

# 원자력발전소 건설공사의 공종별 위험도에 관한 연구

이종빈 · 이준경\* · 장성록†  
부경대학교 안전공학과 · \*두산중공업  
(2013. 1. 7. 접수 / 2013. 5. 3. 채택)

## A Study on the Risk Level of Work Types in Nuclear Power Plant Construction

Jong-Bin Lee · Jun Kyung Lee\* · Seong Rok Chang†

Department of Safety Engineering, Pukyong National University · \*Doosan Heavy Industries & Construction  
(Received January 7, 2013 / Accepted May 3, 2013)

**Abstract :** The goal of this study was to investigate some significant factors to influence level of safety at plant construction field and analyze degree of risk by work classification. Currently, there are lots of construction fields for the nuclear power plant for electricity generation, and our government also planned constructing more nuclear power plant in near future. However, much of the safety literature neglected the degree of risk factors on the plant construction field. Safety managers participated in the brainstorming session for drawing decision criteria of the degree of risk (i.e., significant factors). Then, they were asked to answer a structured questionnaire which was developed for drawing most important factors. Finally, the analytic hierarchy process (AHP) was used to analyze level of risk by work classification. The following results were obtained. First, total twelve factors judging degree of risk were found in the brainstorming session. Second, the questionnaire showed four significant factors, including number of workers, working environments, skill of craft and accident experience. Third, the results of AHP showed Architecture work is the most dangerous work among 6 work types. The results could be used to reduce degree of risk in construction field of the nuclear power plant.

**Key Words :** nuclear power plant, brainstorming, significant factors, AHP, work type

### 1. 서론

‘플랜트’란 발전소나 정유공장과 같이 기계와 장치를 기술적으로 설치하여 생산자가 목적으로 하는 원료 또는 중간재, 최종 제품을 제조할 수 있는 생산설비를 말한다. 현재 우리나라의 해외플랜트 산업의 진출은 활발히 이루어지고 있으며, 국내의 경기 불황에도 불구하고 지속적인 발전과 시장개척이 이루어지고 있는 실정이다<sup>1)</sup>. 많은 건설업체 뿐만 아니라 화학업체들의 참여도 지속적으로 증가하고 있으며, 점차 시장의 규모와 수요가 늘어날 전망이다.

또한, 현재 우리나라의 중장기 전력수급 안전을 위한 정부의 목표계획인 2010년~2024년을 대상으로 한 제5차 전력수급기본계획에 따르면, 최대 전력수요 증가에 맞춰 발전설비도 2011년부터 총 49조원을 투자(신재생·집단지너지 제외)할 계획이다. 국내 원자력발전소는 1978년 고리1호기 상업운전을 시작한 것을 필두로 현재 고리(6기), 영광(6기), 울진(6기), 월성(5기) 등 4개 사이트에 총 23기의 원전을 가동하여 발전 전력량의 31%를 공급하고 있으며, 고리2기, 월성1기, 울진2기 등 총 5기를 건설하고 있다. 2024년까지 14기를 건설할 계획이며, 2030년까지 설비기준 41% 확대(38기) 할 장기계획도 갖고 있다<sup>2)</sup>.

이러한 원자력발전소 건설이 점차적으로 확대됨에 따라 원자력발전소 설비 및 운영의 안전성 확보에 대한 연구는 활발히 진행되고 있으나, 원자력발전소의 건설 중에 발생하는 위험에 관한 연구는 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다.

특히, 건설업에서 지금까지 수행된 위험과 관련된 연구의 대부분은 건축공사 위주이거나 과거 재해사례를 바탕으로 한 위험도 분석<sup>3-6)</sup> 또는 전문공사에 대한 위험성 평가<sup>6-8)</sup>로 이루어져 있다. 하지만, 국·내외 점차적으로 증가 추세에 있는 원자력발전소 건설과 관련된 위험성 평가는 아직 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이며 이러한 이유로 인해 원자력발전소 건설 중 발생할 수 있는 안전사고에 대한 위험성도 점차적으로 증가할 우려가 있다고 판단된다.

이에 따라 본 연구에서는 원자력발전소 건설에 종사하는 안전전문가를 대상으로 하여 원자력발전소 건설공사 시 위험성을 판단하기 위한 기준을 도출하고 위험도를 분석하였다.

분석된 결과를 통해 원자력발전소 건설공사의 공종별 안전대책 수립이 가능할 것으로 판단된다. 또한 공종별 위험도에 안전 인원과 장비 그리고 비용의 효율적인 투자가 가능할 것으로 판단되며, 이와 더불어 사고 근절 및 감소에도 기여할 것으로 예상된다.

†Corresponding Author: Seong Rok Chang, Tel : +82-51-629-6468, E-mail : srchang@pknu.ac.kr  
Department of Safety Engineering, Pukyong National University, 365, Sinseon-ro, Nam-Gu, Busan 608-739, Korea

## 2. 원자력발전소 건설공사의 공종분류

원자력발전소 건설공사는 Table 1에서 나타난 바와 같이 토목, 건축, 기계, 배관, 전기 그리고 시운전으로 총 6개의 대공종으로 분류 된다<sup>9)</sup>.

Table 1에서 나타낸바와 같이 토목공종은 기초 굴착공사, 콘크리트 생산공사, 옥외매설물 설치공사, 냉각수계통 구조물 공사로 총 4개의 단위공사 및 25개의 세부공종으로 구성되며, 건축공종은 3개의 단위공사 및 18개의 세부공종, 기계공종은 6개의 단위공사와 12개의 세부공종, 배관공종은 2개의 단위공사 및 4개의 세부공종으로 구성되고 전기 및 계측공종은 4개의 단위공사 및 30개의 세부공종으로 구성되어 6개의 대공종 가운데 가장 많은 세부공종으로 구성된 것으로 나타났다. 마지막으로 시운전공종은 1개의 단위공사 및 2개의 세부공종으로 구성되어 원자력발전소 건설공사는 6개의 대공종과 20개의 단위공사 그리고 91개의 세부공종으로 구성되어 있다.

Table 1. Classification of work type in nuclear power plant construction work,

Work Type	Num-ber	Name of Unin work	Number of Detail work
Civil	C1	excavation work	13
	C2	Concrete production work	1
	C3	exterior work	4
	C4	cooling water structure work	7
		4	25
Architec-ture	A1	main building new construction work	10
	A2	architecture closing work	7
	A3	painting work	1
		3	18
Machine	M1	general machine installation work	3
	M2	condenser installation work	1
	M3	turbine generator installation work	2
	M4	air duct equipment installation work	2
	M5	nuclear reactor equipment installation work	3
	M6	spot assembly tank installation work	1
		6	12
Pipe	P1	pipe installation work	3
	P2	heat insulation work	1
		2	4
Electri-city / Measurement	E1	electricity installation work	14
	E2	electric wire routing work	1
	E3	exterior switching station equipment installation work	6
	E4	instrumentation installation work	7
	E5	communication & security installation work	2
	4	30	
Trial run	S1	trial run support work	2
		1	2
Total		20	91

## 3. 원자력발전소 건설공사 위험판단 기준 도출

원자력발전소 건설공사의 공종별 위험도를 산정하기 위해 우선 원자력발전소 건설공사에 대한 경험이 있는 안전관리자 20명을 대상으로 브레인스토밍(brainstorming)을 실시하였다. 그 결과, 원자력발전소 건설공사의 위험도를 평가하기 위해 영향을 미치는 판단기준은 공사기간, 불안전상태, 불안전행동, 폭로시간(소음, 진동, 먼지, 가스, 흙 등), 작업시간, 근로자수, 기후, 작업환경, 위험기계, 기능도, 사고경험(사고사례) 그리고 연령인 것으로 나타났다.

안전관리자 20명을 대상으로 12개의 위험판단 기준에 대하여 2차 설문을 실시하였다. 설문내용은 '12개의 위험판단 기준 가운데 가장 중요하다고 판단되는 기준 4가지를 선택'하는 형식의 설문을 실시하였다. 그 결과, 원자력발전소 건설공사의 공종별 위험도를 평가하기 위해 가장 중요하다고 생각되는 위험판단 기준은 Table 2에서 나타난 바와 같이 근로자수, 작업환경, 기능도(숙련도) 그리고 사고경험(사고사례)인 것으로 나타났다.

Table 2. Criteria for risk assessment,

Criteria for risk judgement	Number of choice
Construction duration	5
Unsafe condition	2
Unsafe act	3
Exposure time by noise, vibration, dust, fumes and harmful gas, etc.	1
Working hours	1
Number of workers	10
Climate	3
Working environment	10
Dangerous machine	2
Age	3
Skill of craft	11
Accident experience	9
Total	60

## 4. 원자력발전소 건설공사 공종별 위험도 산정

### 4.1. 위험도 판단 기준에 대한 가중치 결과분석

안전관리자 20명을 대상으로 브레인스토밍을 통해 나타난 원자력발전소 건설공사의 위험도를 평가하기 위해

Table 3. Analysis of consistency ratio for survey,

Subject of survey	Number of distribution	CR(Consistency Ratio) : number of questionnaire less than 0.1
Head of section	38	20
Head of department	14	5
Safety manager	19	6
Construction manager	3	1
Total	74	32

Table 4. AHP result for criteria survey.

Subject of survey	CR(Consistency Ratio) : number of questionnaire less than 0.1	Sub-ject	Number of workers	Working environ-ment	Skill of craft	Accident experience	sum of risk index
Head of section	20	1~	0.52	0.29	0.12	0.06	0.99
		20	0.44	0.36	0.14	0.07	1.01
Head of depart-ment	5	1	0.58	0.25	0.12	0.04	0.99
		2	0.57	0.27	0.11	0.04	0.99
		3	0.55	0.33	0.08	0.04	1
		4	0.55	0.26	0.15	0.04	1
		5	0.57	0.25	0.14	0.05	1.01
Safety manager	6	1	0.55	0.29	0.13	0.04	1.01
		2	0.6	0.23	0.12	0.06	1.01
		3	0.5	0.29	0.16	0.05	1
		4	0.48	0.31	0.14	0.06	0.99
		5	0.58	0.25	0.12	0.04	0.99
		6	0.55	0.26	0.15	0.04	1
Manager	1	1	0.55	0.26	0.14	0.05	1
Total	32	Ave-rage	0.54	0.27	0.14	0.05	1

영향을 미치는 판단기준 4가지에 대해 안전관련 전문가를 대상으로 설문을 실시하여 AHP(Analytic Hierarchy Process)<sup>10,11)</sup>로 분석하였다. 본 연구에서의 안전관련 전문가란 원자력발전소 관련 공사 경험을 갖춘 공구장, 부서장, 안전관리자 그리고 현장소장을 말한다. Table 3에서는 74부의 설문지 중에서 일관성 비율(CR : Consistency ratio)이 0.1 이하인 설문지의 수를 설문대상에 따라 분석하였다.

Table 4는 원자력발전소 공사시 위험성을 판단하는 4가지의 기준에 대한 설문을 실시한 결과이다.

일관성 비율이 0.1이하인 설문지 32부에 대하여 AHP 분석을 실시한 결과 원자력발전소 건설공사의 위험도를 평가하는데 가장 중요한 위험판단 기준은 근로자수(0.54)인 것으로 나타났으며, 다음으로 작업환경(0.27), 기능도(0.14), 사고경험 및 사례(0.05)의 순으로 나타났다.

4.2. 위험도 판단 기준 4가지에 따른 공종별 위험도 분석

위험도 판단기준을 대상으로 원자력발전소 건설공사의 공종별 위험도에 대한 설문을 실시하였다.

Table 5에서 나타난 바와 같이 원자력발전소 건설공사 공종별 위험지수를 산정하기 위해 각 위험도 판단기준에 대해 총 74부의 설문지를 분석한 결과 일관성 비율이 0.1 이하인 설문지는 근로자수의 경우 30부, 작업환경이 29부, 기능도 및 숙련도가 30부 그리고 사고경험 및 사례가 28부로 각각 나타났다.

Table 6에서는 일관성 비율이 0.1이하인 설문지를 대상으로 원자력발전소 건설공사의 공종별 위험도를 AHP로 분석하였다.

원자력발전소 건설공사 공종별 위험도를 각 위험도 판단기준별로 분석한 결과, ‘근로자수’라는 위험판단 기준의 경우에는 건축공사의 위험도가 0.36으로 가장 높게 나타났다. 다음으로 토목공사(0.25), 기계공사(0.12)와 배관공사(0.12), 전기공사(0.08) 그리고 시운전(0.06)의 위험도 순으로 나타났다. ‘작업환경’이라는 위험도 판단 기준의 경우에도 역시 건축공사의 위험도가 0.37로 가장 높게 나타났으며, 토목공사(0.26), 배관공사(0.12), 기계공사(0.11), 전기공사(0.09) 그리고 시운전(0.06)의 위험도 순으로 나타났다. ‘기능도 및 숙련도’라는 위험도 판단 기준의 경우에도 건축공사의 위험도가 0.28로 가장 높게 나타났으며, 토목공사(0.25), 기계공사(0.14), 배관공사(0.13), 전기공사(0.12) 그리고 시운

Table 5. CR(consistency ratio) result for survey.

Subject of survey	Number of distribution	CR(consistency ratio) : number of questionnaire less than 0.1			
		Number of workers	Working environment	Skill of craft	Accident experience
Head of section	38	20	19	21	22
Head of depart-ment	14	4	4	5	2
Safety manager	19	5	5	4	3
Manager	3	1	1	0	1
Total	74	30	29	30	28

Table 6. AHP Result of survey for work types.

Classification	Civil	Archi-tecture	Machine	Pipe	Electricity	Trial run
Number of workers	0.25	0.36	0.12	0.12	0.08	0.06
Working environment	0.26	0.37	0.11	0.12	0.09	0.06
Skill of craft	0.25	0.28	0.14	0.13	0.12	0.08
Accident experience	0.3	0.36	0.09	0.11	0.08	0.05

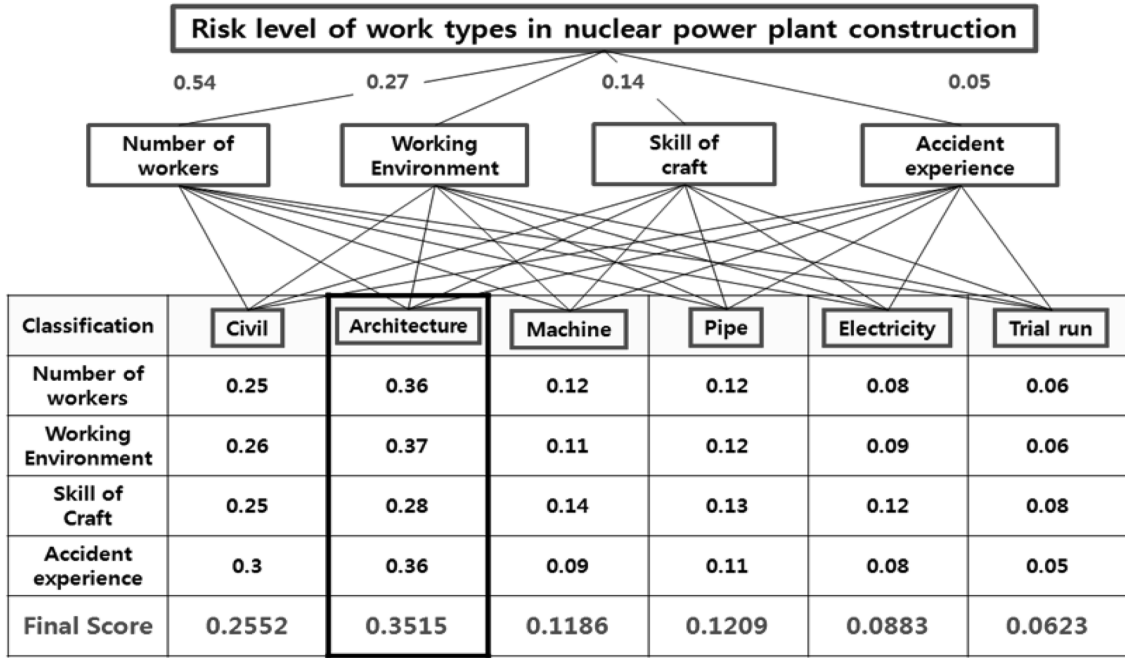


Fig. 1. Final risk score for work type by AHP.

전(0.08)의 위험도 순으로 나타났다. 마지막으로 ‘사고경험 및 사례’라는 위험도 판단 기준의 경우에도 역시 건축공사의 위험도가 0.36로 가장 높게 나타났으며, 토목공사(0.3), 배관공사(0.11), 기계공사(0.09), 전기공사(0.08) 그리고 시운전(0.05)의 위험도 순으로 나타났다. 원자력발전소 건설공사의 공종별 위험도를 최종적으로 Fig. 1과 같이 산정하였다. Fig. 1에서 나타난 바와 같이 원자력발전소 건설공사의 공종별 최종 위험도를 살펴보면 건축공사가 0.3515로 가장 높은 공종인 것으로 나타났다. 다음으로 토목공사의 위험도가 0.2552로 나타났으며, 배관공사의 위험도가 0.1209, 기계공사의 위험도 0.1186, 전기공사의 위험도 0.0883 그리고 시운전의 위험도가 0.0623로 나타났다.

### 5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 원자력발전소 건설에 종사하는 안전전문가를 대상으로 하여 원자력발전소 건설공사시 위험성을 판단하기 위한 기준을 도출하고 위험도를 분석하였다. 먼저, 원자력발전소 건설공사에서 위험성을 판단할 수 있는 기준을 파악하기 위해 안전전문가를 대상으로 1차적으로 브레인스토밍을 실시하였고, 그 결과를 적용하여 원자력발전소 건설공사의 공종(토목, 건축, 기계, 배관, 전기, 시운전)별 위험도를 구하기 위한 설문지를 실시하였으며, 설문결과는 AHP를 이용하여 분석하였으며, 연구의 결과를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 안전전문가를 대상으로 브레인스토밍을 실시하여 원자력발전소 건설공사의 위험성을 판단하기 위한 기준 4가

지(근로자 수, 작업환경, 기능도, 사고경험)를 도출하였고, 이 가운데 근로자 수와 작업환경이 원자력발전소 건설공사의 위험도를 결정짓는 요인인 것으로 나타났다. 이는 원자력발전소 건설공사의 특징이라 할 수 있는 협소한 공간에서의 작업이 많고 이로 인해 소요되는 근로자의 수가 많기 때문인 것으로 판단된다.

2) 원자력발전소 건설공사에서 위험성을 판단할 수 있는 기준을 파악하기 위해 안전전문가를 대상으로 1차적으로 브레인스토밍을 실시하였고, 그 결과를 적용하여 원자력발전소 건설공사의 공종(토목, 건축, 기계, 배관, 전기, 시운전)별 위험도를 구하기 위한 설문지를 실시하였으며, 설문결과는 AHP를 이용하여 분석하였다. 그 결과 6개의 공종 중에서 건축공종의 위험도가 0.3515로 가장 높게 나타났다. 건축공종의 위험도가 높게 나타난 이유는 타(토목, 기계, 배관, 전기, 시운전)공종에 비하여 다수 직종과 근로자를 동시에 투입하며, 가시설물(비계, 작업발판, 안전시설물 등) 설치 등 작업환경 조건에서도 타 공종에 비하여 열악한 실정을 인해 위험도가 높게 나타난 것으로 판단된다. 반면, 건축공종 이외에 토목, 기계, 배관 등의 공종은 건축공종에 비해 장비 위주의 작업이 주를 이루고 소수 직종(용접, 마무리 작업등), 유동 근로자의 수가 작은 등의 이유로 인해 위험도가 다소 낮게 분석된 것으로 판단된다.

3) 원자력발전소 건설공사의 공종 중에서 위험도가 높게 나타난 건축공종의 특징은 다수 직종과 근로자의 수 및 유동 근로자가 많기 때문이다. 이러한 위험공종에 대해서는 안전관리자, 보조원, 감시원 등의 증원과 협력사 안전관리비 산정시 위험도에 따른 공종별 산업안전보건관리비의 적정 효율을 적용하여 효율적인 투자를 하는 등 선택과 집중이 필요할 것으로 판단된다.

4) 이를 위해 유해위험방지계획서 작성 및 공중별 안전관리계획서 작성 시 공중별 위험도 분석을 활용한 재해 감소 대책 방안을 모색하고, 향후 인력 투입에 의한 건설공사의 진행 보다는 장비의 개발 및 활용을 통한 인적 위험을 감소시키고, 위험도가 높은 공중에 대한 기술적, 관리적, 교육적 안전관리 기법의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

5) 본 연구는 원자력발전소 건설공사를 수행함에 있어서 위험도를 판단할 수 있는 기준을 안전관리자를 대상으로 브레인스토밍을 실시하여 도출하였다. 이는 정성적인 판단 기준에만 의존해 나타난 결과이므로 향후 원자력발전소 건설공사 재해사례를 이용하여 정량적 분석을 통한 신뢰성 증대가 필요할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 원자력발전소 건설공사의 6개 공중에 대한 위험도를 분석했으나, 향후 21개의 단위공사 및 94개의 세부공중에 대한 위험도 분석을 실시함으로써 원자력발전소 건설공사시 발생될 수 있는 산업재해의 근절을 위해 추가적인 연구를 수행할 필요가 있을 것으로 판단된다.

**감사의 글:** 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2013년)에 의하여 연구되었음

### Reference

- 1) Korea Institute of S&T Evaluation and Planning, "Trend of Plant Industry Technique and Policy", pp. 3~5, 2010.
- 2) Ministry of Knowledge & Economy, "The 5th Round of Electric Power Supply and Demand General Planning", 2010.
- 3) J. B. Lee, S. S. Go, and S. R. Chang, "The Risk Assessment of Work Type in Reinforced Concrete Construction Work", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 20, No. 1, pp. 119~125, 2005.
- 4) J. B. Lee, S. S. Go and S. R. Chang, "A Study on the Risk Rate of Work Type According to the Fatal Accident Cases and the Work Strength in Construction Work", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 21, No. 4, pp. 102~107, 2006.
- 5) S. S. Go and J. H. Oh, "A Study on the Risk Assessment of Formwork", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 17, No. 3, pp. 96~101, 2002.
- 6) M. W. Lee, C. S. Lee, and S. J. Choi, "A Study on the Estimation of Severity for Apartment Construction Work", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 15, No. 2, pp. 118~125, 2000.
- 7) M. W. Lee and C. S. Lee, "A Study on the Estimation of Severity Rate for Construction Work", Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 16, No. 5, pp. 105~112, 2005.
- 8) KOSHA, "A Study on the Safety Models Through Risk Assessment by Specialty Construction", 2009.
- 9) KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD, "Main Equipment Construction Work a Contract Document", 2006.
- 10) T. L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process", New York, McGraw-Hill, 1980.
- 11) T. L. Saaty, "Decision Making for Leaders", RWS Publications. 1995.