

橋梁의 崩壞와 調査

변 근 주

(사) 한국건설안전기술협회 비상근 전문위원
 연세대학교 토목공학과 교수
 건설안전기술사, 공학박사

1. 서 언

교량은 언제나 교통량이 많은 교통흐름의 길목이나 전략요충지에 위치하고, 교량의 건설중이나 사용중에 문제가 생겨 공용개시가 연기되거나 사용이 중지하게 되면 사회적, 경제적, 정치적, 군사적으로 매우 심각한 결과를 초래하기 때문에, 교량은 도로망(road network)의 필수요소이다. 경제, 사회가 급속도로 발전, 변천되면서 교량이 국가경제의 동맥역할을 잘 감당하고, 교통이 원활하게 소통되며, 화물수송이 효율적으로 되도록 하기 위하여 대부분의 국가들은 교량건설에 많은 투자를 해오고 있다.

기록에 의하면 국내에는 AD 413년에 이미 평양대주교가 건설된 바 있고, 8세기에는 불국사의 청운교, 백운교, 연화교, 칠보교 등이 석조 아치교로 건설되어 현재까지 1200년 이상 견제하고 있다. 또한 고려시대의 개성의 선죽교(석재 거더교), 함평의 독다리(석재 거더교), 진천의 농다리(석재 거더교) 등도 현재까지 700년 이상 사용되고 있다. 한편 한양천도 후 조선초기의 태종때에는 개천도감(開川都監), 세종때에는 도성수축도감(都城修築都監)을 두어 궁궐내 및

도성 내외에 86개의 교량을 건설토록 하였고, 이들 중 몇개는 현재까지 보존되고 있으며, 없어진 교량들도 수명을 다한 것이 아니라 대부분이 도시계획, 도시개발의 명목하에 이전되거나 매몰 또는 철거된 것이다. 우리의 옛 교량은 평교, 아치교가 대부분이고 주로 목재, 석재, 흙으로 건설되었으나 모든 교량마다 건설에 따른 역사적, 문화적, 기술적 의미가 부여되어 있었다. 궁궐에는 서민들과의 구별을 위하여 금천(禁川, 綿川)을 두고 그곳에 교량(禁川橋, 綿川橋, 永濟橋, 玉泉橋 : 모두 같은 뜻임)을 건설하였다. 사대부(士大夫)집 앞에는 으레껏 은하수를 의미하는 명당수(明堂水)가 집 서쪽에서 흘러와 동쪽의 연못에 고이게 하고 이 명당수를 건너기 위해 건우와 직녀가 만나는 돌다리 오작교(烏鵲橋)를 두었다. 이 석교 앞에는 괴석(怪石)을 심은 석분(石盆)을 두었는데 괴석은 월계수를 의미하며 석분은 달을 의미하고 석분에 두꺼비를 새김으로써 월궁(月宮)을 나타내도록 하여 月上世界가 전개되도록 하였다. 이외에도 하상세굴방지, 하천의 수위수량측정용으로 배를 이어서 만든 주교(舟橋, 현재의 부교), 국방용 水門橋, 불세와 속세를 구분짓기 위해 사찰입구에

건설한 교량 등이 역사적, 기술적, 정신적, 종교적, 문화적인 의미를 갖고 건설되었다.

1900년 건설된 한강철교를 필두로 우리나라의 현대적인 교량건설이 시작되었으나, 해방시까지 일인들의 기술에 의해 만들어졌고 그 후 1950년대 말까지는 미국기술에 의존했기 때문에 약 60여년을 지내오면서 이 시기에 우리의 역사, 문화, 기술이 이어지지 않고 단절되기에 이르렀다. 실제로 우리의 손으로 교량건설이 확대된 것은 1960년 이후라고 해도 좋을 것 같다. 국가의 경제개발계획이 추진되면서 지난 30년간 고속도로, 항만, 공업단지, 수자원 및 전력, 간척지, 하천개발, 도시개발, 지하철, 비행장, 대단지 주택개발, 주택재개발, 신도시개발, 농경지정리, 상하수도사업, 통신사업, 아시아게임 및 88올림픽경기 관련시설 등 상상을 초월하는 엄청난 건설이 전국토를 단시일에 변모시켜 놓았다. 또한 같은 시기에 많은 기술자원, 기술인력이 해외건설에 진출하여 해외의 선진기술을 도입하기도 하였다.

이상과 같은 과정속에서 지난 30여년간은 모든 목표가 오직 경제부흥, 성공적인 올림픽경기 수행을 위하여 단기간에 많은 건설에 중점을 두었다고 해도 과언이 아니었기 때문에 우리의 정신, 문화, 기술이 반영되기는 커녕, 이해와 소화도 없이 외국의 신기술을 도입함으로써 우리나라는 외국기술의 전시장같이 되어 버렸다. 여기에 덧붙여서 국내의 건설자재수급, 노동력, 건설능력 등을 충분히 고려치 않고 추진한 주택 200만호 건설추진은 이미 신도시 아파트 건설, 각종 대형교량건설에서 나타난 바와 같이 부실시공과 붕괴사고를 부추긴 결과를 초래하여 마치 우리의 건설기술은 퇴보한 느낌을 주고 있다.

우리의 정신과 문화와 기술이 담겨진 옛것들은 건재하고 오히려 현재의 신기술로 건설한 것이나 건설중인 것은 문제가 있으니, 이러한 현상은

무엇때문에 생기는 것인지, 해결해야 할 문제는 무엇인지 알아본다.

2. 교량파괴

1) 파괴의 정의

대규모 구조물의 건설이 사회에 미치는 영향 보다는 그 구조의 파괴가 훨씬 더 영향도 크고, 더 충격적이다. 더욱이 붕괴는 건설사업의 발전에 가장 큰 장애요소라고 할 수 있다. 경제적 손실과 인명피해 등의 직접적인 손실만이 아니고 건설분야에 대한 사회인식의 악화, 심리불안 등 간접적인 영향도 크기 때문이다. 이런 악몽을 타파하는 길은 오직 경감식을 갖고 눈을 크게 뜨고 악몽과 싸워 이기는 것 뿐이고, 그 첫단계가 안전하고 정확한 정보를 이용하는 길이다. 일반적으로 파괴원인을 완전히 이해하지 않고서는 파괴를 이해할 수 없고 건설의 완전한 이해 없이는 건설파괴를 이해할 수 없다.

재해에는 인재와 천재가 있지만 파괴(failure)란 인위적인 것이라고 할 수 있다. 즉 파괴란 현상(occurrence)이나 시행(performance)의 생략, 실패(lack of success), 불이행(non-performance), 불충분(insufficiency), 강도손실, 적절한 기능이나 성능의 상실 등으로 정의될 수 있다. 일반적으로 건설공사는 개념(concept), 설계(design), 시공(performance), 사용(use) 등의 4 요소로 구성되어 있다. 한편 과업을 성공적으로 이끌기 위해서는 각 요소가 훈련과 교육으로 얻어지는 지식(knowledge), 경험으로 얻어지는 능력(competence), 관리로 얻어지는 주의나 배려(care)를 반드시 포함해야 하고, 만일 이들 3개 중 어느 하나라도 소홀히 하거나 빠지게 되면 나머지 2개가 아무리 우수해도 기능의 파괴를 막을 수는 없을 것이다.

교량건설은 도로계획과 병행하여 고려되어야 하는데 기본계획 및 기본설계(위치, 연장, 등급, 경간분할 및 형식선정, 기본자료조사 등), 실시설계(부재요소의 구성, 구조모형화, 경계조건, 하중의 모형화 및 재하, 구조해석, 단면설계, 재해석, 설계도면 작성, 시방서 및 설계서 작성 등), 시공(시공계획, 건설, 건설관리 등), 사용(유지관리, 점검 등), 파기 등 전과정(lift cycle)을 면밀하게 검토해야 하는데, 교량의 붕괴를 방지하는 길은 무엇보다도 기본계획 및 기본설계단계에서부터 광범위한 분석과 검토가 이루어져야 한다. 정치가이고 기술자였던 미국의 Herbert Hoover 대통령은 다음과 같이 말한 바 있다. 즉 “다른 직업을 가진 사람들과 달리 기술자는 책임과 의무가 크다. 작업공간이 공개된 곳이고 모든 일이 단계적이고 자기의 과오를 의사와 같이 무덤에 묻어둘 수 없으며, 변호사와 같이 판결을 반박하거나 설득할 수도 없고 다른 사람들의 기억에서 빨리 사라지게 할 수도 없고 기술자는 자기가 한 일을 부정할 수도 없다. 그렇다고 기술자가 더욱이 일을 하지 않으면 많은 사람들로 부터 지탄을 받을 것이다.” 국내의 현실을 그대로 대변한 듯한 느낌이다.

언제나 그랬듯이, 대형건설사고가 난 직후 모든 언론매체는 떠들석하고 온 국민들은 제각기 한마디씩 질책을 한다. 70년대초 와우아파트붕괴, 80년대초의 제주도 중문단지의 교량붕괴, 90년대초의 팔당대교와 신행주대교의 붕괴, 신도시 아파트의 부실시공 발표때도 마찬가지였다. 떠들석하기만 했지 우리는 건설붕괴사고를 막지 못하고 재현하고 있지 않은가? 실제로 외국의 교량붕괴사고 원인과 우리나라의 것과는 상당한 차이가 있는 듯 하다. D.W. Smith가 1847년과 1975년 사이에 발생한 143개의 도로 및 철도교량의 붕괴원인을 분석한 결과는 다음과 같다.

· 홍수나 지반변동 : 70교량

- 부적절한 재료나 결점이 있는 재료의 사용 : 22교량
- 초과하중이나 충돌사고 : 14교량
- 부적절한 가설구조나 시공순서 : 12교량
- 지진 : 11교량
- 부적절한 설계 : 5교량
- 바람 : 4교량
- 피로 : 4교량
- 부식 : 1교량

한편, 외국의 장대교량의 사고예를 수록하면 표. 1과 같다.

2) 파괴원인

구조물붕괴에 관한 통계에 따르면 구조물의 사용중에 생기는 붕괴보다는 건설도중에 생기는 경우가 20 내지 30배나 많다고 알려져 있다. 국내의 경우에도 사용중 파괴된 교량은 매우 드물고 대부분이 건설도중에 붕괴사고가 발생하였다. 그러나 재해(distress)와 불이행(nonperformance)사고는 주로 건설 후 사용중에 발생한다. 건설도중의 사고는 주로 거푸집(formwork)사고, 가설구조(temporary structures : 가설교각 등), 건설중의 초과하중, 충격 및 충돌에 의해 발생한다. 한편 점진적인 파괴(progressive collapse)는 파괴시 1992년 7월의 신행주대교 붕괴사고와 같이 순간적인 “domino 효과파괴”를 유발하기 때문에 매우 위험하다. 그러나 이러한 파괴는 기본계획, 설계, 시공시 alternate path theory를 이용하여 피하거나 절점(seperation joint)을 사용한 block개념을 도입하여 붕괴를 줄일 수도 있다. 구조물의 파괴를 일으키는 요인은 다음의 7가지가 있다.

- ① 예측불가능(폭파, 충돌 등)
- ② 설계
- ③ 구조세목과 도면작성
- ④ 재료

- ⑤ 작업속련도
- ⑥ 시공검사
- ⑦ 전자계산기의 과실

3) 파괴모형

구조물의 파괴모형은 다음의 7가지로 분류될 수 있다.

표 1 장대교량의 사고예

교 량	소 재 지	형식(주경간)	건설년도	비 고
Brighton Chain pier橋	영국	현수교 68m	1823년	1833년, 부분손상 1836년, 비틀림진동에 의한 파괴
Menai Straits橋	영국	현수교 177m	1826년	3도이상 휨, 바람에 의한 파손, 상판 등 보수
Nassau橋	독일	현수교 75m	1830년	1834년, Cable 파손
Niagara- Lewiston橋	미국, 캐나다	현수교 318m	1850년	1864년, 강풍에 의해 파괴
Tacoma Narrows橋	미국 워싱턴주 타코마해협	현수교 853m	1940년	1940년 11월, 19m/sec의 바람에 의해 비틀림 진동파괴
Fykesund橋	노르웨이	현수교 228m	1937년	휨진동 발생, 보강
Golden Gate橋	미국	현수교 1280m	1937년	25~30m/sec의 바람에 의해 부분파손, 트러스 보강
Thousand Islands橋	캐나다	현수교 244m	1938년	휨진동 발생
Deer Isle橋	미국 메인주	현수교 329m	1939년	1942년, 32m/sec의 바람에 의해 휨진동 발생
Bronx-Whitestone橋	미국 뉴욕	현수교 701m	1939년	진동보강, 트러스 보강
Tay橋	영국 스코틀랜드	75m	1978년	1979년 열차와 함께 붕괴, 75명 사망, 풍압에 의한 함
Chester橋	미국 일리노이		-	1944년, 회오리바람에 의해 파손
木會川橋	일본		-	1962년 8월, 태풍에 의해 건설중 1경간 낙교
Beauharnois橋	캐나다 퀘벡	현수교 177m	-	휨진동
George Washington橋	미국 뉴욕	현수교 1067m	1931년 1960(下路)	잔잔한 휨진동, 미소비틀림진동
Lions Gate橋	캐나다 밴쿠버	현수교 427m	-	휨진동(풍속 22~27m/sec)
Peace River橋	미국	현수교 283m	-	미풍에 의한 진동, 22~28m/sec의 바람에 의해 비틀림
Liaed River橋	미국	현수교 165m	-	미풍에 의한 진동, 18~26m/sec의 바람에 의해 비틀림
四德大橋	일본 나가노현	150m	1967년	5~6m/sec의 바람으로 강관진동 말단의 보강
Forth Road橋	영국 스코틀랜드	현수교 1006m	1964년	주탑에 독립시 진동, 슬라이딩 블록에 의해 진동 억제
石狩河口橋	일본 북해도	사장교 160m	1971년	건설중 휨의 한정적 진동 단면을 약간 변경
Severn橋	영국 잉글랜드	현수교 987m	1966년	기울어진 행거가 진동 체진장치를 설치
六甲大橋	일본 고베	사장교 220m	1977년	Cable의 진동, Cable사이의 Wire를 팽팽하게 하여 진동 억제

- ① 탄성좌굴
- ② 연성 및 취성파괴(fracture)
- ③ 소성변형
- ④ 크리프
- ⑤ 마모(wear)
- ⑥ 침식 및 부식
- ⑦ 불안정(instability)

이중 가장 보편적인 모형은 불안정, 파괴, 탄성좌굴 등이다.

4) 파괴의 종류(types of failure)

파괴는 전술한 바와 같이 건설파괴(construction failure), 사용중 파괴(service failure), 유지관리파괴(maintenance failure)의 3가지로 구분된다. 건설파괴는 다시 건설전 파괴와 건설중 파괴로 구분된다. 건설전 파괴는 개념과 설계상의 착오를 의미하는 것으로서 다음과 같은 것들이 이에 속한다.

- ① 온도, 건조수축, 크리프 효과의 불고려
- ② 적절한 안전성의 결여
- ③ 부적절한 받침부, 반력의 착오
- ④ 횡하중의 불고려
- ⑤ 처짐효과의 불고려

건설중의 파괴는 거푸집 파괴와 붕괴, 가설구조의 부적절, 건설중의 초과하중이나 충격 등 3원인 중의 하나에 의해 생기는 것이 일반적이다.

사용중 파괴는 주로 과적차량, 풍하중, 지진하중, 홍수, 차량이나 기타 장애물의 충돌에 의한 초과하중, 온도변화 등으로 인해 발생하는데, 이런 경우에는 교량이 완전히 붕괴되거나 균열, 박리, 과대한 변형, 과대한 부등침하 등의 사고가 발생하게 된다.

유지관리파괴는 주로 열화(deterioration)나 부식(corrosion)에 의하여 부재의 강도 및 강성이 저하되어 결국에는 붕괴에 이르게 되는 것이다.

3. 국내의 교량파괴로부터의 교훈—사고예와 붕괴원인

국내의 교량건설 사고예를 통하여 문제점들을 도출하고 향후의 붕괴사고 예방을 위한 방안을 강구해 본다. 1960년 이후 발생한 건설사고의 명확한 기록은 없지만 필자의 기억에 남았거나 사고원인조사에 참여했던 구조물을 중심으로 사고예를 들면 다음과 같다.

표 2의 13개 교량 중 8개 교량은 완전붕괴된 것이고, 나머지는 국부적인 파괴에 속한다. 8개의 완전붕괴된 교량 중 대전 3경간 연속 RC 아치교, 영동교, 선운교, 팔당대교 및 신행주대교는 건설도중 파괴된 것이다. 이의 붕괴원인을 분석해보면 선운교를 제외하고는 모두 가설재 및 시공순서와 밀접한 관계가 있다. 즉 건설 주재료의 강도 등과 같은 품질문제 이전에 가설재의 문제로 붕괴된 것으로 알려져 있다. 한편 선운교는 현수교로서, 현수교에서 주요부재 중의 하나인 주케이블과 앵커블록 사이를 연결하여 힘을 전달하는 eye bar의 제작이 시방에 맞지 않아 대형사고를 유발한 것이다. 이와 같은 모든 대형사고는 일반적으로 하나의 원인만에 의해 발생하는 경우는 드물고 복합적으로 일어나는 경우가 많다. 그러나 국내의 현실을 직시할 때, 모든 교량이 정부공사이고 정부의 감독과 주도하에 건설되는 것이 관례인데, 우선 사고조사방법이 확립되어 있지 않고 사고원인을 좁은 범위에서 찾으려는 경향이 있으며, 사고원인을 밝힌 후 공개하여 동일한 사고의 재발을 막으려는 시도가 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 그러나 어쨌든 사고가 발생하면 원인, 경위 및 대책 등의 조사내용이 소상히 공개되어야 한다고 사료된다.

표 2. 국내의 교량사고 예

교 량 명	위 치	사고발생년도	알려진 사고원인
양 화 대 교	서 울	1960년대	바닥판 양생 중 차량하중 통과와 당인리 발전소용 터빈통과로 사용중 상부재시공
대 전 3 경 간 연 속 아 치 교	경부고속도로 대전과 대전 터널사이	1970년대	시공순서, 가설재문제로 시공중 완전붕괴
남 영 동 육 교	서 울	1970년대	차량충돌로 사용중 붕괴
안 양 천 교	안 양	1970년대	사용중 심한 지반 침하
성 산 대 교	서 울	1970년대	충돌에 의한 동바리파괴로 시공중 일부구간 파괴
영 동 교	서 울	1980년대	동바리 침하로 시공중 붕괴
선 운 교	서 귀 포	1980년대	Eye bar 절단으로 시공중 붕괴
산 천 R C T 형 교	서 울	1980년대	홍수로 상부구조가 사용중 유실됨
88 올 림 픽 대 교	서 울	1980년대	시공중 입체교차로 확장부에서 동바리 문제로 일부구간 붕괴
팔 기 교	신 안 군	1980년대	ILM 시공에 의한 교각의 변위로 교각기초 보강
팔 당 대 교	경 기 도	1991년	풍속 32m/s의 국부적 돌풍으로 시공중 가설재의 붕괴, 수화열로 인한 주탑의 심한 균열 발생
신 행 주 대 교	경 기 도	1992년	가교각 주위의 전단파괴와 가교각 파괴의 연쇄반응으로 시공중 붕괴
창 선 대 교	남 해 군	1992년	교각우물통 기초의 손상으로 사용중 붕괴

4. 교량의 위험도

건설공사는 계획, 설계, 시공, 유지관리, 폐기의 5단계의 life cycle로 구성되어 있고, 이 모든 단계는 총체적으로 관리하는 것이 건설재해를 예방할 수 있다. 이러한 재해예방을 위하여는 또한 계획, 설계, 시공, 유지관리와 관련된 모든 기관(발주자 또는 시공주, 설계자, 감리자, 시공자, 사용자)의 최고결정권자로부터 근로자에 이르기까지 전 관련자가 공동으로 협력하고 노력하지 않으면 안된다.

종래에는 건설공사의 재해는 모두 기술자의 책임인 것처럼 여겨져 왔고, 이 때문에 사고만 발생하면 현장 실무기술자들만 문책하여온 것이 사실이다. 그러나 최근 수년간 국내에 공공공사의 대형사고가 수차례 발생하면서 대형사고로

인한 인명 및 재산 등의 직접피해, 공사기간 연장 및 사회적 문제 등의 간접적 피해 때문에 사고 책임의 한계가 확대되고 있는 현상이다.

건설재해라는 것은 불가피한 천재와 피할 수 있는 인재로 구분할 수 있다. 1847년부터 1975년 사이의 128년간 발생한 교량붕괴사고 143건의 OECD 사고분석결과에 따르면 선진국에서는 교량사고의 약 60%가 자연현상, 특히 홍수와 깊은 관련이 있음을 알 수 있다. 이론, 경험, 경제적인 상황을 종합적으로 검토할 때 건설공사에서는 “절대안전(absolute safety)”이란 존재할 수 없다. 그러나 우선순위(priorities)와 위험도(risks)의 등급을 장기간에 걸친 건설사고자료의 advance analysis와 risk analysis를 근거로 설정할 수 있고, 이를 근거로 건설공사의 안전관리가 수행될 수 있다.

1979년부터 1985년사이에 선진제국에서 발생한 건설사고의 원인을 분석해 보면 설계상의 문제가 36~67%, 시공상의 문제가 24~53%, 유지관리상의 문제가 6~23%이었다. 이 분석에서 보면 건설공사에서는 계획과 설계가 건설사고와 매우 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 물론 건설공사의 안전성과 경제성 사이에는 불가분의 관계가 존재한다. 즉, 건설경비를 10% 정도 증가시키면 안전률이 100% 증가할 수 있다는 설이 있을 정도로 안전률을 약간만 변동시켜도 대형 건설사고가 발생할 수 있다는 특성이 있다.

최근 수년간 급증한 국내의 건설사고는 외국의 예와 상이한 현상을 보이고 있다. 대부분의 대

형사고가 건설도중에 발생하고, 그 원인도 자연 현상에 의한 것이라기보다는 사전기초조사, 설계, 시공에 관련된 인위적인 사고가 주류를 이루고 있다. 따라서 사고의 원인과 대책만 잘 마련하면 건설사고를 대폭 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

재해예방기법을 이용하려면 많은 건설재해 자료의 통계적 처리에 바탕을 두고 advanced analysis에 의하여 재해예방공정을 도출하고 risk analysis에 의하여 위험도를 인지하고 예측하는 것이 필요하다. 그러나 국내에는 이런 자료가 정리되어 있지 않다.

Advance analysis에 의해 도출된 교량의 위험도에 관한 필자의 연구결과를 제시하면 다음과 같다. 우선 설문조사를 통하여 국내의 건설재해 원인을 분석한 결과는 그림 1과 같다.

필자의 연구에 의하여 다음 표 3과 같이 제안되었다. 즉 교량의 위험도는 정량적으로 표시 가능하고, 다시 표의 5항목의 각각을 수많은 소항목으로 세분하면 교량의 위험도나 안전도 및 문제점을 쉽게 평가할 수 있다고 사료된다.

표 3의 대항목별 위험도를 다시 표 4와 같이 소항목별 위험도로 정리할 수 있다. 다시 소항목을 더욱 세분화해가면 교량의 안전도를 간단하게 정량적으로 평가할 수 있다.

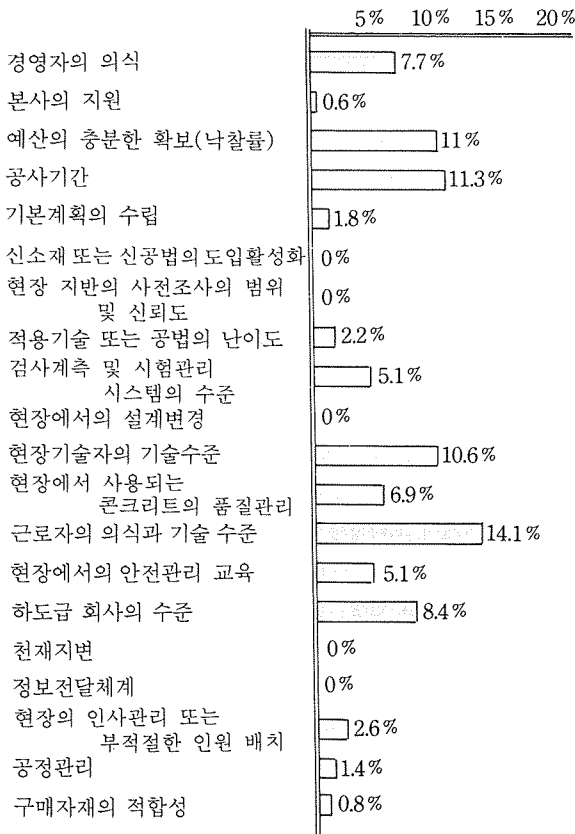


그림 1. 재해의 원인 분석표

4. 교량붕괴 원인의 조사 및 분석방법

교량붕괴 사고의 원인조사의 성패는 수집된 자료, 해석 및 분석의 엄밀성, 조사참여진의 구성과 전문성에 좌우된다. 정확한 붕괴원인을 규명하기 위하여는 한편으로 붕괴된 교량의 계획, 설계, 시공에 관한 전과정을 면밀히 조사 분석하고, 또 한편으로는 현장의 상태조사, 현장측정, 재료의 강도조사, 재해실험을 통하여 간접적인

원인과 직접적인 원인을 도출할 수 있다. 다음에 교량의 문제점을 조사하기 위한 조사방향을 제시하고자 한다.

1) 조사범위(structural profile)

다음과 같은 13개의 parameters에 대하여 조사한다.

- ① 기능과 용도
- ② 구조종류(primary framing action)
- ③ 2차 구조(secondary framing and other

framing)

- ④ 1차 및 2차재료(primary and secondary materials)
- ⑤ 연결방법(primary and second)
- ⑥ 길이, 폭, 높이, 반경 등
- ⑦ 기초구조
- ⑧ 지질학
- ⑨ 환경
- ⑩ 연결구조(link structures)
- ⑪ Cladding

표 3 교량의 위험도

항 목	위험도(%)			
	프리캐스트 세그멘탈 교량	PC 교량	강교	프리프렉스 합성교량
발주처 및 본사의 지원체계	9	10	10	11
상하부구조의 형식 공법 선정	19	17	17	17
상하부구조의 설계	21	19	21	20
재료 및 부재제작의 품질관리	24	26	25	26
시공법 및 시공과정	27	28	27	26
합 계	100%	100%	100%	100%

표 4 프리캐스트 세그멘탈 교량

대 공 정	위험도(%)	소 공 정	위험도배분
발주처 및 본사의 지원체계	9	지원체계 점검	9
상하부구조의 형식, 공법선정	40	기본계획	6
		세그먼트 제작장 확보	2
		기 초	8
		교대 및 교각	8
상하부구조의 설계	40	세그먼트 설계시 고려사항	8
		세그먼트 설계	8
재료 및 부재제작의 품질관리	24	세그먼트 제작공법 선정	3
		거푸집 제작, 조립 및 검사	6
		콘크리트 타설, 양생, 시험	6
		간 장	6
시공법 및 시공과정	27	거푸집 해체	3
		세그먼트 저장 및 운반	7
합 계	100%	FCM 가설	20
		합 계	100

⑫ 파괴의 기술(전체붕괴, 기울어짐, 부재 탈락)

⑬ 기타

2) 붕괴를 일으키는 설계상의 착오

- ① 정적 및 동적 하중
- ② 풍하중, 지진하중을 고려한 수평력
- ③ 가설하중(정적 및 동적)
- ④ 피로거동을 유발하는 되풀이 하중
- ⑤ 충격 및 충돌하중
- ⑥ 온도 및 습도변화
- ⑦ 화재 및 폭파에의 노출
- ⑧ 하중과변위와 관련된 체적변화
- ⑨ 침하, 부등침하, 활동 등과 관련된 구조-

지반 상호작용

- ⑩ 구조 및 구조요소의 안정
- ⑪ 구조의 동적 특성 및 민감도
- ⑫ 유지관리와 관련된 구조수명
- ⑬ 재료의 선택과 부재치수의 결정
- ⑭ 재료, 방법, 장비의 품질관리
- ⑮ 기타

3) 기능과 용도에 따른 붕괴원인

- ① 시간
- ② 충격, 반복하중을 포함한 과적하중의 형태
- ③ 구조수명동안의 하중의 증가추세
- ④ 온도, 바람, 습도, 유해한 화학작용
- ⑤ 수압 및 지반조건
- ⑥ 구조손상

4) 교량의 과거의 붕괴원인

- ① 교량의 전체붕괴로 유도하는 하상 및 지반의 세굴
- ② 강재, 부재의 피로, 취성, 응력 부식 및 균열
- ③ 차량에 의한 교각의 충돌

④ 바닥판 철근의 부식

⑤ Floor System의 부식

⑥ 홍수범람과 예기치 않은 수평력의 작용

5) 현장조사계획

- ① 조사업무의 부여
- ② 조사일정
- ③ 피조사대상 조직
- ④ 1차 현장조사
- ⑤ 현장조사 장비
- ⑥ 조사원의 안전과 대책
- ⑦ 장애물 제거

6) 조사관리

- ① 조사계획
- ② 종합검사
- ③ 붕괴원인 추정
- ④ 손상부재의 검사
- ⑤ 현장조건
- ⑥ 현장조사계획의 수정
- ⑦ 현장 및 실내 실험계획의 수립
- ⑧ 계측 및 실험(실내 및 현장)
- ⑨ 관련자와의 면담
- ⑩ 조사자료의 체계화
- ⑪ 조사자료의 합성
- ⑫ 설계자료 및 시공일지의 검토
- ⑬ 붕괴원인의 도출 및 원인에 적합한 대책 수립

6. 맺는말

국내의 교량건설공사는 기술적이거나 양적으로 많은 성장을 한 것은 사실이지만 우리의 정신, 문화, 전통, 기술을 이어받지 못하고 외국의 기술을 완전히 이해하고 소화하지 못한 상태에서 도입된 탓으로 많은 문제점이 야기된 것은 아

쉬운 일이다. 아르메니아와 이집트의 대지진시 대부분 정치적 혼란과 부정부패가 심했을 시절에 건설된 것들만 선별적으로 붕괴되었고, 인근 일본에는 1964년 동경올림픽을 위해 마구잡이로 건설했던 1950년대 말의 건설 구조물이 20년 후에 문제를 일으키고 있다는 보고는 우리에게 시사하는 바가 크다. 국내에서는 최근 대형교량의 붕괴사고, 신도시의 부실시공 등이 사회문제화 되고 있다. 한편 88올림픽을 위해 건설한 70년대와 80년대의 건설구조물들, 1990년대의 신도시 아파트 구조물들은 이제 20세기말과 21세기초에 새로운 문제점들을 일으킬 것으로 예상된다. 그러나 국내에서는 기술자가 학자가 건설사고를 파헤쳐 공개하는 것을 꺼리는 것이 사실이다. 이런 풍토는 사고를 예방하기보다는 더 큰 사고를 유발시킬 수 있다는 사실을 간과해서는 안될 것이다. 사고가 발생하면 사건 자체나 관련자료를 은폐시키려 들거나 책임을 서로 전가하려 든다면 또 더 큰 문제점으로 증폭될 것이다. 붕괴사고를 줄이고 예방하는 길이야말로 건설기술을 발전시키고 건설에 대한 인식을 제고시키며, 건설업의 신뢰도와 활성화를 촉진시킬 수 있는 방안이라고 사료된다.

끝으로 Dr. J. Feld가 제안한 사고예방의 기본방향을 제시하면 다음과 같다.

- ① 중력은 언제나 작용하므로 영구지지구조를 두지 않으면 파괴에 이를 수 있다.
- ② Fail-Safe 설계를 하지 않는 한 연쇄반응은 작은 결점으로도 대형사고에 이른다.
- ③ 설계, 구조세목, 재료강도, 조립 및 시공,

측정 등의 작은 착오라도 대형사고를 유발할 수 있다.

- ④ 지속적인 경계심은 착오를 막는 데 꼭 필요하다.
- ⑤ 하나의 선박이 두 선장에 의해 운영될 수 없듯이 한 건설현장이 위원회에 의해 운영될 수는 없다.
- ⑥ 설계, 입찰, 시공팀에는 숙련된 경험이 필요하다.
- ⑦ 부적절한 설계로는 건설하지 않는다.
- ⑧ 적절한 지침서, 관리지침이 없이는 절대로 완전한 시공은 없다.
- ⑨ 우리의 현장에서 파괴사고를 방지하는 가장 좋은 방법은 다른 현장에서 발생한 파괴경험을 적용하는 것이다.
- ⑩ 작업에 정성과 주의 깊은 관리를 하면 많은 사고와 붕괴를 줄일 수 있다.

참 고 문 헌

1. 변근주, “교량의 건설과 붕괴”, 대우건설기술, 통권 10호, 1992. 12.
2. 홍성완, “구조물 붕괴”, 대한토목학회지, Vol. 41, No.6, 1993. 12.
3. 대한토목학회, 행주대교 가설공사 사고원인조사 및 대책기술보고서, 건설부 서울지방국토관리청, 1992. 12.
4. Kaminetzky, D., Design and Construction Failures, McGraw-Hill, Inc., 1991. ■