

# AHP를 이용한 원자력발전소 건설공사의 단위작업 위험도 평가

이중빈 · 장성록<sup>†</sup>

부경대학교 안전공학과

(2013. 10. 26. 접수 / 2014. 3. 21. 채택)

## Assessment of risk of unit work in nuclear power plant construction using AHP

Jong-Bin Lee · Seong Rok Chang<sup>†</sup>

Department of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received October 26, 2013 /Accepted March 21, 2014)

**Abstract** : The purpose of this study is to analyze the degree of risk of the working unit of nuclear power plants construction. In order to do this, and the risk index by type and source of risk judgment derived in the previous study were utilized. Further, to derive a risk index of unit work in nuclear power plant construction, a survey targeting safety professionals was conducted. The analytic hierarchy process (AHP) was used for analysis of the survey. The following results were obtained. Firstly, the results of AHP showed that main building work is the most dangerous work, and base excavation work is the second dangerous work among 21 unit works. Secondly, so, it is required to invest more and to take a increasing interest in unit works of civil and architecture as compared to other unit works. Further, the results could be used to reduce the degree of risk in construction of the nuclear power plant.

**Key Words** : nuclear power plant, unit work, AHP, work type

### 1. 서론

1997년 이후부터 2012년까지 통계청의 건설수주현황을 살펴보면, 97년 이후 감소세를 보이던 건설수주가 99년 이후부터 03년까지 상승세를 보이다가 04년에 7.7% 하락한 후 05년에 5.1% 다시 상승하여 07년에 19.2%까지 상승세를 지속하였다. 하지만 08년 이후부터는 전반적인 경기침체 속에서 건설수주 감소세가 3년 연속 지속되다 11년도에는 기저효과로 소폭 반등(7.2%), 12년에는 전반적인 수주감소로 하락(9%)하였다. 13년 건설수주도 SOC 예산감소 등으로 공공부문 수주회복을 기대하기 어려운 가운데, 유로지역 재정위기 등 글로벌 경제의 불확실성 증가 등으로 가시적인 회복을 기대하기는 어려울 것이라는 전망이다<sup>1)</sup>.

이러한, 국내 건설업의 경기불황에도 불구하고 해외 플랜트 산업의 진출은 비교적 활발히 이루어지고 있으며, 지속적인 발전과 시장개척이 이루어지고 있는 실정이다<sup>2)</sup>. 또한 많은 건설업체 뿐만 아니라 화학업체들의 참여도 지속적으로 증가하고 있으며, 점차 시장의

규모와 수요 또한 늘어날 전망이다<sup>2)</sup>. 이와 더불어 현재 우리나라의 중장기 전력수급 안전을 위한 정부의 목표 계획인 2010년~2024년을 대상으로 한 제5차 전력수급 기본계획에 따르면, 최대 전력수요 증가에 맞춰 발전 설비도 2011년부터 총 49조원을 투자(신재생·집단에너지 제외)할 계획이다. 국내 원자력발전소는 1978년 고리1호기 상업운전을 시작한 것을 필두로 현재 고리(6기), 영광(6기), 울진(6기), 울성(5기)등 4개 사이트에 총23기의 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>3)</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.

이에 따라 본 연구에서는 원자력발전소 건설에 종사하고 있는 안전전문가(현장소장, 공구장, 부서장, 안전

<sup>†</sup> 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

관리자)를 대상으로 설문을 실시하고, 이를 Analytic Hierarchy Process (AHP)로 분석하여 원자력발전소 건설공사의 단위공사에 대한 위험도를 평가하고자 한다.

## 2. 연구 방법

본 연구에서 사용된 원자력발전소 건설공사의 단위공사 위험도 평가에 관한 설문은 AHP를 이용하였다. AHP기법은 1980년대 Saaty<sup>4)</sup>에 의해 처음으로 개발된 계층분석적 접근방법으로써 해결해야 할 문제를 몇 개의 계층(hierarchy)으로 구성된 구조로 파악한 후, 분석 과정을 통해 상대적 우선순위(relative priority)를 정하는 기법을 의미한다. 즉 AHP 접근 방법은 달성해야 할 목표, 환경 시나리오, 의사결정을 위한 여러 가지 기준 및 선택해야 할 대안들로 구성된 계층구조를 통해 복잡한 문제에 대한 최적의사결정을 모색할 수 있는 의사결정 지원 시스템이다. AHP평가는 각 기준(criterion)에 관련된 대안들(alternatives)의 기여도 관점에서의 각 기준들의 상대적 중요도에 관한 의사결정자의 판단에 기초한다. 이러한 판단은 의사결정자의 지식과 경험뿐 만 아니라 객관적인 자료에도 근거해야한다<sup>4-5)</sup>. 따라서 원자력 발전소의 시공 중 발생할 수 있는 위험성을 파악하기 위해 원자력 발전소 시공에 대한 지식과 경험을 갖춘 안전관련 전문가를 대상으로 AHP를 활용하고자 한다.

본 연구에서는 Fig. 1에서 나타낸 바와 같은 방법으로 연구를 진행하였고 각 세부내용에 대한 연구방법은 다음과 같다.

### 1) 원자력발전소 건설공사와 관련된 문헌 및 연구를

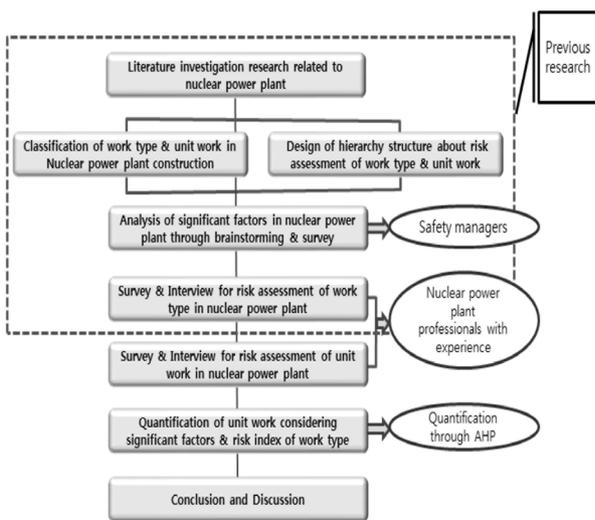


Fig. 1. Flow-chart of study

조사하고 국내 발전소 관련 건설공사의 수주현황을 파악하였다.

2) 선행연구<sup>6)</sup>에서 통해 국내 원자력발전소 건설공사 현장을 대상으로 대공종 및 단위공사를 분류하고, 단위공사의 위험지수 도출을 위한 계층적 설문구조를 도식화하였다. 또한 분류된 공종 및 단위공사를 토대로 원자력발전소 건설공사의 경력을 가진 전문가를 대상으로 브레인스토밍(brainstorming) 및 설문을 실시하여 공사 시작부터 완료까지 발생될 수 있는 사고 및 재해, 즉 위험성의 판단 요인 4가지를 도출하였고, 원자력발전소 건설공사의 6개 대공종에 대한 위험도를 분석하였다.

3) 선행연구<sup>6)</sup>에서 도출된 연구결과를 바탕으로 단위공사에 대한 위험도를 평가하였다. 이를 위하여 원자력발전소 건설공사의 21개의 단위공사에 대한 위험의 정도를 정량화하기 위한 설문을 안전관련 전문가를 대상으로 실시하였다.

4) 원자력발전소 건설공사 중 발생하는 위험성 판단 요인 4가지와 6개의 대공종별 위험지수를 고려하여 단위공사에 대한 위험지수를 산출하였다.

5) 항목별 도출된 결과를 바탕으로 한 결론 및 고찰을 제시하였다.

## 3. 연구결과

### 3.1 원자력발전소 건설공사 공종 및 단위공사분류

원자력발전소 건설공사는 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 토목, 건축, 기계, 배관, 전기 그리고 시운전으로 총 6개의 대공종으로 분류 된다<sup>7)</sup>.

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 15개의 세부공종, 배관공종은 2개의 단위공사 및 4개의 세부공종으로 구성되고 전기

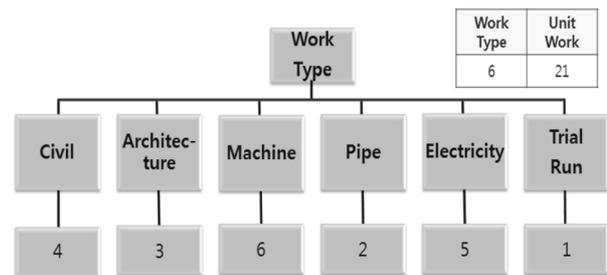


Fig. 2. Classification of work type in nuclear power plant construction work

Table 1. Classification of unit work

Work Type	Number	Unit Work
Civil	C1	base excavation work
	C2	concrete work
	C3	outdoor facilities work
	C4	chilled water system work
Architecture	A1	main building work
	A2	building finish stage work
	A3	painting work
Machine	M1	general machine instrument installation work
	M2	condenser installation work
	M3	turbo-generator installation work
	M4	air conditioning equipment installation work
	M5	reactor facilities installation work
	M6	field assembly tank installation work
Pipe	P1	pipe installation work
	P2	heat insulation work
Electricity	E1	electric equipment installation work
	E2	wire routing work
	E3	outdoor switching station equipment installation work
	E4	instrumentation facility installation work
	E5	communication and security equipment installation work
Trial run	S1	trial run support work

및 계측공종은 5개의 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 21개의 단위공사 그리고 94개의 세부공종으로 구성되어 있다.

### 3.2 위험도 정량화를 위한 계층구조 설계

원자력발전소 건설공사의 공종 및 단위공사의 위험도를 정량화하기 위해 Fig. 3과 같은 방법 및 순서로 계층구조를 설계하였다. 선행연구<sup>6)</sup>에서의 결과를 요약하면 다음과 같다.

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

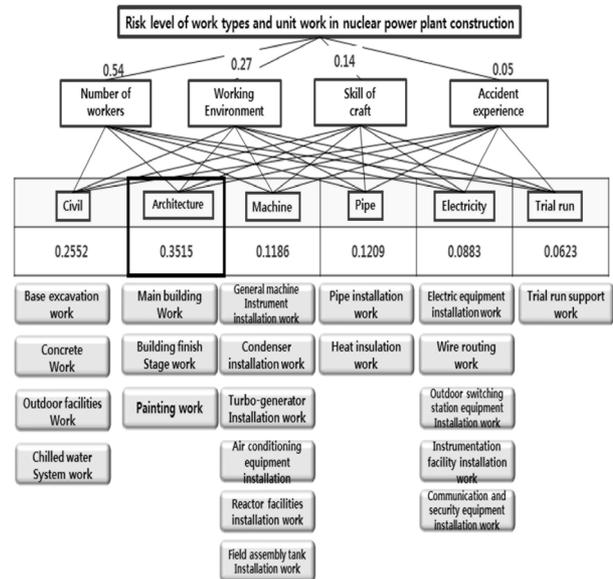


Fig. 3. Hierarchy structure for assessment of risk level

(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 시운전(0.08)의 위험도 순으로 나타났다. 마지막으로 ‘사고 경험 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. 따라서 본 연구에서는 선행연구결과에서 나타난 위험판단 요인에 대한 위험지수와 각 공종별 위험지수를 토대로, 각 공종에 포함된 단위공종에 대한 위험지수를 도출하고자 한다.

### 3.3 단위공사 위험도 쌍대 비교 및 일관성 평가

본 연구에서는 단위공사 위험도를 평가하기 위해 안전관련 경력을 가진 전문가를 대상으로 설문을 실시하였고, 설문대상인 안전관련 경력을 가진 전문가라 함은 원자력발전소 현장에서 근무하고 있거나, 과거 경력을 가진 공구장, 부서장, 안전관리자 및 현장소장을 말하며, 총 52명을 대상으로 설문을 실시하였고 그 결

Architecture Unit work			
	Main building work	Building finish stage work	Painting work
Main building work	1.00	9.00	9.00
Building finish stage work	0.11	1.00	2.00
Painting work	0.11	0.50	1.00
sum of column	1.22	10.50	12.00
Calculation of weight			
	0.82	0.75	0.81
	0.09	0.17	0.12
	0.09	0.08	0.07
Verification of consistency			
	1.00	9.00	0.81
	0.11	1.00	0.12
	0.11	0.50	0.07
Average value			
	3.13		
	3.02	=	3.05
	3.01		
Consistency Ratio : CR			
n	3	4	5
R.I	0.58	0.90	1.12
			1.24
			1.32
			1.14
			1.45
(Random Index)			
C.R	=	0.05	
※ Below the value of 0.1 is correct			

Fig. 4. Sample of risk assessment of experts for Architecture unit work using AHP

과는 AHP로 분석하였다. Fig. 4는 원자력발전소 건설공사의 공중 중에서 건축공중의 단위공사를 분석한 과정을 나타낸 것이다. Fig. 4를 살펴보면 건축공중은 본관건물신축공사, 건축마감공사, 도장공사 공사로서 3개의 단위공사로 분류되고 각 단위공사를 쌍대비교를 통해 그 위험지수를 도출하였다. 또한 일관성 비율이 0.05로 나타났다. Saaty<sup>4)</sup>에 의하면 AHP기법에서 신뢰도에 대한 지수를 제시하였는데 이것을 일관성비율(Consistency Ratio : CR)이라고 하며, 일관성이 완벽할 경우 일관성 비율은 0에 가까워지지만 일관성비율이 0.1 이상인 경우에는 그 판단을 다시 하거나 수정해야 한다. Fig. 4의 건축공중의 단위공사에 대한 위험도 평가에 응답한 설문자의 일관성비율이 0.05로 나타났으며, 이는 신뢰할 만한 수준임을 의미한다. Fig. 4에서 나타난 바와 같이 선행연구결과 및 본 연구결과에 활용된 설문지는 일관성비율이 0.1이하인 설문지만을 대상으로 분석을 하였다. 안전관련 전문가 52명을 대상으로 실시한 설문결과, 일관성 비율이 0.1이하인 설문지는 건축공중 32부, 토목공중은 30부, 기계공중 20부 그리고 전기공중은 22부인 것으로 분석되었다.

### 3.4 원자력발전소 단위공사 위험도 분석

원자력발전소 단위공사의 위험정도를 정량화하기 위해 설문을 실시하여 분석한 결과, Table 2와 같은 결과로 나타났다.

Table 2에서 나타난 바와 같이 각 공중에 포함된 단위공사에 대한 위험지수를 살펴보면, 건축공사의 단위공사에 포함된 본관건물신축공사가 0.71로 가장 높게

Table 2. Risk level of unit work in nuclear power plant construction

Work Type	Unit Work	Risk index	Final risk index	Rank
Civil	base excavation work	0.38	0.0969	2
	concrete work	0.12	0.0306	10
	outdoor facilities work	0.17	0.0434	7
	chilled water system work	0.34	0.0868	3
Architecture	main building work	0.71	0.2496	1
	building finish stage work	0.18	0.0633	5
	painting work	0.11	0.0387	8
Machine	general machine instrument installation work	0.25	0.0297	11
	condenser installation work	0.20	0.0237	14
	turbo-generator installation work	0.10	0.0119	19
	air conditioning equipment installation work	0.20	0.0237	14
	reactor facilities installation work	0.16	0.0189	16
	field assembly tank installation work	0.09	0.0107	21
Pipe	pipe installation work	0.70	0.0846	4
	heat insulation work	0.30	0.0363	9
Electricity	electric equipment installation work	0.28	0.0247	13
	wire routing work	0.29	0.0256	12
	outdoor switching station equipment installation work	0.13	0.0115	20
	instrumentation facility installation work	0.16	0.0141	17
	communication and security equipment installation work	0.15	0.0132	18
Trial run	trial run support work	0.0623	0.0623	6

나타났다. 다음으로 배관공사의 단위공사인 배관설치공사가 0.70으로 높게 나타났으며, 토목공사의 단위공사 중에서는 기초굴착공사와 냉각수계통 구조물 공사의 위험지수가 각각 0.38과 0.34로서 비교적 높게 나타났다.

시운전의 경우 단위공사가 한 개인 관계로 시운전공정의 위험지수가 단위공사의 위험지수를 의미한다.

Table 2의 risk index란 단위공중을 대상으로 쌍대비교를 실시하여 나타난 위험지수를 의미하며, final risk index란 계층별 위험지수(위험성 판단요인 및 공중별 위험지수)를 고려한 위험지수를 의미한다. final risk index 및 rank에서 나타난 단위공사 위험지수를 살펴보면, 건축공사의 단위공사 중 본관건물신축공사의 위험지수가 0.2496으로 나타났으며, 이는 총 21개의 단위공사 중에서 가장 위험한 단위공사라는 것을 의미한다. 다음으로 위험지수가 가장 높게 나타난 단위공사

는 토목공사에 포함된 기초굴착공사로서 위험지수가 0.0969이다. 대부분의 상위에 속하는 단위공사들은 토목공사와 건축공사에 포함되어 있으나, 배관공사의 단위공사인 배관 설치공사는 위험지수가 0.0846으로 나타나, 총 21개의 단위공사 중에 네 번째로 위험지수가 높게 분석되었다. 그 이유는 AHP 분석의 특성상 쌍대 비교 대상이 토목, 건축, 기계, 전기/계측 공사에 비해 2개(시운전은 1개) 밖에 되지 않기 때문에 상대적으로 위험지수가 높게 나타난 것으로 판단된다. 즉, 분석하고자 하는 대상 수에 따라 위험지수가 달라질 수 있음을 의미하는 것으로 단위공종이 2개인 배관공사 및 단위공종이 1개인 시운전과 같이 단위공종의 수가 적은 공종에 대해서는 final risk index 보다는 risk index를 타공종과 비교·분석하는 것이 보다 효율적일 것으로 판단된다.

### 5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 선행연구<sup>6)</sup>에서의 결과를 바탕으로 원자력발전소 건설공사의 단위공종별 위험지수를 산정하였다. 이를 위해 원자력발전소 건설공사 경력을 가진 안전전문가를 대상으로 설문을 실시하였고, 설문 내용 분석을 위해 AHP를 사용하였으며, 연구의 결과를 통해 나타난 결론은 다음과 같다.

1) 원자력발전소 건설공사의 경력을 가진 안전전문가들은 건설공사가 시작되어 완료되는 기간 동안 재해가 발생하는데 있어서 가장 많은 영향을 끼치는 요인으로 현장에서 일하는 ‘근로자의 수’라고 응답하였다. 이는 건설공사 중에서도 원자력발전소 건설공사의 특징 중 하나라고 할 수 있는 협소한 공간에서의 작업이 많고, 공종별 투입인원이 많기 때문인 것으로 사료된다. 추후 연구를 통해 ‘근로자의 수’가 많고 적음에 대한 정량적인 기준을 제시하는 것도 필요할 것으로 판단된다.

2) 선행연구<sup>6)</sup>의 결과로부터 원자력발전소 건설공사의 공종은 토목, 건축, 기계, 배관, 전기, 시운전으로 구분되며 각 공종별 위험도를 구하기 위한 설문을 실시하여 AHP를 이용하여 분석하였다. 그 결과 6개의 공종 중에서 건축공종의 위험도가 0.3515로 가장 높게 나타났다. 다음으로 토목공종의 위험도가 0.2552로 높게 나타났다(배관(0.1209), 기계(0.1186), 전기/계측(0.0883) 그리고 시운전(0.0623)의 순으로 나타났다.

3) 선행연구<sup>6)</sup>의 결과 중 4가지의 위험판단 기준과 6개의 공종을 고려한 단위공사의 위험지수를 설문하여

AHP로 설문하였다. 그 결과, 건축공사의 단위공사 중 본관건물신축공사의 위험지수가 0.2496으로 총 21개의 단위공사 중에서 가장 높은 위험지수를 나타내었다. 이는 21개의 단위공사가 가장 위험한 단위공사라는 것을 의미한다. 다음으로 위험지수가 가장 높게 나타난 단위공사는 토목공사에 포함된 기초굴착공사로서 위험지수가 0.0969이다.

건축공종의 단위공사 중 본관건물신축공사의 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 실정으로 인해 위험도가 높게 나타난 것으로 예상된다. 반면, 기계, 전기/계측 공종은 건축공종에 비해 장비 위주의 작업이 주를 이루고 소수 직종(용접, 마무리 작업 등), 유동 근로자의 수가 적은 등의 이유로 인해 위험도가 다소 낮게 분석된 것으로 판단된다.

4) 원자력발전소 건설공사의 공종 중에서 위험도가 높게 나타난 건축공종의 단위공사인 본관건물신축공사와 토목공종의 단위공사인 기초굴착공사의 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 요율을 적용하여 효율적인 투자를 하는 등 선택과 집중이 필요할 것으로 판단된다.

5) 본 연구에서는 원자력발전소 건설공사의 6개 공종 및 21개의 단위공사에 대한 위험도를 분석했으나, 향후 추가적인 연구를 통해 설문결과에 따른 위험도와 실제 발생하는 산업재해와의 상관관계 분석을 수행함으로써 재해예방을 위한 보다 정량적인 자료를 구축할 필요가 있을 것으로 사료된다.

### References

- 1) STATISTICS KOREA, E-national Indicator “http://www.index.go.kr/egams/index.jsp”.
- 2) Korea Institute of S&T Evaluation and Planning, “Trend of Plant Industry Technique and Policy”, pp. 3~5, 2010.03
- 3) Ministry of Knowledge & Economy, “The 5th Round of Electric Power Supply and Demand General Planning”, 2010.
- 4) T. L. Saaty, “The Analytic Hierarchy Process”, New York, McGraw-Hill, 1980.
- 5) T. L. Saaty, “Decision Making for Leaders”, RWS

- Publications. 1995.
- 6) J. B. Lee, J. K Lee and S. R. Chang, “A Study on the Risk Level of Work Types in Nuclear Power Plant Construction”, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 28, No. 3, pp. 95~99, 2013.
  - 7) KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD, “Main Equipment Construction Work a Contract Document”, 2006.