

건설관리에서의 PROMETHEE기반 공정 리스크 분석

Analysis of the Schedule Risk using PROMETHEE in Building Construction Management

이 장 영*
Lee, Jang-Young

윤 유 상**
Yoon, You-Sang

장 명 훈***
Jang, Myung-Houn

서 상 욱****
Suh, Sang-Wook

요 약

최근 건설 프로젝트는 규모의 대형화, 공정의 복잡함 등에 의한 리스크 인자의 발생이 증가하고 있다. 이로 인해 건설관리에서 리스크 관리의 중요성은 더욱 부각되고 있는 현실이다. 리스크 관리는 확인, 분석, 대응의 과정을 통해서 이루어지며, 분석과정에서 위험인자들의 중요도 및 우선순위를 객관적이고 정확하게 분석해내는 것이 리스크 관리의 성공여부를 좌우한다. 본 연구는 기존연구에서 건설 프로젝트의 공정 리스크 중요도 및 우선순위를 산출하는데 사용된 AHP 기법의 문제점을 보완하기 위하여 PROMETHEE를 활용한 정량적 분석 프로세스를 제시하였다. PROMETHEE를 사용함으로써, AHP 기법에서 분석대상 인자가 9개를 초과 할 때의 신뢰성 저하와 인자의 추가 또는 삭제 시 발생하는 복잡한 산출절차의 문제점을 보완할 수 있을 것으로 기대된다.

키워드 : 공정, 리스크, 관리, 분석, AHP, PROMETHEE

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설 프로젝트는 불확실하고 복잡한 특성으로 인하여 다양한 리스크 인자를 내포하고 있으며, 이것은 공기지연 또는 공사비 상승 등의 결과를 초래한다. 그러므로 건설 프로젝트에서 리스크 관리는 프로젝트 내에서 발생하는 불확실한 위험인자를 미리 예측하고 대처함으로써 보다 성공적인 프로젝트로 이끌어 나갈 수 있는 수단이 된다. 리스크 관리는 확인, 분석, 대응의 과정을 통해서 이루어지며, 분석과정에서 위험인자들의 중요도 및 우선순위를 객관적이고 정확하게 분석해내는 것이 리스크 관리의 성공여부를 좌우한다.

리스크 중요도 산출 방법으로는 다기준 의사결정기법들이 사용되고 있으며, 다기준 의사결정기법에는 각 기준들의 효용함수(utility function)를 구하여 각 대안들의 점수(score)를 효용도

(utility)로 전환하는 MAUT(Multi- Attribute Utility Theory; Keeney and Raiffa, 1976)와 계량적 수치로 나타내기 어려운 요소들을 고려하여 구조화, 계층화함으로써 평가요소의 가중치를 설정하는 기법으로 Saaty가 제안한 AHP(Analytic Hierarchy Process)가 있다(홍성준 2005).

윤유상(2008)은 공정리스크 관리시스템 개발에 있어서 공정 리스크에 대한 분석방법으로 AHP 기법을 사용하여 각 인자간의 상대적인 중요도를 도출하였다. AHP 기법은 다기준 의사결정을 위한 가장 유용한 도구로 여겨지며, 그 적용성과 효용성도 충분히 연구가 이루어졌다. 특히 전문가의 주관적 판단을 하나의 수치로 선정하거나 가중치를 부과하여 대안을 선정하는 경우에는 매우 강력한 도구로 활용된다. 그러나 AHP 기법은 비교대상 인자 수가 제한적이며, 인자의 추가 및 삭제 시 복잡한 산출 절차를 거쳐야하는 문제점이 있다.

본 연구에서는 인자의 추가 또는 삭제 시 평가함수와 파라미

* 일반회원, 경원대학교 건축공학과 대학원, 석사과정, amis4251@hanmail.net

** 일반회원, 서울대학교 린건설연구단 연구실장, 공학박사, ys0824@snu.ac.kr

*** 일반회원, 제주대학교 건축학부 조교수, 공학박사(교신저자), jangmh@jejunu.ac.kr

**** 종신회원, 경원대학교 건축공학과 정교수, 공학박사, suh@kyungwon.ac.kr

터의 설정만으로 인자들 간의 비교가 자동적으로 이루어지는 PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod Enrichment Evaluations)를 활용한 공정 리스크 중요도 산출 방법을 제시함으로써, 기존에 사용된 AHP 기법의 문제점을 보완하고자 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 리스크 관리의 확인, 분석, 대응단계 중 리스크 분석을 중심으로 연구를 진행하였으며, 기존 연구에서 사용된 AHP 기법의 문제점을 파악하고 이를 보완할 수 있는 PROMETHEE 기반 공정리스크 분석 프로세스를 제안하고자 한다. 분석 대상인 리스크의 범위는 건설 프로젝트의 시공단계에서 발생할 수 있는 리스크 인자(이하, 공정리스크)이며, 공정리스크 중 시공자의 통제가 가능하고, 시공자 책임 하에 관리되어야 할 리스크 인자로 제한한다. 또한 분석대상은 현재 국내 건설프로젝트에서 일반적으로 사용되고 전체공사일정에 많은 영향을 미치는 철근콘크리트 공사를 대상으로 연구를 진행하였다.

본 연구는 아래와 같이 4단계로 진행된다.

- 1) PROMETHEE와 AHP 기법의 수행절차 및 특성에 대해 파악하고, 두 기법의 체계 및 프로세스에 대하여 비교한다.
- 2) PROMETHEE 기반 공정리스크 중요도 산출을 위한 기본 설정을 위해 리스크의 공기지연 요인을 분석하여 평가기준을 설정한다. 또한 선호함수 유형별 특징을 파악하고 평가지표 산출기준을 결정한다.
- 3) 설문을 통한 평가자료의 작성 및 공정리스크 중요도 산출을 통해 PROMETHEE 기반 공정리스크 중요도 분석 프로세스를 제시한다.
- 4) PROMETHEE를 통한 AHP 기법의 문제점 보완 사항을 확인하고, 건설관리에서의 활용방안 및 향후 발전방향을 제시한다.

2. 대기준 의사결정 방법

2.1 AHP 기법

AHP 기법은 1970년대 초 Thomas L. Saaty(1980)에 의해 처음 개발 되었으며 계층의 구성과 중요도 산출 및 우선순위 선정으로 이루어진다(강인석 2004). AHP 기법은 의사결정 문제를 계층 구조화하고, 이원비교를 기초로 평가기준들의 가중치(상대적 중요도)와 각 평가기준 하에서 대안들의 상대적 선호도를 도출한 후, 이를 계층구조에 따라 종합화하여 비교 대안들의

종합적 선호도 및 평가순위를 도출하는 방법이다(민재형 2003).

리스크 분석에 있어 AHP 기법의 활용에 관한 다양한 연구가 이루어져 왔으며, 리스크를 분석하기 위해서 Sedel과 Olsen(1990), Ahmad(1990), Alto(1994), Dey(1994)는 AHP 기법을 도입하였다. AHP 기법은 비구조화된 리스크를 나타내기 위한 의사결정기법이며, Al-Bahar(1991)은 AHP 기법을 이용하여 프로젝트의 리스크 정도를 Low, Medium, High로 구분하고 전체 프로젝트의 수준을 평가하였다(황지선 2003). 국내 건설 분야에서는 김창학(1999)이 AHP 모형과 확률적 평가 개념을 병행하여 리스크 분석 모델을 개발하였으며, 윤여완(2001)과 정태식(2005)은 리스크 분석에 있어 AHP 기법을 사용하였다. 또한 윤유상(2008)은 “공사프로세스 기반 공정리스크 관리지원 시스템”에서 AHP 기법을 활용한 리스크 인자별 영향도 분석을 실시하여 우선관리 리스크를 선정하였다.

AHP 기법은 의사결정 문제를 계층화하여 우선순위를 결정하는데 유용하며, 특히 정성적 인자를 정량적으로 평가할 수 있고 평가의 일관성을 추론할 수 있는 장점을 가지고 있다. AHP 기법은 그림 1과 같은 수행절차를 통해 이루어지며, Saaty의 AHP 기법에 관한 첫 저서 ‘The Analytic Hierarchy Process’에서는 계층도 및 상대비교 테이블 작성 시 비교인자의 수를 9개 이내로 조정하여 작성해야 한다고 주장하였다.

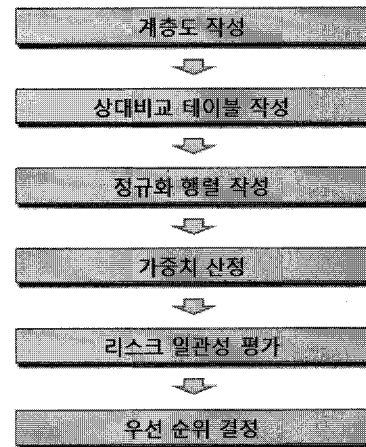


그림 1. AHP 기법 수행 절차

2.2 PROMETHEE

Brans와 Vincke(1985)는 순위선호(outranking) 개념을 바탕으로 기준별 선호함수(preference function)¹⁾와 선호의 유출량(leaving flow)²⁾ 및 유입량(entering flow)³⁾의 개념을 이용하여

1) 3,2절의 선호함수 유형 참조
 2) 다른 평가항목들을 선호 또는 지배하는(dominating) 정도

대안들 간의 우선순위를 도출하는 PROMETHEE를 개발하였다. PROMETHEE는 평가자(전문가)가 평가함수와 파라미터(parameter, 선호임계치)를 설정하면 내부 분석과정을 통해 평가항목들 간의 상대비교가 자동적으로 이루어지게 된다.

PROMETHEE를 활용하기 위해서는 평가의 기준에 대한 설정이 필요하며 6가지의 선호함수 중에 평가 기준에 가장 부합하는 선호함수를 선택하고, 이에 해당하는 파라미터를 설정한다. 다음으로 평가자에 의해서 평가 기준에 대해 평가 항목들이 얼마나 중요한가를 정량적으로 평가한 평가지표를 산출해낸다. 이러한 과정을 통해 표 1과 같은 평가 자료를 작성하고 이를 바탕으로 선호지수(preference index)를 계산한다.

표 1. 리스크 중요도 산출을 위한 평가자료의 예

평가기준	평가항목	Risk 1	Risk 2	Risk 3	Risk 4	Risk 5	선호 함수	가중치	파라미터
C-1		0.101	0.256	0.151	0.140	0.231	V	0.333	m=3
C-2		0.355	0.077	0.228	0.183	0.035	V	0.333	m=3
C-3		0.450	0.259	0.033	0.034	0.102	V	0.333	m=3

선호지수를 계산한 값을 이용하여 선호의 유출량과 유입량을 계산한다. 계산과정에서 평가자료의 차이가 양수이면 해당 평가함수의 값이 되지만 평가함수의 값이 음수가 되면 무조건 0의 값을 취한다.

여기에서 계산된 선호의 유출량과 유입량을 이용하여 부분적 우선순위(partial ranking)인 PROMETHEE I⁴⁾을 구하고, 순흐름량(net flow)⁵⁾의 계산을 통해 전체적인 우선순위(complete ranking)인 PROMETHEE II⁶⁾를 구한다.

PROMETHEE I에서는 선호의 유출량과 유입량의 관계에 따라서 두 평가항목에 대하여 비교불가능한 관계가 나타나게 된다. 이러한 비교불가능성이 실제 의사결정과정에서 존재하는 이유는 다음과 같이 세 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 의사결정문제에 대한 정보의 부족 및 불확실성으로 인하여 평가자의 판단력이 흐려지기 때문이다. 둘째, 적합한 선호함수가 존재하지 않는 경우가 발생할 수 있기 때문이다. 셋째, 의사결정자의 선호에 대한 인식결여 또는 선호표현의 부정확성 등으로 비교가 불가능

- 3) 다른 평가항목들로부터 선호 또는 지배되는(dominated) 정도
- 4) 선호의 유출량이 클수록, 선호의 유입량이 작을수록 다른 평가항목들보다 우월한 관계로 나타내며, 다른 평가항목들보다 선호의 유출량과 선호의 유입량이 모두 클 경우나 선호의 유출량과 선호의 유입량이 모두 작을 경우는 비교불가능한(incomparable) 관계로 나타냄
- 5) 선호의 유출량과 유입량의 차를 나타냄
- 6) 순흐름량이 클수록 다른 평가항목들보다 우월한 관계로 나타내며, PROMETHEE I에서 비교불가능 했던 관계의 평가항목들을 순흐름량을 통해 우선순위를 나타냄

할 수 있다. 한편, PROMETHEE에서 비교불가능성을 AHP 기법에서 선호판단의 비일관성(inconsistency)과 유사한 개념이라고 생각 할 수 있으나, PROMETHEE의 비교 불가능성은 비교대안의 선호판단과정에서 발생하는 것이 아니라 비교대안들의 평가순위를 결정하는 과정에서 파생된다는 점에서 AHP 기법의 비일관성과는 다르다고 볼 수 있다.(민재형 2003). 또한 PROMETHEE II에서는 모든 대안들의 우선순위를 순흐름량을 이용하여 PROMETHEE I에서 비교불가능했던 평가항목들에 대해 우선순위를 나타낸다.

PROMETHEE는 그림 2와 같은 수행 절차를 갖는다.

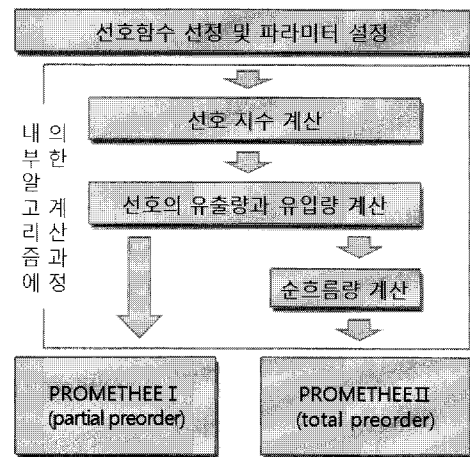


그림 2. PROMETHEE 수행 절차

세부적인 수행절차의 설명은 4장의 PROMETHEE 기반 공정 리스크 분석을 통해 대신한다.

2.3 PROMETHEE와 AHP 기법 비교

PROMETHEE 와 AHP 기법의 기본설정 및 체계를 비교하면 표 2와 같다(민재형 2003).

표 2. PROMETHEE와 AHP 기법의 기본 설정 및 체계 비교

구분	AHP	PROMETHEE
선호함수 형태	평가자의 주관적 판단에 의존	수학적 함수형태로 표현
가중치 결정방법	이원비교행렬에 기초하여 아이겐벡터 방법을 이용하여 도출	사전연구 및 의견수렴을 통하여 평가기준별 가중치를 결정
대안의 평가방법	평가자의 주관적 판단에 의존한 이원비교 수행	내부 알고리즘에 의한 수치적 이원비교 수행
평가순위 부여방법	평가기준의 가중치와 평가기준별 선호도의 가중합 크기 순서로 결정	순위선호방법을 이용하여 평가 순위 결정
의사결정문제의 계층구조화	평가기준의 계층구조화	모형에 반영되어 있지 않음
기본가정	추이성, 비교가능성, 구분가능성	비추이성, 비교불가능성, 구분불가능성

PROMETHEE는 의사결정자가 평가함수와 파라미터를 결정하면 내부 알고리즘에 의해 대안들 간의 상대비교가 자동적으로 수행되므로 비교대안수가 많고, 새로운 대안이 추가 또는 삭제되는 경우, AHP 기법보다 효율적으로 상대비교를 할 수 있다 (박석영 2005; 민재형 2003).

공정리스크 분석 프로세스를 통하여 PROMETHEE와 AHP 기법을 비교하면 그림 3과 같다.

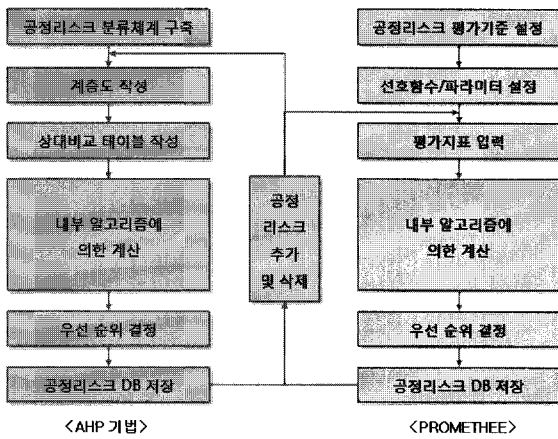


그림 3. PROMETHEE와 AHP 기법의 공정리스크 분석 프로세스 비교

AHP 기법과 비교하여 PROMETHEE의 장점을 정리하면 다음과 같이 세 가지로 나타낼 수 있다.

첫째, AHP 기법은 계층도를 작성하기 위한 분류체계를 구축해야 하지만 PROMETHEE는 별도의 분류체계를 필요로 하지 않는다.

둘째, AHP 기법은 평가하고자 하는 공정리스크의 수가 9개를 초과할 경우 발생하게 되는 일관성 및 신뢰성 저하의 문제점을 가지고 있지만 PROMETHEE의 경우 평가하고자 하는 공정리스크의 수에 상관없이 평가가 가능하다.

셋째, 공정리스크 추가 및 삭제 시 AHP 기법은 새로운 계층도 작성을 통한 상대비교 테이블을 재작성해야 하는 등 복잡한 산출 절차를 반복해야 한다. 하지만 PROMETHEE는 추가 및 삭제되는 공정리스크에 대한 평가자료를 입력 및 삭제하면 내부 알고리즘에 의하여 자동적으로 중요도가 산출이 된다.

공정리스크 분석 프로세스에 있어, PROMETHEE를 활용함으로써, AHP 기법에서 발생하는 문제점의 보완이 가능할 것으로 기대된다.

3. PROMETHEE 활용을 위한 기본 설정

3.1 평가기준 설정

PROMETHEE를 활용하기 위해서는 평가기준의 설정이 필요하다. 평가기준은 평가항목이 어느 정도의 중요도를 갖는지에 대한 평가를 수행하기 위한 기준을 제시해야 한다. 그러므로 공정리스크 중요도 산출 방법에서의 평가기준은 원인인 공정리스크 인자가 건설 프로젝트에 미치는 파급효과(결과)를 토대로 설정한다. 공정리스크는 건설 프로젝트에서 시공자의 통제가 가능하고, 시공자 책임 하에 관리되어야 할 인자이므로 발생 시 공기 지연의 파급효과를 가져온다.

본 연구는 현재 국내 건설프로젝트에서 일반적으로 사용되고 전체공사일정에 많은 영향을 미치는 철근콘크리트 공사를 대상으로 연구를 진행하였으며, 분석결과 공기지연을 유발하는 인자를 그림 4와 같이 원가상승, 품질저하, 안전사고, 작업지연의 4가지 유형으로 분류하여 평가기준을 설정하였다.

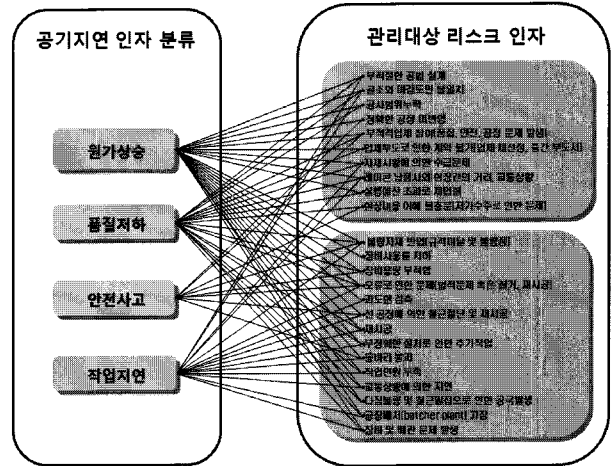


그림 4. 공기지연 인자 유형 분석

본 연구에서는 위의 4가지 평가기준을 다음과 같이 정의한다. 원가상승은 추가비용의 발생으로 인한 공기지연 인자이며, 품질저하는 품질기준 미달로 인한 재시공 등 품질의 하자로 인한 공기지연 인자이다. 또한 안전사고는 안전사고의 근로손실일수로 인한 공기지연 인자이며 작업지연은 해당 공종의 작업지연으로 인하여 전체 공기지연에 영향을 주는 공기지연 인자이다. 이 4가지 평가기준의 평가를 통해서 공정리스크가 공기지연에 얼마만큼의 영향을 미치는지에 대한 평가가 이루어진다. 공정리스크 인자는 윤유상(2008)의 연구에서 제시한 공정리스크를 대상으로 연구를 진행하였다.

3.2 선호함수 유형별 특징

Brans와 Vincke(1985)는 PROMETHEE를 활용하기 위한 선 호함수를 6가지로 정의하였으며, 평가자는 6가지의 선호함수 중 평가기준의 특성에 맞는 선호함수를 선택하고, 해당되는 선호함 수의 파라미터를 설정해야 한다.

본 연구에서는 표 3과 같이 6가지의 선호함수 유형별 특징을 공정리스크 중요도 산출에 적용 가능하도록 정리하였다.

표 3. PROMETHEE의 선호함수 유형

선호함수 유형	특징
(1) 미분형	공정리스크 발생 시 리스크의 강도와 상관없이 공기지 연이 발생하는 유형
(2) U형	공정리스크 발생 시 리스크 강도에 따라 특정 강도(m)까 지는 공기지연에 아무런 영향을 미치지 않지만 특정 강 도(l)를 초과 시에는 리스크에 따른 공기지연이 발생되 는 유형
(3) V형	공정리스크 발생 시 리스크 강도의 증가에 따라 특정 강도(m)까지 공기지연에 미치는 영향이 일정하게 증가 하는 유형
(4) 계단형	공정리스크 발생 시 리스크의 강도의 증가에 따라 특정 강도(q) 초과 시 1차적으로 공기지연이 나타나며, 두 번 째 특정 강도(p+q) 초과 시 2차 공기지연이 발생하는 유형
(5) 선형	공정리스크 발생 시 특정 강도(s)까지 공기지연에 영향 을 미치지 않고, 이 강도에서부터 두 번째 특정 강도 (s+r)까지 공기지연에 미치는 영향이 일정하게 증가하 는 유형
(6) 정규분포형	공정리스크 발생 시 리스크 강도의 증가에 따라 공기지 연에 미치는 영향이 특정 강도(a)까지 완만하다가 이 강 도를 초과 시에는 공기지연에 급격하게 영향을 미치는 유형

3.3 평가지표 산출기준

PROMETHEE를 활용하기 위해서 3.1절에서 분석된 원가상 승, 품질저하, 안전사고, 작업지연의 4가지 평가기준에 대한 평가 지표 산출기준은 PDRI(Project Definition Rating Index)에서의 정의수준을 활용하였다. PDRI는 프로젝트의 범위를 규명하기 위 해 중요한 요소(Critical Element)를 기술함으로써 프로젝트 팀 으로 하여금 프로젝트리스크에 영향을 주는 요인에 대한 정확하 고 신속한 평가를 가능하게 하는 프로젝트 범위(Scope)의 규명정 도를 평가하는 수단이다(Construction Industry Institute 1996). PDRI는 3개 부(Section), 11개 범주(Categories), 64개 요 소(Element)로 구성되어 있으며, 64개의 요소는 PDRI 평가기준 에 따라 0에서부터 5까지 평가된다(윤유상 2005).

본 연구에서는 PDRI에서의 정의수준을 활용하여 본 연구에 적 합하도록 재구성 하였다. 재구성된 평가기준은 항목의 평가에 있 어서 평가자(전문가)들 간의 의사소통 기준 및 항목을 평가하는

도구로 활용된다. 각 평가항목의 평가지표는 표 4의 평가지표 산 출기준에 의거하여 평가자에 의해 0~5의 평가지표를 산출한다.

표 4. 평가지표 산출기준

평가지표	평가 기준
0	공기지연 인자의 발생을 일으키지 않음
1	공기지연 인자의 발생 가능성이 낮고, 발생 시 공기지연 일수에 영향을 미치지 않음
2	공기지연 인자의 발생 가능성이 낮고, 발생 시 공기지연 일수가 적아서 쉽게 공기만회하 기 가능함
3	공기지연 인자의 발생 가능성이 어느 정도 예상되고, 발생 시 공기지연 일수가 적아서 공 기를 만회하기 위해서는 소규모 추가 자원이 소요됨
4	공기지연 인자의 발생 가능성이 높고, 발생 시 공기지연 일수가 많아서 공기를 만회하기 위해서는 대규모 추가 자원이 소요됨
5	공기지연 인자의 발생이 100% 일어나며, 공기지연에 막대한 영향을 미치기 때문에 공기 만회하기 어려움

4. PROMETHEE기반 공정리스크 분석

4.1 평가자료 작성

PROMETHEE 기반 공정리스크 분석을 위해서 각 평가항목 에 대한 평가자료를 3장에서 제시된 내용을 바탕으로 작성한다. 먼저 각 평가기준의 특성에 맞는 선호함수를 선정한다. 선호함 수 및 평가지표는 10년 이상의 실무경력을 가진 K사의 현장실 무자(본부장), L사의 현장실무자(소장, 차장), S사의 현장실무자 (부장, 차장, 과장 2인, 대리)를 대상으로 진행한 설문결과를 통 해 도출하였다. 표 5는 평가기준별 선호함수 유형 선택의 설문 결과를 나타낸 것이다. 선호함수는 가장 많이 선택된 유형을 선 정했으며, 평가지표는 작성한 자료의 평균값(평가자료의 합/평 가자 수)을 적용하였다.

표 5. 평가기준 별 선호함수 유형 선택 설문결과

구분	원가상승	품질저하	안전사고	작업지연
미분형	0	0	1	0
U형	1	1	2	1
V형	5	4	1	4
계단형	0	0	4	0
선형	0	1	0	1
정규분포형	2	2	0	2

전문가의 의견에 따라 원가상승, 품질저하, 작업지연의 3가지 평가기준은 V형의 선호함수를 선택하였으며, V형의 선호함수는 평가지표의 최대값이 5이므로 파라미터(m)의 값은 5로 설정한 다. 안전사고의 평가기준은 계단형의 선호함수를 선택하였으며, 계단형의 선호함수는 실제 데이터를 적용한 결과, 공기지연 크 기의 변화에 영향을 미치는 지점을 평가지표의 5점 척도를 기준 으로 재구성하는 것이 적합하다고 판단되었다. 이러한 선호함수

의 형태는 다음 표 6과 같이 공정리스크 중요도 분석에 적합한 형태로 나타낼 수 있다.

표 6. 평가기준 별 선호함수 형태

평가기준	선호함수 형태
원가상승, 품질저하, 작업지연	
안전사고	

각 평가항목의 평가지표는 평가지표 산출기준에 의하여 산출하며, 산출된 값이 클수록 더 위험한 항목이므로 최대화(maximum)의 문제로 정의된다. 또한 평가자료는 평균값을 활용하기 때문에 지속적인 자료의 축적을 통해 향후 신뢰성의 향상을 기대할 수 있다. 평가기준 별 가중치는 프로젝트 및 사용자에 따라 변경이 가능하므로 본 연구에서는 동일한 가중치를 적용하도록 한다.

위 자료를 토대로 표 7과 같이 공정리스크 중요도 산출을 위한 평가 자료를 작성한다.

표 7. 철근콘크리트 착공 전 단계 공정리스크 중요도 산출을 위한 평가자료

평가항목	평가기준	원가상승	품질저하	안전사고	작업지연
	max/min	max	max	max	max
01.골조와 마감도면 불일치		2.625	3.375	1.125	3.125
02.부적절한 공법설계		3.625	3.500	2.000	3.250
03.공사범위의 누락		3.125	2.250	1.500	2.750
04.정확한 공정 미반영		2.250	2.000	1.250	2.875
05.품질 부적격 업체 참여		2.875	4.500	2.375	3.250
06.안전 부적격 업체 참여		2.125	1.500	4.625	3.250
07.공정 부적격 업체 참여		2.375	2.875	2.000	3.875
08.실형예산 초과로 인한 재입찰		2.125	2.125	1.500	3.125
09.현장내용 이해 불충분		2.500	2.375	1.625	2.375
10.저가수주로 인한 문제		2.375	4.125	3.125	3.250
11.업체부도로 인한 계약 불가		3.125	3.125	2.375	4.125
12.계약 후 업체의 부도		3.500	3.250	2.750	4.375
13.자재시행에 의한 수급문제		3.125	2.750	1.000	4.125
14.레이콘공성과 현장과의 거리		1.750	3.375	0.750	2.375
15.현장인근 지역의 교통상황		1.250	2.500	1.000	2.875
선호함수		V형	V형	계단형	V형
가중치		0.25	0.25	0.25	0.25
파라미터		m=5	m=5	q=정수, 1≤q≤5	m=5

4.2 선호지수 계산

표 7에서 작성한 내용을 기반으로 식(1)을 통해 평가 자료를 계산하면 표 8과 같이 선호지수를 구할 수 있다.

$$\pi(a, b) = \sum_{h=1}^4 w_h p_h(a, b) \tag{1}$$

식(1)에서 평가기준은 원가상승, 품질저하, 안전사고, 작업지연이다. w_h 는 평가기준 h 의 가중치를 나타내며 $p_h(a, b)$ 는 대안 a 와 b 의 평가자료 차이에 대한 의사결정자의 선호성향을 반영한 함수 값이다(홍성준 2005).

[02. 부적절한 공법설계]의 [05. 품질 부적격 업체 참여] 대비 선호지수를 계산해보면 다음과 같다. 표 7에서 산출된 [02. 부적절한 공법설계]와 [05. 품질 부적격 업체 참여]의 평가지표의 차이가 원가상승은 $0.750(=3.625-2.875)$, 품질저하는 $-1.000(=3.500-4.500)$, 안전사고는 $-0.375(=2.000-2.375)$, 작업지연은 $0(=3.250-3.250)$ 이 된다. 따라서 평가기준별 평가함수와 가중치, 파라미터에 의한 선호지수는 각각 $0.038(0.25 \times 0.750/5)$, 0 , 0 , 0 이 되므로 [05. 품질 부적격 업체 참여] 대비 [02. 부적절한 공법설계]의 선호지수 합은 0.038 이 된다.

반대로 [05. 품질 부적격 업체 참여]의 [02. 부적절한 공법설계] 대비 선호지수를 구해보면, 표 5에서 산출된 [05. 품질 부적격 업체 참여]와 [02. 부적절한 공법설계] 평가지표의 차이가 원가상승은 $-0.750(=2.875-3.625)$, 품질저하는 $1.000(=4.500-3.500)$, 안전사고는 $0.375(=2.375-2.000)$, 작업지연은 $0(=3.250-3.250)$ 이 된다. 따라서 평가기준별 평가함수와 가중치, 파라미터에 의한 선호지수는 각각 0 , $0.050(0.25 \times 0.100/5)$, 0 , 0 이 되므로 [02. 부적절한 공법설계] 대비 [05. 품질 부적격 업체 참여]의 선호지수 합은 0.050 이 된다.

4.3 선호의 유출량과 유입량 계산

선호의 유출량은 다른 평가항목들을 선호 혹은 지배하는 정도를 나타내는 수치이고, 선호의 유입량은 다른 평가항목들로부터 선호 혹은 지배되는 정도를 나타내는 수치이다(홍성준 2005).

식(1)을 이용하여 계산된 선호지수를 바탕으로 식(2)와 식(3)을

$$\Phi^+(a) = \sum_{x \in K} \pi(a, x) \tag{2}$$

$$\Phi^-(a) = \sum_{x \in K} \pi(x, a) \tag{3}$$

이용하여 표 9와 같이 선호의 유출량과 유입량을 계산한다.

표 8. 철근콘크리트 착공 전 단계 공정리스크 중요도 산출을 위한 선호지수

$\pi(a, b)$	01. 골조와 마감도면 불일치	02. 부적절한 공법설계	03. 공사범위의 누락	04. 정확한 공정 미반영	05. 품질 부적격 업체 참여	06. 안전 부적격 업체 참여	07. 공정 부적격 업체 참여	08. 실행예산 초과로 인한 재입찰	09. 현장내용 이해 불충분	10. 저가수주로 인한 문제	11. 업체부도로 인한 계약 불가	12. 계약 후 업체의 부도	13. 자재시황에 의한 수급문제	14. 레미콘공장과 현장과의 거리	15. 현장인근 지역의 교통상황
01.골조와 마감도면 불일치	-	0.000	0.075	0.088	0.000	0.119	0.038	0.088	0.094	0.013	0.013	0.006	0.031	0.081	0.125
02.부적절한 공법설계	0.063	-	0.113	0.150	0.038	0.175	0.094	0.150	0.156	0.063	0.044	0.019	0.113	0.194	0.238
03.공사범위의 누락	0.025	0.000	-	0.044	0.013	0.088	0.038	0.056	0.050	0.038	0.000	0.000	0.000	0.088	0.094
04.정확한 공정 미반영	0.000	0.000	0.006	-	0.000	0.044	0.000	0.013	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050	0.050
05.품질 부적격 업체 참여	0.125	0.050	0.138	0.213	-	0.188	0.106	0.163	0.169	0.044	0.069	0.063	0.138	0.206	0.250
06.안전 부적격 업체 참여	0.156	0.100	0.175	0.169	0.100	-	0.100	0.156	0.194	0.050	0.100	0.050	0.150	0.213	0.213
07.공정 부적격 업체 참여	0.038	0.031	0.088	0.088	0.031	0.113	-	0.088	0.100	0.031	0.000	0.000	0.056	0.156	0.175
08.실행예산 초과로 인한 재입찰	0.000	0.000	0.019	0.013	0.000	0.031	0.000	-	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.056	0.056
09.현장내용 이해 불충분	0.000	0.000	0.006	0.019	0.000	0.063	0.006	0.031	-	0.006	0.000	0.000	0.000	0.038	0.063
10.저가수주로 인한 문제	0.144	0.081	0.169	0.169	0.000	0.144	0.113	0.169	0.181	-	0.050	0.044	0.169	0.213	0.256
11.업체부도로 인한 계약 불가	0.125	0.044	0.113	0.200	0.056	0.175	0.063	0.150	0.156	0.081	-	0.000	0.069	0.206	0.238
12.계약 후 업체의 부도	0.156	0.056	0.200	0.238	0.088	0.213	0.100	0.238	0.244	0.113	0.038	-	0.106	0.288	0.275
13.자재시황에 의한 수급문제	0.075	0.044	0.094	0.131	0.056	0.156	0.050	0.131	0.138	0.081	0.000	0.000	-	0.156	0.169
14.레미콘공장과 현장과의 거리	0.000	0.000	0.056	0.056	0.000	0.094	0.025	0.063	0.050	0.000	0.013	0.006	0.031	-	0.069
15.현장인근 지역의 교통상황	0.000	0.000	0.019	0.013	0.000	0.050	0.000	0.019	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	-

표 9. 선호의 유출량과 유입량

	선호의 유출량(ϕ^+)	선호의 유입량(ϕ^-)
01.골조와 마감도면 불일치	0.769	0.906
02.부적절한 공법설계	1.606	0.406
03.공사범위의 누락	0.531	1.269
04.정확한 공정 미반영	0.188	1.588
05.품질 부적격 업체 참여	1.919	0.381
06.안전 부적격 업체 참여	1.925	1.650
07.공정 부적격 업체 참여	0.994	0.731
08.실행예산 초과로 인한 재입찰	0.213	1.513
09.현장내용 이해 불충분	0.231	1.625
10.저가수주로 인한 문제	1.900	0.519
11.업체부도로 인한 계약 불가	1.675	0.325
12.계약 후 업체의 부도	2.350	0.188
13.자재시황에 의한 수급문제	1.281	0.863
14.레미콘공장과 현장과의 거리	0.463	1.969
15.현장인근 지역의 교통상황	0.156	2.269

4.4 PROMETHEE I

표 9의 계산 값을 이용하면 그림 5와 같이 부분적인 우선순위 (partial ranking)를 나타낼 수 있다.

그림 5에서 왼쪽에 있는 항목들은 오른쪽에 있는 항목들 보다 공기지연에 대한 위험요소로서 우선순위가 높은 항목들이며, PROMETHEE I은 부분적인 우선순위를 나타내므로 화살표의 주고받음의 관계가 형성되지 않은 항목들은 비교불가능한 관계로 나타난다.

[12.계약 후 업체의 부도]의 선호유출량(2.350)은 [05.품질 부적격 업체 참여](1.919), [06.안전 부적격 업체 참여](1.925), [11.업체부도로 인한 계약 불가](1.675)보다 크고, [12.계약 후 업체의 부도]의 선호유입량(0.188)은 [05.품질 부적격 업체 참여](0.381), [06.안전 부적격 업체 참여](1.650), [11.업체부도로

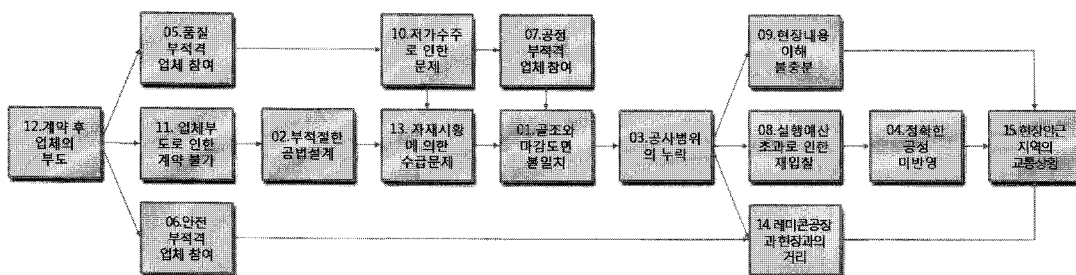


그림 5. 부분적인 우선순위 (PROMETHEE I)

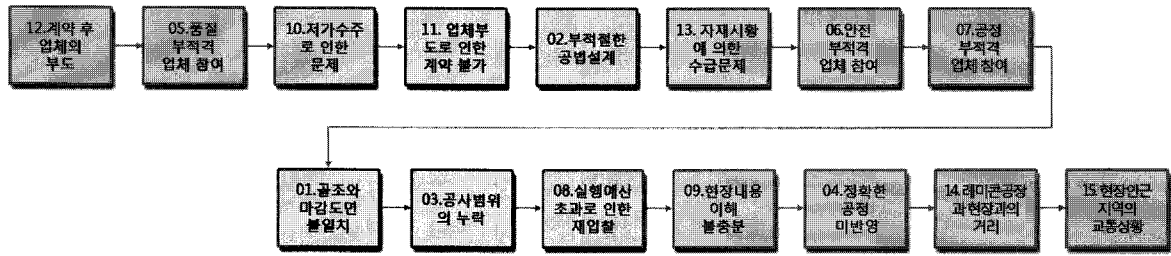


그림 6. 전체적인 우선순위 (PROMETHEE II)

인한 계약 불가](0.325)보다 작기 때문에 선호의 유출량과 유입량 관점에서 [12.계약 후 업체의 부도]가 [05.품질 부적격 업체 참여], [06.안전 부적격 업체 참여], [11.업체부도로 인한 계약 불가]보다 우월한 관계에 있다고 할 수 있기 때문에 화살표를 주고 받는 형태로 표현된다. 하지만 [05.품질 부적격 업체 참여]와 [11.업체부도로 인한 계약 불가]의 경우 선호유출량은 [05.품질 부적격 업체 참여]가 더 크고(1,919>1,675), 선호유입량은 [11.업체부도로 인한 계약 불가]가 더 작기(0.381<0.325) 때문에 두 평가항목은 화살표의 주고받음이 없는 비교불가능한 관계로 나타난다.

비교불가능한 관계는 평가기준 및 선호함수의 복잡한 상관관계에 의하여 두 항목의 우선순위를 결정하기 때문에 비교불가능한 항목이 발생하게 된다. 이는 의사결정자의 필요에 따라 우선순위 결정에 보조적인 역할을 한다.

4.5 순흐름량 계산

순흐름량은 선호의 유출량과 유입량의 차로 나타낸다. 표 9에서 계산된 값을 바탕으로 식(4)에 의해서 계산하면 표 10과 같이 순흐름량을 계산할 수 있다.

표 10. 순흐름량

	순흐름량(ϕ)
01.골조와 마감도면 불일치	-0.138
02.부적절한 공법설계	1.200
03.공사범위의 누락	-0.738
04.정확한 공정 미반영	-1.400
05.품질 부적격 업체 참여	1.538
06.안전 부적격 업체 참여	0.275
07.공정 부적격 업체 참여	0.263
08.실행예산 초과로 인한 재입찰	-1.300
09.현장내용 이해 불충분	-1.394
10.저가수주로 인한 문제	1.381
11.업체부도로 인한 계약 불가	1.350
12.계약 후 업체의 부도	2.163
13.자재시황에 의한 수급문제	0.419
14.레이콘공장과 현장과의 거리	-1.506
15.현장인근 지역의 교통상황	-2.113

표 10은 순흐름량을 계산한 값이고 PROMETHEE II를 적용하기 위한 자료가 된다. 각 공정리스크의 순흐름량을 비교하여 수치가 높을수록 위험한 리스크로 판단 할 수 있다.

4.6 PROMETHEE II

표 10의 계산 값을 이용하면 그림 6과 같이 전체적인 우선순위 (complete ranking)를 나타낼 수 있다.

부분적인 우선순위와 마찬가지로 전체적인 우선순위 또한 화살표의 시작점인 [12.계약 후 업체의 부도]가 가장 위험한 위험요소로 작용하는 공정리스크이고, [15.현장인근지역의 교통상황]이 가장 위험요소가 적은 공정리스크이다. PROMETHEE II에서는 순흐름량 값의 계산을 통해 PROMETHEE I에서 비교불가능한 관계로 나타났었던 항목들의 우선순위가 정해지고, 전체적인 공정리스크의 우선순위가 정해진다.

4.7 공정리스크 추가 및 삭제

PROMETHEE의 수행절차가 완료된 후, 기존 공정리스크의 삭제가 필요할 경우 해당 공정리스크의 평가지표만 삭제하면 자동적으로 새로운 중요도 값이 산출된다.

표 11. 신규 공정리스크 추가

평가항목	평가기준	원가 상승	품질 저하	안전 사고	작업 지연
	max/min	max	max	max	max
01.골조와 마감도면 불일치		2,625	3,375	1,125	3,125
02.부적절한 공법설계		3,625	3,500	2,000	3,250
		⋮	⋮	⋮	⋮
15.현장인근 지역의 교통상황		1,250	2,500	1,000	2,875
16.불량자재 반입		2,222	4,556	2,556	3,333
	선호함수	V형	V형	계단형	V형
	가중치	0.25	0.25	0.25	0.25
	파라미터	m=5	m=5	q=정수, 1≤q≤5	m=5

또한 새로운 공정리스크가 추가될 경우에는 표 11과 같이 평가 기준에 대한 추가 공정리스크의 평가지표만 입력하면 내부 분석 과정을 통해 평가항목 간의 상대비교가 자동적으로 이루어진다.

5. 결론

PROMETHEE는 별도의 분류체계 구축이 필요 없이 기존 분류체계의 사용이 가능하고, 평가항목의 수에 상관없이 중요도 산출이 가능하다. 또한 평가항목의 추가 또는 삭제 시 평가항목의 평가지표를 입력하거나 삭제하기만 하면 되는 장점을 가지고 있다. 그러므로 AHP 기법에서 평가항목이 9개를 초과 할 때 발생하는 신뢰성 저하와 인자의 추가 또는 삭제 시 발생하는 복잡한 산출절차의 문제점을 PROMETHEE를 통하여 보완할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 기존 연구에서 공정리스크 중요도 산출 방법으로 사용된 AHP 기법의 문제점을 파악하고 이에 대한 대안으로 PROMETHEE 기반 공정리스크 분석 프로세스를 다음과 같이 제시하였다.

- 1) PROMETHEE와 AHP 기법의 비교를 통하여 AHP기법의 문제점을 파악하고, PROMETHEE를 활용하여 AHP 기법의 문제점을 보완하는 공정리스크 중요도 산출방법을 제안하였다.
- 2) PROMETHEE 기반 공정리스크 중요도 산출을 위해 기존 철근콘크리트 공정리스크 분석을 통하여 평가기준을 설정하였으며, 평가지표의 산출기준을 PDRI에서의 정의수준을 활용하여 본 연구에 적합하도록 재구성 하였다.
- 3) 설문문을 통한 선호함수 선정 및 평가지표의 산출을 통해 철근콘크리트 착공 전 단계의 공정리스크 중요도 산출함으로써, PROMETHEE 기반 공정리스크 중요도 분석 프로세스를 제시하였다.

PROMETHEE 기반 공정리스크 분석은 평가자의 주관에 의해서 선호함수 및 파라미터의 설정이 이루어지므로 분석의 신뢰성을 확보하기 위해서는 선호함수 및 파라미터의 설정에 있어 많은 전문가의 의견수렴을 통해 지속적인 보완이 이루어져야 할 것이다.

향후, PROMETHEE 기반 공정리스크 중요도 분석 프로세스를 통하여 사용자에게 어떠한 형태로 대응방안을 제시해줄 수 있는지에 대한 연구도 함께 진행되어야 할 것이며, 공정리스크 중요도 분석에 있어 프로젝트 및 사용자가 적합한 기법을 선택하여 사용하는 환경이 가능하도록 PROMETHEE 이외의 다양한 다기준 의사결정기법의 적용을 위한 연구가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에 서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(05기반구축 D05-01)연구의 지원을 받아 수행한 연구의 일부임.

참고문헌

- 강인석 외 2인, “건설공사단계별 리스크 인자 중요도에 관한 현황 분석”, 대한건축학회 논문집, 구조계, 제17권 제8호, 2001, pp 103~110.
- 김창학, “건설공사 입찰단계에서의 리스크 분석 모델 개발, 박사학위 논문, 1999.
- 민재형 외 1인, “PROMETHEE를 이용한 다기준의사결정”, 서강경영논총, 서강대학교 경영연구원, 제14권, 제2호, 2003, pp.109~127.
- 박석영 외 2인, “ELECTRE IS의 구현시 일치판정 기준비율 도출과 핵심대안 선정을 위한 혼합정수계획 모형”, 대한산업공학회지, 대한산업공학회, 제31권, 제4호, 2005, pp.265~276
- 윤여완, “리스크 요인 분석을 통한 건축공법 선정방법에 관한 연구 : 지하구조체 공중을 중심으로”, 박사학위 논문, 2001.
- 윤유상, “건설공사의 공정리스크 관리시스템 개발”, 박사학위 논문, 2005.
- 윤유상 외 3인, “공사프로세스기반 공정리스크 관리지원 시스템”, 한국건설관리학회 논문집, 제9권 제4호, 2008, pp.101~110.
- 정태식, “착공 전 단계에서 공정 리스크 저감방안에 관한 연구 : 커튼월 공사를 중심으로”, 석사학위 논문, 2005.
- 황지선, “퍼지이론을 이용한 초기 건설공사의 리스크 관리 방법론”, 석사학위 논문, 2003.
- 홍성준, “PROMETHEE와 ANP의 다기준 의사결정기법 비교 연구”, 석사학위 논문, 2005.
- Brans, J. and Vincke, P., “A Preference Ranking Organization Method (The PROMETHEE Method For Multiple criteria Decision-Making)”, Management Science, Vol. 31, No. 6, 1985, pp. 647~656.
- Construction Industry Institute, PDRI : Project Definition Rating Index for Building Projects, Construction Industry Institute, 1996, pp.1~61.
- Keeney, R. and H. Raiffa, “Decisions with Multiple

Objective : Preferences and Value Tradeoffs”, John Wiley & Son, New York, 1976.
Saaty, Thomas L., The Analytic Hierarchy Process, McGaw-Hill, 1980.

논문제출일: 2009.06.10

논문심사일: 2009.06.12

심사완료일: 2009.12.18

Abstract

The building construction projects include a variety of risk factors due to uncertainties. To succeed in the projects, it is important how risks are managed. Risk management is composed of identification, analysis and response. Especially, the risk analysis is important to objectively calculate significance of risk factors. This paper evaluates a method to find priorities of risks using the AHP(Analytic Hierarchy Process). The method has some defects: (1) the consistency becomes weak as the number of pair-wise compared risks is large, and (2) the input and output procedures are complex when risks are added to or removed from a risk database. Thus the paper adopts the PROMETHEE(Preference Ranking Organization METHod Enrichment Evaluations) analysis process which is able to overcome the limitation of the AHP restricted to 9 risk factors. The PROMETHEE makes the procedure of risk analysis simple, when the risk factors pull out and put in the risk database. The purpose of this study is to provide process of risk analysis to use the PROMETHEE.

Keywords : *Risk Management, Risk Analysis, AHP, PROMETHEE.*
