

초기 건설공사 리스크인자의 중요도 산정

Weight Evaluation of Risk Factors for Early Construction Stage

황 지 선* · 이 찬 식**

Hwang, Ji-Sun · Lee, Chan-Sik

요 약

이 논문은 건설공사 과정에서 불확실성과 위험성이 비교적 높은 토공사, 지정공사 및 기초공사에서 발생할 수 있는 리스크 인자의 중요도 산정에 관한 것이다. 이 연구는 리스크 식별·분석·대응으로 이루어지는 리스크관리 3단계 중 리스크 식별과 분석단계를 중심으로 연구를 진행하였다. 리스크 식별은 기존의 건설공사 작업분류체계를 참고하여 대상 공종을 공통·토공사·지정 및 기초공사로 구분하여 초기 건설공사의 리스크 분류체계를 제시하였다. 리스크 분석은 리스크분류체계를 바탕으로 퍼지이론에 기반하여 실시하였다. 리스크인자의 중요도는 AHP기법에 의한 상대적 중요도와 퍼지척도로부터 구한 리스크인자들 사이의 절대적 중요도를 고려하여 산정하였으며 리스크 인자의 최종적인 중요도는 Sugeno λ -퍼지척도를 사용하여 구하였다.

키워드 : 건설공사 리스크, 리스크분류체계(RBS), 리스크 인자의 중요도

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설공사는 대부분 장기간에 걸쳐 진행되기 때문에 공사수행 중 예상하지 못한 위험에 처할 가능성이 높다. 최근에는 그 특성이 점점 대형화·복잡화 되어감에 따라 건설공사의 위험(risk)은 더욱 증가하고 있으며, 건설공사의 위험을 통제하고 최소화하기 위한 방법으로 리스크 관리의 중요성이 강조되고 있다. 국내 건설업계의 경우 리스크 관리의 중요성은 인식하고 있으나 합리적으로 리스크를 관리할 수 있는 체계는 아직 갖추지 못하고 있다. 그 이유는 리스크를 체계적으로 관리하기 위한 방법이나 절차가 없기 때문이다.

지금까지 리스크 관리에 관한 연구는 리스크 식별 프로세스나 리스크 관리 프로세스에 집중되어 왔다. 그러한 연구들은 대부분 입찰단계에서 고려해야 할 리스크나 프로젝트 전반에 걸쳐 포괄

적인 범위에서 이루어진 것으로 건설공사와 직접 관련해서 발생 가능한 리스크를 관리하기 위한 연구는 부족한 실정이다.

이 논문은 토공사와 지정 및 기초 공사를 중심으로 한 초기 건설공사에 대하여 리스크를 식별하고, 퍼지이론과 AHP(analytic hierarchy process) 등의 방법을 이용하여 리스크 인자의 중요도를 산정함으로써 리스크 관리의 우선순위를 결정하기 위한 기초 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

리스크 관리의 일반적인 리스크 식별·분석·대응의 3가지 과정으로 이루어지는데, 이 논문에서는 리스크 식별과 분석을 중심으로 연구를 진행하였다. 이 연구는 건설공사의 초기 단계인 토공사와 지정 및 기초공사에 한정하고, 건축공사 및 시공사의 관점에서 진행하였다.

리스크 식별 체계는 건설회사의 기술표준, 관련 학회나 협회에서 사용하고 있는 공종별 작업절차서와 작업분류 체계 및 클레임 사례분석을 통하여 구성하였으며 관련 분야 전문가의 검토를 거쳐 신뢰도를 제고하였다.

* itm Corporation, 공학석사

** 인천대 건축공학과 교수, 공학박사

이 연구에서는 리스크 인자의 중요도를 산정하기 위하여 퍼지 척도(fuzzy measure)와 AHP기법을 이용하였다.

2. 예비적 고찰

2.1 리스크 관리

리스크란 공사 목적에 긍정적 또는 부정적으로 영향을 미치는 불확실한 사건이 발생할 가능성을 의미한다¹⁾. 이는 리스크에 대한 포괄적인 개념으로서 이익(profit)과 손실(loss)을 모두 포함하는 것이며, 이익의 개념에서 다룬 투기적 리스크(speculative risk)와 손실의 개념에서 다룬 순수 리스크(pure risk)로 구분할 수 있다. 건설공사에서 순수 리스크는 시공자의 재산의 손실이나 잠재적인 피해 가능성을 의미하는 것이다²⁾. 본 연구에서는 순수 리스크를 리스크로 정의하고 연구를 수행하였다.

리스크는 불확실성(uncertainty)과는 달리 예측이 가능하고, 완전히 제거될 수는 없지만 최소화되거나 다른 부분으로 전가될 수 있다. 리스크 관리는 리스크를 체계적으로 확인·평가하고 대응하기 위한 건설사업관리의 한 부분으로서 리스크 식별(risk identification), 리스크 분석(risk analysis), 리스크 대응(risk response)이라는 3단계 절차를 따라 이루어진다³⁾.

2.2 퍼지척도 이론

퍼지이론(fuzzy theory)은 인간의 모호한 표현을 처리할 수 있는 이론적인 바탕을 제공하는 것으로, 1965년 자데(Lofti A. Zadeh)에 의해 소개되었다. 퍼지이론 중에서 퍼지척도 이론은 불확실한 정보에 근거하여 믿음의 정도를 표현하고 이를 이용하여 문제를 해결하려는 것이다.(이광형, 1997)

X를 전체집합, P(X)를 전체집합 X의 멱집합(power set), A1, A2, ...를 P(X)의 부분집합이라고 할 때, 원소(a∈X)가 집합 A1, A2, ...에 속할 가능성은 주관적 판단에 의해 결정될 수 있고, 이 가능성의 모호한 상태는 퍼지 값으로 표현될 수 있다. 이와 같이 임의의 원소가 주어졌을 때 이 원소가 어느 집합에 속할 것인가 하는 믿음의 정도를 퍼지척도라고 한다⁴⁾.

퍼지척도 g는 P(X)→[0,1]과 같이 P(X)의 원소에 [0, 1]의 값을 부여하며 각 원소마다 정의된다.

퍼지척도 g는 다음과 같은 경계조건(boundary condition), 단

조성(monotonicity), 연속성(continuity)의 세 가지 조건을 만족하여야 한다.

- 경계조건 $g(\emptyset)=0, g(X)=1$
- 단조성 $A \subset B \Rightarrow g(A) \leq g(B), (\forall A, B \in P(X))$
- 연속성 $A_1 \subset A_2 \dots$ or $A_1 \supset A_2 \dots (A_i \in P(X))$,

$$\text{then } \lim_{i \rightarrow \infty} g(A_i) = g(\lim_{i \rightarrow \infty} A_i)$$

퍼지척도는 확률척도에서 가법성을 완화시킨 것으로 단조성 조건으로부터 다음과 같은 식이 성립한다.

$$g(A \cup B) \geq \text{Max}(g(A), g(B))$$

$$g(A \cap B) \geq \text{Min}(g(A), g(B))$$

그러나, 퍼지척도는 확률척도의 가법성을 만족하지 않으므로, 두 집합 A와 B의 합집합 A∪B(A∩B=∅)에 대한 퍼지척도 g(A∪B)를 단순히 g(A)+g(B)와 같이 각 척도의 합으로 구할 수는 없다. Sugeno는 개별 원소의 척도로부터 이들의 합집합의 척도를 일정한 법칙에 의하여 정하는 식(1)과 같은 λ-퍼지척도를 제안하였다⁵⁾.

$$g(A \cup B) = g(A) + g(B) + \lambda g(A)g(B); (\lambda > -1)$$

$$\forall A, B \in P(X), A \cap B = \emptyset \quad (1)$$

λ-퍼지척도에서 λ는 각 집합들간의 상호작용관계를 나타내는 것으로, 그 크기에 따라 다음과 같은 서로 다른 성질의 퍼지척도가 된다.

- λ > 0 이면 $g(A \cup B) > g(A) + g(B)$ (상승적)
- λ = 0 이면 $g(A \cup B) = g(A) + g(B)$ (가법적)
- λ < 0 이면 $g(A \cup B) < g(A) + g(B)$ (대체적)

상승적 관계는 개별 요소들이 서로 보강적임을 의미하고, 가법적 관계는 서로 독립적임을 의미하며, 대체적 관계는 서로 상쇄적임을 의미한다. λ-퍼지척도를 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 인 경우로 확장하면 식 (2)와 같고, 여기서 $\lambda(\lambda > -1, \lambda \neq 0)$ 값은 $g(X)=1$ 이라는 경계조건으로부터 구할 수 있다.

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{1}{\lambda} \left[\prod_{i=1}^n (1 + \lambda g(x_i)) - 1 \right] \quad (2)$$

1) PMI, Project Risk Management, PMBOK 2000 Edition, 2000.
 2) Witt, R. C., The Optimal Allocation of Insurance Related Risks and Costs in Construction Projects, CII, 1993.
 3) 김인호, 건설사업의 리스크 관리, 기문당, 2001, p. 43.
 4) W. Pedrycz, F. Gomide, An Introduction to Fuzzy Set : Analysis and Design, MIT Press, 1998

5) M. Sugeno, Theory of Fuzzy Integrals and Its Applications, Ph.D. Dissertation, Tokyo Institute of Tech., 1974

2.3 기존 연구 고찰

Baldwin(1971)과 Byrne(1972)은 기상여건, 지반조건, 노무비 등 건설사업의 추진 과정에서 검토·확인해야 하는 리스크 인자를 각각 16개 및 8개로 대분류하였다. Abrahamson(1973)은 리스크를 물리적, 자연, 기술자, 손상, 자원부족, 정부관여, 지불, 인플레이션 등으로 대분류하고 각기 세부인자를 제시하였다. Perry & Hayes(1985)은 건설 리스크를 물리적, 환경적, 설계, 조달, 재정, 법, 정치적 리스크로 대분류하고, 대분류 리스크별로 세부 리스크인자를 제시하고 있다. Wideman(1986)도 Perry & Hayes와 유사한 분류 체계를 제시했으며, 대분류 요인별로 세부인자를 제시하고 있다.

리스크인자의 중요도와 관련해서는 광중민(2000)이 “건설공사단계별 리스크 인자 중요도에 관한 현황분석”에서 설문조사를 통하여 건설공사의 전 단계별 리스크 인자의 중요도에 대하여 연구하였으며, 대분류수준의 인자에 대한 것이다. 김창학(2002)은 “대형건설공사 위험인자의 중요도판정을 위한 퍼지 평가모형 적용성 연구”에서 전문가의 언어적 판단을 정량화된 수치로 전환함으로써 전체 프로젝트의 리스크 수준과 각 리스크 인자의 순위를 결정하였다.

이러한 연구들은 건설사업관리에서 필요한 리스크 인자를 전 사업과정에서 광범위하게 도출하고 그 중요도도 사업의 전 과정에 초점을 맞추고 있다. 건설공사가 착수된 이후의 리스크 인자의 관리를 목적으로 한 리스크 식별이나 분류에 관한 연구는 제대로 이루어지지 않고 있는 것이다.

3. 리스크 식별

식별하지 못한 리스크는 분석도 대응도 할 수 없기 때문에 리스크 식별은 리스크를 관리하기 위한 첫 단계로서 매우 중요하다. 본 연구에서는 리스크를 식별하기 위하여 작업분류체계를 분석하는 방법을 선택하였다. 작업분류체계의 분석에 의한 방법은 작업을 공종 또는 공법별로 분류하고 분류한 작업에서 발생 가능한 리스크 인자를 도출해 내는 방법으로 이 연구가 추구하는 공종별 리스크 식별에 적합한 방법이다.

3.1 작업분류체계

초기 건설공사에는 토공사, 지정공사, 기초공사 이외에 가설공사가 포함될 수 있지만, 공사 과정의 리스크가 상대적으로 큰 토공사, 지정공사 및 기초공사를 연구의 대상으로 하였다.

해당 부분에 대한 건설교통부의 작업분류체계에 따르면 건축공종은 건축토공사와 지정공사로 구분하고, 건축토공사는 터파기 및 퇴 메우기와 흙막이 공사로, 지정공사는 모래·자갈·잡석지

정과 콘크리트 지정으로 구분하고 있다. 토목공종은 지반개량공사, 토공사, 말뚝공사로 분류하고 있는데, 말뚝공사의 경우 현장 타설 말뚝, 기성말뚝, 말뚝재하시험으로 구분하고 있다. 건설회사의 기술표준은 지반개량및 기초공사에 포함하는 경우가 많다.

이 논문에서는 전술한 자료조사 결과와 전문가들의 의견 및 작업의 연관성을 고려하여 지정공사를 말뚝 지정과 일반지정으로 분류하고 지반개량공사도 지정공사에 포함하였다. 토공사는 흙파기 공사, 흙막이 공사로 지정 및 기초공사는 지정공사와 기초공사로 분류하였다.

이와 같이 건설교통부의 통합건설정보분류체계와 건설회사의 기술표준 등을 검토·분석하여 리스크인자의 중요도를 산정하기 위한 초기 건설공사의 작업분류체계를 표 1과 같이 구성하였다.

표 1. 초기건설공사의 작업분류체계

대공종	중공종	소공종
토공사	흙파기공사	흙파기
		퇴메우기
	흙막이공사	잔토처리
		흙막이
지정 및 기초공사	지정공사	배수/차수
		일반지정/지반개량
	기초공사	말뚝지정
		기초

3.2. 리스크분류체계

초기 건설공사의 리스크분류체계(risk breakdown structure)를 작성하기 위하여 먼저 리스크를 규명하였다. 리스크 규명은 초기 건설공사에서 발생할 수 있는 모든 리스크에 대하여 실시하였다. 리스크 규명/식별은 건설회사의 기술표준, 건설관련 학·협회에서 사용하고 있는 공종별 작업절차서, 작업분류 등에 대한 문헌조사와 클레임 사례분석을 통하여 실시하고 관련 분야 전문가들의 검토를 거쳐 분류체계의 신뢰도를 제고하였다.

식별한 리스크는 공통 리스크와 공종별 리스크로 분류하였으며, 공종별 리스크는 전술한 작업분류체계에 기반하여 토공사 리스크, 지정 및 기초공사 리스크로 분류함으로써 초기 건설공사의 리스크분류체계를 정립하였다.

(1) 공통 리스크

모든 공종의 공사에서 중요하게 고려해야 하는 리스크를 공통 리스크로 분류하였다. 공기, 품질, 안전 등은 초기 건설공사에서도 중요한 요인으로 관리해야 하기 때문에 포함하였으며, 정치·환경적 측면, 재정·경제적 측면의 리스크나 불가항력 리스크도 규명되어야 한다. 토공사와 지정공사 및 기초공사의 리스크 인자로 함께 고려되어야 하는 것들은 설계도서 관련 리스크와 시공관련 리스크에 포함하였다.

공통 리스크는 규명한 리스크를 특성별로 구분하여 불가항력, 물자·인명관련 리스크, 재정·경제관련 리스크, 정치·환경관련 리스크, 설계도서 관련 리스크, 시공관련 리스크로 분류하였으며 그 결과는 표 2와 같다.

지반조사 불량, 흠파기 공사에는 토사붕괴, 사토, 부적합한 공법, 흠막이 공사에서는 물 처리 불량, 흠막이 벽의 변형/붕괴, 부적합한 재료/공법을 리스크 인자로 분류하였다. 이렇게 분류한 토공사의 리스크 분류체계는 표3과 같다

(2) 토공사

공종별 리스크분류는 표1에서 제시한 작업분류체계의 중공종을 기준으로 실시하였으나, 토공사의 경우 흠파기, 흠막이 공사에 공통적으로 적용되는 사전조사를 추가하여 3개의 공종으로 나누어 분류하였다. 사전조사에는 지장물, 현장여건 파악 미흡,

(3) 지정 및 기초공사

지정 및 기초공사의 경우 작업분류체계에 따라 지정공사와 기초공사로 나누고 지정공사는 다시 말뚝 지정과 일반지정, 공통사항으로 구분하였으며 분류한 리스크 인자는 표 4와 같다.

표 2. 공통 리스크 분류체계와 중요도

구분	상위 리스크인자			리스크인자				
	항목	상대적 중요도	절대적 중요도	보정한 중요도	항목	상대적 중요도	절대적 중요도	보정한 중요도
불가항력	자연재해	1.00	1.00	1.00	지진/태풍/홍수	0.71	0.75	0.84
					산사태	0.29	0.47	0.34
물자·인명관련 리스크	물리적 위험	0.36	0.42	0.33	구조물/자재/장비 등의 손상 또는 화재	0.67	0.61	0.69
					자재/장비 등의 도난	0.33	0.41	0.34
	인명관련 위험	0.64	0.50	0.59	작업자의 건강 악화	0.31	0.49	0.84
					낙하/추락/감전/화재/폭발	0.69	0.76	0.94
재정·경제관련 리스크	경제적 위험	0.33	0.52	0.35	인플레이션/디플레이션	0.35	0.59	0.64
					세율변동/세제변경	0.20	0.46	0.39
					환율변동	0.23	0.44	0.39
	보험의 부적절	0.22	0.33	0.38				
재정적 위험	0.67	0.55	0.71	발주자/하도급자의 채무 불이행	0.71	0.70	0.86	
				장비비/재료비/노무비 인상	0.29	0.58	0.35	
정치·환경관련 리스크	정치적 위험	0.38	0.35	0.57	전쟁/내란/테러	0.51	0.66	0.82
					여론/이권단체 등의 압력	0.21	0.50	0.42
					관련 법규의 변경	0.28	0.49	0.51
	환경적 위험	0.30	0.52	0.45	환경기준의 강화	0.36	0.51	1.00
					용지보상	0.26	0.58	0.78
민원발생	0.32	0.62	0.48	소음/진동/분진/비산	0.38	0.65	0.52	
				균열/침하	0.27	0.27	0.72	
				설계오류/누락	0.27	0.63	0.68	
				부적합한 설계기준	0.28	0.66	0.63	
설계도서관련 리스크	설계도면 관련 위험	0.53	0.65	0.62	도면과 시방서의 상이	0.22	0.53	0.56
					부적합한 재료 선정	0.23	0.51	0.58
					시방서 오류/누락	0.51	0.56	0.58
	시방서 관련 위험	0.47	0.52	0.55	부적합한 시방	0.49	0.62	0.56
					인/허가 지연	0.25	0.62	0.70
시공관련 리스크	사전계획 관련 위험	0.25	0.70	0.54	공사계획 미비 및 이행 불량	0.26	0.61	0.76
					공사용지 확보 지연	0.28	0.59	0.85
					물량산출누락	0.21	0.49	0.62
					절대공기 부족	0.66	0.65	0.78
	공기 관련 위험	0.16	0.48	0.35	기상 조건 및 지역적 조건 반영 미흡	0.34	0.57	0.40
					작업자의 미숙련 /생산성 저하	0.23	0.60	0.51
	품질·안전 관련 위험	0.23	0.45	0.50	관리감독의 소홀	0.20	0.50	0.44
					부적합한 시험 및 시험 미 실시	0.14	0.47	0.36
					부적합한 자재/장비의 사용	0.22	0.53	0.64
					계측관리 부적절	0.21	0.49	0.59
현장여건상이	0.36	0.60	0.78	설계도서와 현장여건의 상이	1.00	1.00	1.00	

표 3. 토공사 리스크 분류체계의 중요도

중공종	상위 리스크인자				리스크인자			
	항목	상대적 중요도	절대적 중요도	보정한 중요도	항목	상대적 중요도	절대적 중요도	보정한 중요도
사전 조사	지장물	0.32	0.40	0.55	지중매설물	0.75	0.71	0.71
	현장여건 파악 미흡	0.26	0.68	0.44	공작물	0.25	0.50	0.30
					인접구조물현황파악 미흡	0.33	0.66	0.68
					도로교통량파악 미흡	0.18	0.49	0.41
					기후/기상조건파악 미흡	0.20	0.41	0.35
	지반조사 불량	0.42	0.63	0.72	작업공간 부족	0.29	0.54	0.62
					지질/토층/지내력 조사 미흡	0.75	0.70	0.67
흙파기	토사붕괴	0.22	0.63	0.35	지하수위 및 피압수 조사 미흡	0.25	0.63	0.64
					휴식각 미확보	0.45	0.67	0.67
					비탈면 안정조치 미흡	0.23	0.62	0.59
	사토	0.28	0.35	0.45	심한 경우	0.32	0.57	0.59
	부적합한 공법	0.50	0.67	0.80	사토장 미확보/변경	1.00	1.00	1.00
흙막이	물처리 불량	0.34	0.55	0.59	지반조건에 부적합한 공법 선정	1.00	1.00	1.00
					부적합한 차수/배수 공법	0.75	0.66	0.47
	흙막이벽 변형/붕괴	0.46	0.73	0.80	부력대책 미흡	0.25	0.64	0.40
					과굴착/좌굴발생	0.18	0.70	0.69
					표면 과재하	0.12	0.52	0.49
					언더피닝 불량	0.14	0.52	0.42
					히빙/보일링/파이핑	0.14	0.62	0.73
					앵커불량	0.14	0.53	0.58
					수직정밀도 확보 불량	0.14	0.60	0.50
부적합한재료/공법	0.2	0.57	0.35	흙막이벽 배면 뒷채움 불량	0.14	0.51	0.46	
				지반조건에 부적합한 재료/공법 선정	1.00	1.00	1.00	

표 4. 지정 및 기초공사 리스크 분류체계와 중요도

중공종	상위 리스크인자				리스크인자				
	항목	상대적 중요도	절대적 중요도	보정한 중요도	항목	상대적 중요도	절대적 중요도	보정한 중요도	
지정	말뚝 지정	말뚝설치 불량	0.37	0.55	0.46	말뚝의 파손 (두부/중간부 파손, 종/횡 균열)	0.20	0.64	0.72
						말뚝 중심의 어긋남/이음불량	0.49	0.51	0.56
						말뚝 근입장 부족	0.31	0.66	0.52
	일반 지정	지내력 미확보	0.33	0.75	0.41	다짐 불량	1.00	1.00	1.00
	지정 사항	침하	0.11	0.67	0.14	연약지반 대책 미흡	1.00	1.00	1.00
공통 사항	부적합한 공법/재료	0.19	0.53	0.24	부적합한 재료/공법 선정	1.00	1.00	1.00	
기초	사전조사 불량	0.35	0.71	0.63	지질/토층/지내력 조사 미흡	1.00	1.00	1.00	
	부력 발생	0.18	0.70	0.32	지하수위변경	1.00	1.00	1.00	
	부적합한 공법	0.47	0.53	0.85	부적합한 공법 선정	1.00	1.00	1.00	

4. 리스크 인자의 중요도 산정

리스크인자의 중요도를 산정하는 것은 리스크 분석에서 매우 중요한 과정이다. 특히 주관적인 평가에서는 중요도를 수식으로 명확하게 산정하는 것이 거의 불가능하며 이때는 전문가의 경험이나 지식이 큰 역할을 한다. 중요도 산정을 위한 대표적인 방법은 척도표시법(rating method), 점수할당법(point allocation method), 중회귀분석법(multiple regression method), AHP 등이 있다.

연구에서는 주관적인 평가에 적합한 AHP를 이용하여 상대적 중요도를 산정하였다. 또한 주관적 의사결정 문제의 해결에 적합한 퍼지적분을 수행하기 위해서는 리스크인자의 절대적인 중요도가 요구되므로 퍼지척도 개념을 이용하여 리스크인자의 절대적 중요도를 구하였다. 퍼지척도는 개별 평가항목의 상위 평가항목에 대한 기여도로서 그 수치의 신뢰성이 다소 떨어진다. 이에 비하여 평가항목을 일대일 비교하여 구한 상대적 중요도는 그 수치의 신뢰성이 상대적으로 높다고 볼 수 있다(김영민, 2002). 따라서 본 연구에서는 이러한 상황을 고려하여 퍼지척도를 이용

하여 리스크인자가 상위 리스크인자에 기여하는 정도인 절대적 중요도를 구하여 AHP로부터 구한 리스크 인자의 상대적인 중요도에 반영함으로써 리스크인자의 중요도를 산정하였다. 이상의 과정을 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

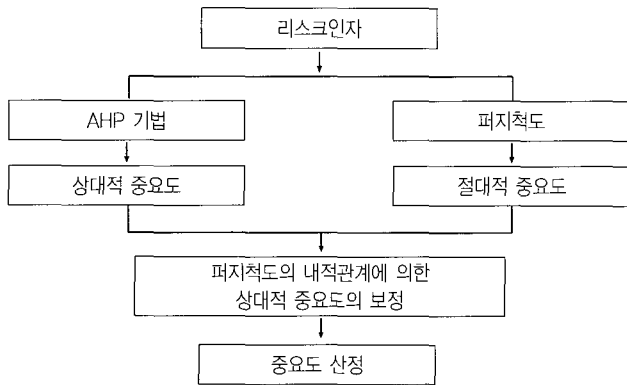


그림 1. 리스크인자의 중요도 산정 절차

이 연구에서는 리스크인자의 중요도를 산정하기 위하여 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 e-mail 및 면담조사를 통하여 시행하였으며, 설문지 30부를 배포하여 25부를 회수하였다(회수율 83%). 설문응답자의 건설공사 실무경력 평균 16.07년이었고 20년 이상의 경력자가 32%를 차지하였다. 설문지는 AHP를 이용한 상대적 중요도와 퍼지척도 개념을 이용한 절대적 중요도에 대하여 의견을 기입하도록 설계하였으며, 응답결과는 표2~표4에 나타내었다.

본 설문조사에서 응답의 분포를 조사하여 본 결과, 각 설문응답자의 대답과 최종 결과 값의 분포가 거의 비슷하다는 것을 알 수 있었다. 이는 여러 사람의 의견을 반영하는 경우 나타날 수 있는 각 개인의 능력의 차이로 인해 결과 값이 평균적인 값으로 제시되는 경향이 본 설문조사에서는 거의 나타나지 않았음을 보여 주는 것이다.

표 5. 상대적 중요도 산정을 위한 설문문항 예

구분	인접구조물현황 파악 미흡	도로교통량 파악 미흡	기후/기상조건 파악 미흡	작업공간 부족
인접 구조물현황 파악 미흡	1	4	5	3*주1)
도로교통량 파악 미흡	-	1	2	1/3*주2)
기후/기상조건 파악 미흡	-	-	1	1/3
작업공간 부족	-	-	-	1

※ 가로항목과 세로항목의 두 항목을 비교하여 중요도를 기입함.

※ '-' 표시가 있는 부분은 기입하지 않으셔도 됩니다.

주1) '작업공간 부족' 항목이 '인접구조물현황파악 미흡' 항목보다 약간 중요(중요도 척도가 3이므로) 하다.

주2) '작업공간 부족' 항목이 '도로교통량파악 미흡' 항목보다 약간 덜 중요(중요도 척도가 1/3이므로) 하다.

표 6. 절대적 중요도 산정을 위한 평가척도

평가척도	평가척도의 정의	평가척도의 의미	평가지수
6	절대적으로 중요하다	절대적인 영향을 미친다	0.90
5	극히 중요하다	극히 큰 영향을 미친다	0.75
4	매우 중요하다	매우 큰 영향을 미친다	0.60
3	중요하다	많은 영향을 미친다	0.45
2	약간 중요하다	약간의 영향을 미친다	0.30
1	중요하지 않다	미미한 영향을 미친다	0.15
0	전혀 중요하지 않다	전혀 영향을 미치지 않는다	0

표 7. 절대적 중요도 산정을 위한 설문 문항 예

구분	평가척도
지중 매설물 공작물	6 *주1)
	3

※ 평가척도 : 리스크인자가 상위 리스크인자에 미치는 영향

주1) '지중매설물'을 평가하는데 있어 '지중 매설물'의 평가치는 "절대적인 영향"(평가척도가 6이므로)을 미친다.

4.1 AHP기법에 의한 상대적 중요도

AHP는 복잡한 문제를 주관적 평가로 해결하고자 할 목적으로 1970년대 초 Thomas Saaty에 의해 개발된 기법으로서, 정성적·다기준 의사결정 문제의 해결에 유용한 계층적 의사결정 방법이다. AHP의 가장 큰 특징은 복잡한 문제를 계층화하여 주요 요인과 세부 요인들로 나누고 이러한 요인들에 대한 이원비교(reciprocal comparison)를 통하여 중요도를 결정하는데 있다. 상대적인 중요도는 리스크인자를 개별로 쌍 비교(pairwise comparison)함으로써 구할 수 있다.

표 5(토공사의 '사전조사' 중공종의 리스크인자)에서 보는 바와 같이, 리스크 인자를 개별로 서로 비교 하고 그 결과로 구한 행렬(matrix)로부터 최대고유치(eigenvalue)와 이에 대응하는 고유벡터(eigenvector)를 구하게 되는데 여기서 구한 고유벡터 값을 중요도로 취한다.

4.2 퍼지척도에 의한 절대적 중요도

AHP는 리스크인자 사이의 개별비교를 통한 상대적 중요도를 산정하는 기법이며 리스크인자의 절대적인 중요도를 나타내는 것은 아니다. 퍼지척분을 이용한 상위 리스크인자의 종합위험도를 산정하기 위해서는 각 리스크인자가 상위 리스크인자에 영향을 미치는 정도를 나타내는 절대적인 중요도가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 임의의 원소가 한 집합에 소속될 가능성을 나타내는 퍼지척도의 개념을 이용하여 절대적 중요도를 산정하였다. 퍼지척도 g 는 $g: g(x) \rightarrow (0,1]$ 과 같이 정의되며, 이 때의 퍼지척도는 2.2항에서 정의한 경계조건, 단조성, 연속성 조건을 만족하여야 한다. 퍼지척도 g 는 응용분야에 따라 다양한 의미를 지닐 수 있으며, 일반적인 의사결정 문제에서는 각 평가항목이 의사결정에 기여하는 정도 또는 중요도를 퍼지척도로 사용한다(Grabisch,

1995; Pham 1997).

주관적인 의사결정문제에서, 이러한 중요도를 객관적인 값으로 구하기는 매우 어려우며 일반적으로 전문가의 경험이나 믿음에 의존하여 산정한다. 예를 들어 전문가로 하여금 "A라는 리스크인자가 상위 리스크인자의 평가에 미치는 영향이 어느 정도인가?"라는 질문에 답하게 함으로써 리스크인자의 중요도를 구할 수 있다.

이 논문에서는 전문가를 대상으로 한 설문조사를 통하여 절대적인 중요도를 산정하였다. 절대적 중요도는 리스크인자가 상위 리스크인자에 미치는 영향을 고려하여 표 6과 같은 척도로 평가하도록 하였으며, 표 7은 토공사의 '사전조사' 중공종의 상위 리스크인자 '지장물'에 대한 리스크인자의 절대적 중요도를 산정하기 위한 설문조사 항목의 예이다.

4.3 리스크인자의 중요도 보정 예⁶⁾

중요도 보정은 퍼지척도로부터 평가항목들간의 상대적인 관계인 Redundancy(이하 '내적관계'라고 함)를 구하고, 이러한 내적관계를 AHP로부터 구한 평가항목의 상대적 중요도에 반영하여 구한다. 즉, 상대적 중요도를 절대적 중요도의 내적관계만큼 일정비율로 증감함으로써 보정된 중요도를 구할 수 있다.

평가항목 $X=(x_1, x_2, x_3, x_4)$ 의 AHP 기법 적용에 의한 상대적인 중요도 $\{w_i\}=(0.15, 0.15, 0.45, 0.25)$ 이고, 퍼지척도에 의한 절대적인 중요도는 $\{w_i\}=(0.1, 0.1, 0.4, 0.2)$ 라고 하자.

Sugeno의 λ -퍼지척도에서 $g(X)=1$ 이라는 경계조건으로부터 변수 s 를 구한다. 여기서 λ 는 평가항목간의 관계를 나타내는 지표로 쓰인다. $\lambda>0$ 인 경우에는 상승적(super-additivity)인 관계를, $\lambda=0$ 인 경우에는 가법적(additivity)인 관계를 그리고 $\lambda<0$ 인 경우에는 대체적(sub-additivity)인 관계를 나타낸다. 상승적인 관계에서는 평가항목들이 서로를 보강하여 주며, 가법적인 관계에서는 평가항목들이 서로 독립적이며, 대체적인 관계에서는 평가항목들이 서로 경쟁적인 상태에 있음을 나타낸다.

Sugeno λ -퍼지척도에서 경계조건을 적용하면 다음 식(3)과 같은 다항 방정식이 구해진다.

$$1+\lambda = \prod_{i=1}^n (1+\lambda g_i) \tag{3}$$

우선 퍼지척도에 의한 절대적인 중요도 $\{w_i\}=(0.1, 0.1, 0.4, 0.2)$ 에 대하여 방정식을 만들면 다음 식 (4)와 같다.

$$(1+\lambda g_{a1})(1+\lambda g_{a2})(1+\lambda g_{a3})(1+\lambda g_{a4})-1-\lambda=0 \tag{4}$$

즉,

$$(1+0.1\lambda)(1+0.1\lambda)(1+0.4\lambda)(1+0.2\lambda)-1-\lambda=0 \tag{5}$$

위의 방정식을 λ 에 대해 풀면 $\lambda=0.870$ 이 된다. λ 는 퍼지척도에 따른 평가항목들 간의 Redundancy(내적관계)로 $\lambda>0$ 이므로 이 평가항목들은 상승적 관계임을 나타낸다.

평가항목의 중요도 $\{w_i\}$ 는 AHP에 의한 상대적인 중요도 $\{w_i\}$ 에 일정한 상수 c 를 곱하여 $c \times \{w_i\}$ 과 같이 나타낼 수 있다. 즉

$$\{w_i\}=c \times \{w_i\}=c \times \{0.15, 0.15, 0.45, 0.25\} \tag{6}$$

여기서 c 는 퍼지척도 상수이고, 이 값은 $\{w_i\}$ 를 Sugeno λ -퍼지척도의 경계조건을 적용하여 구할 수 있다.

이를 식으로 나타내면 다음 식 (7)과 같다.

$$(1+\lambda g_{a1})(1+\lambda g_{a2})(1+\lambda g_{a3})(1+\lambda g_{a4})-1-\lambda = (1+\lambda \times 0.15c)(1+\lambda \times 0.15c)(1+\lambda \times 0.45c)(1+\lambda \times 0.25c)-1-\lambda=0 \tag{7}$$

위의 방정식에 $\lambda=0.870$ 을 대입하여 C 에 대하여 풀면 $C=0.792$ 가 된다. 최종적으로 평가항목의 중요도를 구하면 $\{W_i\}=\{0.119, 0.119, 0.356, 0.198\}$ 이 된다.

상기와 같은 방법으로 보정한 리스크 인자의 최종적인 중요도는 표2~표4와 같다.

5. 결 론

본 연구에서는 초기 건설공사의 범위를 토공사와 지정공사 및 기초공사로 한정하여 작업분류체계를 제안하였으며, 이를 바탕으로 리스크를 규명하여 리스크분류체계를 제시하였다. 리스크 분류체계는 공통 리스크와 공종별 리스크로 나누어 작성하였다. 공통 리스크로서 정치·환경적, 재정·경제적 측면 등 건설공사의 일반적 리스크 중 초기 건설공사에서 중요하게 다루어야 할 리스크를 특성별로 분류하였으며, 설계도서·시공관련 리스크로서 모든 공종에서 공통적으로 발생할 수 있는 시험, 계측, 안전 등에 관한 리스크를 포함하였다. 공종별 리스크는 작업분류체계에 기반하여 토공사와 지정 및 기초공사로 나누어 분류체계를 수립하였다. 토공사의 리스크는 흙파기·흙막이 등 직접적인 공사 리스크 외에 현장여건, 지반조건 등과 관련한 리스크를 사전조사 공종으로 분류하였으며, 지정 및 기초공사는 지정공사와 기초공사로 나누었다.

6) 중요도 보정 예제는 김영민(2002)이 제시한 내용을 인용함.

이 연구에서는 건설공사의 효율적인 리스크 관리를 위하여 퍼지이론을 이용한 리스크인자의 중요도를 산정하는 방법을 제시하였다. 리스크인자의 중요도는 퍼지척도 개념을 이용한 절대적 중요도와 AHP 기법을 이용한 상대적 중요도를 구하고, 이 두 값을 보정하여 구하였다. 리스크인자의 중요도를 산정하기 위하여 전문가를 대상으로 퍼지척도와 AHP에 대한 설문조사를 실시하였으며, 유효한 데이터를 이용하여 중요도를 산정함으로써 신뢰성을 높였다.

참고문헌

1. 건설교통부, 통합건설정보분류체계, 2001
2. 광중민, 박서영, 김창학, 강인석, 「건설공사 단계별 리스크인자 중요도에 관한 현황분석」, 대한토목학회학술발표대회 논문집, 2000
3. 권순학, 「퍼지척도 및 퍼지적분」, 한국 퍼지 및 지능시스템 학회 학술발표논문집, 6권 2호, 1996
4. 김영민, 「철근콘크리트 건축구조물의 퍼지기반 상태평가」, 서울대학교 공학박사학위논문, 2002
5. 김인호, 건설사업의 리스크 관리, 기문당, 2001, p. 43
6. 김창학, 강인석, 박서영, 「대형건설공사 위험인자의 중요도 판정을 위한 퍼지 평가모형 적용성 연구」, 대한토목학회 논문집, 2002. 9
7. 이광형, 오길록, 「퍼지이론 및 응용」, 홍릉과학출판사, 1991
8. 이찬식, 황지선, 「초기 건설공사의 리스크 분류체계에 관한 연구」, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 2003. 4
9. 이찬식, 황지선, 한현중, 신중현, 「Fuzzy 이론을 이용한 건설공사의 리스크 분석 방법」, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 2003. 10
10. 황지선, 「퍼지이론을 이용한 초기 건설공사의 리스크 관리 방법론」, 인천대학교 공학석사학위논문, 2003.12
11. Grabisch, M., 「Fuzzy Integral in Multicriteria Decision Making」, Fuzzy sets and Systems, 1995
12. Hong Zhang, C. M. Tam, Jonathan Jingsheng Shi, 「Application of Fuzzy Logic To Simulation for Construction Operations」, Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, 2003
13. Perry, J. G and Heyes, R. W., 「Risk and Its Management in Construction Projects」, Proc Instr. Civ. Engrs, Jun, 78, 1985
14. Pham, T. D., Yan, H., 「A Quisa-Linear Fuzzy Measure of Multi-Attributes」, Fuzzy Sets and System, 1997
15. PMI, Project Risk Management, PMBOK 2000 Edition, 2000.
16. W. Pedrycz., F. Gomide, 「An Introduction to Fuzzy Set : Analysis and Design」, MIT Press, 1998
17. M. Sugeno, Theory of Fuzzy Integrals and Its Applications, Ph.D. Dissertation, Tokyo Institute of Tech., 1974
18. Wideman, R. M., 「Risk Management」, Project Management Journal, 1986
19. Witt, R. C., The Optimal Allocation of Insurance Related Risks and Costs in Construction Projects, CII, 1993

Abstract

This study identifies various risk factors associated with activities of early construction stage, then establishes the Risk Breakdown Structure(RBS) by classifying the risks into the three groups; Common risks, risks for Earth works, and risks for Foundation works. The Common risks are identified and classified by considering various aspects of the early construction stage such as financial, political, constructional aspects, etc. The risks for Earth works and Foundation works are identified in detail by surveying technical specifications, relevant claim cases and interviewing with experts. These risks are classified based on the Work Breakdown Structure(WBS) of the early construction stage. The WBS presented in this study classifies the works of early construction stage into four categories; excavation, sheeting works, foundation works, footing works.

This study suggests a risk analysis method using fuzzy theory for construction projects. Construction risks are generally evaluated as vague linguistic value by subjective decision making. Fuzzy theory is a proper method to quantify vague conditions of construction activities. Therefore, this study utilizes fuzzy theory to analyse construction risks.

The weight of risks is estimated by reflecting the interrelationship among risk factors from absolute weights obtained by fuzzy measure into the relative weights by Analytical Hierarchy Process(AHP). The interrelationship is estimated by Sugeno - fuzzy measure.

Keywords : construction risk, risk breakdown structure, risk weight