

# 재해사례와 AHP를 이용한 교량공사 위험지수 산정 -Risk Index Computation of Work Type for Bridge Construction using Accident Cases and the AHP Method -

서수은\*·강경식\*\*

## Abstract

교량공사는 지상작업과 고소작업이 혼재하고 작업공종이 복잡하여 위험성이 높은 공사로 추락, 협착, 붕괴, 낙하·비래 재해의 발생빈도가 높다. 또한, 중량 부재의 운반, 조립, 양중 등의 작업과정에서 유해·위험 기계기구와 건설장비 사용에 따른 유해·위험 요인이 산재하여, 유해·위험의 정도와 재해 발생빈도 및 재해의 강도에 차이가 있어 위험성평가를 통한 정량화된 위험지수의 제시가 필요하다.

위험성 평가는 교량공사의 특성을 고려하여 교량 건설현장의 공종별 유해·위험요인을 세부공종별 요소작업에 따라 분류하고, 재해 발생정도와 피해정도에 따른 위험도가 평가되어야 한다. 이러한 교량 건설공사의 재해를 줄이는데 기여할 수 있도록 정량화된 교량공사 위험지수를 제시함으로써 체계적이고 효율적인 재해예방 활동에 필요한 기초자료를 제공할 것이다. 특히 교량공사 시공 상의 제반 위험요인을 사전에 점검하여 변경·보완·제거할 수 있는 재해 예방대책을 수립하여 재해를 최소화하는 연구가 필요하게 되었다. 건설현장에서 위험지수의 고저에 따라 자원을 적정하게 배분한다면 안전관리의 효율성이 제고되고, 궁극적으로 건설재해 감소에 기여하게 될 것으로 기대된다.

**Keywords :** Bridge Construction, Risk Index, AHP, Accident Case

---

본 논문은 명지대학교 안전경영연구소 협력에 의해 이루어진 논문 임.

\* 명지대학교 산업경영공학과

\*\* 명지대학교 안전경영연구소

## 1. 서론

교량공사의 추세가 복잡화, 대형화되고, 기술발전 및 확장에 따른 공사의 제약조건 의 증가, 신공법 및 신기술의 채용, 고용의 불안정, 공사량의 증가, 공사의 복잡으로 인 해 교량 공사의 위험성은 계속 증가하고 있다. 근로복지공단의 2008년도 통계에 따르 면 근로자 보상비용의 약 30%가 건설재해에 쓰인다고 발표하였다[1]. 이러한 교량건설 공사의 재해를 줄이는데 기여할 수 있도록 정량화된 교량공사 위험지수를 제시함으로 써 체계적이고 효율적인 재해예방 활동에 필요한 기초자료를 제공할 수 있을 것이다. 특히 교량공사 시공 상의 제반 위험요인을 사전에 점검하여 변경·보완·제거할 수 있는 재해 예방대책을 수립하여 재해를 최소화하는 연구가 필요하게 되었다.

교량공사는 지상작업과 고소작업이 혼재하고 작업공종이 복잡하여 위험성이 높은 공사로 추락, 협착, 붕괴, 낙하·비래 재해의 발생빈도가 높다. 또한, 중량 부재의 운반, 조립, 양중 등의 작업과정에서 유해·위험 기계기구와 건설장비 사용에 따른 유해·위험 요인이 산재하여, 유해·위험의 정도와 재해 발생빈도 및 재해의 강도에 차이가 있 어 정량화된 위험지수의 제시가 필요하다. 건설현장에서 위험지수의 고저에 따라 자원 을 적정하게 배분한다면 안전관리의 효율성이 제고되고, 궁극적으로 건설재해 감소에 기여하게 될 것이다.

## 2. 연구의 범위 및 방법

### 2.1 연구의 범위

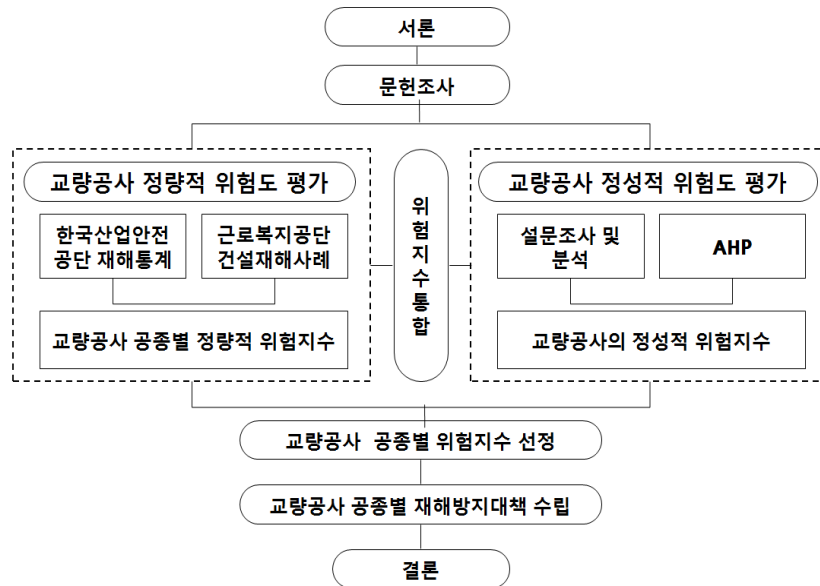
교량공사 위험지수의 산정을 위해 아래와 같이 연구범위를 한정한다.

- 1) 작업공종은 가설공사, 기초공사, 하부공사, 상부공사를 대상으로 하고, 특히 상부 공사는 경간 50m 이상의 교량에 많이 쓰이는 형식을 중심으로 연구를 진행한다. 장스팬에 적합한 형식으로는 Steel Box, P.S.M, I.L.M, MSS 형식의 PSC Box교 가 있다.
- 2) 교량재해에 관한 통계자료는 건설업 재해사례 중 교량공사 재해에 대한 한국산업 안전보건공단의 통계자료를 활용한다.
- 3) 4개 대분류(가설공, 기초공, 하부공, 상부공)를 중심으로 시공순서 및 작업공정에 따라 작업을 분해하여 작업공종별 중점관리 위험요인을 도출한다.
- 4) 교량공사의 시공은 고속도로공사전문시방서 제6장 교량공사편과 국토해양부 제정 도로공사 표준시방서 제6장 교량공사편의 시공기준을 따른다.

### 2.2 연구의 방법

교량공사의 공종별 위험지수 산정을 위해 [그림 1]과 같은 방법으로 연구를 수행하였다.

- 1) 한국산업안전보건공단의 1993년 이후의 교량 재해사례를 조사하고, 건설 중대재해 사례보고집, 근로복지공단의 건설재해 사례 등을 통해 기존 교량공사 재해사례를 분석한다.
- 2) 교량공사의 범위, 교량공사 공종의 분류 및 교량공사 공종에 따른 작업형태별 분류를 한다.
- 3) 설문조사를 교량전문가를 대상으로 실시하여, 평가항목의 검토와 평가항목에 대한 위험지수에 대한 정성적 평가를 실시한다. 설문분석에는 MS사의 Excel 프로그램을 사용하고, 상관성 분석에는 SPSS12 프로그램으로 통계처리 한다.
- 4) 교량공사의 재해 위험지수의 산정은 재해통계를 통한 정량적 평가와 계층분석법(AHP)으로 상대적 평가를 하여 정성적 요인을 정량화 한다. 두 지수를 비교·검증하여 공종별 위험지수를 산정한다.



[그림 1] 연구 흐름도

### 3. 교량공사 재해사례 분석

2006년 한국산업안전보건공단의 중대재해 분석 개요에 의하면, 공사종류별 재해 발생현황은 건축공사에서 358명(61.2%), 토목공사에서 134명(22.9%), 전기통신공사에서 45명(7.7%) 순으로 높게 나타났으며, 토목공사에서는 전체 재해자 134명 중 도로공사(교량·터널 포함)에서 57명(42.5%)를 차지하고 있어 교량공사에서 많은 중대사고가 발생함을 알 수 있다. 도로공사(교량 구조물·터널공사 포함)에서는 추락재해자가 20명(35.1%) 발생되어 중대재해 중 추락재해가 가장 많이 발생함을 알 수 있다.

### 3.1 교량공사 사망재해 분석

1997년부터 2009년까지 12년 동안 발생한 교량공사 재해 중 사망재해 126건을 한국 산업안전보건공단의 중대재해 발생사례를 중심으로 조사·분석하였다. 이들 재해의 발생공종과 형태 그리고 기인물과 피재자를 연도별로 분석하였다

#### 1) 재해형태별 사망자수

교량공사 중대재해사례 126건을 재해 발생형태별로 분석 결과 <표 1>과 같이 추락이 67건에 53%, 협착 14건에 11%, 도괴 12건에 10%, 붕괴 10건에 8%를 차지하고, 낙하, 전도, 감전, 익사, 질식 순으로 발생하였다.

교량공사의 재해 발생형태는 매우 다양하고 특히 추락재해의 발생빈도가 가장 높게 조사되었다. 이는 교량높이의 고도화와 추락 방지시설의 미흡, 개인보호구의 미착용 등에 기인한 것으로 생각된다.

<표 1> 재해형태별 사망자수

	추락	협착	도괴	붕괴	낙하	전도	감전	익사	질식
사망자수	67	14	12	10	9	8	3	2	1
%	53	11	10	8	7	6	2	2	1

#### 2) 작업장소별 사망자수

교량공사 재해사례 126건을 재해공종별 재해 발생현황은 <표 2>와 같이 상부 작업장소에서 50건으로 40%를, 하부 작업장소에서 35건으로 28%를, 기초 작업장소에서 17건으로 13%를 기타에서 24건으로 19%를 차지하였다. 상부 작업장소에서 재해가 빈발하는 것으로 조사되었다.

<표 2> 작업장소별 사망자수

	상부	하부	기초	제작장	부대	가설	야적장	바지선
사망자수	50	35	17	9	6	5	3	1
%	39.68	27.78	13.49	7.14	4.76	3.97	2.38	0.79

#### 3) 기인물별 사망자수

기인물별 사망자수는 <표 3>과 같이 거푸집이 22건에 17%를, 철근이 13건에 10%를, 작업발판이 9건에 7%를 차지하였고, 그 외에 작업대차, 카고크레인, 개구부, 이동식 크레인, 동바리, 달비계, 지게차 등이 차지하였다.

<표 3> 기인물별 사망자수

	거푸집	철근	작업발판	작업대차	카고크레인	개구부	이동식크레인	기타
사망자수	22	13	9	6	5	4	4	55
%	17	10	7	5	4	3	3	44

#### 4) 피재자별 사망자수

형틀목공이 26건(21%)으로 가장 많은 비율을 차지하고 있고, 비계공이 21명(17%), 철근공이 19명(15%), 철골공과 보통인부가 각각 14명(11%)을 차지하고 있다.

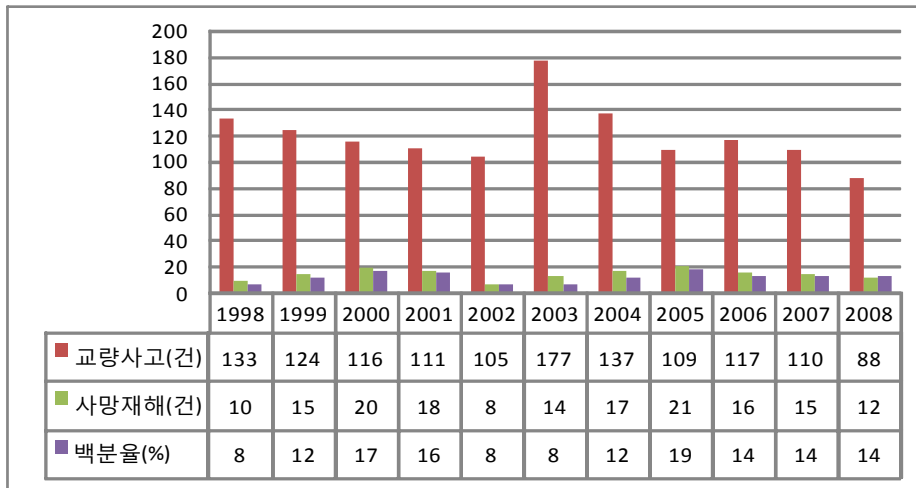
<표 4> 피재자별 사망자수

	형틀목공	비계공	철근공	철골공	보통인부	용접공	도장공	콘크리트공	기타
사망자수	26	21	19	14	14	5	5	2	20
%	21	17	15	11	11	4	4	2	16

### 3.2 교량공사 위험작업 분석

본 절에서는 교량공사의 위험공종과 그 공종에 따른 위험요인을 도출하고자 한다.

#### 1) 교량공사 위험 공종



[그림 2] 교량사고 발생건수

1998년부터 2008년까지 발생한 교량공사 재해는 1,327건이고, 이중 사망재해는 166건으로 약 12%를 차지하고 있으며, 년도별 전체 교량공사 재해발생 건수 대비 사망재해 발생현황은 [그림 2]와 같다.

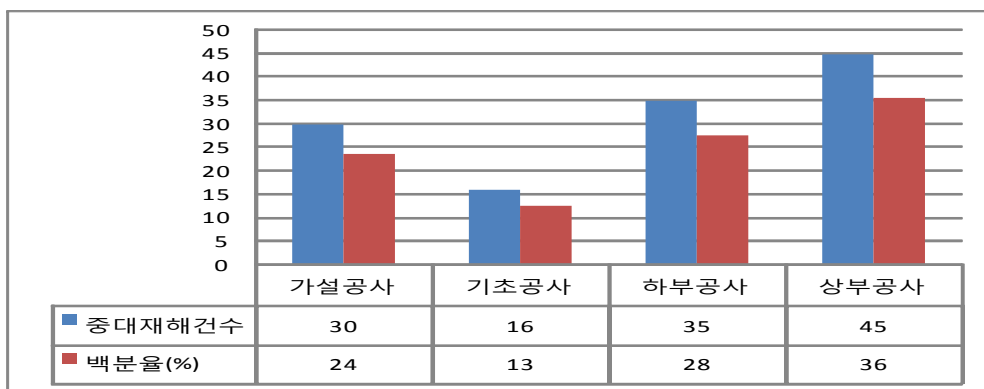
<표 5> 교량공사 중대재해 건수

작업공종	세부공종	단위작업	재해건수
가. 가설공사	물막이	1. 가물막이 시공	1
	흙막이	1. 흙막이지보공 자재반입·반출	2
		2. 흙막이지보공 설치·해체	2
	안전가시설	1. 비계 조립·해체	1
		2. 낙하물 방지망 조립·해체	6
		3. 추락 방지망 조립·해체	2
	제작장	1. 강제 거푸집 조립·해체	2
		2. 강제 거푸집 인양	1
		3. 강관 Box 조립	1
	양중작업	1. 이동식 크레인	8
2. 작업대차		4	
나. 기초공사	굴착	1. 기초굴착	2
	기초철근	1. 기초철근 조립	2
	기초거푸집	1. 기초 거푸집 조립·해체	4
	파일	1. 기초파일 자재장비 반입 운반보관	3
		2. 기초파일 천공·향타	2
	케이슨	1. 케이슨 제작	1
		2. 케이슨 운반 및 거치	1
3. RCD 시험말뚝 해체		1	
다. 하부공사	하부가설	1. 교량하부 작업발판 조립·해체	3
		2. 교각 점검통로 설치	1
		3. 로드타워 가설	1
	하부철근	1. 철근가공 및 운반	2
		2. 교각·교대 철근 조립	6
	하부거푸집	1. 교각 거푸집 조립·해체	14
		2. 교각 거푸집 인양	3
	하부콘크리트	1. 콘크리트 반입, 운반	1
		2. 콘크리트 타설	2
	교각상부	1. 코핑부 교좌 설치	2

라. 상부 공사	상부가설	1. 교량상부 안전 난간 설치	1
		2. 교량상부 브라켓 설치·해체	4
		3. 교량 Bent 해체	1
	강교	1. 강교 부재반입·운반·인양	2
		2. 강교 부재 조립	5
		3. 강교 슬래브 거푸집 조립·해체	4
		4. 강교 슬라브 시공	1
		5. 강교 도장	2
	PSC	1. 교량 거더 제작	1
		2. 교량 거더 인양·거치	2
		3. 교량 Cross Beam 설치	2
		4. 교량 슬라브 철근조립	1
		5. 교량 슬래브 거푸집 조립·해체	7
		6. 교량 슬래브 콘크리트 타설	1
	특수공법	1. FCM	2
		2. MSS	3
		3. ILM	1
		4. 사장교	1
		5. 현수교	0
	부대공사	1. 포장	1
2. 방호벽 설치		2	
3. 전기공사		1	

<표 5>와 같이 교량공사 중대재해 분석을 통해 교량공사 위험공종을 분석하였다. 가설공사는 물막이, 흙막이, 안전가시설, 제작장, 양중작업 등의 5개 공종과 11개 단위 작업이, 기초공사는 굴착, 기초철근, 기초거푸집, 파일, 케이슨의 5개 공종과 8개 단위 작업이, 하부공사는 하부가설, 하부철근, 하부거푸집, 하부콘크리트, 기타 공종과 10개의 단위공종이, 상부공사는 상부가설, 강교, PSC, 특수공법, 부대공사 공종과 24개 세부 위험작업으로 분류하였다.

위험공종에 따른 작업공종의 중대재해 발생건수를 분류하면 [그림3]과 같이 상부공사가 45건으로 36%를 차지하고, 하부공사가 35건으로 28%를 차지하고 있다.



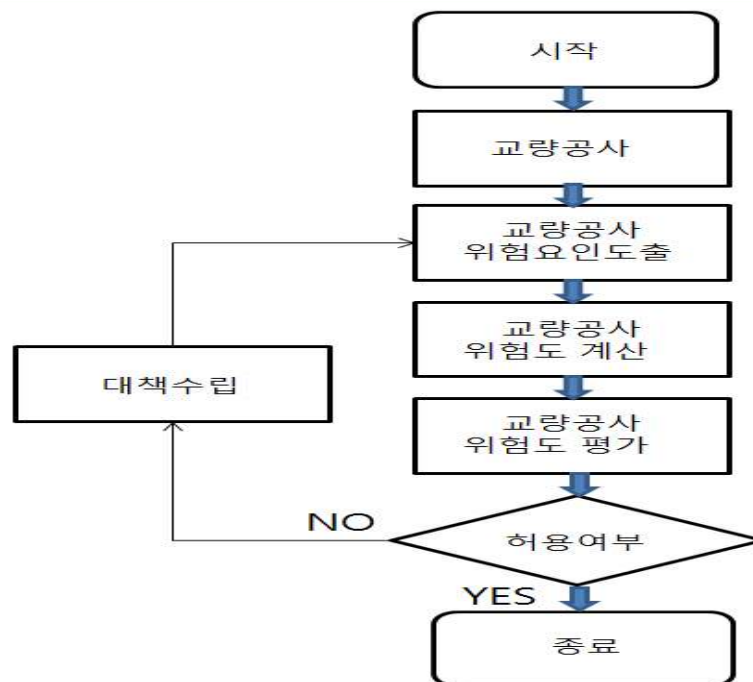
[그림 3] 공종별 중대재해 발생건수

#### 4. 교량공사 위험성 평가 개발

위험성 평가(Risk Assessment)는 잠재 위험요인이 사고로 발전할 위험도로 빈도와 손실크기를 평가하고 위험도가 허용할 수 있는 범위를 벗어난 경우 위험 감소대책을 세우고 위험수준을 허용할 수 있는 범위내로 끌어내리는 것을 말한다. 건설현장의 안전을 위해서 지속적인 위험성의 파악, 위험성의 평가 및 필요한 관리대책의 실행을 위한 업무 절차 수립 및 유지가 필요하다.

일반적인 위험성 평가의 절차는 [그림 4]와 같이 크게 5단계로 나눌 수 있다. 1단계는 평가대상 공종 선정단계이고, 2단계는 위험요인을 도출하는 단계이다. 3단계는 평가기준에 따라 평가를 실시하고 등급을 결정하는 위험도 계산 단계이다. 위험도는 사고의 발생빈도와 사고의 발생강도의 곱으로 나타낸다. 4단계는 기존 관리체제가 위험성을 계속 통제할 수 있고, 법적요건에 부합되는 것인지를 판단하는 위험도 평가단계이다. 5단계는 허용여부를 판단하는 단계로 기존 관리체제에 확신이 없거나, 법적인 요건충족이 안될 경우 관리계획을 수립하고, 충족이 될 경우 평가를 마치게 된다.

본 장에서는 정량적 위험지수 산정을 위해 재해사례에 의한 공종별 위험지수를 산정하고, 현장 전문가의 정성적 위험지수를 AHP 분석을 통해 산정하여 2개의 위험지수를 비교·검증하여 타당성을 확인한다.



[그림 4] 위험성평가 프로세스



#### 4.1 중대위험 발생 확률

본 연구에서는 교량공사 19개 공종에 대한 위험성을 평가하기 위하여 재해사례 통계자료를 이용하여 정량적으로 사고가 발생할 확률을 분석하였다. 1997년부터 2008년까지 11년간 발생한 교량사고는 약 1,410건이고 그중 사망재해는 약 176건으로 약 12%의 중대사고가 발생하였다. 이는 건설업의 재해 발생건수에 대한 사망률이 약 3%이므로 약 4배 이상 중대재해의 발생률이 높은 것으로 조사되었다.

위험성 평가의 대상으로는 한국산업안전보건공단의 1997년부터 2008년까지 11년간 발생한 중대사망사고 재해사례 126건을 대상으로 하였다. 교량공사의 중대사고는 1년에 약 16건이 발생하고, 1개월 평균 약 1건이 발생하는 것으로 분석되었다. 따라서 126건의 중대재해 중 1건이 발생할 확률은 0.8%이므로, <표 6>에 따라 D등급인 '거의 발생하지 않는(remote)'의 확률은 0.8%로 가정하였다. 4개월에 1건(1년에 3건)의 중대재해가 발생할 확률은 2.4%이므로 C등급인 '가끔 발생하는'을 0.8~2.4%미만으로 가정하였고, 2개월에 1번씩 발생할 확률은 4.8%로 B등급 '보통 발생하는'을 2.4~4.8%로 가정하였고, 그 이상의 재해가 발생할 경우를 A등급 '자주 발생하는'으로 가정하였다. 위험이 발생할 확률에 대한 등급산정은 (식 1)과 같다.

$$\text{중대위험발생확률} = \frac{\text{교량공사 각 공종별 중대재해 건수}}{\text{교량공사 전체 중대재해 건수}} \times 100 \text{ (식 1)}$$

<표 6> 중대위험 발생확률의 범위결정

등급	중대위험의 정성적 확률구분	중대위험의 정량적 확률구분
A	자주 발생하는 (frequent)	중대재해의 4.8% 이상
B	보통 발생하는 (probable)	중대재해의 2.4~4.8% 미만 점유
C	가끔 발생하는 (occasional)	중대재해의 0.8~2.4% 미만 점유
D	거의 발생하지 않는 (remote)	중대재해의 0.8% 미만 점유
E	발생하지 않는 (improbable)	아직 발생하지 않음

##### 1) 세부공종별 중대위험 발생확률 분석

교량공사의 세부 공종별 중대재해 건수는 <표 7>에서 나타난 바와 같이 하부거푸집, 강교공사, PSC공사, 양중작업의 순으로 중대재해가 발생하였다.

<표 7> 세부공종별 중대위험 발생확률

	작업공종	세부공종	발생건수	발생 확률(%)	등급
교량공사 (126)	가설공사 (30)	물막이	1	0.8	C
		흙막이	4	3.2	B
		안전가스시설	9	7.1	A
		제작장	4	3.2	B
		양중작업	12	9.5	A
	기초공사 (16)	굴착	2	1.6	C
		기초철근	2	1.6	C
		기초 거푸집	4	3.2	B
		파일	5	4.0	B
		케이슨	3	2.4	B
	하부공사 (35)	하부 가설	5	4.0	B
		하부 철근	8	6.3	A
		하부 거푸집	17	13.5	A
		하부 콘크리트	3	2.4	B
		코핑상부	2	1.6	C
	상부공사 (45)	상부가설	6	4.8	A
		강교	14	11.1	A
		PSC	14	11.1	A
		특수공법	7	5.6	A
		부대공사	4	3.2	B
계			126	100%	

중대재해가 가장 자주 발생하는 A그룹에는 하부거푸집, 강교공사, PSC공사, 양중작업, 안전가스시설공사, 하부 철근공사, 특수공법, 상부가설의 순으로 분석되었다.

2) 단위작업별 중대재해 발생확률 분석

단위작업별 중대재해로 A그룹에는 낙하물방지망 조립·해체, 이동식 크레인 작업, 교각·교대 철근조립, 교각 거푸집 조립·해체, 교량 슬래브 거푸집 조립·해체의 5개 작업으로 분석되었고, B그룹에는 기초거푸집 조립·해체, 기초파일 자재장비 반입, 운반·보관, 교각 거푸집 인양, 강교 부재 조립, 강교 슬래브 거푸집 조립·해체, 특수공법의 MSS공법으로 분석되었다. 이 두 그룹은 사고의 발생확률이 비교적 높아 재해예방에 대한 대책이 필요하다. <표 8>은 단위작업별 중대재해 발생확률을 나타낸 것이다.

<표 8> 단위작업별 중대재해 발생확률 분석

	세부공종	단위작업	A	B	C	등급
가설공사 (30)	물막이	물막이 시공	1	0.8	3.3	C
	흙막이	흙막이지보공 자재반입·반출	2	1.6	6.7	C
		흙막이지보공 설치·해체	2	1.6	6.7	C
	안전가시설	비계 조립·해체	1	0.8	3.3	C
		낙하물방지망 조립·해체	6	4.8	20.0	A
		추락방지망 조립·해체	2	1.6	6.7	C
	제작장작업	강제 거푸집 조립·해체	2	1.6	6.7	C
		강제 거푸집 인양	1	0.8	3.3	C
		강관 Box 조립	1	0.8	3.3	C
	양중 작업	이동식 크레인	8	6.3	26.7	A
작업대차		4	3.2	13.3	B	
기초공사 (16)	굴착	기초굴착	2	1.6	12.5	C
	철근	기초철근 조립	2	1.6	12.5	C
	거푸집	기초 거푸집 조립·해체	4	3.2	25.0	B
	파일	기초파일 자재장비 반입, 운반·보관	3	2.4	18.8	B
		기초파일 천공·향타	2	1.6	12.5	C
	케이슨	케이슨 제작	1	0.8	6.3	C
		케이슨 운반 및 거치	1	0.8	6.3	C
		RCD 시험말뚝 해체	1	0.8	6.3	C
하부공사 (35)	하부가설	교량하부 작업발판 조립·해체	3	2.4	6.8	B
		교각 점검통로 설치	1	0.8	2.3	C
		로드타워 가설	1	0.8	2.3	C
	철근	철근가공 및 운반	2	1.6	4.5	C
		교각·교대 철근 조립	6	4.8	13.6	A
	거푸집	교각 거푸집 조립·해체	14	11.1	31.7	A
		교각 거푸집 인양	3	2.4	6.8	B
	콘크리트	콘크리트 반입, 운반	1	0.8	2.3	C
		콘크리트 타설	2	1.6	4.5	C
	코핑상부	코핑부 교좌 설치	2	1.6	4.5	C

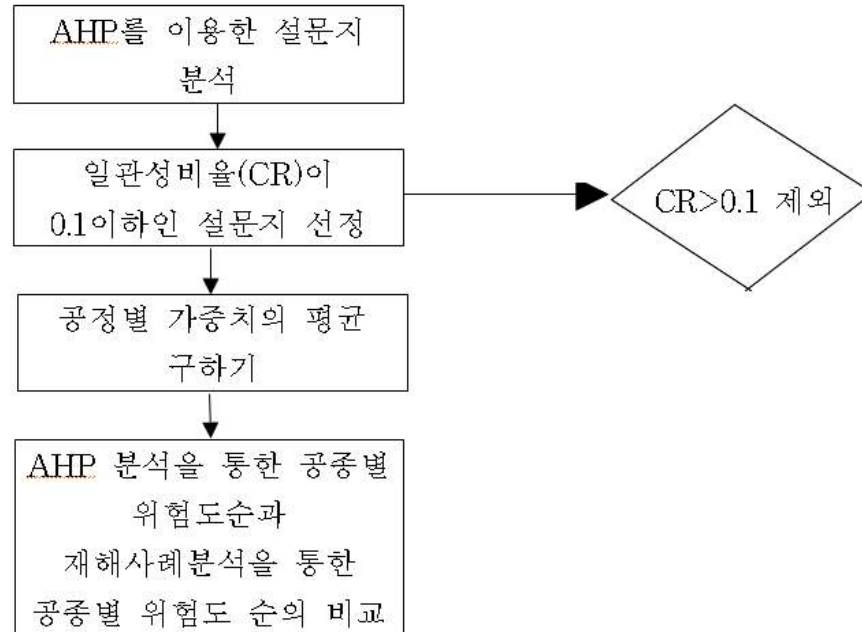
상부공사 (45)	상부 가설	안전 난간 설치	1	0.8	2.2	C
		브라켓 설치·해체	4	3.2	8.9	B
		교량 Bent 해체	1	0.8	2.2	C
	강교 공사	부재반입·운반·인양	2	1.6	4.4	C
		부재 조립	5	4.0	11.1	B
		슬래브거푸집 조립·해체	4	3.2	8.9	B
		슬라브 시공	1	0.8	2.2	C
		도장	2	1.6	4.4	C
	PSC 공사	교량 거더 제작	1	0.8	2.2	C
		거더 인양·거치	2	1.6	4.4	C
		Cross Beam 설치	2	1.6	4.4	C
		슬라브 철근조립	1	0.8	2.2	C
		슬래브 거푸집 조립·해체	7	5.6	15.6	A
		슬래브 콘크리트 타설	1	0.8	2.2	C
	특수 공법	FCM공법	2	1.6	4.4	C
		MSS	3	2.4	6.7	B
		ILM	1	0.8	2.2	C
		사장교	1	0.8	2.2	C
		현수교	0	0.0	0.0	D
	부대 공사	포장	1	0.8	2.2	C
		방호벽 설치	2	1.6	4.4	C
전기공사		1	0.8	2.2	C	

A:중대재해발생건수      B:단위작업별 재해발생 확률

C:작업공종별 재해발생 확률

## 4.2 설문조사

교량공사의 공종은 고속도로공사 전문시방서와 도로공사 표준시방서의 공종중 재해 발생빈도가 높은 공종을 비교 및 검토하여 20개 공종으로 분류하였다. 분류된 20개의 공종에 대한 위험지수는 중대재해사례의 발생빈도를 고려하여 이미 제시하였다. 제시된 위험지수의 타당성(validity)을 확보하기 위해 관계기관 건설안전 전문가, 교량건설 현장의 안전 담당자, 현장소장을 중심으로 설문을 배포하고, 회수된 설문을 AHP를 통해 분석하였다. 재해사례를 통한 정량적 지수와 AHP를 통한 정성적 분석사이의 상관성 분석을 실시하여 제시된 위험지수의 타당성을 확보하고자 한다. 설문의 분석방법은 [그림 5]와 같다.



[그림 5] 설문지의 분석방법

본 연구에서는 회수된 172부의 설문지를 회수하였고, 설문대상으로 현장소장이 40부, 안전관리자 23부, 토목기사 53부, 감리원 56부인 것으로 나타났다. 그중 4번 문항과 5번 문항의 답변에서 일관성지수(C.I.)가 0.1이하인 설문 67부를 다시 그룹별로 나누어 쌍대비교를 실시하여 문항 6번~8번 문항의 쌍대비교를 실시하여 최종 일관성지수(C.I.)가 0.1이하인 43부를 가중치 계산에 활용하였다.

### 4.3 공중별 위험지수의 산정

#### 1) 공중별 계층화

[그림 6]과 같이 그룹별 계층화와 공중별 계층화를 수행하였다. 교량공사의 공중을 20개의 공중으로 분류하고, 6~7개씩 그룹화하여 계층화하였다. 이는 한국산업안전보건공단의 11년간(1997년~2008년)간 중대사례 보고집을 분석한 자료를 바탕으로 각 그룹에 해당되는 20개 공중을 사고발생건수 순으로 분류하였다. 일반적으로 각 단계의 요소의 수는 5~9개정도가 적당한 것으로 연구되었으므로 이에 따라 그룹별로 6~7개씩 그룹화 하였다.



[그림 6] 교량공사 계층화

## 2) 교량공사 그룹별 가중치 결정

교량공사 각 그룹별 가중치에 관한 설문 67부의 설문지를 분석하였다.

<표 9>는 그룹별 가중치로 그룹 A에 대한 가중치는 0.579이고, 그룹 B는 0.253이며, 그룹 C는 0.168로 조사되었다. C.I.가 0.1이하인 설문지만을 분석하였고, 평균 C.I.는 0.028이다.

<표 9> 그룹별 가중치

	그룹 A	그룹 B	그룹 C	C.I.
계	0.579	0.253	0.168	0.028

<표 10>과 같이 공종별 위험지수에서 상부공사는 0.514, 하부공사는 0.180, 가설공사는 0.173, 기초공사는 0.132, C.I.는 0.047로 분석되었다.

<표 10> 공종별 위험지수

	상부	하부	기초	가설	C.I.
계	0.514	0.180	0.132	0.173	0.047

## 4.4 세부 공종별 위험지수의 산정

### 1) 그룹 A의 세부공종별 가중치

67개의 데이터 중 답변에 일관성이 있는 43개의 자료를 분석에 활용하였다. 그룹 A의 쌍대비교를 통한 가중치는 <표 11>과 같다. 강교공사의 가중치가 0.196으로 가장 높게 나타났고, PSC 공사가 0.176, 하부거푸집 공사가 0.166, 양중작업 0.160, 특수공법 0.124, 안전가시설 0.111, 하부철근이 0.067로 분석되었다.

<표 11> A 그룹의 세부공종별 가중치

	하부 거푸집	강교공사	PSC 공사	양중작업	안전 가시설	하부철근	특수공법	C.I.
평균	0.166	0.196	0.176	0.160	0.111	0.067	0.124	0.074

### 2) 그룹 B의 세부공종별 가중치

그룹 B의 쌍대비교를 통한 위험지수는 <표 12>와 같다. 상부가설공사의 위험지수 가중치가 0.339로 가장 높게 나타났고, 흙막이 공사가 0.161, 하부가설공사가 0.148, 과일공사가 0.130, 상부부대 공사가 0.091, 제작장 작업과 기초 거푸집공사는 0.066으로 분석되었다.

<표 12> B 그룹의 세부공종별 가중치

	상부가설	과일공사	하부가설	흙막이	제작장	기초거푸집	상부부대	C.I.
평균	0.339	0.130	0.148	0.161	0.066	0.066	0.091	0.085

### 3) 그룹 C의 세부공종별 위험지수

그룹 C의 쌍대비교를 통한 위험지수는 <표 13>과 같다. 케이슨 공사의 위험지수 가중치가 0.319로 가장 높게 나타났고, 코핑상부공사가 0.204, 물막이공사가 0.136, 하부콘크리트공사가 0.115, 기초철근공사가 0.095로 분석되었다. 또한 C.I.는 0.065로 일관성이 있는 것으로 나타났다.

<표 13> C 그룹의 세부공종별 가중치

	케이슨	하부 conc.	굴착 공사	기초철 근	코핑상 부	물막이	C.I.
평균	0.319	0.115	0.131	0.095	0.204	0.136	0.065

## 4.5 교량공사 공종별 위험지수

교량공사의 공종별 AHP 분석결과, 그룹 A, B, C 의 위험지수 가중치는 각각 0.579, 0.253, 0.168로 분석되었다. 따라서 교량공사의 각 세부공종에 대한 위험지수는 (식 4.2)와 같은 방법으로 구하였고, 각 공종별 위험지수 가중치는 <표 14>와 같다.

$$\text{공종별 위험지수} = \text{그룹별 가중치} \times \text{그룹 내 세부공종별 가중치 (식 4.2)}$$

<표 14> 공종별 위험지수

중대재해 발생확률 위험도순위	세부공종	그룹별가중치	세부공종별 가중치	공종별 위험 지수	공종별 위험지수 순위
1	하부거푸집	그룹A (0.579)	0.166	0.096	3
2	강교공사		0.196	0.113	1
3	PSC공사		0.176	0.102	2
4	양중작업		0.160	0.093	4
5	안전가시설		0.111	0.064	7
6	하부철근		0.067	0.039	10
7	특수공법		0.124	0.072	6
8	상부가설		0.339	0.086	5
9	파일	그룹B (0.253)	0.130	0.033	13
10	하부가설		0.148	0.037	11
11	흙막이		0.161	0.041	9
12	제작장공종		0.066	0.017	18
13	기초거푸집		0.066	0.017	19
14	부대공사		0.091	0.023	14
15	케이슨	그룹C (0.168)	0.319	0.054	8
16	하부콘크리트		0.115	0.019	17
17	굴착		0.131	0.022	16
18	기초철근		0.095	0.016	20
19	코핑상부		0.204	0.034	12
20	물막이공사		0.136	0.023	15

#### 4.6 절 교량공사 공종별 위험지수 검증

<표 15>에서와 같이 중대재해 발생확률 위험도 순위와 공종별 위험지수 순위 사이에 상관성이 있는지를 순위상관계수(Rank order Correlation)를 이용하여 두 데이터사이의 상관의 강도를 SPSS12 프로그램을 활용하여 분석하였다.

자주 이용되는 순위상관계수에는 스피어만(Spearman)의 순위상관계수와 켄달(Kendall)의 순위 상관계수가 있다.

##### 1) 스피어만의 순위상관계수

x의 순위치를 a, y의 순위치를 b라고 한다. 스피어만의 순위상관계수 rs는 다음의 공식으로 계산된다.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (a-b)^2}{n(n^2-1)} \quad (\text{식 3})$$

n은 표본의 수이다.

순위상관계수 rs는  $-1 \leq r_s \leq 1$ 이 되며, 1에 가까울수록 순위를 매기는 방식이 비슷하고, -1에 가까울수록 순위를 매기는 방식이 반대라고 하는 것을 나타낸다.



## 2) 켄달의 순위 상관계수

켄달의 순위상관계수  $\tau$ 는 다음의 식으로 구한다.

$$\tau = \frac{4}{n(n-1)} \times m - 1 \quad (\text{식 4})$$

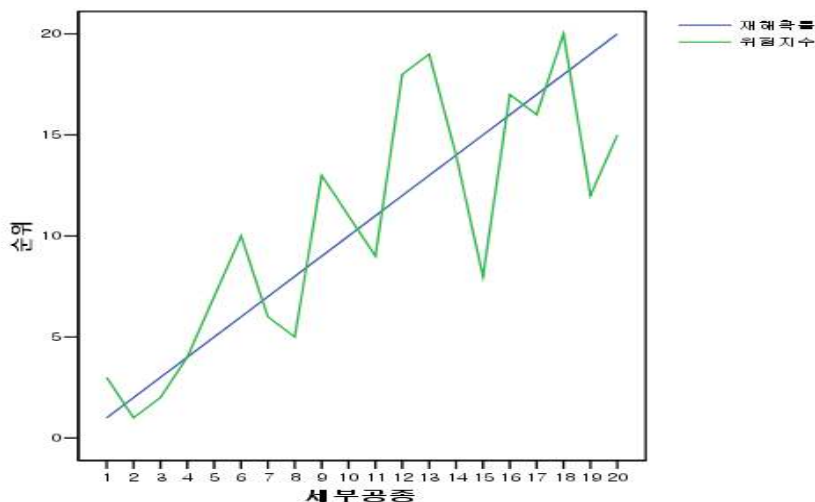
m :  $y_i$ 의 순위치  $b_j(i < j)$ 의 개수

<표 15> 상관계수

상관계수	비교대상	구분	재해확률	위험지수
Kendall의 tau_b	재해확률	상관계수	1.000	.611(**)
		유의확률(양측)	.	.000
		N	20	20
	위험지수	상관계수	.611(**)	1.000
		유의확률(양측)	.000	.
		N	20	20
Spearman의 rho	재해확률	상관계수	1.000	.806(**)
		유의확률(양측)	.	.000
		N	20	20
	위험지수	상관계수	.806(**)	1.000
		유의확률(양측)	.000	.
		N	20	20

\*\* 상관 유의수준 0.01(양측)

<표 15>에서와 같이 켄달의  $\tau$ 는 0.611로 유의수준 0.01에서 완전하지는 않지만 순위의 일치성은 인정되는 것으로 분석되었다. 스피어만의  $r_s$ 는 0.806으로 유의수준 0.01에서 유의하며, 상당히 높은 수준의 일치성을 보이고 있다.



[그림 7] 재해확률과 위험

## 5. 결 론

교량공사의 각 공종별 중대재해 건수는 하부거푸집, 강교공사, PSC공사, 양중작업의 순으로 중대재해가 발생하였다.

교량공사 공종에서 중대재해가 가장 자주 발생하는 A등급으로 하부거푸집, 강교공사, PSC공사, 양중작업, 안전가시설공사, 하부철근공사, 특수공법, 상부가설의 순으로 8개 공종이 분석되었다.

단위작업별 중대재해로 A그룹에는 낙하물방지망 조립·해체, 이동식 크레인작업, 교각·교대 철근조립, 교각거푸집 조립·해체, 교량슬래브 거푸집 조립·해체의 5개 작업으로 분석되었고, B그룹에는 기초거푸집 조립·해체, 기초파일 자재장비 반입, 운반·보관, 교각거푸집 인양, 강교 부재 조립, 강교슬래브거푸집 조립·해체, 특수공법의 MSS공법으로 분석되었다. 이 두 그룹은 사고의 발생확률이 비교적 높아 재해예방에 대한 대책이 필요한 것으로 판단된다.

그룹 A에 대한 가중치는 0.579이고, 그룹 B는 0.253이며, 그룹 C는 0.168로 조사되었다. C.I.이 0.1 이하인 설문지만을 분석하였고 평균 C.I.는 0.028이다.

공종별 위험지수 상부공사는 0.514, 하부공사는 0.180, 가설공사는 0.173, 기초공사는 0.132, C.I.는 0.047로 분석되었다. 중대재해 발생확률과 비교하면 상부공사 0.357, 하부공사 0.278, 가설공사 0.238, 기초공사 0.127로 순서는 일치하나 하부공사의 공종별 위험지수가 다소 낮게 분석되었다.

A그룹의 세부공종에 대한 가중치는 강교공사의 가중치가 0.196으로 가장 높게 나타났고, PSC 공사가 0.176, 하부거푸집 공사가 0.166, 양중작업 0.160, 특수공법 0.124, 안전가시설 0.111, 하부철근이 0.067로 분석되었다. 중대재해 발생확률에 의한 가중치와 비교하면, 하부 거푸집공사가 다소 낮게 도출되었고, 특수공법이 다소 높은 가중치를 갖는 것 이외에는 거의 일치하는 것으로 분석되었다.

B 그룹의 세부공종에 대한 가중치는 상부가설공사의 위험지수 가중치가 0.339로 가장 높게 나타났고, 흙막이 공사가 0.161, 하부가설공사가 0.148, 파일공사가 0.130, 상부부대 공사가 0.091, 제작장 작업과 기초거푸집공사는 0.066으로 분석되었다.

C그룹의 세부공종에 대한 가중치는 케이슨 공사의 위험지수 가중치가 0.319로 가장 높게 나타났고, 코핑상부 공사가 0.204, 물막이 공사가 0.136, 하부 콘크리트 공사가 0.115, 기초철근공사가 0.095로 분석되었다. 또한 C.I.는 0.065로 일관성이 있는 것으로 나타났다.

중대재해 발생확률 위험도 순위와 공종별 위험지수 순위사이에 상관성이 있는지를 순위상관계수(Rank order Correlation)를 이용하여 두 데이터사이의 상관의 강도를 분석하였다. 켄달의  $\tau$ 는 0.611로 유의수준 0.01에서 완전하지는 않지만 순위의 일치성은 인정되는 것으로 분석되었다. 스피어만의  $r_s$ 는 0.806으로 유의수준 0.01에서 유의하며, 상당히 높은 수준의 일치성을 보이고 있다.

## 6. 참 고 문 헌

- [1] 근로복지공단(2008), 「2008년도 산재보험, 고용징수 실적 분석(해설편)」, p.29.
- [2] 국토해양부(2008), 「2008년 도로교량 및 터널 현황 조서」
- [3] 남광현 역(2002), 교량하부공사 『CHECK LIST』, 과학기술.
- [4] 노형진외 1(2007), 「한글 SPSS」, 형설출판사.
- [5] 박용성(2001), 「AHP를 위한 의사결정론」, 자유아카데미.
- [6] 통계청(2008), 「경제활동인구연보」.
- [7] 한국산업안전공단(2002), 「교량공사 추락방지 시설물의 안전기준 연구」.
- [8] 한국산업안전공단(2006), 「교량공사의 정량화 연구」.
- [9] 한국산업안전공단(2007), 「유해·위험방지계획서 심사기준」.
- [10] 한국산업안전공단(2007), 「유해·위험방지계획서 작성모델 : 교량공사편」.
- [11] 한국산업안전공단(2008), 「유해·위험방지계획서 작성 모델」.
- [12] 한국산업안전공단, 「안전점검 CHECKLIST(교량공사)」.
- [13] 김수삼 외 27인(2007), 「건설시공학」, 구미서관.
- [14] 조효남(2009), 「교량공학」, 구미서관.