AHP기법을 이용한 교량공사 위험지수 평가

이명구 · 정명진† · 김규동 · 최순주* · 박승국**
을지대학교 · *한국산업안전보건공단 · **대한건설정책연구원
(2009. 10. 9. 접수 / 2009. 12. 14. 채택)

The Assessment of the Risk Index in the Bridge Construction by the AHP Method

Myeonggu Lee · Myeongjin Jeong† · Kyudong Kim · Soonju Choi* · Seungkook Park**
Eulji University
*Korea Occupational Safety & Health Agency
**Korea Research Institute for Construction Policy
(Received October 9, 2009 / Accepted December 14, 2009)

Abstract : The purpose of this study is to verify the assessment of the risk index by the AHP method effective in the bridge construction. We compared that by the AHP method with the risk index by the accident analysis in the bridge construction. This method results in the useful tool deciding the assessment of the risk index according to work type in the bridge construction.
Key Words : risk index, AHP method, accident analysis, work type, bridge construction

1. 서 론

2007년 건설재해의 강도율은 2.88로서 전체산업의 강도율 2.26을 상회하는 것으로 조사되었다[1]. 건설업의 총 근로손실일수는 17백만일(전체산업은 63백만일)이었으며, 건설근로자의 평균 일일노임 94,000원을 단순히 곱하면 1조6천억원의 근로손실 금액을 초래한 것이다. 2007년도에 지급된 건설업 산재보험급여액은 993,950백만원(전체산업은 3,242,276백만원)으로서 하인리히방식에 의한 간접손실액을 포함하면 4조9천억원의 경제적 손실을 초래한 것이다[2]. 이는 2007년 건설 실질 투자액 158조원의 3.1%에 해당하는 금액으로서 매년 건설재해로 인하여 발생되는 경제적 손실금액은 실로 엄청난 것이라 하겠다[3]. 일본 건설업 강도율은 10여년전부터 0.5이하의 수치를 보이고 있는 것에 비하면 아직도 국내 건설재해 현황은 후진성을 면하기 어려운 실정이다.

이러한 원인에는 여러 가지 복합적인 요인들이 작용하고 있겠으나 종래의 안전관리 방법으로는 재해율을 감소시킴에 있어 한계점에 도달된 것으로서 보다 체계적이고 효율적인 안전보건경영시스템의 도입이 절실한 실정이다.

과거 신행주대교, 팔당대교 등의 붕괴사고는 사회적 물의를 야기 시킨 대표적인 교량공사의 재해사례이며, 이와 같은 재해는 인적 · 물적 손실은 물론 국가 기술력에 대한 신뢰성 추락 등으로 입는 손실이 막대하다. 실제 1998년부터 2005년까지의 8년 동안 교량공사에서 약 1,000여건(근로복지공단에 신청한 산재요양신청 건수)의 건설재해가 발생하였다.

교량공사에서 많은 재해가 발생하는 이유는 공법이 다양하고, 공정이 복잡하며, 유해 · 위험 기계기구 및 건설장비 사용과 지상 및 고소작업의 혼재 등 유해 · 위험 요인이 공사 전반에 산재하고 있기 때문이다. 그러나, 교량은 라멘교, 강교, 강합성교, PSC교 등 종류가 다양하고, 종류에 따른 시공방법과 사용 장비 등에 차이가 있으며, 단일 공사 안에서도 공정에 따른 위험의 정도에 차이가 있다. 또한, 건설재해는 안전설비, 안전시설, 안전지침 만으로 재해예방을 하기에는 한계가 있다고 판단되며, 보다 체계적이고 효율적인 자율안전 재해예방 활동을 통해 재해를 예방할 수 있다고 판단된다.

† To whom correspondence should be addressed.
jmj123@eulji.ac.kr

종래의 위험지수 평가는 재해사례조사를 통한 재해강도와 재해빈도를 곱함으로서 도출하였으나 이는 재해사례조사에 소요되는 시간이 장기화되고 신뢰도 증진을 위하여 많은 사례들을 축적하여야 가능한 일이다. 그러므로 전문가 집단에 의한 정성적인 위험도를 정량적으로 평가함으로서 교량공사의 위험지수를 정량화할 수 있는 기법으로서 AHP 기법을 이용할 수 있다면 많은 재해사례조사 및 분석 없이 전문가 집단의 정성적인 의견 분석을 통하여 단시간에 전체 공종에 대하여 정량적인 위험지수 평가가 가능하리라 예상된다.

따라서 본 연구의 목적은 교량공사의 위험지수 정량화에 있어서 전문가 집단으로부터 설문조사를 실시하고 AHP 기법을 이용한 교량공사 위험지수를 정량화하고 이를 선행연구결과[4]와 비교평가 함으로서 교량공사의 공종별 위험지수는 물론 향후 타 공사의 공종별 위험지수의 정량적 평가를 위한 AHP 기법 도입 가능성을 검증하는데 있다.

2. 연구방법

2.1. 계층분석법(AHP : Analytic Hierarchy Process)

계층분석법은 1970년대 중반 Saaty에 의해 개발된 의사결정분석기법으로 정량적인 것뿐만 아니라 정성적인 것을 고려하여 중요도를 산출하는 방법이다. 주어진 의사결정문제를 계층화한 후, 상위 계층에 있는 한 요소(또는 기준)의 관점에서 하위계층에 있는 요소들의 쌍대비교를 통해 상대적 중요도 또는 가중치를 구함으로서 최하위 계층에 있는 대안의 우선순위를 구하는 것이다.

AHP의 수행절차는 Fig. 1과 같으며 4단계 과정을 거쳐 수행된다.

2.2. 교량공사 공종별 위험도 평가의 계층분석법 응용

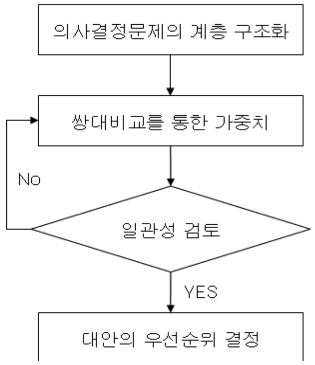


Fig. 1. AHP achievement process.

의사결정문제의 계층구조화를 위해 Fig. 2와 같이 교량공사 13개 공종을 3그룹(Group A, Group B, Group C)으로 분류하였다.

3. 계층분석 결과 및 고찰

3.1. 분석 개요

교량공사의 중분류 13개 공정을 4~5개씩 3개의 Group으로 나누어 계층화하였으며, Group A, B, C에 관한 쌍대비교 설문을 실시하였다. 설문조사 내용은 3개의 Group을 쌍대비교함으로서 그룹별 가중치를 도출하도록 구성하였으며, Group 내의 항목별 쌍대비교하여 항목간의 위험도를 9점 척도로 설문하도록 구성하였다[5].

본 연구에서는 전국 교량공사 현장의 총괄책임자, 공사·공무과장, 안전관리자 등을 대상으로 설문을 실시하였으며, 총 115부의 설문지를 회수하여 이를 분석하였다.

3.2. Group별 가중치 분석 결과

교량공사 Group별 가중치 분석은 정량화된 문항을 이용하여 AHP 기법을 이용하여 Group별 쌍대비교를 하였으며, EXCEL Program을 이용하여 Fig. 3~6과 같이 진행하였다.

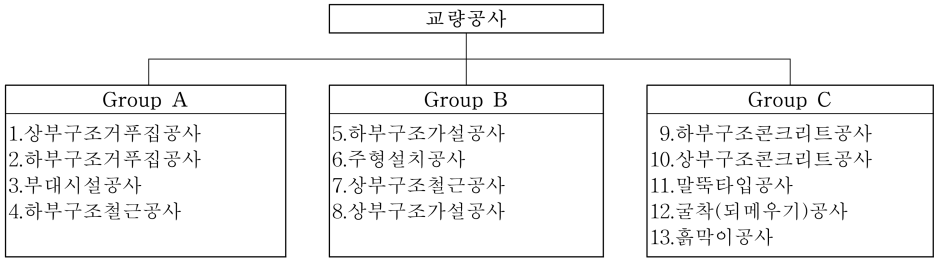
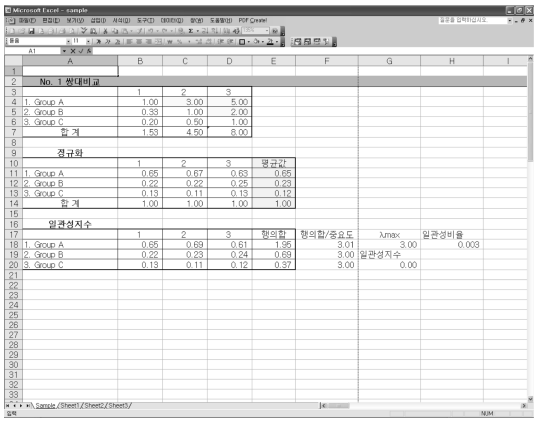


Fig. 2. Layering according to work type in bridge construction.

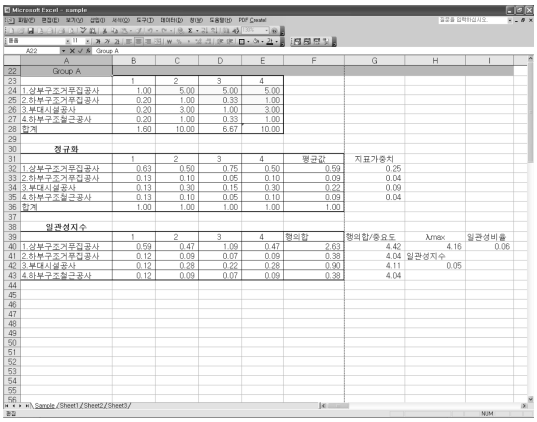


No. 1 쌍대비교				
	1	2	3	
1. Group A	1.00	3.00	5.00	
2. Group B	0.33	1.00	2.00	
3. Group C	0.20	0.50	1.00	
합 계	1.53	4.50	8.00	

정규화				
	1	2	3	평균값
1. Group A	0.65	0.67	0.63	0.65
2. Group B	0.22	0.22	0.25	0.23
3. Group C	0.13	0.11	0.13	0.12
합 계	1.00	1.00	1.00	1.00

일관성지수						
	1	2	3	행의합	행의합/중요도	λmax	일관성비율
1. Group A	0.65	0.69	0.61	1.95	3.01	3.00	0.003
2. Group B	0.22	0.23	0.24	0.69	3.00	일관성지수	
3. Group C	0.13	0.11	0.12	0.37	3.00	0.00	

Fig. 3. Weight significance decision(example).



Group A								
	1	2	3	4				
1.상부구조거푸집공사	1.00	5.00	5.00	5.00				
2.하부구조거푸집공사	0.20	1.00	0.33	1.00				
3.부대시설공사	0.20	3.00	1.00	3.00				
4.하부구조철근공사	0.20	1.00	0.33	1.00				
합계	1.60	10.00	6.67	10.00				

정규화								
	1	2	3	4	평균값	지표가중치		
1.상부구조거푸집공사	0.63	0.50	0.75	0.50	0.59	0.25		
2.하부구조거푸집공사	0.13	0.10	0.05	0.10	0.09	0.04		
3.부대시설공사	0.13	0.30	0.15	0.30	0.22	0.09		
4.하부구조철근공사	0.13	0.10	0.05	0.10	0.09	0.04		
합계	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			

일관성지수								
	1	2	3	4	행의합	행의합/중요도	λmax	일관성비율
1.상부구조거푸집공사	0.59	0.47	1.09	0.47	2.63	4.42	4.16	0.06
2.하부구조거푸집공사	0.12	0.09	0.07	0.09	0.38	4.04	일관성지수	
3.부대시설공사	0.12	0.28	0.22	0.28	0.90	4.11	0.05	
4.하부구조철근공사	0.12	0.09	0.07	0.09	0.38	4.04		

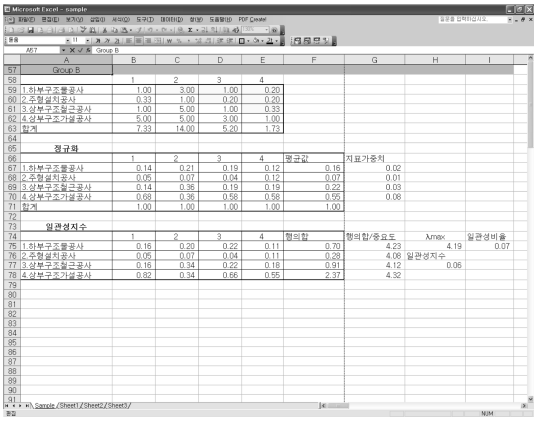
Fig. 4. Weight significance decision of Group A(example).

Fig. 3은 Saaty의 9점 평가 스케일을 근거로 하여 Group A가 Group B에 비해 3만큼 중요하고, Group C에 비해 5만큼 중요하며, Group B는 Group C에 비해 2만큼 중요하다고 가정된 쌍대비교 메트릭스를 구축하여 일련의 계산과정을 통하여 설문값들을 정규화하여 이들의 평균값을 각각 Group A, B, C의 가중치 0.65, 0.23, 0.12을 구하였다.

한편, 의사결정자의 논리적 일관성을 검증하기 위해 쌍대비교의 신뢰도를 평가한 일관성 검증에서는 평균값이 3.00로 나타났고, 평가한 일관성 비율(Consistency Ratio : CR)도 0.003으로 나타났으므로, 이는 피설문자들의 응답이 일관성이 있다고 할 수 있으며 이 전문가의 설문은 사용가능한 것으로 채택된다.

Fig. 4는 Group A의 공종별 가중치를 결정한 예이며 Fig. 3의 Group별 가중치 결정 예와 같이 쌍대비교 메트릭스를 구축하여 정규화 과정을 통한 가중치 값을 구하게 된다. 각 공종별 가중치를 살펴보면, 상부구조거푸집공사 0.59, 하부구조거푸집공사 0.09, 부대시설공사 0.22, 하부구조철근공사 0.09로 결정된 것을 알 수 있으며, 의사결정자의 논리적 일관성을 검증하기 위해 평가한 일관성 비율(Consistency Ratio : CR)도 0.06으로서 0.1 이하이므로 피설문자들의 응답에 일관성이 있다고 할 수 있어 본 설문내용은 평가에 채택되며, 일련의 설문조사 내용을 분석하였다.

Fig. 5는 Group B의 공종별 가중치를 결정한 예로서, 하부구조가설공사 0.16, 주형설치공사 0.07, 상부구조철근공사 0.22, 상부구조가설공사 0.55로 결정된 것을 보여주고 있다. 일관성 비율(Consistency Ratio : CR)도 0.07로서 0.1 이하이므로 본 설

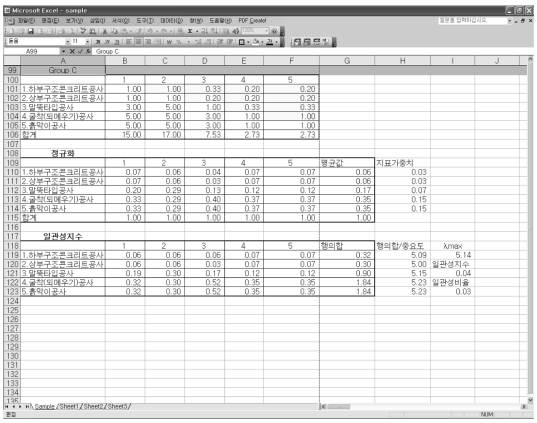


Group B								
	1	2	3	4				
1.하부구조물공사	1.00	3.00	1.00	0.20				
2.주형설치공사	0.33	1.00	0.20	0.20				
3.상부구조철근공사	1.00	5.00	1.00	0.33				
4.상부구조가설공사	5.00	5.00	3.00	1.00				
합계	7.33	14.00	5.20	1.73				

정규화								
	1	2	3	4	평균값	지표가중치		
1.하부구조물공사	0.14	0.21	0.19	0.12	0.16	0.02		
2.주형설치공사	0.05	0.07	0.04	0.12	0.07	0.01		
3.상부구조철근공사	0.14	0.36	0.19	0.19	0.22	0.03		
4.상부구조가설공사	0.68	0.36	0.58	0.58	0.55	0.08		
합계	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			

일관성지수								
	1	2	3	4	행의합	행의합/중요도	λmax	일관성비율
1.하부구조물공사	0.16	0.20	0.22	0.11	0.70	4.23	4.19	0.07
2.주형설치공사	0.05	0.07	0.04	0.11	0.28	4.08	일관성지수	
3.상부구조철근공사	0.16	0.34	0.22	0.18	0.91	4.12	0.06	
4.상부구조가설공사	0.62	0.34	0.66	0.55	2.37	4.32		

Fig. 5. Weight significance decision of Group B(example).



Group C										
	1	2	3	4	5					
1.하부구조콘크리트공사	1.00	1.00	0.33	0.20	0.20					
2.상부구조콘크리트공사	1.00	1.00	0.20	0.20	0.20					
3.말뚝타입공사	3.00	5.00	1.00	0.33	0.33					
4.슬럿(토메우기)공사	5.00	5.00	3.00	1.00	1.00					
5.흙막이공사	5.00	5.00	3.00	1.00	1.00					
합계	15.00	17.00	7.53	2.73	2.73					

정규화										
	1	2	3	4	5	평균값	지표가중치			
1.하부구조콘크리트공사	0.07	0.06	0.04	0.07	0.07	0.06	0.03			
2.상부구조콘크리트공사	0.07	0.06	0.03	0.07	0.07	0.06	0.03			
3.말뚝타입공사	0.20	0.29	0.13	0.12	0.12	0.17	0.07			
4.슬럿(토메우기)공사	0.33	0.29	0.40	0.37	0.37	0.35	0.15			
5.흙막이공사	0.33	0.29	0.40	0.37	0.37	0.35	0.15			
합계	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				

일관성지수									
	1	2	3	4	5	행의합	행의합/중요도	λmax	
1.하부구조콘크리트공사	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.32	5.09	5.14	
2.상부구조콘크리트공사	0.06	0.06	0.03	0.07	0.07	0.30	5.00	일관성지수	
3.말뚝타입공사	0.19	0.30	0.17	0.12	0.12	0.90	5.15	0.04	
4.슬럿(토메우기)공사	0.32	0.30	0.52	0.35	0.35	1.84	5.23	일관성비율	
5.흙막이공사	0.32	0.30	0.52	0.35	0.35	1.84	5.23	0.03	

Fig. 6. Weight significance decision of Group C(example).

문지는 평가에 사용되게 되며, 모든 피설문자들의 설문내용을 동일하게 분석하였다.

Fig. 6은 Group C의 공종별 가중치를 결정한 예로서 하부구조콘크리트공사 0.06, 상부구조콘크리

트공사 0.06, 말뚝타입공사 0.17, 굴착(되메우기)공사 0.35, 흙막이공사 0.35로 결정된 것을 알 수 있다. 일관성 비율(Consistency Ratio : CR)도 0.03으로서 피설문자들의 응답에 일관성이 있다고 판단되며 동일방법으로 전체 설문지를 분석하였다.

회수된 설문지 115부에 대하여 일련의 AHP 분석을 실시하였으며, 일관성 비율 0.1 이하만을 채택하여 결과를 정리하여 Table 1에 나타내었다.

교량공사의 각 공종들에 대한 위험지수로서 최종가중치는 식 (1)과 같이 얻어질 수 있다.

최종가중치에 의한 위험지수 =
Group별 위험지수 가중치 ×
Group 내의 각 공종별 위험 지수 가중치 (1)

3.3. 전문가들의 설문조사 분석 결과

설문문항중 응답자의 정성적인 의견을 반영하는 것으로서 응답자가 생각하는 위험순위를 재나열 하도록 하여 이들 의견을 반영하는 방법을 적용하였다.

재해사례를 통해 도출된 위험지수 높은 순으로 배열된 Group A, B, C 내의 공종을 설문응답자들이 생각하는 위험도 순위로 재배치하도록 하여 이들 의견을 다음과 같이 반영하였다.

정성적 설문조사는 제시된 13개 중분류 공종에 대하여 관련 전문가들이 느끼는 위험순위를 재정리하게 하고 위험순위가 가장 높은 공종을 13점, 다음을 12점, 위험순위가 가장 낮은 공종을 1점으로 부여하여 각 설문자의 응답에 따른 해당 공종의 점수를 합하여 공종별 합계를 도출하였다. 즉, Table 2의 공종별 합계는 설문 응답자가 설정한 위험순위에 따른 점수들을 모두 합한 값이 된다. 상대가중치는 $\sum_{i=1}^{13} i = 91$이 되므로 공종별 합계값을 91로 나눈 것이 되며, 위험지수는 상대가중치의 합이 분석에 사용한 응답자의 수가 되므로 이를 나누어 구하였다.

Table 1. Risk index on work type

Group별 분류 (가중치 평균)	공종별 가중치		최종가중치에 의한 위험지수	위험도 순위
	공종구분	가중치		
Group A (0.524)	1.상부구조거푸집공사	0.557	0.292	1
	2.하부구조거푸집공사	0.174	0.091	2
	3.부대시설공사	0.168	0.088	3
	4.하부구조철근공사	0.102	0.053	8
Group B (0.274)	5.하부구조가설공사	0.274	0.075	5
	6.주형설치공사	0.244	0.067	6
	7.상부구조철근공사	0.193	0.053	9
	8.상부구조가설공사	0.289	0.079	4
Group C (0.202)	9.하부구조콘크리트공사	0.191	0.039	11
	10.상부구조콘크리트공사	0.292	0.059	7
	11.말뚝타입공사	0.180	0.036	12
	12.굴착(되메우기)공사	0.127	0.026	13
	13.흙막이공사	0.210	0.042	10

Table 2. Risk ranking according to work type by qualitative question

Group 분류	공 종	위험 순위	공종별 합계	상대 가중치	위험 지수
Group A	1.상부구조거푸집공사	1	1176	12.923	0.142
	2.하부구조거푸집공사	2	942	10.352	0.114
	3.부대시설공사	4	805	8.846	0.097
	4.하부구조철근공사	3	837	9.198	0.101
Group B	5.하부구조가설공사	7	654	7.187	0.079
	6.주형설치공사	8	650	7.143	0.078
	7.상부구조철근공사	6	691	7.593	0.083
	8.상부구조가설공사	5	793	8.714	0.096
Group C	9.하부구조콘크리트공사	11	346	3.802	0.042
	10.상부구조콘크리트공사	9	445	4.890	0.054
	11.말뚝타입공사	12	310	3.407	0.037
	12.굴착(되메우기)공사	13	233	2.560	0.028
	13.흙막이공사	10	399	4.385	0.048

Table 2에서 나타난 바와 같이 정성적 설문에 의한 공종별 위험도에서는 AHP를 이용한 공종별 위험분석에서 나타난 결과와 비슷하게 상부구조거푸집공사, 하부구조거푸집공사, 하부구조철근공사, 부대시설공사, 상부구조가설공사 순으로 나타났다.

3.4. 종합평가

재해사례 분석을 통하여 재해빈도와 강도간의 곱으로 도출된 위험지수와 전문가들의 정성적·정량적 설문응답에 의한 AHP 분석으로 도출된 위험지수를 비교 정리하여 Table 3에 나타내었다.

상위 5개 위험순위에 속하는 상부구조거푸집공사, 하부구조거푸집공사, 부대시설공사, 하부구조철근공사, 하부구조가설공사에서 3위 까지의 공종에서는 Table 3의 3가지 방법에 의한 위험지수의 순위가 대체로 일치하는 것을 알 수 있었다. 하부구조철근공사에서 AHP 기법에 의한 결과와 다소 차이를 보이고는 있었으나 나머지는 잘 일치하는 것을 알 수 있었다. 상위 5위안의 공종에서 50% 이

Table 3. Comparison of that by AHP method with risk index by accident analysis

Group별 분류	공 종	위험지수					
		재해사례[4]	순위	AHP 분석	순위	정성적 설문조사	순위
Group A	1.상부구조거푸집공사	1.3418	1	0.292	1	0.142	1
	2.하부구조거푸집공사	1.3269	2	0.091	2	0.114	2
	3.부대시설공사	0.7761	3	0.088	3	0.097	4
	4.하부구조철근공사	0.6740	4	0.053	8	0.101	3
Group B	5.하부구조가설공사	0.5170	5	0.075	5	0.079	7
	6.주형설치공사	0.4517	6	0.067	6	0.078	8
	7.상부구조철근공사	0.3926	7	0.053	9	0.083	6
	8.상부구조가설공사	0.3611	8	0.079	4	0.096	5
Group C	9.하부구조콘크리트공사	0.3220	9	0.039	11	0.042	11
	10.상부구조콘크리트공사	0.2267	10	0.059	7	0.054	9
	11.말뚝타입공사	0.1058	11	0.036	12	0.037	12
	12.굴착(되메우기)공사	0.0302	12	0.026	13	0.028	13
	13.흙막이공사	0.0270	13	0.042	10	0.048	10

상의 재해가 발생되므로 본 연구결과에 의해 제시된 재해사례분석에 의한 위험지수는 실무에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 선행연구로서 최근 8년(1998~2005년)간 교량공사 재해사례조사를 통한 위험지수와 AHP분석 및 전문가의 정성적 의견을 반영한 위험지수 도출 결과를 비교분석하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 종합평가에서 제시한 위험지수는 교량공사 사전안전성 평가에 사용 가능하리라 판단되며, 이를 이용하여 효율적이고 경제적인 안전보건활동에 활용가능하리라 판단된다.

2) AHP 기법이 위험지수를 도출함에 있어 어느 정도의 신뢰성이 확보되는 것으로 평가되며, 전문가 집단으로 구성된 가능한 많은 모집단에서의 응답결과로 교량공사 이외의 공사에서도 일일이 재해사례를 조사하지 않더라도 공종별 위험지수를 도출하는 것이 타당함을 검증하였다.

감사의 글 : 이 논문은 2006년도 산업안전보건연구원의 연구비 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌

1) 한국산업안전공단, “2007년도 산업재해분석”, 2008.
2) 근로복지공단, “2007년도 산재보험・고용징수 실적 분석”, 2008.
3) 건설교통부, “2007년도 건설경제 주요통계”, 2008.
4) 이명구, 정명진, 김규동, 박승국, 최순주, “재해분석을 이용한 교량공사 공종별 위험지수 평가”, 한국안전학회지, 제23권, 제6호, pp.144～149, 2008.
5) 최순주 외, “교량공사의 위험지수 정량화 연구”, 산업안전보건연구원, 2006.
6) Mills, Anthony, “A systematic approach to risk management for construction”, Structural survey, Vol. 19, No.5, pp. 245～252, 2001.
7) Akintoye, A.S., MacLeod, M.J., “Risk analysis and management in construction”, International journal of project management, Vol. 15, No. 1, pp. 31～38, 1997.