

퍼지이론을 이용한 초기 건설공사의 리스크 관리 방법

A Risk Management Method Using Fuzzy Theory for Early Construction Stage

황 지 선* · 이 찬 식**

Hwang, Ji-Sun · Lee, Chan-Sik

요 약

본 논문은 초기 건설공사의 리스크 관리방법론을 제시한 것으로서, 리스크식별 및 분석을 중심으로 연구를 진행하였다. 리스크식별은 초기 건설공사를 공통공사·토공사·지정 및 기초공사로 구분하여 리스크를 규명하고 작업분류체계에 기반하여 리스크분류체계를 제안하였다. 리스크분석은 리스크분류체계를 바탕으로 퍼지추론을 이용하여 리스크인자의 위험도를 정량화하고 퍼지적분을 이용하여 리스크인자의 중요도를 산정하였으며, 이를 통합하여 상위 리스크인자의 종합위험도를 구하기 위해 퍼지적분을 이용하였다. 리스크인자의 관리 우선순위는 종합위험도로부터 결정할 수 있다. 본 연구에서 제시한 리스크 관리 방법론의 타당성을 확인하기 위하여 사례적용을 실시하였으며, 그 결과 제시한 방법론이 현장 및 공사의 특성을 반영하여 리스크인자의 관리 우선순위를 결정하는데 충분히 활용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

키워드 : 리스크 관리, 리스크분류체계, 퍼지적분, 리스크인자의 위험도

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설사업/공사는 기획·계획단계부터 설계, 계약, 공사 및 유지관리에 이르기까지 다른 유형의 사업에 비하여 훨씬 더 복잡하고 다양한 유형의 불확실성과 위험에 노출된다. 건설공사의 추진과정에서는 자연적인 재해와 물리적인 사고뿐만 아니라, 공사기간과 공사비에 나쁜 영향을 미치는 요소가 매우 다양하게 존재하고 그 영향 정도가 심각하다. 리스크관리 이론은 1964년 Herts¹⁾에 의하여 소개된 이래 투자분석, 신제품 개발, 금융 보험 관리 등의 분야에 활용되어 왔으나, 건설업에 적용되기 시작한 것은 20여 년 전에 불과하다.

우리나라 건설공사에서 리스크관리는 기술적인 시각에서 협의적·소극적으로 실시되는 안전관리 수준에 그치고 있을 뿐 적

극적인 관점에서 다양한 리스크 인자를 체계적으로 식별·분석하여 전략적으로 대응하기 위하여 필수적인 체계적인 접근에는 아직 이르지 못하고 있다²⁾. 건설리스크 관리에 관한 연구도 리스크 식별 과정이나 리스크관리 프로세스에 치중되어 왔다. 입찰 단계에서 고려해야 할 리스크에 관한 문제나 프로젝트 전반에 걸쳐 포괄적인 범위에서 주로 연구가 수행되었으며, 착공 이후 실제 건설공사와 관련하여 발생할 수 있는 리스크를 관리하기 위한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구는 토공사와 지정공사 및 기초 공사를 중심으로 한 초기 건설공사에 대하여 리스크 인자를 식별하고, 퍼지이론을 이용하여 리스크 인자의 위험도를 평가함으로써 리스크인자의 관리 우선순위를 결정하기 위한 체계적이고 합리적인 리스크 관리 방법을 제안하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

일반적으로 리스크 관리는 리스크 식별·분석·대응의 3단계

* 인천대 건축공학과 공학석사

** 인천대 건축공학과 교수, 공학박사

1) Herts, D. B., Risk Analysis in Capital Investment, Harvard Business Review, 1964, pp.95-106

2) 김인호, 건설사업의 리스크 관리, 기문당, 2001

로 이루어지는데, 본 논문에서는 리스크 식별과 분석을 중심으로 연구를 진행하였다. 본 연구는 건설공사의 여러 단계 중 불확실한 지반조건, 현장여건파악 미흡 등에 의해 다른 단계에 비해 불확실성이 매우 높은 건설공사의 초기 단계인 토공사와 지정공사 및 기초공사에 한정하고, 빌딩건설 등 건축공사와 시공자의 관점에서 연구를 진행하였다.

건설회사의 기술표준·공종별 작업절차서, 작업분류체계 및 리스크 인자에 관한 문헌조사와 건설공사 클레임 사례분석 등을 통하여 리스크 식별 체계를 정립하였으며 관련분야 전문가의 검토를 거쳐 신뢰도를 제고하였다.

본 연구에서는 정량적인 값으로 표현하기 어려운 리스크인자에 대한 확인³⁾ 정도를 퍼지개념에 의한 언어변수로 나타내고 퍼지추론을 통하여 정량화 하였다. 리스크인자의 위험도와 중요도를 종합하기 위해서 주관적 의사결정 분야에서 적용성이 뛰어난 Choquet 퍼지적분을 이용하였다. 퍼지척도와 AHP기법을 이용하여 중요도를 산정하는 과정은 황지선(2004)이 상세하게 제시하였으므로 이 논문에서는 그 내용을 요약하여 간략하게 서술하였다.

2. 예비적 고찰

2.1 리스크 관리

공사 목적에 긍정적 또는 부정적으로 영향을 미치는 불확실한 사건이 발생할 가능성을 일반적으로 리스크(risk)라고 한다⁴⁾.

리스크는 이익과 손실을 모두 의미하며, 이익의 개념에서 다른 투기적 리스크와 손실의 개념에서 다른 순수 리스크로 구분할 수 있다. 건설공사에서 순수 리스크는 시공자의 재산상의 손실이나 잠재적인 피해 가능성을 의미한다고 볼 수 있다⁵⁾.

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 건설 사업/공사 관리의 한 부분으로서 리스크 식별, 리스크 분석, 리스크 대응 등 3단계 과정으로 이루어진다⁶⁾.

2.2 퍼지이론 고찰

(1) 퍼지추론(Fuzzy Inference)

주어진 규칙과 사실의 모음으로부터 논리적으로 타당한 새로운 사실을 얻어내는 과정을 추론이라고 한다. Lofti A. Zadeh는 기존의 추론방법에 퍼지이론을 적용하여 이진논리로 처리할 수 없었던 추론을 자연스럽게 유도할 수 있는 퍼지추론을 제안하였다. 퍼지추론의 과정은 그림1과 같다. 사각형으로 표시한 내용들은 퍼지추론 과정이고, 타원으로 표시한 것은 각 과정의 입출력 정보이다⁷⁾.

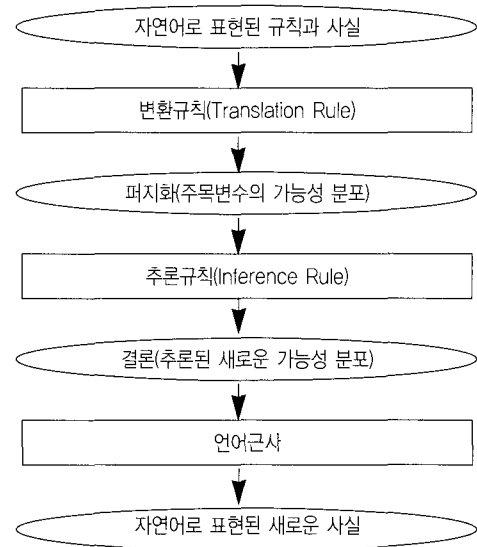


그림 1. 퍼지추론의 과정

(2) Choquet 퍼지적분

퍼지적분(fuzzy integral)은 어떤 대상을 평가할 때 각 평가항목의 평가치와 퍼지척도(fuzzy measure)로 나타낸 중요도를 종합하는 방법으로서 주관적인 의사결정 분야에서 유용하다. 이 연구에서는 리스크 인자의 위험도를 종합하기 위하여 퍼지적분을 이용하였다. 퍼지적분의 대표적인 방법에는 Sugeno 퍼지적분과 Choquet 퍼지적분이 있으며 이 연구에서는 주관적인 경향이 강한 리스크 인자의 위험도 산정 결과의 극단적인 영향을 완화시키고 어느 정도 객관성을 확보할 수 있는(김영민, 2002) Choquet 퍼지적분을 이용하였다.

집합 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 에 대하여 퍼지척도 $g : P(X) \rightarrow [0, 1]$ 가 정의되어 있고, X 를 정의구역으로 하고 구간 $[0, 1]$ 을 치역으로 하는 함수 $h : X \rightarrow [0, 1]$ 가 정의되어 있을 때, $h(x_1) \geq h(x_2) \geq \dots \geq h(x_n)$ 이면, X 에서의 함수 h 의 퍼지척도 g 에 대한 Choquet 퍼지적분은 식 (1)과 같이 정의된다(Pederycz, 1998).

3) 식별한 리스크의 위험을 최소화하기 위하여 리스크와 관련된 작업여건 등 제반사항을 점검하는 것을 말한다.

4) PMI, Project Risk Management, PMBOK 2000 Edition, 2000.

5) Witt, R. C., The Optimal Allocation of Insurance Related Risks and Costs in Construction Projects, CII, 1993.

6) 김인호, 건설사업의 리스크 관리, 기문당, 2001, p. 43.

7) 이광형 외, 퍼지 이론 및 응용, 홍릉과학출판사, 1997

$$\begin{aligned}
 & \int_x h(x) \cdot g(x) \\
 &= h(x_n)g(H_n) + [h(x_{n-1}) - h(x_n)]g(H_{n-1}) + \\
 & \quad \dots + [h(x_1) - h(x_2)]g(H_1), \\
 &= \sum_{i=1}^n [h(x_i) - h(x_{i+1})]g(H_i)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서, $h(x_{n+1})=0$, $H_i=\{x_1, x_2, \dots, x_i\}$

특히 퍼지척도 $g()$ 가 가법적일 때 Choquet 퍼지적분은 통상의 가중합이 된다. $h()$ 를 평가항목에 대한 평가치, $g()$ 를 평가항목이 전체평가에 기여하는 정도 즉 중요도라고 할 때 이들을 종합하는 유용한 방법으로 퍼지적분이 사용된다.

3. 리스크 식별 및 분류체계

리스크를 식별하는 과정은 건설공사의 리스크를 관리하기 위한 첫 단계로서 매우 중요하다. 리스크를 식별하기 위하여 황지선(2004. 2)이 제시한 다음과 같은 작업분류체계와 리스크분류 체계에 의거하여 연구를 수행하였다.

3.1 작업분류체계

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

해당 부분에 대한 건설교통부의 작업분류체계를 보면 건축공종은 건축토공사와 지정공사로 구분하고, 건축토공사는 터파기 및 되메우기와 흙막이 공사로, 지정공사는 모래·자갈·잡석지정과 콘크리트 지정으로 구분하고 있다. 토목공종은 지반개량공사, 토공사, 말뚝공사로 분류하고 있는데, 말뚝공사의 경우 현장타설 말뚝, 기상말뚝, 말뚝재하시험으로 구분하고 있다. 건설회사의 기술 표준은 지반개량공사를 건축 토공사와 토목공종에 모두 기술하고 있으며, 말뚝 지정은 지정 및 기초공사에 포함하는 경우가 많다.

본 논문에서는 전술한 자료조사 결과와 전문가의 의견 및 작업의 연관성을 고려하여 지정공사를 말뚝 지정과 일반지정으로 분류하고 지반개량공사도 지정공사에 포함하였다. 토공사는 흙파기 공사, 흙막이 공사로 지정 및 기초공사는 지정공사와 기초공사로 분류하여 작업분류체계를 표1과 같이 구성하였다.

표 1. 초기건설공사의 작업분류체계

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

표 2. 공통 리스크 분류체계와 중요도

| 구분 | 상위 리스크인자 | | 리스크인자 | |
|--------------|-------------|----------------|-----------------------|------|
| | 항목 | 중요도 | 항목 | 중요도 |
| 불가항력 | 자연재해 | 1.00 | 지진/태풍/홍수 | 0.84 |
| | | | 산사태 | 0.34 |
| 물자·인명 관련 리스크 | 물리적 위험 | 0.33 | 구조물/자재/장비 등의 손상 또는 화재 | 0.69 |
| | 인명관련위험 | 0.59 | 자재/장비 등의 도난 | 0.34 |
| 재정·경제관련 리스크 | 경제적 위험 | 0.35 | 작업자의 건강 악화 | 0.84 |
| | | | 낙하/추락/감전/화재/폭발 | 0.94 |
| | | | 인플레이션/디플레이션 | 0.64 |
| | 재정적 위험 | 0.71 | 세율변동/세제변경 | 0.39 |
| | | | 환율 변동 | 0.39 |
| | | | 보험의 부적절 | 0.38 |
| 정치·환경관련 리스크 | 정치적 위험 | 0.57 | 발주자/하도급자의 채무 불이행 | 0.86 |
| | | | 전쟁/내란/테러 | 0.82 |
| | 환경적 위험 | 0.45 | 장비비/재료비/노무비 인상 | 0.35 |
| | | | 여론/이권단체 등의 압력 | 0.42 |
| | 민원발생 | 0.48 | 관련 법규의 변경 | 0.51 |
| | | | 환경기준의 강화 | 1.00 |
| 설계도서 관련 리스크 | 설계도면 관련 위험 | 0.62 | 용지보상 | 0.78 |
| | | | 부적합한 설계기준 | 0.63 |
| | 시방서 관련 위험 | 0.55 | 도면과 시방서의 상이 | 0.56 |
| | | | 부적합한 재료 선정 | 0.58 |
| 시공 관련 리스크 | 사전계획 관련 위험 | 0.54 | 부적합한 시방 | 0.56 |
| | | | 인/허가 지연 | 0.70 |
| | | | 공사계획 미비 및 이행 불량 | 0.76 |
| | 공기관련 위험 | 0.35 | 공사용자 확보 지연 | 0.85 |
| | | | 물량산출 누락 | 0.62 |
| | | | 절대공기 부족 | 0.78 |
| | 품질·안전 관련 위험 | 0.50 | 기상 조건 및 지역적 조건 반영 미흡 | 0.40 |
| | | | 작업자의 미숙련 /생산성 저하 | 0.51 |
| | | | 관리감독의 소홀 | 0.44 |
| | | | 부적합한 시험 및 시험 미실시 | 0.36 |
| 현장여건 상이 | 0.78 | 부적합한 자재/장비의 사용 | 0.64 | |
| | | 계측관리 부적절 | 0.59 | |
| | | | 설계도서와 현장여건의 상이 | 1.00 |

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 전문가의 검토를 거쳐 분류체계의 신뢰도를 제고하였다.

식별한 리스크는 공통 리스크(표2)와 공종별 리스크로 분류하였으며, 공종별 리스크는 전술한 작업분류체계에 기반하여 토공사 리스크(표3), 지정 및 기초공사 리스크(표4)로 구분함으로써 초기 건설공사의 리스크분류체계를 정립하였으며, 각 리스크인자의 중요도 산정은 다음 4.2절에서 기술한다.

표 3. 토공사 리스크 분류체계와 중요도

| 중공종 | 상위 리스크인자 | | 리스크인자 | |
|-----------------|------------|------|----------------------|------|
| | 항 목 | 중요도 | 항 목 | 중요도 |
| 사전 조사 | 지장물 | 0.55 | 지중매설물 | 0.71 |
| | | | 공사물 | 0.30 |
| | 현장여건 파악 미흡 | 0.44 | 인접구조물 현황파악 미흡 | 0.68 |
| | | | 도로교통량 파악 미흡 | 0.41 |
| | | | 기후/기상조건 파악 미흡 | 0.35 |
| | 지반조사 불량 | 0.72 | 작업공간 부족 | 0.62 |
| 지질/토층/지내력 조사 미흡 | | | 0.67 | |
| 흙파기 | 토사붕괴 | 0.35 | 지하수위 및 피압수 조사 미흡 | 0.64 |
| | | | 휴식각 미확보 | 0.67 |
| | | | 비탈면 안정조치 미흡 | 0.59 |
| | 사토 | 0.45 | 심한 경우 | 0.59 |
| | | | 사토장 미확보/변경 | 1.00 |
| | 부적합한 공법 | 0.80 | 지반조건에 부적합한 공법 선정 | 1.00 |
| 흙막이 | 물처리 불량 | 0.59 | 부적합한 차수/배수 공법 | 0.47 |
| | | | 부력대책 미흡 | 0.40 |
| | 흙막이벽 변형/붕괴 | 0.80 | 과굴착/좌굴 발생 | 0.69 |
| | | | 표면 과재하 | 0.49 |
| | | | 언더피닝 불량 | 0.42 |
| | | | 히빙/보일링/파이핑 | 0.73 |
| | | | 앵커 불량 | 0.58 |
| | | | 수직정밀도 확보 불량 | 0.50 |
| | 부적합한 재료/공법 | 0.35 | 흙막이벽 배면 뒷채움 불량 | 0.46 |
| | | | 지반조건에 부적합한 재료 /공법 선정 | 1.00 |

표 4. 지정 및 기초공사 리스크 분류체계와 중요도

| 중공종 | 상위 리스크인자 | | 리스크인자 | | |
|-------|------------|---------|-----------------|----------------------------|------|
| | 항 목 | 중요도 | 항 목 | 중요도 | |
| 지정 | 말뚝 지정 | 말뚝설치 불량 | 0.46 | 말뚝의 파손 (두부/중간부 파손, 종/횡 균열) | 0.72 |
| | | | | 말뚝 중심의 어긋남/이음불량 | 0.56 |
| | | | | 말뚝 근입장 부족 | 0.52 |
| | 일반 지정 | 지내력 미확보 | 0.41 | 다짐 불량 | 1.00 |
| | | | | 침하 | 0.14 |
| 공통 사항 | 부적합한 공법/재료 | 0.24 | 연약지반 대책 미흡 | 1.00 | |
| | | | 부적합한 재료 /공법 선정 | 1.00 | |
| 기초 | 사전조사 불량 | 0.63 | 지질/토층/지내력 조사 미흡 | 1.00 | |
| | 부력 발생 | 0.32 | 지하수위변경 | 1.00 | |
| | 부적합한 공법 | 0.85 | 부적합한 공법 선정 | 1.00 | |

4. 리스크 분석

퍼지이론을 이용한 리스크 분석은 그림 2와 같은 절차로 수행하였다.

4.1 리스크인자의 위험도 산정

개별 리스크인자의 위험도는 보통 모호한 언어적 표현에 의해 평가하게 되므로 이를 정량화하기 위해서 퍼지추론을 사용한다. 리스크인자에 대한 확인정도를 나타내는 언어변수(linguistic variable)는 「전혀 확인하지 않았다(VP: very poor)」, 「확인하지

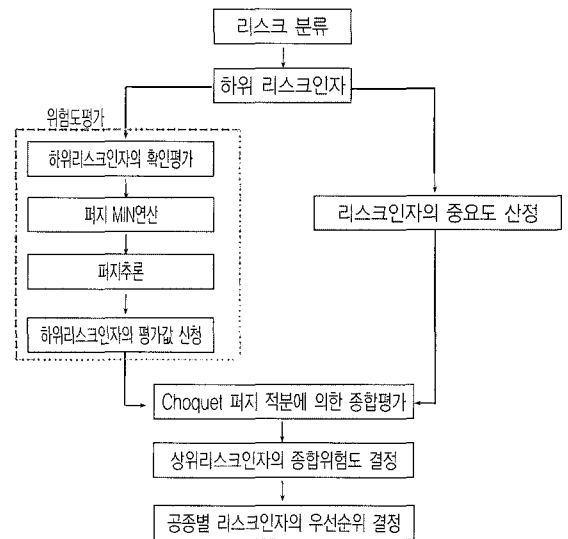


그림 2. 퍼지이론을 이용한 리스크 분석절차

않았다(P: poor)」、「보통이다(M: medium)」、「확인했다(G: good)」、「모두 확인했다(VG: very good)」로 표현하고, 이들 언어변수를 대표하는 값을 각각 0.1, 0.4, 0.6, 0.8, 0.9로 정의한다(그림 3(a)). 확인의 정도가 낮거나 확인하지 않은 경우 그 위험도를 크게 평가하는 것이 리스크 관리의 목적에 적합하기 때문이다. 즉, 이 퍼지집합에서는 리스크 인자에 대한 확인정도가 낮을수록 위험도가 높다고 평가한다.

또한, 리스크인자의 위험도를 나타내는 언어변수는 「매우 미약」「미약」「보통」「심각」「매우 심각」으로 표현하고 이들 언어변수를 대표하는 수치를 각각 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9로 정의한다(그림 3(b))

리스크인자의 확인정도에 대한 평가 값은 그림 3(a)의 삼각 퍼지집합을 통하여 언어변수에 속할 정도(소속정도)를 구하고, 퍼지추론 if-then 규칙과 그림 3(b)를 이용한 추론을 통하여 위험도 분포를 구한 후, 비퍼지화(defuzzification) 과정을 거쳐 위험도를 산정한다. 이 때 비퍼지화 기법은 무게중심법(center of area method)을 사용한다. 무게중심법에 의한 비퍼지화 방법은 식(2)와 같으며, 이를 그림으로 나타내면 그림 3(c)와 같다. 여기서 x_0 는 비퍼지화된 값이며, $\mu_S(x)$ 는 변수 x 가 집합 S 에 소속된 정도를 나타낸다.

$$x_0 = \frac{\sum_{i=0}^n \mu_S(x_i) \cdot x_i}{\sum_{i=0}^n \mu_S(x_i)} \quad (2)$$

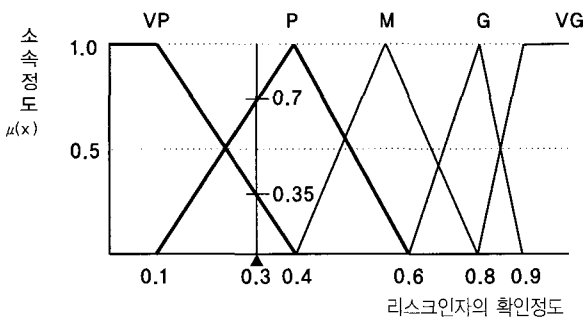
그림 3의 굵은 선으로 표시한 부분은 리스크인자에 대한 확인 정도가 0.3일 때, 위험도를 구하는 과정을 나타낸 것이다. 이 때의 퍼지추론을 위한 if-then 규칙은 다음과 같다.

| | | | | | |
|----|----|----|-----|------|-------|
| 규칙 | 1. | if | VP, | then | 매우 심각 |
| | 2. | if | P, | then | 심각 |
| | 3. | if | M, | then | 중간 |
| | 4. | if | G, | then | 미약 |
| | 5. | if | VG, | then | 매우 미약 |

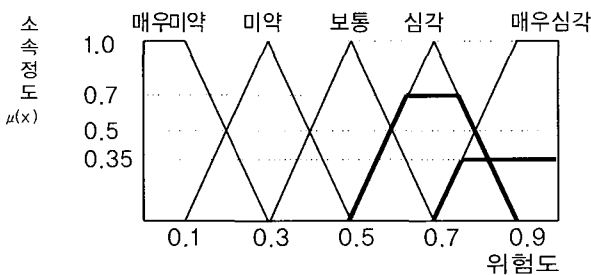
만일, 2명 이상의 전문가에 의해 리스크인자의 확인정도가 평가된다면, 각 전문가의 평가값의 평균은 MIN연산을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

리스크 인자의 확인 평가
 = min(전문가 A의 평가 값, 전문가 B의 평가 값, ...)
 = 전문가 A의 평가값 \wedge 전문가 B의 평가값 \wedge ...

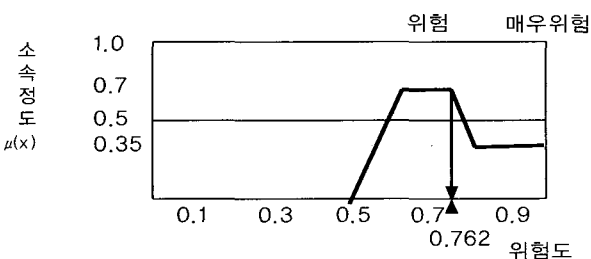
이와 같은 논리는 전문가의 평가 값 중 최소 값을 선택함으로써 각 리스크의 위험을 최대한 반영하여 전체 위험도를 평가하기 위한 것이다.



(a) 리스크인자 확인정도에 따른 언어변수의 소속함수



(b) 퍼지추론 if-then 규칙에 따른 하위 리스크인자의 위험도 분포



(c) 무게중심법에 의한 비퍼지화

그림 3. 언어변수의 소속함수 정의 및 리스크인자 확인정도가 0.3일 때 위험도 계산 예

4.2 리스크인자의 중요도 산정

모호한 상황에서 의사결정을 하기 위해 퍼지적분을 사용하기 위해서는 리스크 인자 즉, 평가항목의 절대적인 중요도가 필요하다. 퍼지적도는 개별 평가항목의 상위 평가항목에 대한 기여도로서 그 수치의 신뢰성이 높지 않다. 이에 비해 평가항목들을 일대일 비교해서 구한 상대적 중요도는 그 신뢰성이 비교적 높다고 볼 수 있다⁸⁾. 이 연구에서는 이러한 여건을 고려하여 AHP를 이용한 상대적 중요도에 퍼지적도로부터 구한 평가항목들간의 상대적인 관계인 Redundancy를 반영하여 최종적인 중요도를 구하였다⁹⁾. (표 2~표4 참조)

본 연구에서는 리스크인자의 중요도를 산정하기 위하여 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 e-mail 및 면담조사방법으로 시행하였으며, 30부를 배포하여 25부를 회수하였다(회수율 83%). 설문응답자의 경력연수는 평균 16.07년으로, 이 중에서 20년 이상의 경력자가 32%를 차지하였다.

4.3 상위 리스크인자의 종합위험도 산정

리스크인자의 위험도와 리스크인자의 중요도를 함께 고려하여 상위 리스크인자의 종합위험도를 산정할 수 있다. 이 때, 두 개의 값을 종합하기 위해서 2.2절의 식(1)을 이용한 Choquet 퍼지적분을 사용하였다. 만일, 하위 리스크인자의 중요도가 $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ 로 주어진다면, 이들 평가항목들을 동시에 고려했을 때의 중요도를 λ -퍼지적도를 이용하여 다음과 같은 방법으로 구한다.

$$g(\{x_1, x_2\}) = g(\{x_1\}) + g(\{x_2\}) + \lambda g(\{x_1\})g(\{x_2\}) \quad (3)$$

5. 사례적용

본 논문에서 제시한 리스크 관리 방법론의 타당성 및 적용성을 확인하기 위하여 사례적용을 실시하였다.

초기 건설공사의 리스크 관리를 위하여 대상 현장에서 근무하는 기술자에게 리스크인자에 대한 확인정도를 평가해 줄 것을 의뢰하였다. 전문가는 리스크분류체계(표2~표4)를 바탕으로 리스크인자의 확인정도에 대하여 언어변수와 평가지수로 평가하였다.

전문가의 평가결과를 기반으로 4.1절에서 제시한 퍼지추론을 통하여 위험도를 산정하였으며, 토공사 리스크 중 '사전조사' 중 공중 항목에 대한 전문가의 평가결과와 위험도는 표 5와 같다.

8) 김영민, 철근콘크리트 건축구조물의 퍼지기반 상태평가, 서울대학교 박사학위논문, 2002
 9) 황지선(2004.4 한국건설관리학회논문집)이 제시한 연구결과 인용

표 5 토공사 리스크에 대한 평가와 위험도 산정 예

| 중공종 | 상위 리스크인자 | 리스크인자 | 평가 결과 | 평가 지수 | 위험도 |
|-------|------------|------------------|-------|-------|-------|
| 사전 조사 | 지장물 | 지중 매설물 | M | 0.7 | 0.404 |
| | | 공작물 | VG | 0.9 | 0.196 |
| | 현장여건 파악 미흡 | 인접구조물현황파악 미흡 | VG | 0.9 | 0.196 |
| | | 도로교통량파악 미흡 | G | 0.8 | 0.300 |
| | | 기후/기상조건파악 미흡 | G | 0.7 | 0.404 |
| | | 작업공간 부족 | G | 0.7 | 0.404 |
| | 지반조사 불량 | 지질/토층/지내력조사 미흡 | M | 0.6 | 0.574 |
| | | 지하수위 및 피압수 조사 미흡 | M | 0.6 | 0.574 |

공중별 리스크 인자의 위험도와 중요도를 이용하여 상위 리스크인자의 종합위험도를 산정하기 위하여 퍼지적분을 실시하였다.

다음은 '사전조사' 항목의 상위 리스크인자 중 '현장여건파악 미흡'에 대한 종합위험도 산정 과정을 나타낸 것이다. 상위 리스크인자 '현장여건파악 미흡'을 집합 A라고 하고, 집합 A의 원소 {x1, x2, x3, x4}를 각각 (인접구조물현황파악 미흡, 도로교통량파악 미흡, 기후/기상조건파악 미흡, 작업공간 부족)이라 하면, 퍼지추론을 통하여 산정한 각 리스크인자의 위험도(표5 참조)는 {0.196, 0.300, 0.404, 0.404}이고, 중요도(표3 참조)는 {0.68, 0.41, 0.35, 0.62}이다.

Choquet 퍼지적분 방법으로 상위 리스크인자의 종합 위험도를 산정하기 위하여 각 리스크인자의 개별적인 중요도로부터 이들 리스크인자를 동시에 고려했을 때의 중요도를 Sugeno λ-퍼지척도(식6)를 이용하여 구하면 표 6과 같다. 이 예제에서 λ값을 구하면 -0.937이 된다.(계산근거 및 과정은 황지선(2004. 2) 참조)

표 6. 리스크인자를 동시에 고려했을 때의 중요도

| Set | 중요도 | Set | 중요도 |
|----------|-------|------------------|-------|
| ∅ | 0 | {x2, x3} | 0.626 |
| {x1} | 0.680 | {x2, x4} | 0.792 |
| {x2} | 0.410 | {x3, x4} | 0.767 |
| {x3} | 0.350 | {x1, x2, x3} | 0.907 |
| {x4} | 0.620 | {x1, x2, x4} | 0.967 |
| {x1, x2} | 0.829 | {x1, x3, x4} | 0.959 |
| {x1, x3} | 0.807 | {x2, x3, x4} | 0.883 |
| {x1, x4} | 0.905 | {x1, x2, x3, x4} | 1 |

상위 리스크인자 A에 대하여 각 리스크인자의 위험도 h0를 λ-퍼지척도로 나타낸 중요도 g()에 대하여 Choquet 퍼지적분을 실시하면 다음 식(4)와 같다.

$$\int_A h(x) \circ g(\cdot) = h(x_1)g(\{x_1, x_2, x_3, x_4\}) + [h(x_2) - h(x_1)]g(\{x_2, x_3, x_4\}) + [h(x_4) - h(x_2)]g(\{x_3, x_4\}) + [h(x_3) - h(x_4)]g(\{x_4\}) = 0.404 \times 1 + (0.404 - 0.404) \times 0.883 + (0.404 - 0.3) \times 0.767 + (0.3 - 0.196) \times 0.35 = 0.404 + 0 + 0.079 + 0.036 = 0.519$$

동일한 방법으로 현장여건 파악 미흡의 상위 항목인 '사전조사' 공종의 종합위험도도 구할 수 있다. 지장물, 현장여건 파악 미흡, 지반조사 불량 위험도는 각각 {0.343, 0.519, 0.574} 이고(표8 참조), 중요도가 {0.55, 0.44, 0.72}이므로(표3 참조), 식(5)와 같이 Choquet 퍼지적분을 이용하여 위험도를 구하면 0.536이 된다.

$$\int h(x) \circ g(\cdot) = h(x_1)g(\{x_1, x_2, x_3\}) + [h(x_2) - h(x_1)]g(\{x_2, x_3\}) + [h(x_3) - h(x_2)]g(\{x_3\}) = 0.343 \times 1 + (0.519 - 0.343) \times 0.879 + (0.574 - 0.519) \times 0.72 = 0.536$$

이상과 같이 Choquet 퍼지적분을 통하여 초기건설공사의 상위 리스크인자 및 중공종의 종합위험도를 산정하였으며 그 결과는 표7~표9와 같다. 각 공종에서 가장 우선적으로 고려되어야 할 리스크 인자는 굵은 글씨체로 표현하였다.

표 7. 공통 리스크인자의 종합위험도

| 구분 | | 상위 리스크인자 | |
|--------------|-------|------------|-------|
| 항목 | 위험도 | 항목 | 종합위험도 |
| 불가항력 | 0.619 | 자연재해 | 0.619 |
| 물자·인명 관련 리스크 | 0.441 | 물리적 위험 | 0.393 |
| | | 인명관련 위험 | 0.530 |
| 재정·경제 관련 리스크 | 0.561 | 경제적 위험 | 0.582 |
| | | 재정적 위험 | 0.550 |
| 정치·환경 관련 리스크 | 0.522 | 정치적 위험 | 0.557 |
| | | 환경적 위험 | 0.574 |
| | | 민원발생 | 0.350 |
| 설계도서 관련 리스크 | 0.347 | 설계도면관련 위험 | 0.366 |
| | | 시방서관련 위험 | 0.317 |
| 시공 관련 리스크 | 0.591 | 사전계획관련 위험 | 0.505 |
| | | 공기관관련 위험 | 0.300 |
| | | 품질·안전관련 위험 | 0.587 |
| | | 현장여건 상이 | 0.606 |

표 8. 토공사 리스크인자의 종합위험도

| 공종 | | 상위 리스크인자 | |
|------|-------|------------|-------|
| 중공종 | 위험도 | 항 목 | 종합위험도 |
| 사전조사 | 0.536 | 지장물 | 0.343 |
| | | 현장여건파악 미흡 | 0.519 |
| | | 지반조사 불량 | 0.574 |
| 흙파기 | 0.456 | 토사붕괴 | 0.578 |
| | | 사도 | 0.300 |
| | | 부적합한 공법 | 0.404 |
| 흙막이 | 0.458 | 물처리 불량 | 0.404 |
| | | 흙막이벽 변형/붕괴 | 0.472 |
| | | 부적합한 공법/재료 | 0.404 |

표 9. 지정 및 기초공사 리스크인자의 종합위험도

| 공종 | | 상위 리스크인자 | |
|-----|-------|------------|-------|
| 중공종 | 위험도 | 항 목 | 종합위험도 |
| 지정 | 0.349 | 말뚝설치 불량 | 0.358 |
| | | 지내력 미확보 | 0.300 |
| | | 침하 | 0.404 |
| | | 부적합한 공법/재료 | 0.404 |
| 기초 | 0.543 | 사전조사 불량 | 0.574 |
| | | 부력 발생 | 0.606 |
| | | 부적합한 공법 | 0.404 |

이 사례연구의 결과를 살펴보면, 공통 리스크의 경우에는 설계도서 관련 리스크와 시공관련 리스크와 같이 시공자가 직접 검토·확인할 수 있는 사항에 비하여 불가항력과 같이 시공자의 통제 범위를 벗어난 리스크의 위험도가 더 높은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 상위 리스크인자의 위험도에서도 나타나는데 시공관련 리스크의 경우 '현장여건 상이'의 위험도가 가장 높다는 것에서 짐작할 수 있다.

토공사의 경우 중공종은 '사전조사'가 위험도가 가장 높게 나타났다. 이 중 지반조사 불량이 가장 위험도가 높았다. 이러한 결과는 새로운 택지조성단지인 현장의 특성을 잘 반영한 것으로서 지장물이나 현장여건파악 미흡 보다는 지반조사에 대한 자료가 다소 부족했음을 보여준다. 그 외에 흙파기 공종에서는 토사붕괴가, 흙막이 공종에서는 흙막이벽 변형/붕괴가 가장 위험도가 높은 것으로 나타났다.

지정 및 기초공사의 경우에는 지정공사 보다는 기초공사의 위험도가 더 높았으며, 그 중에서도 '부력발생'이 가장 높은 위험도를 보여주고 있다. 이것은 부력발생에 대한 시공자의 사전조사 또는 준비가 부족했음을 보여주는 것으로서 기초공사 수행시에 가장 우선적으로 관리해야 할 리스크 인자라는 것을 알 수 있다.

본 사례연구는 특정 현장을 대상으로 하여 본 논문에서 제시한 리스크관리 방법을 적용한 결과로서, 시공자가 일상적 언어로 표현한 리스크인자에 대한 확인정도를 정량화하여 위험도를 산정한 것이다. 사례연구결과 본 논문에서 제시한 리스크관리 방법은 리스크인자의 위험도 및 관리 우선순위를 합리적으로 결정하는데 충분히 활용될 수 있음을 확인 할 수 있었다.

6. 결 론

이 연구에서는 건설공사의 효율적인 리스크 관리를 위하여 퍼지이론에 기반한 리스크 분석방법을 제안하였다. 리스크 분석은 리스크인자의 위험도와 중요도를 각각 평가하고 이를 종합하여 상위 리스크인자의 종합위험도를 산정함으로써 각 공종별 리스크 인자의 관리 우선순위를 결정하는 방법으로 진행되었다.

리스크인자의 위험도를 평가하기 위하여 정량적인 값으로 표현할 수 없는 리스크인자의 확인·점검정도를 퍼지개념을 이용하여 언어변수로 나타낸 후 이를 퍼지추론을 통하여 정량화하였다. 리스크인자의 중요도는 선행연구에서 제시한 값을 이용하였다. 리스크인자의 위험도와 중요도를 통합하여 리스크인자의 종합 위험도를 산정하기 위하여 주관적인 평가에서 적용성이 뛰어난 Choquet 퍼지적분을 이용하였다. 퍼지적분을 통하여 산정한 종합 위험도에 따라 공종별 리스크인자의 관리 우선순위를 제시하였다.

이 연구에서 제시한 리스크 관리 방법의 타당성을 검증하기 위하여 사례연구를 실시하였으며, 그 결과 제안한 방법은 리스크 인자의 위험도 및 관리 우선순위 결정에 충분히 활용될 수 있음을 알 수 있었다. 이 연구는 건설공사의 전 과정 중에서 초기 건설공사에 한정하고 건축물 공사를 대상으로 수행되었지만, 연구에서 제시한 방법은 다른 공사 과정에도 채용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 건축공사뿐만 아니라 토목공사나 기계설비공사, 전기통신공사 등이 포함된 건설 프로젝트에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

연구 결과의 활용성을 제고하고 건설사업의 리스크를 효율적으로 관리하기 위해서는 리스크분류체계를 공종별로 정형화하고 퍼지이론 적용 과정을 전산화할 필요가 있다.

참고문헌

1. 건설교통부, 통합건설정보분류체계, 2001
2. 권순학, 퍼지측도 및 퍼지적분, 한국 퍼지 및 지능시스템학회 학술발표논문집, 6권 2호, 1996
3. 김영민, 「철근콘크리트 건축구조물의 퍼지기반 상태평가」,

- 서울대학교 공학박사학위논문, 2002
4. 김인호, 건설사업의 리스크 관리, 기문당, 2001
 5. 김창학, 강인석, 박서영, 「대형건설공사 위험인자의 중요도 판정을 위한 퍼지 평가모형 적용성 연구」, 대한토목학회논문집, 2002. 9
 6. 이찬식, 황지선, 「초기 건설공사의 리스크 분류체계에 관한 연구」, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 2003. 4
 7. 이찬식, 황지선, 한현중, 신종현, 「Fuzzy 이론을 이용한 건설공사의 리스크 분석 방법」, 대한건축학회 추계학술발표대회논문집, 2003. 10
 8. 황지선, 퍼지이론을 이용한 초기 건설공사의 리스크 관리 방법론, 인천대학교 공학석사학위논문, 2003.12
 9. 황지선, 이찬식, 초기 건설공사 리스크 인자의 중요도 산정, 한국건설관리학회 논문집, 2004. 4
 10. Grabisch, M., 「Fuzzy Integral in Multicriteria Decision Making」, Fuzzy sets and Systems, 1995
 11. Herts, D. B., Risk Analysis in Capital Investment, Harvard Business Review, 1964, pp.95-106
 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. Pham, T. D., Yan, H., 「A Quisa-Linear Fuzzy Measure of Multi-Attributes」, Fuzzy Sets and System, 1997
 14. PMI, Project Risk Management, PMBOK 2000 Edition, 2000.
 15. W. Pedrycz., F. Gomide, 「An Introduction to Fuzzy Set : Analysis and Design」, MIT Press, 1998
 16. M. Sugeno, Theory of Fuzzy Integrals and Its Applications, Ph.D. Dissertation, Tokyo Institute of Tech., 1974
 17. Witt, R. C., The Optimal Allocation of Insurance Related Risks and Costs in Construction Projects, CII, 1993

Abstract

This study presents a risk management methodology using fuzzy theory for early construction stage and is focused on risk identification and risk analysis. 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 risk analysis method presented in this study is based on the RBS that has two levels such as upper level and lower level. The risk exposure of lower level risk factors is assessed by fuzzy inference. The weight of risks is estimated by fuzzy measure. Then, the estimated risk exposures and weights are aggregated to assess the risk exposure of upper level risks by Choquet fuzzy integral. The risk exposure of upper level risks determine the priority of risk factors in view of risk management. This study performs case study to validate the proposed method. The result of case study shows that the methodology suggested in this thesis would be utilized well in evaluating risk exposure.

Keywords : risk management, risk breakdown structure, fuzzy integral, risk exposure