지하구조물 건축현장의 공법별 리스크 분석
The Risk Analysis of Construction Method for Field Work

유 인 근* 최 상 춘** 조 택 희** 구 본 우*** 윤 여 완****
Yoo, In-Geun Choi, Sang-Chun Cho, Taek-Hee Koo, Bron-Woo Yoon, Yer-Wan

ABSTRACT

In the past, The selection of individual method of construction was done by head of construction site or an experienced person very frequently. By doing this, The wrong selection of construction method without exact adjudication of construction site situation lead to increasing of cost and extension of construction term. Finally it will effect all over the construction process. Especially, In case of underground construction in the beginning, there are a lot of a variable factor and it also effect on the entire construction process and it need very careful process. The purpose of this study is to select the most suitable construction method by analysing potential conditions(construction site situation and client request in designing) To do this, We prepared arrangement rule to arrange the conditions for construction method. And then make checklist of the analyzing construction method.

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

지하구조물 건축공사에 있어, 근래 들어 등장한 다양한 형태의 건축물을 시공하고자 각종 공법이 개발되고 있는 실정이며 이러한 각종 공법개발은 건설과정의 복잡한 변수를 제공하게 되며 이들 변수에 따른 적정공법의 선택에 관한 객관적인 기준에 대한 마련이 시급한 실정이다. 과거 개별공법에 대한 선정은 현장소장이나 공사경험자의 직관에 의하여 선정되어지는 경우가 많았으며 이러한 과정에서 정확한 현장판단의 기준마련이 없는 관계로 잘못되어진 공법의 선정이 이루어진 경우 공사기간의 연장 및 공사비용의 증가를 초래하여 공사전반에 많은 영향을 미치게 된다. 특히 공사초기 지하공사의 경우 공법선정에 관련된 변수가 다양할 뿐만 아니라 공사 전반에 미치는 영향이 매우 높아 주의를 요하는 공종이라 할 수 있다.

이에 본 연구는 건축공사의 공종 중 지하공사를 대상으로 하여 현장의 각종 변수 즉 공사의 외부조건과 더불어 공법의 잠재적인 리스크를 고려하여 최적의 공법을 선정할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

기존의 공법선정에 관한 연구의 경우 공사에 관련된 현장조건의 파악 및 정리를 통하여 개별 공법을 선정하는 경우가 대부분이며 최근 연구의 경우 현장조건 즉 제한요소와 함께 공법간의 접목성에 대한 측정을 통하여 최적의 공법을 선정하기 위한 과정을 제시하고 이 과정에

* 서울메트로 기술연구실 건축과장, 정회원
** 서울메트로 기술연구실, 발명자
** 서울메트로 기술연구실, 고안자
*** 서울메트로 시설처 건축팀장, 서울시립대 석사과정
**** 원광대 건축공학과 강사, 공학박사

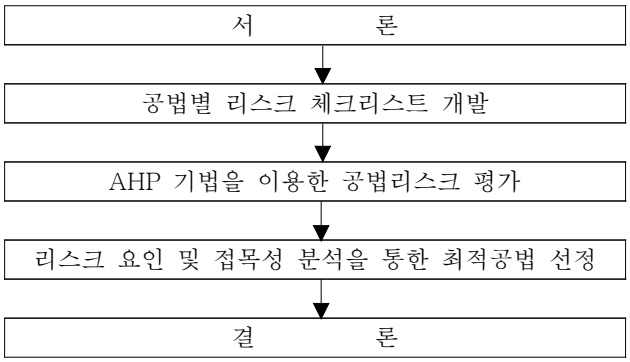
대한 전산화를 실시한 연구가 진행된바 있다.

그러나 기존 연구의 경우 구체적인 공법의 판단을 위하여 현장조건을 주로 사용하고 있어 공법의 구체적인 성능평가의 방법이 모호한 면이 있으며 또한 공법선정의 과정에 전문가의 견해가 효과적으로 반영되기 어려운 면이 있는 것으로 판단된다. 이에 본 연구는 공법이 가지고 있는 잠재적인 리스크 요인에 대한 분석을 실시하여 최적의 공법을 선정하기 위한 과정을 제안하고자 한다.

공법별 성능평가를 위한 공법 리스크의 판단을 실시하기 위하여 기존의 학·협회에서 사용하고 있는 공종별 체크리스트를 수집하고 정리한 후 체크리스트에 대한 중요도 조사를 실시하여 범용의 공종별 체크리스트를 작성하도록 한다.

작성되어진 범용의 공종별 체크리스트의 개별항목이 공법별 리스크 예측을 위한 체크리스트로서의 역할수행을 원활히 수행할 수 있는가를 파악하기 위하여 해당 공종에 적용 가능한 공법을 선정하여 이들 공법에 대한 리스크정도를 공종별 체크리스트를 이용하여 측정하고 리스크 예측을 위한 체크리스트를 작성하도록 한다.

이상의 과정을 통하여 작성되어진 리스크 체크리스트를 이용하여 개별공법의 리스크를 예측하기 위하여 다기준 의사결정기법(Multiple-Criteria Decision Making)중 하나인 계층의사결정기법(Analytic Hierarchy Process 이하 AHP)을 이용하여 전문가의 의견을 합리적으로 수렴하도록 하고 이와 더불어 선행공법과의 접목성을 측정하기 위하여 AHP기법의 쌍대비교방법을 사용하여 리스크의 정도측정 결과값과 동일한 형태의 결과값을 유도하여 리스크 정도와 공법간의 접목성이 고려된 최적의 공법을 선정하도록 한다.



<그림 1> 연구의 흐름

2. 이론적 고찰

2.1 리스크 관리

리스크는 손실, 불이익, 파손의 가능성 등으로 정의되어지며 프로젝트의 목적에 영향을 미치는 어떠한 사건의 노출과 발생가능결과의 정도를 말한다.

리스크 관리는 일반적으로 리스크 인지, 리스크 분석, 리스크 대응전략수립의 과정으로 실시하게 되며 리스크 인지단계에는 체크리스트, 공사관련 서류, 공종분활체계등의 기법이 사용되어지며 리스크 분석단계는 민감도 분석, 확률분석, AHP(Analytic Hierarchy Process)등의 기법이 사용되어진다.[1)]

리스크 관리의 과정 중 리스크에 대한 정량화가 이루어지는 리스크 분석의 경우 리스크의 유형에 따라 적절한 기법을 사용하여 분석을 실시하여야 한다. 즉 리스크의 유형에 따라 내적인 요인에 의한 리스크와 외적인 요인에 의한 리스크는 그 영향정도나 통제의 방법이 다르기

1) Edmund H. Conrow, Effective Risk Management, AIAA, 2000.

때문에 이 둘을 합리적으로 분석하고 비교하기 위한 기법을 적용하여야 한다.

3. 공법선정을 위한 공종분류체계

적용가능공법선정을 위하여 공종분류의 기준을 마련하도록 한다. 일반적으로 공법은 공사의 진행단계별로 적용이 이루어지므로 공사의 진행단계별 공종 분류를 기준으로 하여 공법을 정리하여야 할 것이다. 따라서 공법선정을 위한 각종조건 또한 공종 분류를 기준으로 하여 정리하는 것이 타당할 것이다.

따라서 본 연구에서는 건설교통부가 제시한 “통합건설정보 분류체계 적용기준(안)”에 의한 공종 분류를 이용하여 공법선정에 필요한 각종조건을 정리하도록 한다.

정리되어진 공종 분류체계 중 지하공사에 해당하는 “건축 토공사”와 “지정공사”의 하위 공종은 건축 토공사의 경우 4개의 하위공종을 가지고 있으며 지정공사의 경우 6개의 하위공종을 가지게 된다.

<표 1> 건축 토공사 및 지정공사의 하위공종

301 건축 토공사	3011. 흙깍기 및 터파기
	3012. 흙막이
	3013. 흙쌓기 및 되메우기
	3014. 비탈면보호공
302 지정공사	3021. 모래·자갈·잡석지정
	3022. 콘크리트 지정
	3023. 기성말뚝
	3024. 현장타설 콘크리트 말뚝
	3025. 연약지반처리
	3026. 지반앵커

<표 1>에서 알 수 있듯이 공종분류상 2단계공종분류는 “건축토공사”와 “지정공사”로 분류할 수 있으며 구체적인 공법의 성능평가를 위하여 공종별 적용가능공법을 선정하는 과정과 이들 공법에 대한 리스크 요인의 분석은 3단계 공종분류의 기준을 적용하도록 한다.

또한 기존의 3단계 공종분류는 자재명에 근거한 공종, 작업방법에 근거한 공종, 장비와 공법에 근거한 공종 등으로 나누어 볼 수 있는데 본 연구의 공종분류의 목적은 공법선정을 위한 외부조건의 정리이므로 공법을 중심으로 3단계 공종을 정리하도록 한다.

건축 토공사의 하위 공종은 굴착공사에 해당하는 “흙깍기 및 터파기”, 흙막이 공사에 해당하는 “흙막이”를 중심으로 공법을 분류하여 정리하도록 한다. “흙쌓기 및 되메우기” 공종의 경우 굴착공사의 부속되어지는 공사로 특정한 공사로 분리하기 어려운 면이 있다. 또한 비탈면 보호공사의 경우 건축공사의 범주에서 볼 경우 흙막이 공사와 상반되는 공종이 되어지며 독립된 공종으로 보면 토목공사의 범주에 포함되어질 수 있어 독립된 공법으로 보기 어려운 면이 있다. 따라서 건축 토공사의 경우 “굴착공사”과 “흙막이 공사”로 3단계 공종을 정리하도록 한다.

지정공사의 경우 지정의 재료에 의한 분류인 “모래·자갈·잡석지정”과 “콘크리트 지정”을 지정공사로 통합하고 “기성말뚝”과 “현장타설 콘크리트말뚝”은 분리하여 정리하도록 하며 “연약지반처리”와 “지반앵커”의 경우 지반개량공법과 동일한 공법의 개념으로 통합하여 “지정공사”, “기성말뚝공사”, “현장타설 콘크리트말뚝공사”, “연약지반처리공사”의 4가지 공사로 <표 2>와 같이 정리하도록 한다.

<표 2> 건축 토공사 및 지정공사의 공종분류체계 수정안

건축 토공사	터파기 공법
	흙막이 공법
	흙막이 지보공 공법
지정공사	직접기초·지정
	기성말뚝공법
	현장치지 말뚝공법
	지반개량공법

4. 리스크 측정을 위한 체크리스트 작성

공법선정의 합리화를 위하여 공법상에 존재하는 리스크를 파악하고 이들 위험요소를 최소화하기 위한 공법선정과정을 제시하기 위하여 공법별로 리스크를 예측하기 위한 체크리스트를 작성하도록 한다.

4.1 공종별 체크리스트 작성

공종별 체크리스트의 작성은 기존의 건설회사에서 작성하여 사용하고 있는 시공점검사항과 건축관련 학·협회에서 작성한 체크리스트를 참고하여 이들 내용을 연구의 목적에 적합하도록 재구성하였다. 기존의 시공점검사항과 체크리스트의 경우 작성기관에 따라 상이한 형식과 내용을 가지고 있다. 따라서 수집되어진 점검사항 및 체크리스트를 전장에서 정리한 공종분류체계상의 2단계 공종분류에 준하여 정리하였다.

(1) 건축 토공사

건축 토공사는 그 하위에 4개의 공종을 가지고 있으므로 수집되어진 점검사항의 개별항목 중 이들 하위공종에 대한 언급이 이루어진 항목들을 중심으로 정리를 실시하였다. 정리결과 건축 토공사 공종에 관련된 개별 점검사항은 총 49개 항목으로 요약할 수 있었다.

(2) 지정공사

지정공사는 구조물을 지지하기 위한 기초 슬래브의 하부를 구성하는 것으로 공종분류상 그 하위에 6개의 하위공종을 가지고 있다. 이들 공종에 대한 점검사항의 개별항목을 정리한 결과 총 55개의 항목으로 정리할 수 있었다.

이상의 과정을 통하여 정리되어진 점검사항은 다종의 점검사항의 항목을 관련공종을 중심으로 수집·요약한 것으로 개별항목간의 내용이 유사하거나 또는 공종과의 관련성이 있으나 그 중요도 낮아 조사항목으로 유용하지 못한 항목이 있을 수 있다. 따라서 이들 항목에 대한 좀더 구체적인 정리를 위하여 현장직원을 대상으로 하여 개별항목의 중요도를 조사하였다. 조사결과를 이용하여 유사하다고 판단되어지는 항목에 대한 통합과 함께 항목의 축소를 실시하도록 한다.

4.2 체크리스트 항목별 중요도 측정

수집·요약되어진 점검사항의 개별항목에 대한 중요도 조사를 통하여 항목에 대한 축소 및 정리를 실시하기 위하여 개별항목에 대한 중요도 조사를 실시하였다.

중요도 조사를 위하여 건설현장의 근무자를 대상으로 정리되어진 점검사항의 개별항목에 대하여 5단계 SD (Semantic Differential)척도법을 이용하여 2단계 공종의 항목에 대한 중요도 조사를 실시하도록 한다.

(1) 조사개요

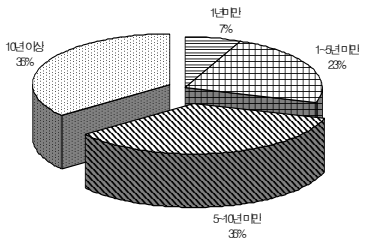
중요도를 조사하기 위한 설문조사는 전북지역의 현장을 대상으로 예비조사과정을 거친 후

설문내용을 보완하여 전북, 전남지역 및 대전지역의 총 24개 현장을 대상으로 2005년 5월부터 7월까지 총 230부의 설문을 배부하여 이중 140부를 수거하여 처리 가능한 136부를 이용하여 분석을 실시하였다. 분석에 사용된 도구는 SPSS/PC를 이용하였다.

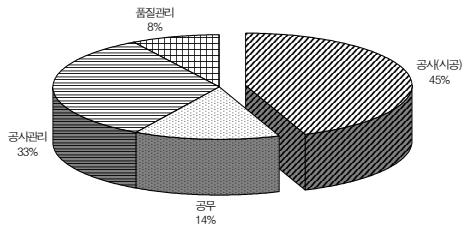
(2) 조사자의 일반사항

조사자의 일반사항을 조사하기 위하여 성별 및 연령을 비롯하여 현장근무경력, 전담하고 있는 업무의 영역 등에 대하여 조사를 실시하였으며 이와 더불어 현장의 상황을 파악하기 위하여 현장의 관리직 상주인원수, 지하층의 깊이 등을 조사하였다.

설문대상자의 현장근무경력에 대한 조사결과 그림 2에 나타난 바와 같이 전체조사자의 66.3%이상이 5년 이상의 근무경력을 가지고 있는 것으로 조사되어 현장경력이 전반적으로 풍부한 것으로 조사되었다. 이와 더불어 조사자가 해당현장에서 주로 전담하고 있는 업무를 살펴본 결과 시공과 공사관리가 전체조사자의 79%로 나타나 대부분의 응답자가 공종의 점검사항에 대한 내용을 숙지하고 있을 것으로 판단된다.



<그림 2> 조사자의 현장경력



<그림 3> 조사자의 담당업무 종류

4.2.1 건축 토공사 점검사항의 중요도 조사결과

기존의 점검사항을 정리하여 이를 바탕으로 리스크 체크리스트를 작성하기 위하여 정리되어진 점검사항의 개별항목에 대하여 공사의 진행상 혹은 공법의 선정시 어느 정도 중요하게 생각하고 있는가를 조사한 것으로 이들 조사를 통하여 개별항목에 대한 점검과 축소를 실시하도록 한다. 이와 더불어 조사한 내용에 대하여 요인분석을 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 항목들간의 상관계수산정

우선 정리되어진 개별항목간의 관계를 파악하기 위하여 항목간의 상관관계 분석을 실시하였다. 항목들간의 상관관계 분석을 통하여 유사한 항목들간의 조합을 가능하게 하며 이후 실시하게 되는 주성분분석(Principal Component Analysis)의 요인적재량 분석 등에 이용하도록 한다. 건축 토공사의 점검사항에 대한 항목간 상관계수를 산출한 결과의 예는 <표 3>과 같다.

<표 3> 건축 토공사 점검사항의 상관계수 산출예

상관계수	토1	토10	토11	토12
토1	1	0.295	0.248	0.358
토10	0.295	1	0.582	0.345
토11	0.248	0.582	1	0.369
토12	0.283	0.345	0.369	1
토13	0.213	0.438	0.384	0.44
토14	0.282	0.386	0.323	0.235

<표 3>은 상관계수 산출결과의 일부분으로 전체 49개 항목에 대한 상관관계를 조사한 결과 개별항목별로 상관성이 높게 조사된 항목간의 구룹핑이 가능하였다. 이와 더불어 요인을 추출하기 위하여 주성분분석(Principal Component Analysis) 방법을 이용하여 요인에 대한 추출을 실시하도록 하였다.

(2) 요인추출 및 항목정리

수집되어진 점검사항의 개별항목은 다양한 항목이 복잡하게 상호 연계되어있어 항목들을 몇 개의 차원으로 분리하여 요인(Factor)를 추출함으로써 항목 즉 변수의 축소가 필요하다. 이러한 항목의 축소는 이후 이루어지는 전문가 집단의 공법별 리스크 판단을 위한 항목을 추출하기 위한 것으로 항목의 정리와 축소과정을 통하여 좀더 신뢰성이 있는 판단을 유도하기 위한 과정이다. 중요도 조사결과에 대한 요인분석 결과는 <표 4>와 같다.

<표 4> 건축토공사의 요인추출결과

성분	초기 고유값			추출제곱합 적재값		
	합계	%분산	%누적	합계	%분산	%누적
1	17.543	35.801	35.801	17.543	35.801	35.801
2	2.577	5.259	41.06	2.577	5.259	41.06
3	2.115	4.315	45.376	2.115	4.315	45.376
4	2.019	4.121	49.497	2.019	4.121	49.497
5	1.732	3.534	53.031	1.732	3.534	53.031
6	1.642	3.352	56.383	1.642	3.352	56.383
7	1.572	3.209	59.592	1.572	3.209	59.592
8	1.467	2.993	62.585	1.467	2.993	62.585
9	1.395	2.848	65.433	1.395	2.848	65.433
10	1.361	2.777	68.21	1.361	2.777	68.21
11	1.146	2.339	70.55	1.146	2.339	70.55
12	1.111	2.268	72.818	1.111	2.268	72.818
13	1.003	2.046	74.864	1.003	2.046	74.864
14	0.922	1.881	76.745			
15	0.876	1.769	78.514			

<표 4>는 총 49개의 결과 중 주요한 부분을 보여주는 것으로 건축 토공사의 요인을 추출한 결과 아이겐 값(Eigen Value)을 기준으로 아이겐 값이 1이상인 요인은 13개로 조사되었다. 이상의 추출되어진 13개 요인에 대하여 요인과 변수의 상관관계를 파악하기 위하여 요인 적재량(Factor Loading)을 산출하도록 한다.

13개 요인에 대한 요인 적재량을 산출한 결과 요인과 항목간의 상관관계가 명확하게 나타나지 않는 것으로 조사되어 최초의 해를 좀더 명확하게 하기 위하여 요인에 대한 회전을 실시하도록 한다. 요인의 회전은 여러 가지 방법이 있으나 본 연구의 목적이 요인의 해석이므로 직각회전방법 중 VARIMAX 방법을 이용하여 요인을 회전하도록 한다. 전체 요인과 항목의 회전후의 요인적재량은 <표 5>에 정리하였다.

요인의 회전을 통하여 얻은 요인적재량의 결과를 살펴보면 최초의 경우에 비하여 항목별 요인적재량의 차이가 발생한 것을 알 수 있다. 일반적으로 요인적재량을 이용한 상관관계 분석시 적재량의 유의성이 있다고 할 수 있는 정도에 대한 정확한 기준은 없으나 일반적으로 보수적인 경우 ±0.4이상인 경우를 적용하게 된다. 본 연구는 항목을 최소화하기 위하여 ±0.5이상인 경우에 대하여 항목들을 정리하도록 한다. 요인 적재량에 따른 상관관계 분석의 내용을 정리한 결과 건축 토공사의 요인 1의 경우 “법면 보양”, “배수”, “방수”등과 관련되어진 항목들이 상관관계가 높은 것으로 조사되었다. 요인 2의 경우 “주변상황”, “시공의 정밀도”에 관련된 항목이 높게 조사되었다. 또한 요인 3의 경우 “소음, 진동”, “인접건물과의 관계”에 관련된 항목이 중요하게 나타났으며 요인 4의 경우 “사전계획”과 관련이 깊은 것으로 조사되었다. 요인 5는 “지

하수"와 관련된 항목이 상관관계가 높은 것으로 조사되었으며 요인 6은 요인 1과 유사한 성질을 가지는 것으로 나타나 "법면 보양"의 항목이 중요하게 조사되었다. 요인 7의 경우 "부동침하", "인접대지의 침하"등의 내용이 중요하게 언급되었으며 요인 8은 요인 4와 유사하게

<표 5> 건축 토공사 공종에 대한 요인의 회전후 요인 적재량

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
토1	0.262	0.542	0.199	-0.15	-0.16	0.31	0.256	6.74E-02	8.54E-02	-0.144	-2.25E-02	-0.127	-2.35E-02
토10	0.174	0.166	0.638	0.237	3.71E-02	0.233	-3.04E-02	0.136	-9.74E-02	5.07E-02	5.07E-02	0.178	0.328
토11	3.81E-02	5.71E-02	0.765	1.48E-02	-8.94E-02	0.147	0.203	9.79E-02	2.06E-02	9.97E-02	0.127	0.115	0.212
토12	0.104	0.618	0.357	0.14	0.28	3.00E-02	0.165	0.228	-0.105	7.25E-02	7.49E-03	-2.50E-02	-0.149
토13	0.427	0.274	0.34	0.31	0.145	0.127	0.156	8.93E-02	-0.117	-0.105	0.312	2.96E-02	-8.04E-02
토14	0.242	2.33E-02	0.149	0.168	0.14	0.78	2.34E-02	3.50E-02	-5.82E-02	0.164	8.76E-02	0.22	4.99E-02
토15	0.243	0.365	0.353	5.89E-02	0.247	0.125	0.133	0.184	-0.132	0.113	0.275	0.43	-6.83E-02
토16	0.225	0.185	0.247	0.193	0.167	4.30E-02	1.27E-02	0.14	0.268	3.13E-02	3.54E-02	0.69	-0.145
토17	9.35E-02	0.209	6.62E-02	0.148	0.76	0.234	6.06E-02	0.102	7.73E-02	4.30E-02	9.27E-02	0.148	0.101
토18	0.256	6.36E-02	3.62E-02	2.42E-02	0.84	-8.26E-02	0.152	4.64E-02	0.176	4.97E-02	5.85E-02	2.10E-02	6.51E-02
토19	0.294	0.374	0.276	0.146	0.127	6.01E-02	0.341	3.39E-02	0.197	-3.44E-02	0.318	8.22E-02	-0.126
토2	0.143	-7.27E-02	3.90E-02	7.18E-02	0.251	9.11E-02	0.46	3.36E-02	-0.165	1.43E-02	0.419	0.286	0.209
토20	1.107	0.202	0.237	-1.99E-02	7.59E-02	0.741	0.118	8.51E-02	0.239	8.49E-02	7.36E-02	-0.106	1.47E-02
토21	0.455	0.221	0.485	9.74E-02	0.24	0.233	-3.51E-02	4.32E-02	0.178	-2.12E-02	9.66E-02	5.87E-02	-3.33E-02
토22	2.16E-02	2.59E-02	0.265	0.248	0.199	0.245	-6.74E-02	8.74E-02	0.574	0.345	-0.121	0.109	-6.00E-02
토23	0.309	0.218	0.543	0.194	0.327	2.48E-02	2.58E-02	6.13E-02	0.373	4.18E-02	2.13E-02	6.91E-02	-0.114
토24	0.643	2.55E-02	0.327	6.45E-02	6.39E-02	5.51E-02	9.09E-02	0.285	0.213	7.96E-02	-0.118	0.232	0.119
토25	0.363	0.246	0.197	0.404	0.135	0.171	0.127	0.516	3.82E-02	-0.229	-0.107	8.01E-02	0.169
토26	0.681	0.131	9.46E-02	8.72E-02	9.42E-02	0.246	-0.174	0.132	0.307	-8.90E-02	0.208	0.208	-8.59E-02
토27	0.54	0.143	8.29E-02	4.78E-02	0.308	0.196	0.152	0.128	0.305	2.99E-02	0.305	3.64E-02	-0.206
토28	0.341	9.28E-02	-9.85E-02	0.187	0.224	9.53E-02	0.126	0.157	0.672	3.88E-02	0.138	4.91E-02	0.173
토29	0.193	7.56E-02	0.211	0.733	0.144	5.18E-02	-1.68E-02	0.14	0.159	7.14E-02	0.15	0.121	4.50E-02
토3	0.103	9.99E-02	0.233	2.77E-02	0.11	2.87E-02	7.24E-02	5.88E-02	4.21E-02	2.99E-02	0.127	-7.91E-02	0.832
토30	0.517	5.22E-02	0.198	0.528	0.137	9.58E-02	-0.174	0.151	0.273	0.109	6.01E-02	-9.13E-02	2.69E-02
토31	0.538	6.79E-02	4.70E-02	0.384	4.24E-02	3.02E-02	0.291	4.94E-02	7.84E-02	0.321	0.24	0.127	-0.147
토32	0.509	0.129	7.63E-02	0.321	0.323	0.167	0.271	8.03E-02	0.11	0.143	-0.167	-0.128	-0.217
토33	0.32	0.234	-5.65E-02	0.367	8.53E-02	0.341	0.439	0.138	0.308	-2.36E-02	1.79E-02	3.93E-02	0.126
토34	0.453	0.198	8.58E-02	4.46E-02	7.45E-02	0.329	0.201	0.513	0.132	0.192	-5.57E-02	6.61E-02	9.54E-02
토35	0.413	0.307	-1.23E-02	0.196	0.148	0.197	0.12	0.618	-1.08E-02	0.167	7.91E-02	0.146	1.49E-02
토36	0.279	0.19	-5.71E-02	0.163	0.235	0.116	4.73E-02	0.429	0.332	0.114	0.392	0.254	1.71E-02
토37	0.707	0.178	6.17E-02	5.35E-02	-1.01E-02	0.111	0.192	0.177	-0.126	0.152	0.141	0.233	0.121
토38	0.398	0.227	-0.174	0.36	3.81E-02	0.398	-0.106	0.136	0.297	0.105	0.1	-5.44E-02	1.36E-02
토39	0.731	0.245	1.40E-02	0.155	0.109	0.231	0.168	-0.101	0.122	0.144	-9.77E-02	-8.43E-02	0.157
토4	7.68E-02	6.26E-02	0.155	5.67E-02	2.83E-02	7.61E-02	4.77E-02	-3.03E-02	6.93E-02	-2.46E-02	0.875	-1.46E-02	0.124
토40	5.38E-02	0.648	-5.03E-02	7.63E-02	0.225	5.27E-02	-5.56E-02	0.29	0.144	0.246	-2.08E-02	0.236	0.187
토41	0.336	0.688	9.34E-02	0.159	0.208	0.154	-4.25E-02	-1.78E-02	0.21	0.12	0.114	9.47E-02	0.152
토42	0.442	0.585	0.182	9.68E-02	9.98E-02	7.88E-02	7.80E-02	9.31E-02	-3.65E-02	0.173	0.218	0.243	9.42E-02
토43	0.622	0.29	0.115	0.213	0.231	8.38E-02	-1.38E-02	0.108	0.105	0.144	7.34E-02	-2.80E-02	0.303
토44	0.289	0.495	0.132	0.279	-0.212	6.94E-02	0.345	-4.08E-02	0.218	0.237	-7.14E-02	0.157	0.143
토45	3.55E-02	0.3	2.79E-02	0.55	-8.61E-02	0.141	0.158	0.12	0.329	0.401	-9.24E-03	0.178	-3.26E-02
토46	0.61	0.31	0.251	-3.35E-02	0.248	-6.27E-02	0.194	0.248	5.35E-02	5.91E-02	0.229	-3.77E-02	2.82E-02
토47	0.302	7.66E-02	-3.40E-02	-3.02E-02	0.219	0.3	0.113	0.239	-4.49E-02	0.655	6.35E-02	-2.53E-02	7.39E-02
토48	0.37	0.499	-3.17E-02	0.32	3.59E-02	8.14E-02	4.38E-02	0.124	2.62E-02	0.336	7.07E-02	-0.253	2.17E-02
토49	0.103	0.183	0.116	0.108	-2.14E-02	2.33E-02	6.21E-02	1.67E-02	0.144	0.775	-4.88E-02	3.92E-02	9.06E-02
토5	0.273	0.103	0.15	0.114	0.173	0.385	0.501	0.374	2.08E-02	1.76E-02	0.145	-0.338	-0.136
토6	3.91E-02	0.116	0.16	-9.40E-02	0.16	2.71E-02	0.724	0.281	3.03E-02	0.167	-1.72E-02	-2.00E-02	6.47E-02
토7	3.45E-02	2.97E-02	0.452	8.89E-02	-4.44E-02	-0.101	0.276	0.68	0.22	0.162	3.46E-02	1.20E-02	8.30E-02
토8	0.331	0.252	0.275	0.204	-2.27E-02	-3.46E-02	0.418	-3.32E-02	0.413	9.93E-02	0.139	0.122	-8.97E-02
토9	0.13	0.173	0.413	0.431	0.322	7.77E-02	0.335	-0.189	-1.93E-02	-0.14	-6.87E-02	0.119	0.227

나타나 "공사중 정확한 계측관리"와 관련된 항목이 상관관계가 높은 것으로 조사되었다. 요인 9의 경우 "흙막이판의 침하", "인접대지의 침하"와 관련된 내용이 중요하게 조사되었으며 요인 10의 경우 "사후대책수립"과 관련이 깊은 항목이 중요하게 나타났다. 요인 11의 경우 "기존 건물과의 연계성"이 중요하게 조사되었으며 요인 12는 요인 4와 유사하게 조사되었다. 요인 13의 경우 "주변사항"으로 신축시 필요한 현장여건에 관련된 항목이 중요하게 언급되었다.

이상에서 살펴본 요인 적재량의 결과 및 항목간의 상관관계를 분석한 내용을 바탕으로 리스크 예측을 위한 범용의 체크리스트를 작성하도록 한다.

4.2.2 지정공사 점검사항의 중요도 조사결과

지정공사에 대한 점검사항의 중요도 조사는 건축 토공사의 경우와 동일한 방법을 적용하여 조사를 실시하였다.

조사되어진 중요도 결과를 이용하여 항목의 정리 및 축소를 위하여 요인분석을 실시하였다.

(1) 항목들간의 상관계수산정

지정공사와 관련된 점검사항의 개별항목간의 관계를 파악하기 위하여 상관관계를 분석을 실시하였다. 분석되어진 결과를 이용하여 요인분석에 적용하도록 한다. 지정공사와 관련이 있는 55개 항목에 대한 상관관계 조사를 실시한 결과 상관성이 높은 항목간의 조합이 가능하였다. 이후 요인의 추출을 위하여 항목들에 대한 주성분분석 방법을 이용하여 요인에 대한 추출을 실시하도록 하였다.

(2) 요인추출 및 항목정리

수집되어진 점검사항의 항목에 대한 정리를 위하여 요인추출을 실시한 결과 아이겐 값(Eigen Value)을 기준으로 아이겐 값이 1이상인 요인은 10개로 조사되었다. 추출되어진 요인에 대하여 변수와 상관관계를 파악하기 위하여 10개의 요인에 대한 요인 적재량(Factor Loading)을 산출하도록 하였다.

요인추출의 결과는 다음 <표 6>과 같다.

<표 6> 지정공사의 요인추출결과

성분	초기 고유값			추출제곱합 적재값		
	합계	%분산	%누적	합계	%분산	%누적
1	25.283	45.969	45.969	25.283	45.969	45.969
2	2.82	5.127	51.096	2.82	5.127	51.096
3	2.401	4.365	55.461	2.401	4.365	55.461
4	2.248	4.087	59.548	2.248	4.087	59.548
5	1.755	3.191	62.739	1.755	3.191	62.739
6	1.425	2.591	65.33	1.425	2.591	65.33
7	1.274	2.316	67.646	1.274	2.316	67.646
8	1.215	2.209	69.855	1.215	2.209	69.855
9	1.078	1.96	71.815	1.078	1.96	71.815
10	1.033	1.879	73.693	1.033	1.879	73.693
11	0.951	1.73	75.423			
12	0.901	1.639	77.062			

이상의 결과에서 도출되어진 10개의 요인에 대하여 요인 적재량을 구한 결과 건축 토공사와 동일하게 정확한 상관관계를 파악할 수 없는 것으로 나타나 이들 요인에 대한 회전을 실시하도록 한다.

요인회전은 건축 토공사와 동일한 VARIMAX방법을 사용하여 회전을 실시하였다. 요인회전의 결과는 건축 토공사와 동일한 형태로 정리되어질 수 있으며 이들 결과의 내용만을 요약하도록 한다.

지정공사의 요인 1의 경우 “시공상의 용이성”과 관련된 항목과 “공사에 관련된 작업여건”과 관련있는 항목이 중요하게 조사되었다. 요인 2의 경우 “시공정밀도”와 “작업측정”과 관련있는 항목이 중요하게 나타났으며 요인 3의 경우 “현장타설말뚝”과 관련이 있는 케이션 작업에 관련된 내용이 주로 언급되었다. 요인 4의 경우 “작업전 점검사항”과 관련된 내용이 중요하게 조사되었으며 요인 5의 경우 “작업후 시공점검사항”과 관련된 항목이 중요하게 나타났다. 요인 6의 경우 “최종적인 점검사항”으로 최종 침하량에 대한 점검, 지지력에 대한 점검 등이 중요하게 조사되었고 요인 7의 경우 “시공과정의 검측”과 관련이 높은 내용이 조사되었다. 또한 요인 8은 “작업 용이성”과 관련이 깊은 내용이 조사되었으며 요인 9는 “보강 및 수정”과 관련된 항목이 중요하게 조사되었다. 요인 10의 경우 “시공 정밀성”과 관련이 있는 항목이 중요하게 조사되었다. 이상의 결과를 이용하여 리스크를 예측하기 위한 체크리스트의 개별항목을 선정하여 2

단계 공종에 관한 범용의 리스크 체크리스트를 작성하도록 한다.

4.4 공법 리스크 예측을 위한 체크리스트 작성

공법 리스크 예측을 위한 체크리스트를 작성하기 위하여 요인분석을 실시한 결과 항목과 요인과의 적재량을 기준으로 ±0.5이상의 높은 적재량을 보인 항목을 정리하면 건축 토공사의 경우 36개의 항목으로 정리되어지며 지정공사의 경우 39개의 항목으로 정리가 가능하였다. 이러한 과정을 통하여 추출되어진 항목을 이용하여 공법 리스크 예측을 위한 체크리스트를 작성하도록 한다.

체크리스트 작성을 위한 개별항목의 경우 2단계 공종을 중심으로 요인분석을 통하여 추출되어진 항목으로 이를 공법과 연계하기 위하여 해당공종의 하위공종 즉 3단계 공종을 이용하여 공법을 선정하여 이들 공법과 점검사항을 조합하도록 한다. 공법선정을 위한 3단계 공종은 건축 토공사의 경우 “굴착공사”, “흙막이 공사”로 정리하였으므로 굴착공사와 흙막이 공사에 해당하는 공법을 선정하도록 하며 지정공사의 경우 “지정공사”, “기성말뚝공사”, “현장타설 콘크리트 말뚝공사”, “연약지반처리공사”로 정리하여 해당공사에 적용이 가능한 공법을 선정하도록 한다.

추출되어진 항목과 적용 가능공법을 이용하여 작성되어진 리스크 체크리스트는 앞에서 언급한 바와 같이 2단계 공종을 중심으로 정리되어진 내용을 3단계 공종의 적용 가능한 공법과 조합한 것으로 공법의 특성을 정확히 반영한 것이라고 할 수 없다. 또한 범용의 체크리스트 작성을 위하여 실시한 개별항목의 중요도 조사는 공사의 진행상이나 공법의 선정시 중요도를 조사한 것으로 범용의 체크리스트에 대한 점검을 실시하도록 한다. 체크리스트에 대한 점검은 공법별 리스크 강도 및 빈도의 개념을 이용하여 전문가 집단을 대상으로 면담조사를 실시하도록 한다. 전문가 집단과의 면담조사과정은 개발되어진 범용의 리스크 체크리스트가 공법의 특성을 반영할 수 있는가를 살펴보기 위한 과정으로 공법별로 발생할 수 있는 리스크의 정도차이를 좀더 구체적으로 파악할 수 있도록 체크리스트를 정리하는 과정이라고 할 수 있다. 따라서 면담조사과정을 통하여 리스크 정도 즉 리스크 강도 및 빈도가 낮게 조사되어진 항목의 경우는 해당공법의 리스크를 판단하기에는 무리가 있는 항목으로 판단할 수 있다.

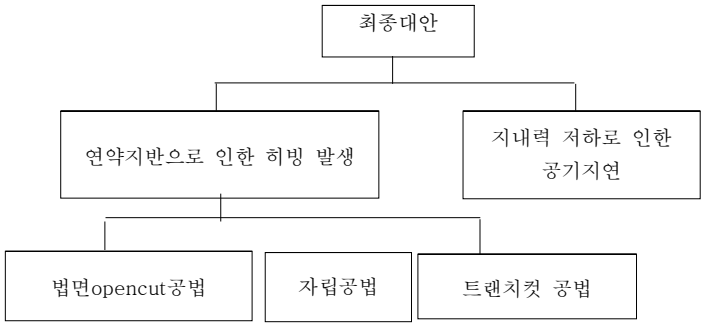
전문가와의 면담조사과정을 통하여 추출되어진 점검사항은 건축 토공사의 경우 29개의 항목이 추출되었으며 지정공사의 경우 30개의 항목이 공법 리스크와 관련이 높은 항목으로 선정되었다. 이상의 조사결과를 이용하여 공법별 리스크 정도를 측정하여 리스크의 정도가 가장 적은 공법을 선정하도록 한다.

5. 공법별 리스크 정도 및 선행공법과의 접목성 측정

5.1 AHP기법을 이용한 공법별 리스크 정도측정

본 연구에서는 현장의 조건에 따른 공법별 리스크 정도를 측정하여 리스크를 최소화 할 수 있는 공법의 선정을 위한 것으로 리스크의 정도를 합리적으로 취급하여 공법별로 리스크에 따른 적절한 우선순위의 부여가 필요하다. 이를 위하여 리스크의 평가방법 중 계층의사결정방법(AHP : Analytic Hierarchy Process)을 적용하였다.

AHP 기법을 이용한 분석은 다수의 속성들을 계층적으로 분류하여 각 속성의 중요도를 파악하는 기법으로 우선 분석하고자 하는 대상을 선정하여 이를 계층구조의 최상위 계층으로 구성한다. 이후 의사결정의 계층구조의 속성을 설정하는 단계를 통하여 최상위 계층에 의사결정의 목적을 설정하고 하위계층에는 그 목적에 맞는 속성의 요인이 형성되도록 계층구조를 설정한다. 본 장에서 제시하고 있는 리스크 정도 측정을 위한 관련요인은 전장에서 전문가 면담조사를 통하여 도출되어진 항목을 이용하도록 한다. 따라서 계층의 구성은 최상위에 최적의 최종대안 즉 최적의 공법이 위치하게 되며 그 하위계층에는 리스크 정도가 높게 조사되어진 항목을 위치하도록 하였다.



<그림 4> 건축토공사 공종의 계층분류체계

<그림 4>와 같은 방법으로 계층을 구성한 이후 동일계층간의 우선순위를 9단계척도를 이용하여 동일 계층레벨상의 요소를 메트릭스 형태로 비교하도록 한다. 이러한 비교의 과정은 주어진 기준에 대하여 요소를 쌍으로 비교하는 것으로 이를 쌍대비교라 한다. 쌍대비교를 위하여 매트릭스를 주로 사용하게 되는데 매트릭스는 가능한 모든 비교를 통하여 여러 가지 정보를 추출할 수 있으며 판단의 변화에 따른 우선순위의 일관성을 검토할 수 있는 틀을 제공한다. 매트릭스를 이용한 쌍대비교의 기본적인 척도는 1에서 9까지의 척도가 주로 사용되며 1은 상호 비슷함을 9는 비교대상에 비해 극히 중요함을 나타낸다. 또한 이들 척도의 역수 또한 사용되어질 수 있다. <표 7>은 계층구성상 3단계에 해당하는 굴착공사의 적용가능공법간의 비교 예이다. 이상의 비교과정을 통하여 계층 요소간의 우선순위를 설정하고 이후 전체 우선순위를 결정하기 위해 판단의 결과를 종합하고 판단의 신뢰성을 검토하기 위하여 일관성을 검토하도록 한다.

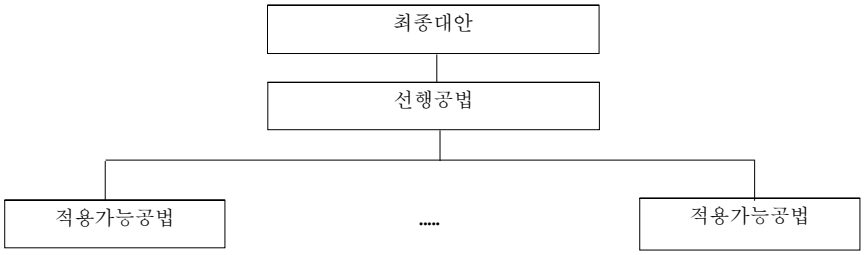
<표 7> 굴착공사 계층분류의 최하층 요인간의 쌍대비교 결과

연약지반으로 인한 히빙 발생	법면오픈컷 공법	자립공법	버팀대공법	어스앵커 공법	아일랜드컷 공법	트랜치 컷 공법
법면오픈컷 공법	1	3	1/2	4	3	7
자립공법	1/3	1	2	3	6	5
버팀대공법	2	1/2	1	5	2	3
어스앵커공법	1/4	1/3	1/5	1	3	5
아일랜드 컷 공법	1/3	1/6	1/2	1/3	1	4
트랜치 컷 공법	1/7	1/5	1/3	1/5	1/4	1

5.2 선행공법과의 접목성

건축공사는 다양한 공종이 계층적으로 구성되어지는 특성을 지니고 있어 단일공종에 대한 공법을 합리적으로 선택하였다고 해서 전체공사에 적합한 공법을 선정했다고 보기 어렵다. 따라서 단일공종의 공법의 선정시 선행공종의 공법과의 연관성을 고려한 공법의 선정이 필요하다. 건축공사에서 공법간의 접목성은 시공과정에서 선행작업의 공법이 가지는 성질로 인하여 발생하는 간섭현상과 작업부위의 성능을 구현하기 위하여 요구되어지는 공법의 적합성으로 정리할 수 있다. 그러나 작업부위의 성능을 구현하기 위한 적합성의 경우 공법선정의 사전조사과정에서 배제되어질 수 있는 성능으로 본 연구에서는 공법간의 접목성을 고려하기 위하여 시공과정에 있는 공법간의 상호 간섭현상으로 인하여 발생할 수 있는 선행공법과의 간섭현상을 평가하여 공법간의 접목성을 파악하도록 한다. 공법간의 간섭현상은 시공단계에서 발생하는 현상으로 선행작업이 후속작업에 대하여 작업상의 불필요한 공정지연이나 비용증가를 발생시키는 경우를 공법간의 간섭현상이라고 할 수 있다. 공법간의 간섭현상에 대한 평가는 선행되어진 리스크 판단결과와의 조합을 용이하게 하기 위하여 공법 리스크 예측과정에 사용되어진 의사결

정방법을 이용하여 평가하도록 한다. 공법간의 간섭현상을 측정하기 위한 계층구조는 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 공법간의 간섭현상을 파악하기 위한 계층구조

AHP기법의 쌍대비교 결과는 <표 8>과 같이 순위가 일련의 값으로 표시되므로 이들 값을 이용하여 우선순위를 선정하게 된다. 이후 공법의 리스크 요인과 함께 공법간의 접목성을 고려한 공법의 선정을 위하여 리스크 요인을 조사한 결과 값과 선행공법과의 접목성을 고려한 결과 값을 상호 가중 평균하여 최적의 공법을 선정하도록 한다.

<표 8> 레벨간의 정규화 결과값에 대한 행렬계산을 통한 최종 결과값의 예

공 법 명	피해정도
법면Open Cut 공법	0.249276
자립공법	0.183606
버팀대공법	0.146605
어스앵커공법	0.12933
심초에 의한 역타설공법	0.100923
대구경 피어에 의한 역타설공법	0.075303
아일랜드컷 공법	0.082442
트랜치 컷 공법	0.032513

6. 결 론

리스크 요인분석을 통한 건축공법선정에 관한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 공법의 리스크 요인을 분석하여 합리적인 공법을 선정하기 위하여 먼저 공법별 리스크 요인을 추출하기 위한 체크리스트를 작성하도록 한다. 이를 위하여 건설회사 및 학·협회에서 사용하고 있는 시공 점검사항을 수집하여 이를 건교부에서 제시한 “통합건설정보 분류체계 적용기준(안)”에서 제시한 공종분류체계에 준하여 정리하고 정리되어진 점검사항의 개별항목에 대한 중요도 조사를 실시하여 이 결과를 요인분석 하였다. 요인분석을 통하여 항목의 축소와 함께 요인을 추출하여 해당공종의 범용의 체크리스트를 개발할 수 있었다.

2. 개발되어진 범용의 체크리스트에 대하여 리스크 요인과의 관련성 등을 점검하기 위하여 전문가집단과의 면담조사를 실시한 결과 건축 토공사의 경우 29개의 항목이 추출되었으며 지정공사의 경우 30개의 항목이 공법 리스크와 관련이 높은 항목으로 선정되었다. 이를 이용하여 공법의 리스크를 예측하기 위한 리스크 체크리스트를 작성할 수 있었다.

3. 작성되어진 리스크 체크리스트의 항목을 이용하여 공법간의 리스크 정도를 비교하기 위하여 계층적의사결정방법(AHP)을 적용하여 현장조건에 따른 공법내부의 리스크 요인을 상호 비교한 결과 리스크 요인에 의하여 공법간의 리스크 정도의 비교가 가능하였다.

4. 리스크 요인과 함께 공법간의 간섭현상의 정도를 이용하여 선행공법과의 접목성을 동일한 의사결정방법을 적용하여 측정하고 이 결과를 리스크 정도와 가중 평균함으로써 리스크 요인 및 선행공법과의 접목성을 고려한 최적의 공법을 선정할 수 있었다.

본 연구는 시공현장에서 빈번히 발생하는 공법선정상의 오류를 방지하고자 리스크 이론을 적용하여 공법내부에 상존하는 리스크 요인을 예측하고 이를 이용하여 합리적인 공법을 선정할 수 있는 방법론을 제시하였다.

향후 지하공사와 함께 타 공종에 대한 리스크 요인을 추출하여 이를 이용하여 전체공사의 리스크 정도를 예측할 수 있도록 연구를 진행하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 양극영 외3인, "건축시공", 도서출판 서우, 1999.
2. 강종원, "건설경영컨설팅", 현일사, 1994.
3. 김인호, "건설계획과 의사결정", 기문당, 1998.
4. 이재관, "의사결정과 경영과학", 박영사, 1999.
5. 이창효, "다기준 의사결정론", 세종출판사, 1999.
6. 이성근 외1인, "AHP기법을 이용한 마케팅의사결정", 도서출판 석정, 1994.
7. 김창덕, "프로젝트 리스크관리", 보성각, 1997.
8. 채서일, "마케팅 조사론", 학연사, 1994.
9. 박광태, "Excel 활용 의사결정", 박영사, 1999.
10. 두산연수원, "건축실무과정", 두산건설, 1999.
11. 건축공법사전편찬위원회, "최신건축공법사전", 건설문화사, 1996.
12. 김창학, "건설공사 입찰단계의 리스크 분석모델 개발", 중앙대학교 박사학위논문, 1998.
13. 오천국, "프로젝트 파이낸싱의 리스크 관리 방안에 관한 연구", 서강대학교 석사학위논문, 1993.
14. R. Sturk, "Risk and Decision Analysis for Large Under ground Project", Tunnelling and Underground space Technology, 1996.
15. Edmund H. Conrow, "Effective Risk Management", AIAA, 2000.
16. The PMI Standards Committee, "A Guide to the Project Management of Knowledge", A Publication of the Project Management Institute, 1994.
17. Thomas L. Saaty, "Decision Making for Leaders", RWS Publications, 1995.
18. 日本建築學會, "建築雜誌", 112권 1413호, 1997.10