

건설공사를 위한 위험분석기법 사례연구

A Case Study on Risk Analysis of Large Construction Projects

김창학* · 박서영** ·곽중민*** · 강인석****
Kim, Chang-Hak · Park, Seo-Young · Kwak, Joong-Min · Kang, In-Seok

Abstract

This research proposes a new risk analysis method in order to guarantee successful performance of construction projects. The proposed risk analysis methods consists of four phases. First step, AHP model can help contractors decide whether or not they bid for a project by analysing risks involved in the project. Second step, the influence diagraming, decision tree and Monte Carlo simulation are used as tools to analyze and evaluate project risks quantitatively. Third step, Monte Carlo simulation is used to assess risk for groups of activities with probabilistic branching and calendars. Finally, Fuzzy theory suggests a risk management method for construction projects, which is using subjective knowledge of an expert and linguistic value, to analyze and quantify risk. The result of study is expected to improve the accuracy of risk analysis because three factors, such as probability, impact and exposure, for estimating membership function are introduced to quantify each risk factor. Consequently, it will help contractors identify risk elements in their projects and quantify the impact of risk on project time and cost.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현대 건설공사는 그 속성상 과거와 같이 시공자나 발주자의 경험과 직관에 의존해서 불확실 요소와 리스크를 다룰 수가 없는 상황이 되어가고 있다. 이러한 현실로 인해 건설산업분야에서는 리스크관리(risk management)에 대한 필요성이 점차 커져가고 있고, 시공자들은 좀더 체계적으로 리스크를 관리하기 위한 방법과 절차에 대해서 관심을 가져가고 있다. 특히 리스크 사건이 발생한 후가 아닌 사전에 이를 확인하고 분석해서 적절히 처리해야만 공사이윤을 극대화할 수 있다는 것을 점차 깨닫기 시작하고 있다. 건설산업분야에서 리스크관리는 비교적 새로운 학문영역에 속하므로 국내·외의 연구 또한 미진한 실정이다. 그러나 리스크관리는 건설공사관리의 중요한 한 축으로 위험이 발생하기전 사전에 리스크 인자를 파악하고 차단하고자하는 매우 적극적인 공사관리방법이다. 건설공사에는 항상 많은 리스크 요인과 불확실 요인이 존재하게 되므로 시공자는 이를 관리

* 진주산업대학교 토목공학과 조교수, 정회원

** 철도기술연구원, 정회원

*** 경상대학교 토목공학과 선임연구원, 정회원

****경상대학교 토목공학과 생산기술연구소 부교수, 정회원

하고 대응하기 위한 적절한 관리절차와 분석절차가 필요하다. 그러나 기존의 리스크 분석방법들이 사회과학에서 널리 활용되고 있는 분석방법을 채용함으로써 건설공사의 특성을 정확히 반영하지 못하고 있다. 따라서 본 연구의 주요 목적은 시공자가 건설공사를 수행하면서 공사기획단계나 시공단계에서 건설공사에 내재된 리스크를 정확히 정량화할 수 있는 리스크 분석방법을 찾는 데 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 목적은 우선 리스크인자의 정량화를 위해 널리 이용되고 있는 방법들에 대한 문제점을 살펴보고, 건설공사의 리스크분석에 적용가능한 퍼지기법의 적용성과 타당성을 검토하는데 있다. 현재 가장 널리 이용하고 있는 리스크 분석방법은 다음과 같으며, 본 연구에서는 다음 리스크분석기법들에 대한 적용성분석을 통해서 건설공사에 적용가능한 방법론과 가장 적절한 분석방법을 제시하게 될 것이다..

① 영향도(influence diagram method), ② 수형도(decision tree analysis), ③ AHP, ④ Monte Carlo Simulation, ⑤ Fuzzy

2. 사례분석

2.1 현장개요

사례분석을 위해 적용한 공사는 고속도로 건설공사(△

공구)에 포함된 턴키수행방식으로 진행되는 한 교량공사를 대상으로 실시하였다. 사례분석을 위해 적용된 대상공사는 6차선 총 연장 555m의 Steel Box Gider교량으로 2개의 교대와 10개의 피어로 구성되어 있다. 본 연구에서는 사례분석의 효율성을 증가시키고 단순화를 위해 3차선 상행선만을 대상으로 하여 내역서를 재 작성하여 리스크의 정량화 분석을 실시하였다. 또한 일정 분석의 경우에는 2개 교대와 5개의 피어만을 고려하여 분석을 실시하였다.

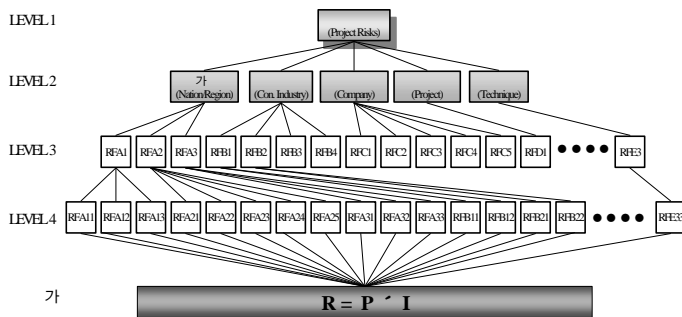


그림 6. 리스크평가모델의 구축

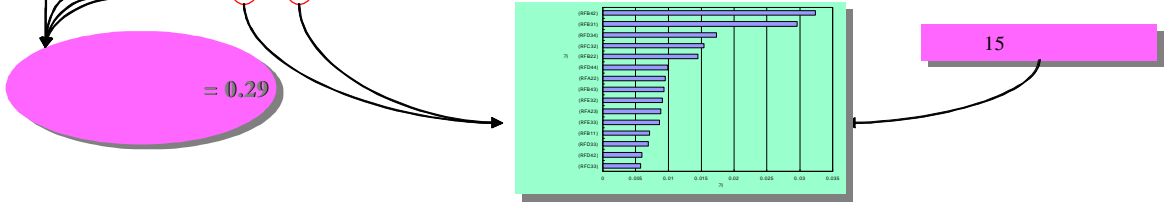
2.2 AHP 분석방법의 적용

2.2.1 리스크분류체계(RBS)의 구축

본 사례연구에서 제안서 작성단계의 리스크분석을 위한 첫번째 작업은 리스크인자를 확인하는 것이며, 리스크의 확인은 미리 작성된 체크리스트를 활용하거나, 리스크분류체계에 따라 각 그룹별 중요인자를 찾으려 한다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 리스크를 분류하였다. 제안서작성 단계에서 먼저 고려해야할 리스크평가인자는 (1) 국가현황(Nation/Region) (2) 건설산업(Construction Industry) (3) 회사내부환경(Company) (4) 프로젝트(Project) (5) 기술(Technique)을 포함해서 5섯가지 요소로 크게 구분하고, 그 하위 속성에 맞추어 리스크인자를 수록하였고, 분석은 AHP방법과 확률적 평가방법을 이용하였다.

분석결과 전체 리스크지수(수준)가 0.29로 계산되었다. 따라서 전체 프로젝트 환경의 리스크지수(수준)가 Low 리스크로 판정되므로 입찰에 참가하는 것이 적절한 것으로 판단되었다. 그 결과는 그림 2와 같다.

Level	NATION											CONSTRUCTION INSTRUCTION											
	0.388											0.051											
Level	RFA1			RFA2				RFA3				RFB1			RFB2			RFB3			RFB4		
	0.263			0.659				0.079				0.050			0.172			0.215			0.562		
Level	RFA 11	RFA 12	RFA 13	RFA 21	RFA 22	RFA 23	RFA 24	RFA 25	RFA 31	RFA 32	RFA 33	RFB 11	RFB 12	RFB 21	RFB 22	RFB 23	RFB 31	RFB 32	RFB 33	RFB 41	RFB 42	RFB 43	
	0.528	0.333	0.14	0.179	0.394	0.294	0.098	0.035	0.1	0.3	0.6	0.857	0.143	0.226	0.674	0.101	0.625	0.238	0.136	0.127	0.687	0.186	
가	0.63	0.45	0.49	0.81	0.63	0.63	0.63	0.35	0.09	0.09	0.15	0.49	0.15	0.35	0.35	0.15	0.63	0.21	0.35	0.25	0.25	0.25	
가	0.038	0.018	0.007	0.037	0.063	0.047	0.015	0.003	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	
Rank	9	9	7	1	1	2	8	29	60	53	34	46	65	54	38	62	27	57	58	51	23	42	



2. AHP

2.3 영향도 기법

2.3.1 영향도구축

정량적인 리스크분석을 위한 첫 번째 작업은 영향도(Influence Diagramming method)를 구축하는 것이다. 영향도의 기본 구조는 의사결정노드(Decision Node), 기회노드(Chance Node), 값노드(Value Node)의 3가지 노드와 노드간의 관계를 나타내는 화살표로 구성된다. 의사결정노드는 사각형으로 표시하게 되며 이것은 의사결정의 전략안(Strategies)을 나타내고, 기회노드인 원은 불확실성, 모서리가 둥근 사각형은 가치척도(또는 계산된 결과)를 의미한다. 그리고 이들간의 영향관계는 화살표로 연결하여 표현하며, 영향관계는 화살표가 시작하는 방향에서 화살표가 끝나는 방향으로 진행된다. 본 사례연구에서는 외부적 리스크와 시공관련 리스크로 구분하였으며, 그 영향도는 그림 3, 4와 같다. 그림 3과 4에서 보는 것과 같이 영향도는 각 리스크인자가 공사에 미치는 영향을 시각적으로 파악하는 것이 매우 용이하다는 것을 알 수 있으며, 공사가 진행되다가 해당 리스크인자가 해결되면 영향도에서 삭제하거나 새롭게 나타나는 리스크인자를 추가해가면서 리스크 관리를 해 나가게 된다.

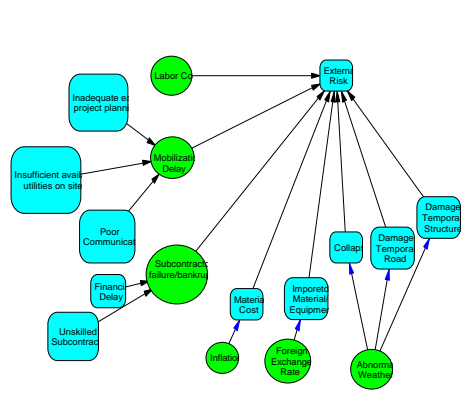


그림 3. 외부리스크 영향도

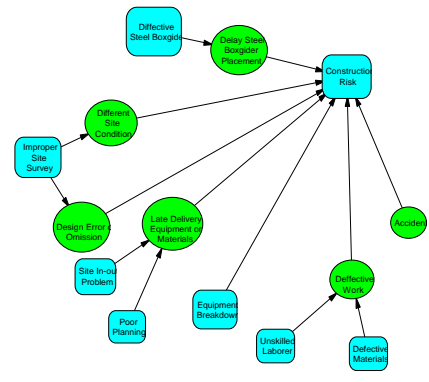


그림 4. 시공관련 리스크

2.3.2 시뮬레이션 분석

영향도가 작성되고 각 리스크인자에 대한 입력값이 모두 작성되고 나면 그림 3과 4에서 작성된 영향도에 의사결정나무기법을 이용해서 각각의 확률값과 리스크값을 입력한 다음 Monte Carlo Simulation을 1,000회 실시하게 되면 리스크 기대값을 산출할 수 있다. 그림 3과 4에서 작성된 영향도의 외부리스크와 시공관련리스크에 대해 시뮬레이션을 실시하게 되면 그림 5, 7과 같은 히스토그램을 얻을 수 있다. 이들 발생확률을 모두 누적해서 나타내면 그림 6, 8과 같은 누적분포 곡선을 얻을 수 있고, 이들 누적분포 곡선의 50%확률값을 취하게 되면 각각의 기대값을 산출할 수 있다. 외부적 리스크인자의 총 의사결정 나무가지의 수는 729개의 경우의 수를 갖고 분석되었다.

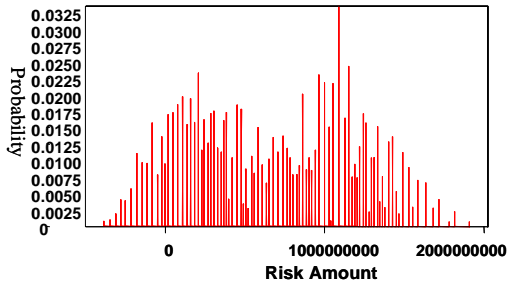


그림 5. 외부리스크의 히스토그램

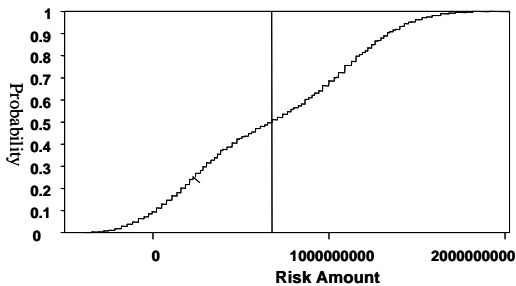


그림 6. 외부리스크 금액 누적분포

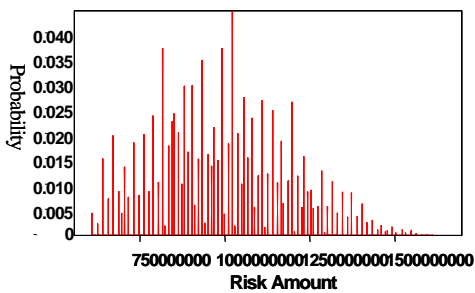


그림 7. 시공관련 리스크 히스토그램

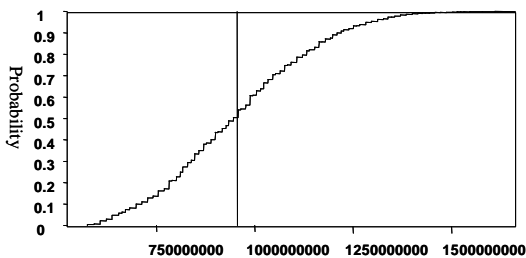


그림 8. 시공 리스크금액 누적분포

시뮬레이션 결과 외부 리스크인자의 기대값은 673,894,000원이 산출되었고, 시공관련 리스크인자의 기대값은 954,637,000원이 산출되어 본 사례분석 대상공사의 경우 1,628,531,000원의 예비비가 필요한 것으로 최종 계산되었다. 이 금액은 전체 공사비의 9.27%를 차지하는 금액이다. 그러나 주의할 점은 이것은 어디까지나 50%의 확률값을 갖고 있기 때문에 언제든지 이 금액을 초과하거나 못 미칠 수 있다는 것에 주의해야 할 것이다. 따라서 입찰금액에 포함시켜야 할 예비비는 누적확률 분포의 15 ~ 50%범위 내에서 입찰환경을 고려하여 추가시키는 것이 바람직할 것이다. 여기에서 확인된 기대값은 보험회사, 발주자, 하도급자 등과 협상을 위한 참고자료로서도 활용될 수 있을 것이다.

2.4 Montecarlo Simulation 기법의 활용

2.4.1 네트워크의 구축

본 사례분석을 위한 네트워크의 구축은 PDM(Precedence Diagram Method) 방식을 채택하였으며, PDM 분석 결과 총 소요공기 일수는 946일로 산정되었다. 이 공기는 각 활동의 리스크요인을 전혀 고려하지 않은 확정적인 일정으로서 이 공사일정은 공사의 지연가능성 등에 대한 어떠한 정보도 포함하고 있지 못하다. 또한 이 공기일수와 일자는 일정관리를 위한 목표치(Target Value)로서 기준일이 된다.

공사일정의 리스크분석을 위해 각 활동별 작업일정의 산정이 필요하다. 이 경우 과거 공사의 이행자료가 풍부하면 실적자료를 이용해서 작업소요시간에 대한 확률분포를 이용하면 되나 이러한 자료가 부족한 경우 PERT에서 이용하는 삼점법을 토대로 낙관치, 개연치, 비관치를 산정하여 입력한다.

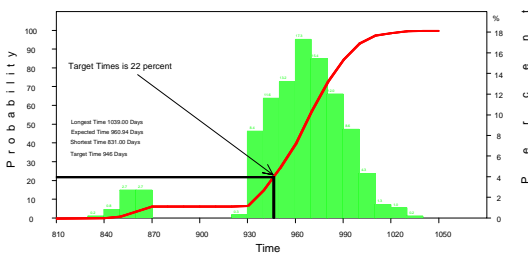


그림 9. 예상 총 공기일수

의 편차를 나타내고 있으며, 가장 빠른 준공일과 늦은 준공일 간에는 208일의 차이를 나타내고 있다.

(2) 확률적 후속활동을 고려한 일정분석

공사의 중요한 의사결정이나 불확실요인에 의해서 후속활동이 변화하는 경우 이 후속활동들에 대한 확률적 분기점을 고려해서 일정분석을 실시할 수 있다. 이러한 분기점을 Node라 한다. Node점은 공사에서 중요한 의사결정에 따라 여러 조치가 취해질 수 있는 활동을 말한다. 즉, 구조물의 검수, 시험, 재공사, 자금의 활용성, 생산성, 기타 여러 불확실요인의 발생 등과 같은 문제를 다루기 위한 분기활동이다. 본 사례분석에서는 그림 10과 같이 분기활동을 고려하였다.

시뮬레이션은 이러한 각 대안의 가능한 활동을 확률적으로 표현해서 이러한 활동이 전체 공사일정에 미치는 영향을 분석할 수 있다. 이러한 분기점을 고려하여 시뮬레이션을 실시한 결과는 그림 11과 같다. 최초의 목표치는 946일이고, 분기점을 고려한 공사일정의 기대치는 967일로서 21일의 편차를 나타내고 있다. 또한 최소값은 961일이고 최대값은 970일을 나타냄으로서 분기점을 고려할 경우 최초 견적일인 946일내에는 공사를 준공할 수 없음을 나타내고 있다.

2.4.2 시뮬레이션 분석

(1) 확률분포를 적용한 일정분석

네트워크를 구축하고 활동별 일정을 산정하고 난 후 시뮬레이션을 1,000회 실시하게 되면 그림 9와 같은 결과를 얻을 수 있다. 그림 14는 공사일자 대신에 공사일수로 표현한 것이다. 확정적 값으로 예측된 목표 공기는 946일이지만 시뮬레이션 결과 최소 831일에서 최대 1039일까지 공사가 지연될 수 있음을 나타내고 있으며, 기대치는 960.94일을 나타내고 있다. 목표공기와 기대치간에는 15일의

편차를 나타내고 있으며, 가장 빠른 준공일과 늦은 준공일 간에는 208일의 차이를 나타내고 있다.

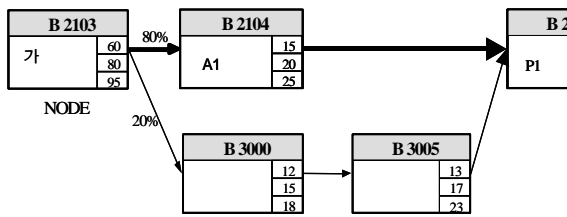


그림 10. 확률적 후속활동 고려(1)

(3) 확률적 칼렌다를 고려한 일정분석

모든 공정의 작업은 기후적인 영향을 많이 받게 된다. 특히 대형 토목공사의 경우 외부적 환경의 영향에 의해 절대적으로 영향

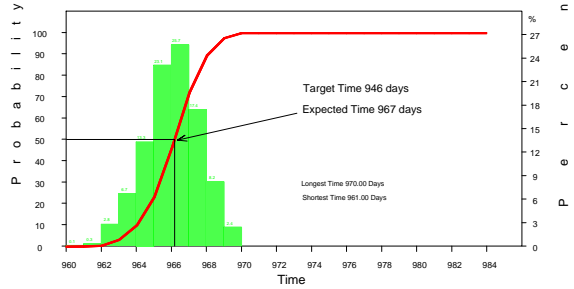


그림 11. 분기점을 고려한 예상 총 공기일수

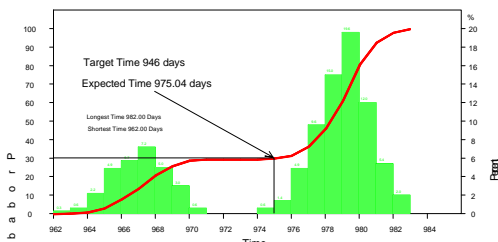


그림 12. 확률칼렌다를 고려한 예상 총 공기일수

을 받게된다. 따라서 공사일정 산정시 이러한 외부적 환경요인을 반드시 고려해야 한다. 본 사례분석에서는 장마철 10일간 강우에 의해 작업을 실시하지 못하게 될 확률을 70%로 산정한 다음 시뮬레이션을 실시하였으며, 그 결과는 그림 19와 같다. 시뮬레이션 결과 최소 962일, 최대 982일로 산정되었으며, 기대값은 975일로 산정되었다. 목표치 946일과는 29일의 편차를 나타내었으며, 목표공기내에 공사를 완료할 확률이 전무한 것을 알 수가 있다. 따라서 이에 따른 공기만회대책을 수립해야 함을 알 수 있다.

2.5 퍼지분석방법

2.5.1 FRAM의 절차화 및 단계 구성

본 연구에서 적용하는 퍼지리스크 분석 모듈(Fuzzy Risk Analysis Module)의 구성은 그림 13과 같다. 본 연구에서는 각각의 리스크 평가 요소에 대해 언어적 변수값(L, M, MLH, H, VH)을 지정함으로써 리스크 인자의 중요도(VL, L, M, H, VH)를 주관적 판단에 의해 결정하도록 하였다. 중요도를 결정하고 나면 리스크 평가를 위한 리스크 평가 인자의 기준을 설정한다. 이 기준은 발생확률(P, Probability), 노출정도(E, Exposure), 발생강도(I, Impact)의 3가지로 구성되며, 이들 평가 기준은 퍼지이론에 의하여 언어적 표현을 사용하여 평가한 다음 수치적으로 변환하게 된다. 이때 언어적 평가를 위한 기준은 7단계의 항목으로 분류하여 평가하고, 3가지 평가 기준(P, E, I)에 대한 리스크 평가 인자와 리스크 평가 요소의 퍼지 소속도 함수(membership function)값을 결정한다. 다음 단계로 결정된 퍼지 소속도 함수값을 적용한 리스크값(RV, Risk Value)이 계산되며, 이 RV를 이용하여 종합적 퍼지 리스크 평균값을 계산함으로써 리스크 평가 인자의 위험 수준(L, M, MLH, H, VH)을 결정하고 리스크 평가 인자의 순위 또한 결정되게 된다. 이러한 분석모듈의 전

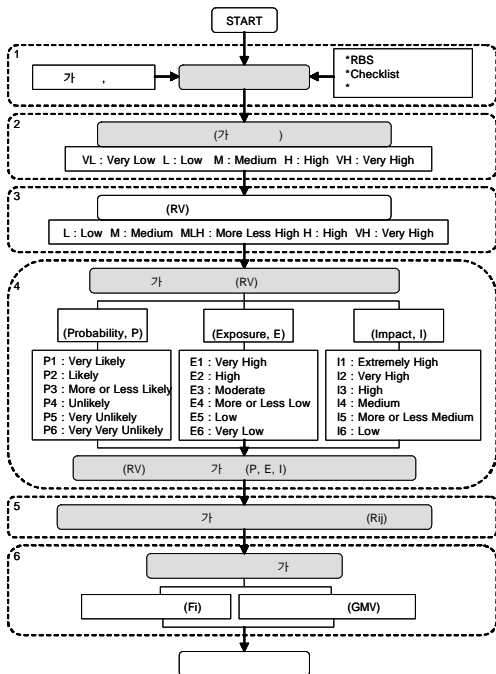


그림 13. 퍼지 다기준 의사결정 분석기법의 수행절차 및 단계

과정을 거치게 되면 최종적으로 각 리스크 인자의 수준을 미리 설정한 언어적 수준으로 평가할 수 있으며, 이것을 수치화하여 전체 리스크 인자를 순위화 시킴으로써 중점관리 대상의 리스크 인

자를 선정할 수 있다.

2.5.2 퍼지분석결과

퍼지분석과정을 거쳐 표 1과 같이 각 리스크인자의 수준을 언어적 변량으로 표현할 수 있으며, 또한 표 2와 같이 이들 인자의 순위를 중요도순으로 나타낼 수 있다. 분석결과 15개 대상인자의 수준은 보통 또는 낮은 수준을 기록하고 있음을 알 수 있다. 한 예로 물가상승인자는 리스크수준이 낮다(L)이고, 순위는 15개 리스크인자중 9위를 나타내었다. 계약내용의 부실인자가 분석대상중 가장 큰 리스크수준을 나타내고 있으며, 사업 인허가문제, 지반조사의 부실 등을 주요 리스크인자로 볼 수 있음을 알 수 있다.

표 1. 리스크 인자의 리스크 수준평가 결과

가	가					
	L	M	MLH	H	VH	
1. 가	0.100	0.202	0.545	0.890	1.206	L
2.	0.357	0.060	0.292	0.638	0.947	M
3. 가	0.269	0.088	0.409	0.753	1.051	M
4.	0.447	0.154	0.193	0.539	0.859	M
5.	0.107	0.347	0.692	1.038	1.342	L
6.	0.118	0.275	0.618	0.963	1.263	L
7.	0.384	0.091	0.257	0.603	0.921	M
8. 가	0.409	0.116	0.232	0.578	0.896	M
9.	0.117	0.256	0.599	0.945	1.246	L
10.	0.100	0.202	0.545	0.890	1.206	L
11.	0.119	0.278	0.621	0.96	1.266	L
12.	0.345	0.050	0.299	0.645	0.959	M
13.	0.364	0.066	0.286	0.632	0.940	M
14.	0.110	0.243	0.587	0.933	1.236	L
15.	0.380	0.085	0.278	0.622	0.926	M

표 2. 15개 리스크인자의 위험 순위

가	GMV	가
1. 가	0.274	9
2.	0.428	6
3. 가	0.359	8
4.	0.487	1
5.	0.184	15
6.	0.231	13
7.	0.448	3
8. 가	0.463	2
9.	0.242	12
10.	0.274	9
11.	0.229	14
12.	0.422	7
13.	0.432	5
14.	0.249	11
15.	0.438	4

이와 같이 비 정성적인 리스크인자를 전문가의 주관적 판단을 통해 퍼지식으로 정량화 함으로서 리스크인자의 수준을 언어적 수치로 표현하고 이를 순위화함으로서 중요 리스크인자에 대한 관리대책을 사전에 수립 할 수 있는 근거를 마련하였다. 이 결과에 대한 현실적인

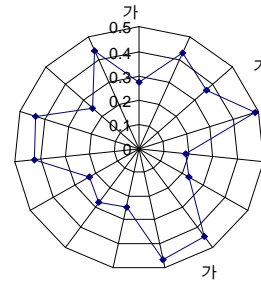


그림 14. 리스크 순위

사실증명을 위해서는 소속도함수의 적절성과 결과에 대한 검증이 이루어져야 하나 한 사이클이 매우 긴 건설사업의 특성상 그 결과에 대한 검증이 쉽지 않음을 알 수 있다. 그러나 건설공사에서 발생할 수 있는 위험사상을 사전에 찾아 관리하기 위한 목적에는 퍼지분석방법이 기타 다른 분석방법보다 매우 적절한 것으로 판단되며, 분석결과 또한 사례분석에 참여한 분석자들이 동의함으로서 본 논문에서 제시한 모델의 적용성은 매우 우수한 것으로 판단하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 건설공사에 내재된 리스크 인자를 정량화하기 위한 리스크분석방법을 산정하기 위해 건설공사에 적용가능한 리스크분석방법에 대한 사례분석을 실시하였으며, 가장 적절한 분석방법은 퍼지평가방법이 가장 적절하다는 판단을 하였다. 본 연구에서는 사회적인 사상의 인자를 정량화된 수치로 표현하는데 중점적인 연구를 진행하였다. 본 퍼지 평가모형의 특징은 전문가의 언어적 판단을 정량화된 수치로 전환함으로서 전체 프로젝트의 리스크 수준과 각 리스크 인자의 순위를 결정할 수 있다는 것이며, 건설공사의 리스크분석을 실시하는데 매우 적절한 것으로 판단되었다.

6. 참고문헌

1. 김창학, 강인석, 박서영, 대형건설공사의 중요도 판정을 위한 퍼지평가모형 적용성 연구, 대한토목학회논문집, 제22권, 제5-D호, pp.81~91, 2002.9
2. 강인석, 김창학, 손창백, 박홍태, 대형건설공사의 리스크분석에 관한 사례적용연구, 한국건설관리학회 논문집, 제2권 2호, pp.98~108, 2001.6
3. 김창학, 강인석, 박홍태, 대형건설공사의 기획단계 리스크지수 산정에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 제20권, 제 5-D호, pp559~569, 2000.9
4. 김창학, 이배호, 강인석, 건설공사의 리스크분석을 통한 예비비산정 모형 구축에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 제19권, 제 1-5호, pp813~823, 1999.9