). "Importance-Performance Analysis" *Journal of Marketing*, 41(1), pp. 77-79.

Michael W. Radtke, and jeffrey S. Russell. (1993). "Project-Level Model for Implement Constructability" ASCE, *Journal of Construction Engineering and Management*, 119(4), pp. 813-831.

Park, J. (2009). "3D/4D CAD applicability for life cycle facility management" MS thesis, Yonsei Univ., Seoul,

Korea.

Rockart, J. F. (1979). "Chief executives define their own data needs" *Harvard Business Review* , 57(2), pp. 81–93.

Seo, Y. (2009). "Research on the Effects of the Factors Lowering Productivity on Productivity Performance in Construction Industry : in terms of the Perspective between Owner and General Contractor" MS thesis, Soongsil Univ., Seoul, Korea.

Son, C., and Lee, D. (2005). "An Analysis on the Selection and Application of Productivity Improving Factors in Apartment Building Construction" *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 21(4), pp. 133–140.

V. E Francis, S. E. Chen, V. M. Mehrtens, A. C. Sidwell and W. D. McGeorge (1999). "Constructability Strategy for Improved Project Performance" *Architectural Science Review*, 42(2), pp. 133–138.

요약 : 1971년 우리나라 최초의 원자력발전소인 고리 1호기가 착공되어 2015년 현재 24기가 가동 중에 있으며 4기가 건설 중으로 약 40여 년간의 원자력발전소 건설 역사 동안 원전 건설의 성공적인 시공을 위한 CSFs 도출에 관한 연구는 아주 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 시공단계에서 원전 건설의 성공적인 시공을 위한 CSFs를 도출하기 위하여 기존 연구에서 제안된 원전 및 일반 건설의 성공요인과 고찰한 원전 건설의 시공요인을 바탕으로 원전 전문가와 포커스 그룹 인터뷰를 실시하여 원전 건설의 성공적인 시공을 위한 CSFs를 도출하였다. 포커스 그룹 인터뷰 결과의 검증을 위하여 현재 원전 건설 프로젝트에 참여하고 있는 164명의 실무 전문가들의 설문조사를 통해 도출한 CSFs의 유용성을 검증하였다. 설문 결과 분석을 통해 합리적인 공사비산정기준 수립, 원전 건설 경험 인력 관리시스템 구축 및 활용, 경쟁력 있는 우수 협력업체 발굴 및 육성 방안 마련 및 검사 절차 개선 등으로 작업 대기시간의 최소화 방안 등에 대해 우선 검토 및 개선이 이루어져야 함을 도출 하였다.

키워드 : 원자력발전소, 성공적인 시공, 포커스 그룹 인터뷰, 핵심성공요인(CSFs)