

Fuzzy 이론을 活用한 建設프로젝트 리스크 分析 및 評價 시스템

FREES : Fuzzy Risk Evaluation Expert System

조 익 래* · 박 찬 식**

Cho, Ick-Rae · Park, Chan-Sik

요 약

본 연구는 건설 프로젝트의 초기 단계에서 미래에 발생할 수 있는 리스크를 리스크분할체계를 통하여 파악하고, 파악된 리스크를 효과적이고 체계적으로 분석 및 평가하여 프로젝트 초기단계에서 리스크를 분석하고 평가할 수 있는 절차와 계산들을 제시하였다. 그에 따라, 프로젝트 기획 및 입찰 전 단계에서 건설공사 이행과정에서 발생할 가능성이 있는 리스크를 분석 및 평가하기 위해 FREES(Fuzzy Risk Evaluation Expert System)을 제안하였으며 가상 시나리오를 설정하여 모델에 대한 검증을 수행하였다. FREES는 기존의 IF-THEN 지식베이스를 사용한 전문가 시스템과 비교했을 경우 퍼지소속함수를 사용함으로써 규칙의 수를 현저하게 줄일 수 있으며 지식베이스의 구축과 변경 및 삭제 등이 용이하기 때문에 시간의 변화에 따라 다양하게 변화하는 리스크의 크기나 영향정도를 쉽게 반영할 수 있다.

키워드 : 리스크, 퍼지이론, 리스크 분석, 리스크 평가, 리스크 분할체계, 전문가 시스템

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설산업은 동적이며 위험요소가 많은 산업이어서 모든 프로젝트에 잠재적 리스크가 내재되어 있다. 이러한 리스크는 건설 프로젝트의 성공적 수행에 장애요소로 작용하게 된다. 따라서 예상되는 리스크를 프로젝트 착수 전인 기획 및 입찰단계에서 정확한 예측하는 것은 매우 중대한 업무인 것이다.

지금까지 건설 리스크에 영향을 미치는 인자들을 정량화하기 위한 많은 연구들이 계량적 의사결정방법을 통하여 수행되었다. 하지만 이러한 연구들은 대부분 확률이나 통계 및 계량적 의사결정방법들로서 정성적인 인자들의 영향정도를 수량화하는데 어려움이 있다.

따라서, 본 연구에서는 인간의 사고과정에 내재해 있는, 주관적인 판단으로부터 발생한 애매모호함을 다루기 위해 개발된 퍼지이론을 정성적인 리스크를 정량화 하는데 활용하여 건설프로젝트의 잠재적 리스크를 분석하고 평가하기 위한 기존의 정량적인 기법의 한계를 극복하였다. 본 연구는 건설 프로젝트의 기획 단

계에서 미래 발생가능 리스크 인식을 위해 발주자, 수급자 및 하수급자 등 건설프로젝트 참여주체들 사이의 상호관계를 파악하고, 리스크분할체계를 수립하였다. 이것을 통하여 인식된 리스크를 프로젝트 기획단계에서 효과적이고 체계적으로 분석 및 평가하기 위해 퍼지이론을 활용한 분석 및 평가절차와 계산 체계를 제시하고 그에 따른 시스템을 구축하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 건설프로젝트 리스크관리 절차 중에서 리스크인자의 인식, 리스크분류, 리스크분석 및 평가단계로 연구의 범위를 설정한다. 또한, 리스크인자는 건설프로젝트의 기획단계에서부터 유지관리단계까지 지속적으로 분석되고 평가될 수 있으나 건설프로젝트 초기 기획단계에서 미래에 발생할 리스크에 대한 분석 및 평가를 수행하는 것으로 한정한다.

본 연구는 다음과 같은 절차로 수행되었다.

- 1) 리스크인식 및 리스크분할체계 설정
 - ① 기존 문헌연구를 통한 리스크 인자도출
 - ② 도출된 리스크 인자를 바탕으로 발주자, 수급자, 하수급자 리스크 분할체계 수립
- 2) 퍼지이론을 이용한 리스크분석 및 평가
 - ① 리스크 인자의 정량화 기준설정

* 학생회원, 중앙대학교 건축학과, 공학석사

** 일반회원, 중앙대학교 건축학과 부교수, 공학박사

- ② 리스크 인자의 지식베이스 구축
 - ③ 리스크 인자의 영향정도 측정
 - ④ 측정된 인자의 지식베이스에 대한 추론
 - ⑤ 리스크 인자의 정량화
- 3) 퍼지 리스크 분석 및 평가시스템 구축
 4) 가상시나리오 설정 및 평가시스템에 대한 검증
- 이러한 리스크분석 및 평가 시스템 구축을 위해 Microsoft Visual C++ 6.0을 이용하였다.

2. 리스크 분할체계

본 연구에서의 건설 프로젝트 리스크분할체계는 크게 발주자, 수급자, 하수급자 리스크로 구분된다. 각 리스크는 상호관련이 있어 다음과 같은 절차에 의해 파악되었다.

- ① 모든 리스크인자들을 수급자, 발주자 및 하수급자에게 영향을 미치는 리스크인자들로 분류한다.
- ② 참여주체별로 분류된 리스크 인자들의 위계를 설정한다.
- ③ 통합된 리스크는 다시 리스크인자들 사이의 관계를 파악하여 세부적인 인자들로 분류가 된다.
- ④ 특히 중요한 리스크인자들의 경우 더 세분화하여 리스크인자의 인식을 용이하게 한다.

상기 절차에 의한 리스크 분류는 리스크인자들과 참여주체의 상호영향관계를 파악할 수 있으며 리스크인자의 인식에 많은 도움이 된다. <그림 1>은 본 연구에서 활용될 리스크분할체계의 위계를 도식화한 것이다.

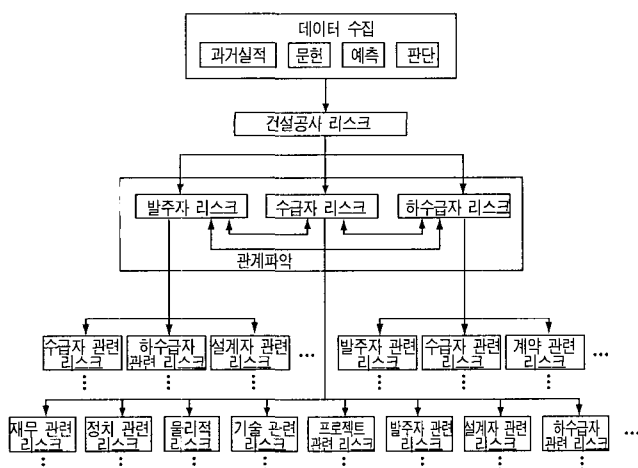


그림 1. 리스크 분할체계의 위계

2.1 참여주체별 리스크 분할체계

본 절에서는 각 참여주체들의 리스크에 영향을 미치는 인자의 세부사항에 대해 분할체계를 수립하였다. 리스크 분할체계는 수급자, 발주자, 하수급자 리스크분할체계로 나누어 수립하

였다.

1) 수급자 리스크분할체계

수급자 리스크분할체계는 노무, 자재 및 장비관련 리스크로부터 하수급자 관련 리스크로 분할되었다. <그림 2>에서부터 그림 10까지는 수급자 리스크분할체계를 도식화한 것이다.

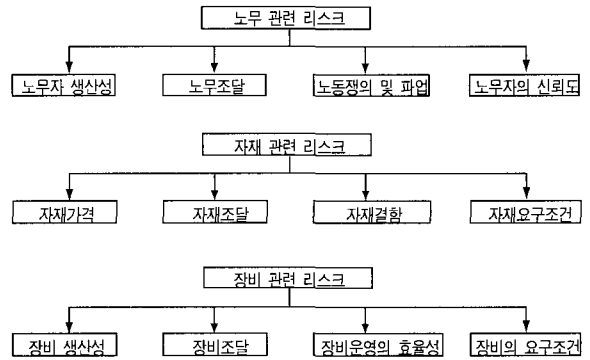


그림 2. 노무, 자재 및 장비관련 리스크분할체계

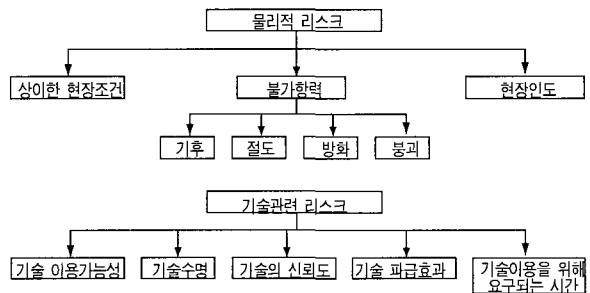


그림 3. 물리적 리스크와 기술관련 리스크분할체계

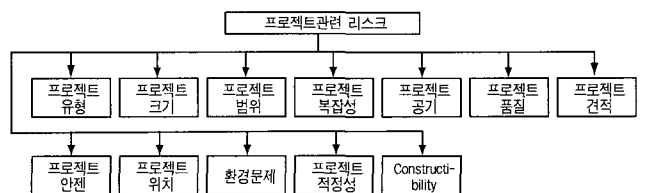


그림 4. 프로젝트관련 리스크분할체계

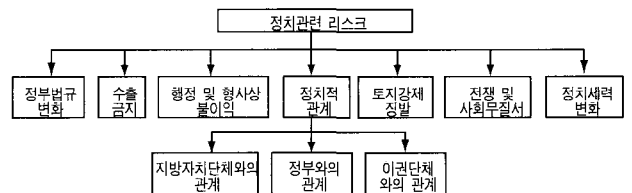


그림 5. 정치관련 리스크분할체계

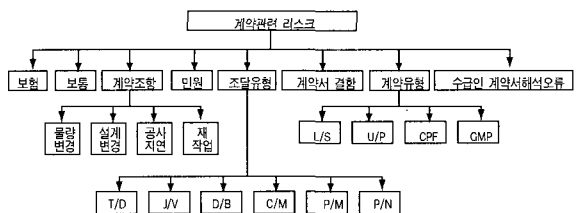


그림 6. 계약관련 리스크분할체계

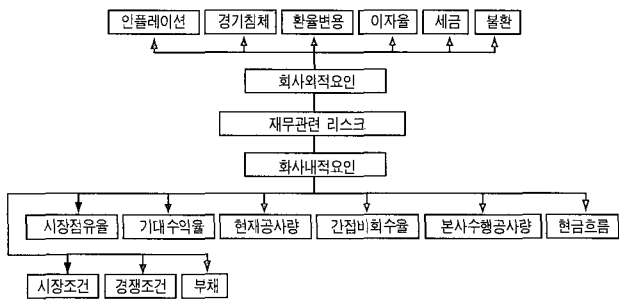


그림 7. 재무관련 리스크분할체계

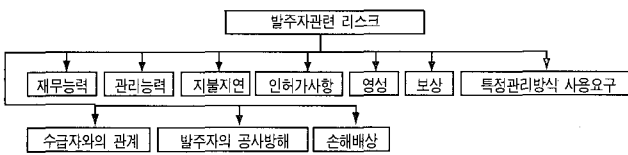


그림 8. 발주자관련 리스크분할체계

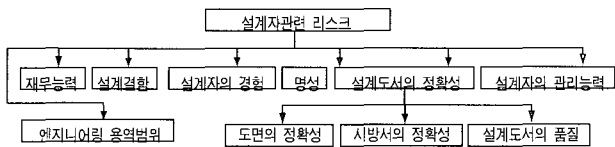


그림 9. 설계자관련 리스크분할체계

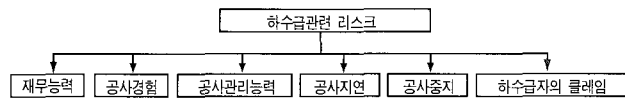


그림 10. 하수급관련 리스크분할체계

2) 발주자 리스크분할체계

발주자의 리스크를 측정하기 위한 방법은 입찰참가자격사전심사 등 입찰평가 시에 포함되는 사항이 있으며 또한 입찰평가 시에 반영되지 못한 특정 리스크인자들에 대한 고려가 포함되어야 한다.

① 수급자관련 리스크

<그림 11>은 수급자관련 리스크분할체계이다.

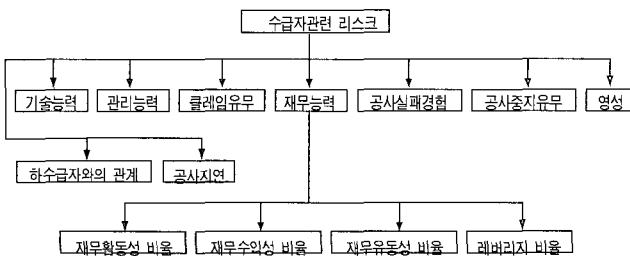


그림 11. 수급자관련 리스크분할체계

② 하수급자관련 리스크

하수급자관련 리스크의 경우는 수급자관련 리스크와 같은 요소로 분류가 되며 다만 하수급자와의 관계가 수급자와의 관계로 바뀔 뿐이다.

③ 기타 발주자 리스크 분할체계

설계자관련 리스크, 계약관련 리스크, 프로젝트 관련 리스크,

물리적 리스크, 재무적 리스크, 정치관련 리스크의 경우 수급자 리스크에서 고려된 분류체계를 발주자리스크에서도 같은 요소로 고려한다.

3) 하수급자 리스크분할체계

하수급자의 리스크는 건설공사의 특성상 수급자의 리스크를 그대로 하수급자가 떠맡기 때문에 수급자의 리스크 조항과 유사하다. 다만 하수급자의 경우 유관공종 하수급인의 시공능력과 신뢰도 등 유관공종업체에 의해서 하수급자가 영향을 받기 때문에 공사의 선행하수급자나 동 기간에 공사를 수행하는 하수급자의 시공능력 및 신뢰도 등을 리스크에 영향을 미치는 인자로 포함시켜야 한다.

2.2 리스크 분할체계 이용방법

리스크분할체계의 활용은 먼저 기본적으로 분할한 리스크분할체계로부터 외부영향요소 등을 고려하여 특정 프로젝트와 건설회사의 상황에 맞는 리스크인자를 추출하여야 한다. 즉, 기본 리스크분할체계는 리스크인자 추출을 위한 체크리스트 역할을 한다. 이러한 특정 상황에 대한 리스크인자 추출방법을 도식화 하면 <그림 12>와 같다.

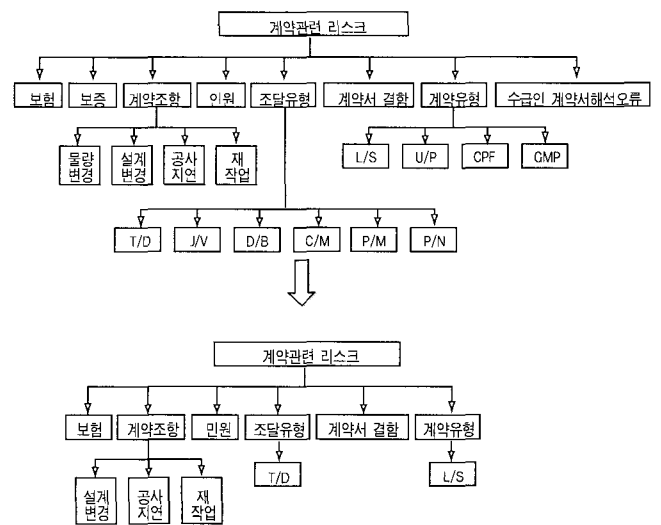


그림 12. 특정상황에 맞는 리스크인식 및 분할체계

<그림 12>와 같이 추출된 리스크는 인과관계(causal relationship)로 표현되며 퍼지지식베이스 생성의 근거가 된다. 인과관계의 규칙을 만들기 위해서는 인자의 상호의존성, 인자의 예측가능성 및 인자들의 상호작용이라는 가정이 요구된다. 건설공사의 공사비에 관련된 리스크 인과관계도를 도식화하면 <그림 13>과 같다. 공사비와 리스크인자들간의 인과관계에 관련된 지식은 퍼지함수에 의해 표현이 된다.

즉, 상위레벨 인자인 노무관련 리스크에 대해 하위 레벨인 노무자 생산성, 노무조달, 노무자 신뢰도 등이 추출되었으며 상위레벨

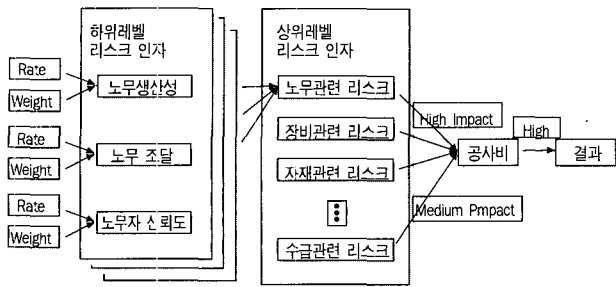


그림 13. 공사비와 리스크 상·하위 인자와의 관계

인 노무관련 리스크의 정도(DF: degree of factor)¹⁾는 전문가의 지식으로써 FREES의 지식베이스를 생성하는 데 사용되며 하위 리스크 인자는 퍼지가중평균법을 이용하여 특정상황하의 리스크 인자의 정도를 측정하기 위해 사용된다. 상위 리스크인자와 하위 리스크인자는 다양한 방법을 통해 발견할 수 있으나 객관적으로 DF를 측정하는 방법이 없기 때문에 DF를 측정하는 것은 매우 어렵다. 그렇기 때문에 DF를 측정하기 위해 수학적인 용어를 사용하는 것보다는 언어적인 용어를 사용한다. 본 연구에서는 Dong 과 Wang(1987)의 퍼지가중평균법(fuzzy weighted average method)을 인자측정방법으로 사용하여 인자를 측정한다.

3. 퍼지 리스크 분석 및 평가 시스템

3.1 퍼지 리스크 분석 및 평가 시스템의 구조

퍼지리스크 분석 및 평가시스템(이하 FREES)은 세가지 모듈로 구성된다. 지식베이스모듈, 퍼지 가중평균 연산모듈, 사용자 인터페이스모듈 및 추론메커니즘으로 구성된다.

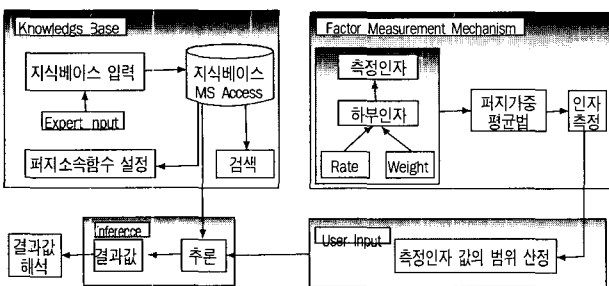


그림 14. FREES의 구조

〈그림 14〉는 FREES의 구조로써 우선 지식베이스는 MS Access와 연동하여 구성이 되며 전문가의 지식과 경험을 축적해 나갈 수 있다. 이렇게 축적된 지식은 추론메커니즘을 통하여 검색되고 사용된다. 퍼지가중평균 연산모듈은 퍼지가중평균법을 이용하여 리스크인자들의 정량화를 수행한다. 정량화된 값은 사용

1) 각 리스크인자에 대해 얼마나 많은 리스크가 포함되었는가에 대한 정도를 나타내는 값이다.

자인터페이스 모듈에서 사용하게 되며, 추론메커니즘에 의해 추론이 되어 최종적인 결과가 나타나게 된다.

1) 지식베이스 모듈

지식베이스 모듈은 FREES의 중요한 부분으로서 실용적인 목적을 위해 MS Access를 활용하여 전문가의 지식과 경험 등을 축적할 수 있는 용이한 방법을 제공해준다.

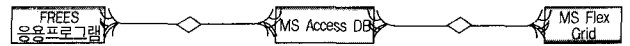


그림 15. FREES와 MS Access DB와 MS FlexGrid와의 관계

〈그림 15〉는 FREES와 지식베이스를 구축하기 위해 MS Access 데이터베이스와 연동하여 FREES에서 입력한 값이 그대로 MS Access에 저장되어 지식베이스를 구축하는 것이다. 구축된 지식베이스는 MS FlexGrid²⁾를 통해서 사용자에게 보여진다. 본 시스템의 지식베이스는 기존의 IF-THEN 구조를 탈피한 자태의 퍼지 표준소속함수³⁾를 사용하였다. 따라서 지식베이스의 데이터 용량을 크게 줄일 수 있고, 전문가의 지식베이스 입력작업도 단순화되어 지식베이스 구축을 위한 시간과 노력을 줄일 수가 있다.

2) 퍼지 가중평균 연산 모듈

퍼지가중평균 연산모듈은 사용자 인터페이스의 입력 값을 계산하기 위한 모듈로서 FREES와 액세스 데이터베이스와 연동이 되며 이렇게 연동된 것은 MS FlexGrid를 통해 사용자에게 보여진다. 또한 MS FlexGrid의 셀 값 중에서 비율과 가중치가 추출되어 퍼지가중평균 계산 절차에 의해 가중평균값이 α -level 0.0에서 1.0까지 반복하여 계산이 된 후 퍼지평균법(fuzzy mean, 이하 FM)⁴⁾에 의해 최종 결과 값을 얻게 된다. 이러한 최종 결과 값은 사용자 인터페이스의 입력 값으로 사용된다. 〈그림 16〉은 퍼지 가중평균 연산모듈의 알고리즘을 나타낸다.

퍼지가중평균법은 리스크인자의 정도를 측정하기 위해 퍼지확장원리와 함께 사용되는 알고리즘으로서 결과 값은 퍼지평균법을 거쳐 정확한 수치값으로 전환되어 리스크로 인한 추가공사비를 추론하기 위한 입력으로서 사용된다. 퍼지 가중평균 연산모듈은

- 2) ActiveX Control으로써 마이크로소프트 엑셀처럼 여러 행과 열로 이루어진 데이터 입출력 창을 제공한다.
- 3) 자태의 표준소속함수는 S-함수와 Π -함수로 구성되며 S-함 수는 상위 리스크인자의 지식베이스 구축시 Low와 High 퍼지집합을 결정하기 위해 사용되며 기본범위(base range)는 0.0에서 10.0의 범위를 가진다. Π -함수는 Adequate, Less Adequate, More Adequate 퍼지집합을 결정하기 위해 사용 된다. 지식베이스 구축시 모든 퍼지집합은 α, β, γ 값만을 지식베이스로 입력하면 된다.
- 4) 퍼지가중평균의 결과는 퍼지곡선으로 출력된다. 하지만 이 곡선은 자연언어도 정확한 수치값도 아닌 퍼지개념만을 포함하기 때문에 자연언어(수치값)으로 해석되어야 한다. 이러한 퍼지곡선을 자연언어로 해석하는 것을 퍼지평균법이라 한다.

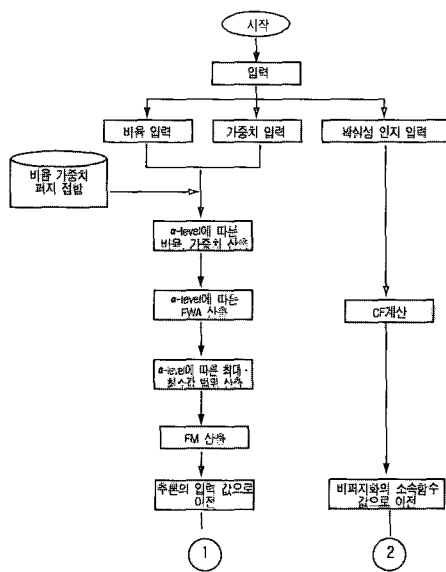


그림 16. 퍼지 가중평균 연산 알고리즘

리스크분할체계의 하부인자들의 리스크 정도를 측정하기 위한 모듈로서 인자측정메커니즘에 의해 수행된다. 이러한 인자측정을 위한 퍼지집합이 설정되고 이에 따라 퍼지평균(fuzzy mean)이 결정되고 또한 확실성인자(certainty factor, 이하 CF)의 값이 결정되면 이 두 개의 값은 추론을 위한 메커니즘과 비퍼지화의 메커니즘으로 이전되게 된다.

3) 사용자 인터페이스 모듈

사용자 인터페이스모듈은 <그림 17>과 같고, 퍼지가중평균 연산모델의 결과 값이 입력 값으로 사용되며 퍼지 추론메커니즘을 통하여 가장 최적의 퍼지집합을 추천하게 된다. 즉, 지식베이스 입력 시에 전문가의 전문가의 지식과 경험을 바탕으로 표준 소속 함수를 이용하여 퍼지집합을 작성하게 된다. 이렇게 작성된 퍼지 집합은 퍼지가중평균 연산모델에서 나온 결과 값에 의해서 퍼지 추론 메커니즘을 경유하여 지식베이스에 저장된 퍼지집합과의 추론을 통하여 가장 최적의 퍼지집합을 결정하게 된다.

4) 퍼지 추론 메커니즘

추론메커니즘은 리스크분할체계의 상위레벨의 지식베이스에 존재하는 퍼지함수의 값을 입력받고, 사용자가 퍼지가중평균 연산모델의 결과 값을 사용자 인터페이스의 입력 값으로 투입한 값 과 추론을 수행하여 가장 큰 값의 함수가 설정이 된다. 추론메커니즘은 비퍼지화를 위한 전 단계로서 가장 적절한 함수를 선택함

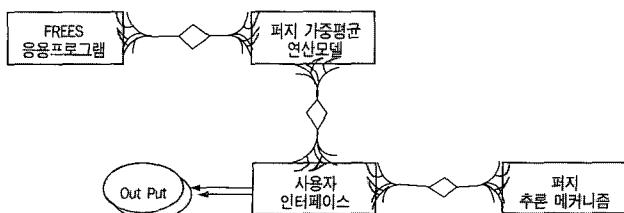


그림 17. 사용자 인터페이스의 구조

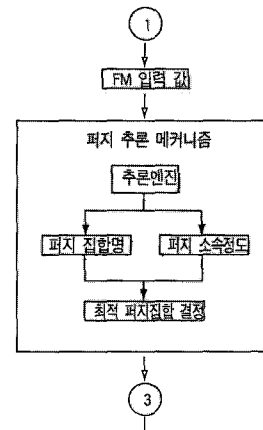


그림 18. 퍼지 추론 알고리즘

으로써 다음 단계의 비퍼지화를 위한 기본 데이터로서 사용된다.

퍼지 추론 메커니즘은 사용자의 입력을 받고 난 후 MS Access 데이터베이스의 지식베이스의 전문가가 설정한 초기 퍼지함수 값 으로부터 사용자의 입력 값에 가장 최적의 퍼지집합을 찾는 과정 이다. 즉, 사용자인터페이스의 입력 값은 퍼지가중평균 연산모델 의 결과 값으로 사용자는 리스크분할체계의 하부인자들의 리스크 정도를 비율과 가중치로 입력할 경우 퍼지가중평균법에 의해 퍼 지평균이 구해지고 그 결과 값이 사용자 입력값이 된다. 이러한 사용자 입력 값에 근거하여 추론 메커니즘은 지식베이스로부터 가장 최적의 퍼지집합을 결정해 준다. <그림 18>은 퍼지 추론 메 커니즘의 알고리즘을 나타낸다.

5) 비퍼지화(defuzzification)

비퍼지화 과정은 퍼지화의 역함수를 구하는 과정이다. <그림 19>에 나타난 바와 같이 비퍼지화 알고리즘은 퍼지 추론 알고리 즘으로부터의 결과 값인 최적 퍼지집합을 입력받아 비퍼지화 엔 진을 통해 α-level에 따른 비퍼지화를 수행하며, 퍼지 가중평균

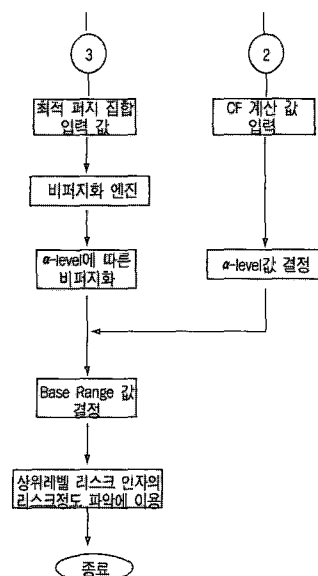


그림 19. 비퍼지화 알고리즘

연산 알고리즘에서 계산된 확실성인자 값인 CF값은 α -level값을 결정하는데 이용된다. 만일 확실성인자 값이 계산되어지지 않을 경우, α -level은 의사결정자에 의해 결정해야 하기 때문에 모호성이 증가하게 된다. 따라서 초기에 가중평균을 계산할 때에 이 확실성 인자 값을 포함시킴으로써 더욱더 상세한 의사결정자의 판단을 표현할 수 있다. α -level값이 결정되고 나면 결정된 α -level값에 따른 기본범위(base range) 값이 결정되며 이렇게 결정된 기본범위 값은 상위레벨 리스크 인자의 리스크 정도 파악에 이용된다.

3.2 FREES 검증을 위한 주관적 판단기준 설정

FREES의 검증을 위한 사전단계로서 지식베이스를 구축하는 방법과 리스크 인자들의 정도를 측정하기 위한 주관적 판단 기준을 설정한다. 주관적 판단 기준은 의사결정자의 주관적인 판단에 따라 설정이 되며 가변적으로 설정이 된다.

1) 지식베이스 구축

각 상위 리스크인자의 지식베이스를 구축하기 위해 그림 20과 같이 0에서부터 10사이의 범위 내에서 각 퍼지소속함수의 범위를 결정한다. 이 퍼지소속함수는 전문가의 주관적인 판단을 반영하게 된다.

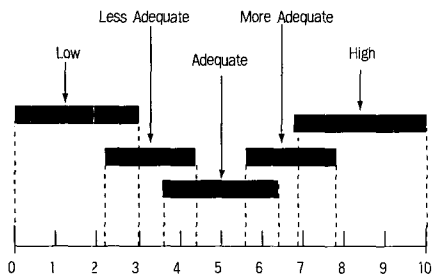


그림 20. 주관적 판단의 기준 설정

주관적 판단의 기준으로 중앙값인 5값이 리스크의 영향정도가 보통상황일 경우를 나타내며 10에 가까워질수록 리스크의 영향정도가 커지며 0에 가까울수록 리스크의 영향정도가 작아진다. 예를들면 Low집합의 경우 S-함수의 α 값은 0.0, β 값은 1.5, γ 값은 3.0의 값을 지식베이스 구축에 사용한다.

2) 하위 리스크 인자의 주관적 판단기준

하위 리스크 인자의 주관적 판단기준을 설정하기 위해 상위레벨의 12가지 리스크 인자중 특정상황에 맞는 9가지 리스크 인자(노무, 계약, 자재, 프로젝트, 정치, 재무, 발주자, 설계자, 하수급자관련 리스크)를 추출하고 각 상위 리스크 인자들의 하위 리스크 인자들 중에서 특정상황에 맞는 21개 하위 리스크 인자를 추출하여 각 리스크 인자들에 대한 전문가의 주관적 판단 기준을 설정하였다.

예를 들어 노무조달 리스크인자의 경우 성장정도 및 실직율에

표 1. 노무조달 리스크인자의 주관적 판단기준

실직율(%)	퍼지집합
20이하	Low
2-3	Less Adequate
3	Adequate
3-4	More Adequate
5이상	High

의해 그 기준이 설정된다. 즉, 보편적인 실직율은 3%를 나타내며 이것을 기준으로 실직율이 3%일 경우를 Adequate으로 설정하고 실직율이 4%일 경우 More Adequate으로 실직율이 5%이상이면 High로 설정한다. 이러한 기준은 전문가의 주관에 의해 결정된다.

4. 리스크 분석 및 평가

리스크분할체계 중에서 수급자리스크 분할체계를 이용하여 수급자에게 영향을 미치는 리스크 인자의 영향정도를 분석 및 평가를 수행한다.

4.1 가상 시나리오 설정

프로젝트가 실행될 현상이 위치한 국가의 정치적인 상황이 비교적 안정적이나 법규변화가 발생할 것이 예상되며 정부와의 관계는 보통정도이다. 노무조달은 비교적 원활하지만 노무생산성은 다소 낮을 것으로 예상된다. 자재조달은 건설투자가 매우 많음으로 인해 자재의 부족현상이 초래 될 것으로 전망되며 자재가격은 10%이상 오를 것으로 예상된다. 또한 계약형태는 총액계약으로 공사가 수행될 것이며 계약조항은 수급자에게 다수의 리스크가 전가될 것으로 예상된다.

프로젝트의 규모는 매우 크며 프로젝트의 예정공정은 다소 초과될 것으로 전망된다. 발주자는 정부투자기관으로 재무능력은 매우 양호할 것이며 공사방해 경험은 공정지연을 초래할 정도로 예상된다. 설계자의 엔지니어링 용역범위는 보통이나 설계결함은 다소 있을 것으로 예상된다. 하수급자의 경우 공사경험이 약간 많아 관리 능력이 보통이고 재무능력은 약간 우수한 편이며 클레임 제기 경험이 다소 있다. 건설시장이 건설업의 투자증가와 치열한 수주경쟁으로 기대 수익률은 5%에 미칠 것으로 전망되며 수급자의 현금흐름은 보통정도이다.

4.2 지식베이스 구축

지식베이스는 상위레벨 리스크인자들에 대한 전문가들의 판단을 기본범위값인 0.0에서 10.0 사이 값인 α , β , γ 값으로 입력하게 된다. 지식베이스에 포함될 상위레벨 인자는 표 2와 같이 9가지의 상위 리스크 인자로 구성되어 있다.

리스크 인자의 지식베이스의 구축에 있어서 중요한 항목은

표 2. 상위레벨 리스크 인자의 지식베이스 구축

상위 리스크 인자	Low			Less Adeq			Adequate			More Adeq			High		
	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
노무관련	1.0	3.0	5.0	4.0	5.0	6.0	5.5	7.0	8.5	7.5	8.5	9.5	8.5	9.5	100
자재관련	1.0	2.5	4.5	3.0	4.0	5.0	4.0	5.0	6.0	5.5	7.0	8.5	7.0	8.5	100
프로젝트관련	0.0	2.0	4.0	2.5	3.5	4.5	3.5	4.5	5.5	4.5	6.5	7.5	6.5	8.0	100
정치관련	2.0	4.0	6.0	4.0	5.5	7.0	5.5	7.0	8.5	7.0	8.0	9.0	8.0	9.0	100
계약관련	0.0	2.0	4.0	2.5	3.5	4.5	3.5	4.5	5.5	4.5	6.5	7.5	6.5	8.0	100
재무관련	1.0	3.0	5.0	3.5	4.5	5.5	3.0	4.0	5.0	4.5	5.5	6.5	6.0	8.0	100
발주자관련	0.0	3.0	5.0	3.5	5.0	6.5	5.5	6.5	7.5	7.0	8.0	9.0	8.0	9.0	100
설계자관련	1.0	2.5	4.5	3.0	4.0	5.0	4.0	5.0	6.0	5.5	7.0	8.5	7.0	8.5	100
하수급자관련	1.0	3.0	5.0	3.0	4.0	5.0	4.0	5.0	6.0	5.0	6.0	7.0	6.0	8.0	100

High 집합의 폭을 넓힘으로써 추론과정에서 퍼지가중평균 값이 High 집합에 포함이 되게 함으로써 리스크의 정도를 보정할 수 있다. 즉, 노무관련 리스크와 재무관련 리스크를 비교해 볼 때, 전문가의 판단이 노무 관련 리스크는 재무관련 리스크보다 중요성이 작다면 노무관련 리스크는 Low 집합의 α, β, γ 값을 넓게 설정하며, 재무관련 리스크는 High 집합의 α, β, γ 값을 넓게 설정한다.

4.3 퍼지 가중평균값 계산

시나리오이론은 몇 가지 대안을 설정하여 분석을 수행하나, 본 연구에서는 리스크분석의 단순화를 위해 한가지 경우만을 고려할 것이며 하위 리스크인자의 주관적 판단기준을 이용하여 퍼지가중평균 값을 산정한다.

1) 하위 리스크 인자에 대한 비율과 가중치 설정

위 시나리오에 근거하여 각 하위 리스크 인자에 대한 비율과 가중치를 설정한다. 표 3은 각 하위 리스크 인자에 대한 비율과 가중치 설정을 나타낸다.

비율과 가중치는 3.2절에 제시한 리스크 인자에 대한 주관적 판단기준에 의거 의사결정자의 주관적인 판단 값을 언어 측정치로 입력하게 된다. 가중치의 경우 가중치의 합은 1이 되어야 한다. 즉 Importance Level은 1에서부터 9까지 있으며 각 상위 리스크 인자의 가중치는 Importance Level의 합이 10이 되도록 설정하도록 한다.

2) 퍼지 가중평균 값 산정

퍼지 가중평균 값은 의사결정자의 가중치와 비율을 이용하여 퍼지 가중평균법에 의해 계산된다.

① 노무관련 리스크인자의 퍼지가중평균 최대·최소값 노무관련 리스크 인자는 노무조달과 노무생산성인자가 추출되었다.

〈표 4〉는 퍼지 가중평균 값의 계산 결과를 나타낸다. 각각의 리스크 인자에 대한 가중평균 최대·최소값 계산도 노무관련 리스크 인자의 경우와 같다.

〈그림 21〉은 노무관련 리스크의 퍼지곡선이다. 퍼지곡선은 배이스값 5.0을 기준으로 5.0보다 높게 분포하면 리스크가 높은 것

표 3. 하위 리스크 인자의 비율과 가중치 설정

상위 리스크 인자	하위 리스크인자	비율	가중치	CF
노무관련 리스크	노무조달	Adequate	Importance Level 6	0.8
	노무생산성	More Adeq	Importance Level 4	0.9
자재관련 리스크	자재조달	High	Importance Level 5	0.9
	자재가격	More Adeq	Importance Level 5	0.7
계약관련 리스크	계약유형	High	Importance Level 4	0.9
	계약조항	More Adeq	Importance Level 6	0.6
프로젝트관련 리스크	프로젝트 규모	High	Importance Level 7	0.7
	프로젝트 공기	More Adeq	Importance Level 3	0.8
정치관련 리스크	정부법규 변화	More Adeq	Importance Level 7	0.8
	정부와의 관계	Adequate	Importance Level 3	0.9
재무관련 리스크	시장경쟁조건	High	Importance Level 3	0.8
	기대수익률	More Adeq	Importance Level 2	0.9
	현금흐름	High	Importance Level 5	0.8
발주자관련 리스크	발주자재무능력	Less Adeq	Importance Level 7	1.0
	공사방해 경험	More Adeq	Importance Level 3	8.0
설계자관련 리스크	엔지니어링범위	More Adeq	Importance Level 2	0.9
	설계결함	Adequate	Importance Level 8	0.8
하수급자관련 리스크	공사관리능력	Adequate	Importance Level 4	1.0
	재무능력	Less Adeq	Importance Level 2	0.9
	공사경험	Less Adeq	Importance Level 4	0.9

표 4. 노무관련 리스크 인자의 퍼지 가중평균 최대·최소값

노무관련 리스크 [R1, R2, W1, W2]	α -level										
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
[a1, b1, c1, d1]	4.38	4.60	4.70	4.78	4.84	4.89	4.94	5.00	5.07	5.18	5.40
[a2, b1, c1, d1]	5.63	5.50	5.51	5.51	5.51	5.50	5.49	5.49	5.49	5.51	5.40
[a1, b2, c1, d1]	5.13	5.15	5.21	5.24	5.26	5.28	5.29	5.31	5.34	5.39	5.40
[a2, b2, c1, d1]	6.38	6.50	6.01	5.98	5.94	5.89	5.84	5.80	5.76	5.73	5.40
[a1, b1, c1, d2]	4.30	4.55	4.65	4.73	4.80	4.85	4.91	4.97	5.05	5.15	5.40
[a2, b1, c1, d2]	5.70	5.52	5.53	5.52	5.52	5.50	5.49	5.48	5.48	5.50	5.40
[a1, v2, c1, d2]	4.90	5.02	5.09	5.14	5.17	5.20	5.22	5.26	5.30	5.36	5.40
[a2, b2, c1, d2]	6.30	6.00	5.96	5.93	5.90	5.85	5.81	5.77	5.74	5.70	5.40
[a1, b1, c2, d1]	4.50	4.69	4.79	4.85	4.91	4.95	5.00	5.05	5.11	5.21	5.40
[a2, b1, c2, d1]	5.50	5.38	5.39	5.40	5.41	5.40	5.40	5.40	5.41	5.44	5.40
[a1, b2, c2, d1]	5.50	5.46	5.49	5.50	5.50	5.50	5.49	5.50	5.50	5.52	5.40
[a2, b2, c2, d1]	6.50	6.14	6.10	6.05	6.01	5.95	5.90	5.85	5.80	5.76	5.40
[a1, b1, c2, d1]	4.42	4.63	4.73	4.80	4.86	4.91	4.96	5.02	5.09	5.19	5.40
[a2, b1, c2, d2]	5.25	5.23	5.27	5.29	5.31	5.32	5.33	5.34	5.37	5.41	5.40
[a1, b2, c2, d2]	5.58	5.48	5.50	5.51	5.51	5.50	5.49	5.49	5.50	5.51	5.40
[a2, b2, c2, d2]	6.42	6.08	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.82	5.78	5.74	5.40
Min	4.30	4.55	4.65	4.73	4.80	4.85	4.91	4.97	5.05	5.15	5.40
Max	6.50	6.14	6.10	6.05	6.01	5.95	5.90	5.85	5.80	5.76	5.40

주 : 1. [R1, R2, W1, W2]는 노무관련 리스크 하위인자인 노무조달, 노무생산성의 비율과 가중치를 표현한 것으로 R1은 노무조달인자의 비율, R2는 노무생산성 인자의 비율, W1은 노무조달인자의 가중치, W2는 노무생산성인자의 가중치를 나타낸다.

2. [a1, b1, c1, d1]은 노무조달인자의 비율과 가중치, 노무생산성인자의 비율과 가중치의 범위의 조합이다. 하위 리스크 인자가 2개일 경우 각각의 범위조합은 16가지 경우의 수가 생긴다.

이며 그와 반대일 경우 리스크가 낮다는 것을 의미한다. 또한 곡선의 분포는 리스크값의 범위를 나타낸다. 범위가 넓을 경우 리

스크값의 분포가 넓기 때문에 명확한 리스크값을 표현하지 못하며 범위가 좁을 경우 좀더 명확한 값을 표현하게 된다.

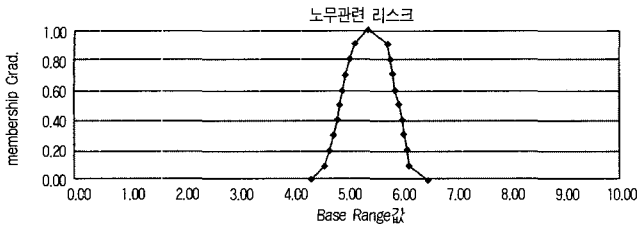


그림 21. 노무관련 리스크의 퍼지곡선

② 퍼지 평균계산

퍼지 가중평균 최대·최소 값을 계산한 후 이 값을 이용하여 퍼지평균 값을 계산한다. 퍼지 평균값의 계산은 다음 식에 의해 구한다.

$$FM_i = \frac{\sum_{i=0}^n \alpha_i \times u_i}{\sum_{i=0}^n \alpha_i}$$

α_i : 소속정도값, u_i : base range 값

퍼지 평균값은 최대·최소 값이 나타내는 그래프의 도심 값으로 나타난다. <표 5>는 각 상위 리스크 인자의 퍼지 평균값을 나타낸다. 중앙값은 퍼지곡선의 외도(skew)로 인하여 정확한 퍼지곡선을 반영하지 못하기 때문에 이의 정확한 반영을 위해 도심과의 편차값을 구하여 도심값을 퍼지평균값으로 결정한다.

표 5. 상위 리스크 인자의 퍼지 평균값

상위 리스크 인자	중앙값	도심과의 편차	퍼지평균값
노무관련 리스크	5.40	0	5.40
자재관련 리스크	8.00	-0.9	7.10
계약관련 리스크	7.60	-0.7	6.90
프로젝트관련 리스크	8.80	-1.3	7.50
정치관련 리스크	5.70	0.23	5.93
재무관련 리스크	9.20	-1.5	7.7
발주자관련 리스크	4.60	-0.1	4.50
설계자관련 리스크	5.20	0	5.20
하수급자관련 리스크	4.40	0.014	4.41

4.4 최적 퍼지집합결정

퍼지 평균값의 산정 후 퍼지 평균값은 추론엔진의 입력 값으로 입력이 되어 추론과정을 통해 최적의 퍼지집합을 결정하게 된다. <표 6>은 각 상위 리스크 인자의 지식베이스와 퍼지 평균값의 추론을 통한 최적 퍼지집합을 나타낸다.

퍼지화는 하위 리스크 인자들의 퍼지평균값이 지식베이스에 입력한 각 상위리스크 인자들의 퍼지함수들 중에 어느 집합에 포함되는 지를 파악하는 것이다. 즉, <표 6>에서 보는 바와 같이 노무관련 리스크 인자의 경우, 노무관련 리스크인자의 하위리스크인

표 6. 최적 퍼지집합 결정

상위 리스크 인자	최적 퍼지집합	소 속 정 도				
		Low	Less Adeq	Adequate	More Adeq	High
노무관련	Less Adeq	0	1	0	0	0
자재관련	High	0	0	0	0.482	0.519
계약관련	High	0	0	0	0.375	0.625
프로젝트관련	High	0	0	0	0	1
정치관련	Adequate	0.020	0.408	0.572	0	0
재무관련	High	0	0	0	0	1
발주자관련	Less Adeq.	0.2	0.8	0	0	0
설계자관련	Adequate	0	0	1	0	0
하수급자관련	Adequate	0.156	0.312	0.530	0	0

자들의 퍼지평균값 5.6은 상위리스크인자의 지식베이스와 추론을 통해 Less Adeq. 함수에 소속정도가 가장 크게 나타나 최적 퍼지집합은 Less Adeq. 함수가 최적퍼지집합으로 결정된다.

4.5 상위 리스크 인자에 대한 비퍼지화

추론과정을 통해 도출된 결과 값인 최적 퍼지집합이 결정되면, 최적퍼지집합에대한 비퍼지화를 수행하여 의사결정을 위한 최종 결과를 얻는다. <표 7>은 각 상위 리스크 인자에 대한 비퍼지화 값을 나타낸다. 의사결정자가 입력한 확실성인자는 비퍼지화 단계에서 α -level을 결정하게 된다. 즉, 확실성인자 값에 따른 베이스값을 결정한다. 만일 노무리스크에 대한 확실성인자 값이 0.8 일 경우 베이스 값은 4.68과 5.37이 된다.

4.6 확실성인자값 계산

각 상위리스크 인자에 대한 확실성의 정도를 계산하기 위해 하위리스크 인자들의 확실성 정도를 파악한다. 확실성인자는 의사결정자가 리스크인자에 대해 어느 정도 정확성을 가지고 평가를 했는지에 대한 정도를 말한다. 각 리스크 인자의 확실성 정도를 계산하기 위해 물량변경과 재작업이라는 두 리스크 인자가 있을 경우, 두 인자의 확실성인자의 표현 값이 CF1과 CF2라 하고 그 값이 각각 0.7과 0.8일 경우, 두개의 리스크인자에 대한 확실성 정도는 다음 공식에 의해 결정된다.

$$CF3 = CF1 * CF2 \text{ (CF3 = 두 리스크인자의 확실성정도)}$$

즉, 물량변경과 재작업에 대한 확실성인자 값은 0.7 * 0.8=0.56으로 두 개의 인자에 대한 확실성 정도가 보정 되게 된다. 0.56은 비퍼지화 단계에서 α -level을 결정하기 위해 사용된다. <표 8>은 상위리스크 인자의 확실성 인자값을 나타낸다.

4.7 최종결과 해석

확실성 인자 값에 따른 상위 리스크 인자에 대한 베이스 값의 범위를 도출하고 난 후 각각의 리스크 인자가 공사비에 어느 정

표 7. 상위 리스크 인자에 대한 비파지화

리스크인자	α-level																					
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0											
노무	4.0	6.0	4.22	5.67	4.32	5.63	4.39	5.59	4.45	5.55	4.50	5.50	4.55	5.45	4.61	5.741	4.68	5.37	4.78	5.33	5.00	5.0
자재	7.0	10.0	7.67	10.0	7.95	10.0	8.16	10.0	8.34	10.0	8.50	10.0	8.66	10.0	8.84	10.0	9.05	10.0	9.22	10.0	10.0	10.0
계약	6.5	10.0	7.28	10.0	7.61	10.0	7.86	10.0	8.07	10.0	8.00	10.0	8.43	10.0	8.64	10.0	8.89	10.0	9.22	10.0	10.0	10.0
프로젝트	6.5	10.0	7.28	10.0	7.61	10.0	7.86	10.0	8.07	10.0	8.00	10.0	8.43	10.0	8.64	10.0	9.89	10.0	9.22	10.0	10.0	10.0
정치	5.5	8.50	5.84	8.01	5.97	7.95	6.08	7.89	6.17	7.82	6.25	7.75	6.33	7.68	6.42	7.61	6.53	7.55	6.66	7.49	7.00	7.00
재무	6.0	10.0	6.89	10.0	7.26	10.0	7.55	10.0	7.79	10.0	8.00	10.0	8.21	10.0	8.45	10.0	8.74	10.0	9.11	10.0	10.0	10.0
발주자	3.5	6.50	3.84	6.01	3.97	5.95	4.08	5.89	4.17	5.82	4.25	5.75	4.33	5.68	4.42	5.61	4.53	5.55	4.66	5.49	5.00	5.00
설계자	4.0	6.00	4.22	5.67	4.32	5.63	4.39	5.59	4.45	5.55	4.50	5.50	4.55	5.45	4.61	5.41	4.68	5.37	4.78	5.33	5.00	5.00
하수급자	4.0	6.00	4.22	5.67	4.32	5.63	4.39	5.59	4.45	5.55	4.50	5.50	4.55	5.45	4.61	5.41	4.68	5.37	4.78	5.33	5.00	5.00

표 8. 상위 리스크 인자의 확실성 인자값

상위 리스크 인자	확실성 인자 값
노 무 관 련 리 스 크	0.72
자 재 관 련 리 스 크	0.63
계 약 관 련 리 스 크	0.54
프로젝트관련리스크	0.56
정 치 관 련 리 스 크	0.72
재 무 관 련 리 스 크	0.58
발 주 자 관 련 리 스 크	0.80
설 계 자 관 련 리 스 크	0.72
하 수 급 자 관 련 리 스 크	0.81

도 영향을 미치는 지를 파악한다. 공사비에 영향을 미치는 정도 또한 실적자요나 의사결정자의 주관적인 판단에 의해 측정된다. <표 9>는 확실성 인자 값에 따른 각 리스크 인자들의 베이스 값의 범위와 상대적 중요도를 나타낸다.

베이스 값의 범위가 결정된 후 초기에 전문가에 의해서 설정된 지식베이스는 공사비로 치환이 되며 베이스 값에 따른 최종 추가 공사비가 산정된다. 공사비 치환은 각 리스크 인자의 중요도에 따라 차이가 발생하게 된다.

상대적 중요도 중에서 가장 중요한 인자가 공사비에 어느 정도 영향을 미치는 가에 따라 지식베이스 치환공사비가 결정되며 다른 인자들은 가장 중요한 인자 값에 대한 중요도 비율로 치환공사비가 결정된다. 추가 공사비는 베이스 값의 범위에 따라 중앙값

표 9. 상위 리스크 인자의 베이스 값 범위 및 상대적 중요도

상위 리스크 인자	베이스 값의 범위.	상대적 중요도
노 무 관 련 리 스 크	4.61-5.41	0.08
자 재 관 련 리 스 크	8.66-10.0	0.10
계 약 관 련 리 스 크	8.00-10.0	0.11
프로젝트관련리스크	8.00-10.0	0.12
정 치 관 련 리 스 크	6.42-7.61	0.05
재 무 관 련 리 스 크	8.00-10.0	0.26
발 주 자 관 련 리 스 크	4.53-5.55	0.06
설 계 자 관 련 리 스 크	4.61-5.41	0.05
하 수 급 자 관 련 리 스 크	4.68-5.37	0.17

인 5를 기준으로 5일 경우는 리스크가 없는 경우이며 5이하이면 이론상의 리스크가 감소하는 것을 나타내며 5이상일 경우 리스크가 증가하는 것으로 나타난다. <표 10>은 상위 리스크 인자에 대한 공사비 치환 값과 추가 공사비를 나타낸다.

표 10. 최종 추가공사비 산정

상위 리스크 인자	지식베이스치환 공사비(만원)		추가공사비(만원)
	0	10	
노 무 관 련 리 스 크	-30,769	30,769	-2399~2,523
자 재 관 련 리 스 크	-38,461	38,461	28,153~38,461
계 약 관 련 리 스 크	-42,307	42,307	25,384~42,307
프린트관련리스크	-46,153	46,153	27,691~46,153
정 치 관 련 리 스 크	-19,230	19,230	5,461~10,038
재 무 관 련 리 스 크	-100,000	100,000	60,000~100,000
발 주 자 관 련 리 스 크	-23,076	23,076	-2,169~7,153
설 계 자 관 련 리 스 크	-19,230	19,230	-1,499~5,422
하 수 급 자 관 련 리 스 크	-65,384	65,384	-4,184~4,838

재무관련 리스크 인자의 중요도가 0.26으로 가장 중요하기 때문에 재무관련 리스크 인자를 기준으로 최종 추가 공사비를 산정한다. 재무관련 리스크가 추가공사비에 미치는 정도를 1,000,000,000원으로 설정할 경우 각 리스크 인자에 대한 추가공사비는 1,364,380,000원에서 2,107,420,000원의 범위로 나타난다.

재무관련 리스크 인자가 추가공사비에 미치는 정도가 정확하게 설정될 경우 다른 인자들의 값도 비교적 정확한 값이 된다. 리스크 인자로 인한 추가공사비가 1,364,380,000원에서 2,107,420,000원의 범위 내에서 발생하기 때문에 의사결정자는 이러한 리스크 인자에 대한 대응계획 및 방안을 마련하게 된다. 즉, 리스크 인자들의 리스크 정도가 높은 인자들에 대한 중점적인 관리를 수행함으로써 추가공사비의 발생을 방지할 수 있게 한다.

<표 11>은 각 상위 리스크 인자의 리스크 정도와 그에 따른 관리 수준을 나타낸다. 즉, 리스크 정도가 High일 경우 중점관리 대상이 되며 Adequate일 경우 관리대상으로 Less Adequate일 경우 보통의 관리를 수행하도록 프로젝트 기획단계에서 계획을 수립하

표 11. 리스크 인자의 관리수준

상위 리스크 인자	리스크 정도	관리수준
노무관련 리스크	Less Adequ	보통
자재관련 리스크	High	중점관리
프로젝트관련 리스크	High	중점관리
정치관련 리스크	High	중점관리
계약관련 리스크	Adequate	관리대상
재무관련 리스크	High	중점관리
발주자관련 리스크	Less Adeq.	보통
설계자관련 리스크	Adeq	관리대상
하수급자관련 리스크	Adeq	관리대상

여야 하며 시공단계에서도 시공관리의 수준을 설정하게 된다.

5. 결론

본 연구는 프로젝트 기획 및 입찰 전 단계에서 건설공사 이행과정에서 발생할 가능성이 있는 리스크를 분석 및 평가하기 위해 우선 리스크분할체계를 수립하였다. 또한 FREES(Fuzzy Risk Evaluation Expert System)를 제안하였으며 가상 시나리오를 설정하여 모델에 대한 검증을 수행하였다. 리스크 분할체계는 리스크를 체계적이고 계층적으로 분류하여 리스크인자의 파악이 용이하며 리스크를 발주자, 수급자 및 하수급자 리스크로 분할함으로써 건설공사에 참여하는 참여주체들간의 리스크의 상호관계를 파악하여 적정 리스크 분배를 위한 토대를 마련할 수 있다. FREES는 건설프로젝트 전 과정에서 정량적인 리스크인자뿐만 아니라 정성적인 인자를 분석 및 평가할 수 있는 모델로써 인공지능분야인 퍼지이론을 리스크 분석 및 평가에 적용함으로써 기존의 계량적 분석모델에 비해 보다 낮은 인간의 사고과정을 반영할 수 있다.

FREES의 적용을 위해 사전에 의사결정자의 주관적인 판단기준이 마련되어야 하나 주관적 판단기준을 설정한다는 것 자체가 모호하기 때문에 정확한 판단기준 마련이 선행되어야 할 것이다. FREES는 프로젝트 각 단계별 리스크 인자가 파악될 경우, 초기 기획단계 뿐만 아니라 향후 프로젝트 설계 및 시공단계에서부터 유지관리단계까지의 제반 프로젝트의 생애주기동안의 리스크를

분석할 수 있다. 또한 신경망이론 등을 도입함으로써 뉴로-퍼지 시스템을 사용함으로써 인간의 사고과정을 더욱더 적절히 반영함으로써 정확한 결과를 얻게될 것이다.

참고문헌

1. Akintoye, A. S. and MacLeod, M. J., "Risk analysis and management in construction, International Journal of Project Management", Vol. 15, No. 1, pp. 31-38, 1997.
2. Dong, W.M. and Wang, F.S., Fuzzy weighted averages and implementation of the extension principle, Fuzzy sets and System, 1987.
3. Kangari, R., and Bakheet, M., "Linguistic Analysis of Risk in Project Planning", Computing in Civil Engineering, pp. 216-219, 1994.
4. Minate, T. and Asheley, D. B., "Data-Driven Analysis of Corporate Risk Using Historical Cost-Control Data", Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 124, No. 1, pp. 42-47, 1998.
5. Shin, H. J., "A Fuzzy Approach to Construction Activity Estimation", PH.D. Thesis, Loughborough University of Technology, 1994.
6. Tam, C. M., Lam, K. C. and Albert, T., "Computer Implementation of Fuzzy Reasoning in Tendering", Computing in Civil Engineering, pp.1357-1364, 1994.
7. 공성곤, 이호연, 퍼지식 사고, 김영사, 1995.
8. 김영권, 퍼지 전문가 시스템을 위한 합성 추론 규칙의 확장, 중앙대학교 대학원 전자계산학과 석사학위논문, 1993.
9. 김인호, 건설경영, 21세기북스, 1996.
10. 이상엽, Visual C++ Programming Bible ver 6.x, 영진출판사, 1998.

Abstract

This study proposes FREES(Fuzzy Risk Evaluation Expert System) for analyzing and evaluating risks occurring during the construction process. The feasibility of this system model was tested by virtual scenario. For the development of the model, at first, risk breakdown structure was established based on risks identified in the existing researches, that is quantitative and qualitative. FREES can reflect human cognition process in the risk analysis and evaluation by adopting artificial intelligence fuzzy theory, differentiating the existing quantitative analysis model. The FREES can be applied to all the project phases from planning to operation & maintenance stage

Keyword : Risk, Fuzzy Theory, Risk Analysis, Risk Evaluation, Risk Breakdown Structure, Expert System