

국내 교량구조물의 사고사례분석

Analysis of Event in Domestic Bridge Failures

김 영 진*

Kim, Young-Jin

Abstract

The objective of this study is to collect and classify bridge failures that occurred in domestic from 1974 through 2001 and to draw the engineering informations by analyzing the principal causes and the trends of the bridge failures. Total 45 failures of bridge were obtained and analyzed based on the factors such as time of failures, modes of failures, classification of materials of failed elements, types of failed elements, distribution of failure cases with respect to the highway grades. The critical problems of bridge failures are associated with the construction deficiencies, external causes, maintenance deficiencies, and design deficiencies. Since the study of failures in bridges would enhance the design and construction of safe bridges in the future, it would be needed to create data bases at the national level and to alter the related codes with identifying potential deficiencies from past failures data.

keywords : Bridges, Collapse, Distress, Failure Modes, Construction Stages

1. 서 론

국내에는 1999년 현재 15,615개소의 교량이 건설되어 운영되고 있는데, 이중 설계하중이 3등급이하인 교량이 전체의 약 22%이고, 준공된지 30여년이 경과한 교량이 약 9%에 이르나 점차로 그 개소가 증가함

에 따라 교량구조물의 붕괴, 손상 등에 대한 기술적인 대응이 필요로 되고 있다(건설교통부, 2000). 그 실제적인 예로 성수대교, 팔당대교 등의 시공중 사고에서 부터 박달고가교, 창선대교 등과 같이 사용중 사고까지 다양하게 발생하는 상황이 전개되고 있는 실정이다.

* 정회원, (주)대우건설 기술연구소 책임연구원, 공학박사
E-mail : kimyj@mail.dwconst.co.kr 019-674-5027

• 본 논문에 대한 토의를 2002년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2002년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

이와 같은 교량사고는 인적, 물적피해와 같은 직접적인 손실은 물론 교통체증 및 물류비용증가와 같은 간접적인 손실초래 또한 막대하다. 예를 들면 1994년 붕괴된 성수대교의 경우는 32명이 사망하였고 교통체증으로 인한 간접비용이 건설비의 약 8배에 이르는 것으로 추정되고 있다(이건영, 1997). 또한 1992년 발생한 창선대교의 붕괴로 남해본섬과 창선도사이에 통신과 교통이 두절되는 피해가 초래되었다(조선일보, 1992).

외국의 경우는 이러한 구조물의 파괴사태에 대한 체계적인 조사분석을 통하여, 구조물사고에 대한 공학적인 정보를 추출하고 사고방지에 활용하기 위한 연구가 진행되어 왔다. Walker(1981)는 영국에서 발생한 구조물붕괴사태에 대하여, Fraczek(1979)은 북미지역의 콘크리트 구조물 붕괴사태를, Hauser(1979)는 유럽의 사고사태를 각각 연구하였다. 그러나 국내의 경우는 구조물붕괴사태에 대한 연구 특히 대형구조물로서 붕괴에 따른 사회적, 경제적 여파가 큰 교량의 사고사태에 대한 체계적인 분석은 미흡한 실정이다. 교량사고사태분석은 이론적 및 소규모 실험으로 규명된 교량거동을 실제 현상을 통해 이해할 수 있으며 또한 붕괴원인에 관한 정보를 획득할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 교량구조물에 관한 사고사태의 수집과 분석을 통하여 교량사고의 경향과 원인 등을 파악함으로써 사고방지를 위해 계획, 설계, 시공 및 유지관리단계에 요구되는 공학적 정보를 도출하고자 한다. 이를 위하여 1974년에서 최근까지 국내에서 발생한 교량사고를 대상으로하여 교량사고자료를 수집하고, 교량사고사태를 유형별로 분류하여 공통적인 사고원인을 도출하여 사고와 관련된 기술적 요인들을 규명하였다.

2. 국내 교량사고사태

교량구조물의 사고는 손상의 형태, 범위 및 정도 등에 따라 다양한 기준으로 분류되고 있다. 사고란 평시에 있지 아니한 뜻밖의 사건으로 구조물의 사고중 완전 붕괴(total collapse)는 교각, 경간 또는 상부구조나 하부구조의 1차부재를 상실하여 기능을 발휘하지

못하는 상태를, 부분 붕괴(partial collapse)는 구조물의 완전한 파괴를 유발정도는 아닌 과도한 변위, 교각이나 교대의 변형 또는 상부구조나 하부구조의 일부분에 발생한 파괴로 분류되기도 한다(Hadipriono, 1985). 한편 붕괴(collapse)와 손상(distress)으로 구분하여, 구조물 전체 또는 그 구성요소가 설계 및 시공의 요구조건에 기술된 사항을 수행할 수 없는 상태로 정의되기도 한다(Harik 등, 1990). 따라서 본 연구에서는 좀더 사고의 개념을 명확히 구분하기 위해 붕괴와 손상으로 나누고 이에 따라 사고사태를 분류하였다.

국내 교량사고사태는 건설관련잡지, 학회지, 국내일간지 및 각종 연감 등을 중심으로 수집하였으며, 사고관련 보고서도 참고하였다. 1974년부터 2001년까지 수집된 교량사고사태는 총 45건이다. Table 1은 수집된 국내 교량사고사태이다.

조사기간중에 발생한 사고사태가 자료에 전부 그리고 충분한 내용으로 기록될 수 없고 또한 수집된 사고사태의 수가 비록 제한되어 있지만, 조사된 사례들은 조사기간내에 발생한 주요사고들을 포함하고 있어 사고에 대한 경향분석을 통해 의미있는 결론도출은 가능하다고 판단된다. 특히 신문기사들은 일반적 상황만을 기술하고 있어 기록으로부터 사고상황, 사고원인 등의 공학적 정보를 얻을 수 없는 경우가 많았으며, 이 경우에는 기록된 사실과 관련 정보에 근거하여 최대한 정보를 추출하도록 하였다. 또한 교량관련 사고의 공학적 특성만을 얻어내기 위하여 지진, 풍수해 등 자연재해가 사고의 원인으로 판단되는 사고는 제외하였다.

3. 교량 사고사태의 분석

3.1 교량 사고분석개요

1974년부터 최근까지 국내에서 발생한 총 45건의 교량 사고사태가 조사되었다. 이 들 대부분의 교량은 단·중지간의 교량이었으며, 장대교량은 소수에 불과하였는데, 이는 공용년수에 관련된 것으로 판단된다. 이들 사고사태에 관한 정보를 체계적으로 얻기 위하여 사고사태를 1) 사고상황, 2) 사고원인, 3) 사고결과

Table 1 국내 교량 사고사례

순번	교량명	위치	발생시기	사고내용
1	한천철교	서울 도봉구	'74. 5.14	손상, 교각변형
2	천제연구름다리	제주 서귀포시	'81.12.17	붕괴, 연결고리쇠파단
3	금호대교	대구 서구	'83. 6.13	붕괴, 교각붕괴
4	등선교	강원 춘성군	'85. 6.22	붕괴, 상부구조붕괴
5	여수교	경기 성남시	'85. 6.29	붕괴, 과하중재하
6	영동5교	서울 강남구	'85.10.27	붕괴, 바닥판붕괴
7	올림픽대교접속교	서울 송파구	'89. 4. 8	붕괴, 바닥판붕괴
8	추자교	경기 광주군	'89. 5.21	손상, გადა변위
9	경부고속도로육교	경기 용인군	'90.12.17	붕괴, 지반침하
10	팔당대교	경기 하남시	'91. 3.26	붕괴, 중간경간붕괴
11	팔당대교	경기 하남시	'92. 5. 5	손상, 주탑균열
12	창선대교	경남 남해군	'92. 7.30	붕괴, 교각붕괴
13	신행주대교	서울 강서구	'92. 7.31	붕괴, 교각.바닥판붕괴
14	양강교	충북 고당	'92. 8.	손상, 용접부실
15	동탄2교	경기 오산시	'92. 9.28	붕괴, PSC거터붕괴
16	가산교	경기 포천군	'92.11.12	붕괴, 교각붕괴
17	연수교	인천 남구	'92.11.30	붕괴, 바닥판붕괴
18	목행대교	충북 충주시	'92.12.11	손상, 바닥판과다변형
19	강변도시고속도로	서울 반포	'93. 2.15	손상, 박스거터격벽균열
20	화전2교	경북 의성군	'93. 4. 9	붕괴, 바닥판붕괴
21	추자교	제주 북제주군	'93. 4.11	붕괴, 상부구조붕괴
22	경안교	경기 광주군	'93. 6.	손상, 교각균열
23	신기4교	강원 삼척시	'93. 6.	손상, 교각기초세굴
24	군축교	강원 인제군	'93. 6.	손상, 교각기초손상
25	새원교	서울 서초구	'93. 9.20	붕괴, 교각붕괴
26	철강교	인천 중구	'93.11.	손상, 용접부 파손
27	음정교	경남 합양군	'93.11. 4	붕괴, 교각붕괴
28	양평대교	경기 양평읍	'94. 5.	손상, 우물통전도
29	홍천교	강원 홍천	'94.10.22	손상, 신축이음침하
30	성수대교	서울 성동구	'94.10.21	붕괴, 상부구조붕괴
31	중앙경찰서앞육교	서울 성북구	'94.11.20	붕괴, 차량충돌
32	전농천교	서울 군자동	'94.12.10	손상, 교각시공불량
33	일산백마마을육교	경기 일산시	'94.12.20	손상, გადა처짐
34	홍성과선교	충남 홍성군	'95. 1. 8	붕괴, PSC거터의 전도
35	영동대교	서울	'95. 1.28	손상, 신축이음장치침하
36	정릉천변도시 고속화도로	서울 성동구	'95. 6.10	손상, 세그먼트의 전도
37	송학교	충남 고성군	'95.11.11	손상, 콘크리트강도부족
38	서해대교	경기 평택시	'96. 6. 5	손상, 주탑배근철근전도
39	후포교	경기 여주군	'97. 5.20	붕괴, 상부구조붕괴
40	박달고가교	경기 안양시	'97. 7.20	손상, 철근정착길이부족
41	서울고교앞육교	서울 서초구	'97. 9. 8	손상, 도색작업중 폭발
42	수곡교	경북 안동시	'97.11.17	손상, 지반침하로 교각변형
43	진목교	경기 포천시	'98. 8.30	붕괴, 동마리붕괴
44	청계고가도로교	서울 성동구	2001. 1.21	손상, 바닥판형성전단파괴
45	신동램프2교	충북 제천시	2001. 6.15	붕괴, 상부구조 전도추락

등으로 구분하여 검토하고자 한다. 사고상황으로는 사고발생시기, 파괴모드, 파괴된 부재종류, 파괴된 부재의 재료종류, 손상교량의 노선별 분포 등을, 사고원인으로는 수집가능한 사고발생원인, 건설단계별 사고원

인, 인적원인 등을, 사고결과로는 경제적, 사회적 피해 정도와 사고복구에 소요되는 추가공기 등을 중심으로 사고사례를 분석하였다.

3.2 교량사고의 현황

Table 2는 교량파괴가 일어난 시기를 중심으로 교량사고사례를 분류한 것이다. Table 2에서와 같이, 손상사고는 22건으로 전체의 49%정도이고 붕괴사고는 51%정도로서 전체사고의 약 절반을 차지하고 있는 것을 알 수 있다. 붕괴사고중 사용중 발생한 사고는 10건이고 시공중 발생한 사고는 13건이나, 손상사고의 경우는 이와 반대로 사용중 발생한 사고가 시공중 발생한 사고의 약 1.8배 정도되는 것으로 나타나고 있어, 붕괴사고는 시공중에, 손상사고는 사용중에 더 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 붕괴 및 손상사고 모두 하부구조보다 상부구조에서 많이 발생하는 것으로 나타나고 있다.

한편 사용중인 교량의 사고는 붕괴사고보다는 손상사고가 더 많은 데, 이는 안전점검 등의 시행으로 손상징후를 사전에 찾아내고 보수·보강공사를 하거나 통과하중의 제한조치 등이 이루어지기 때문인 것으로 판단된다. 또한 시공중에는 붕괴사고가 더 많은 것으로 나타났는데, 이는 최근 신공법으로 건설되는 교량에서 많은 사고가 발생하였기 때문인 것으로 판단된다.

Table 2 사고시기에 따른 분류

구조	붕괴사고			손상사고			합계
	시공중	사용중	소계	시공중	사용중	소계	
상부	9	6	15	3	8	11	26
하부	4	4	8	5	6	11	19
계	13	10	23	8	14	22	45

Table 3 파괴모드에 따른 분류

파괴모드	상부구조			하부구조			합계 (%)
	붕괴	손상	소계	붕괴	손상	소계	
단면파괴	12	1	13	6	1	7	20(44)
불안정	3	1	4	-	1	1	5(11)
피로	-	1	1	-	-	-	1(4)
과도한 균열	-	1	1	-	2	2	3(7)
과도한 변형	-	3	3	1	4	5	8(17)
기타	-	4	4	1	3	4	8(17)
합계	15	11	26	8	11	19	45(100)

Table 3은 파괴모드별 교량분포의 집계를 나타낸 것이고, Fig. 1과 2는 각각 상부구조와 하부구조의 파괴모드별 교량분포를 나타낸 것이다. Table 3과 Fig. 1, 2에서 알 수 있는 바와 같이, 단면파괴에 의한 사고가 20건으로 전체의 44%를 차지하고 있고, 그 다음은 과도한 변형 및 불안정이 각각 8건, 5건으로 나타나고 있다. 여기서 불안정(unstability)은 PSC 거더 및 세그먼트의 정도 등과 같이 힘의 균형의 상실을 의미한다.

상부구조의 경우는 단면이 완전히 파괴된 경우 외에 PSC 거더 가설작업중 안정을 상실하여 발생하는 전도 사고가 많았고, 거더 또는 바닥판의 과도한 처짐 등이 발생하였다. 하부구조는 단면파괴에 의한 교각의 붕괴가 7건으로 전체의 13%를 차지하고 있었고, 쇄굴, 지반 침하, 근접시공 등으로 인한 교각의 과도한 변형이 5건으로 전체의 11%를 차지하고 있었다.

Table 4는 파괴된 부재를 나타낸 것이고, Fig. 3과 4는 각각 붕괴사고와 손상사고별로 나타낸 것이다.

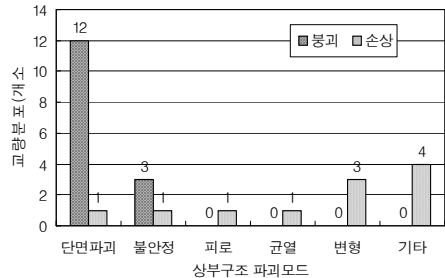


Fig. 1 상부구조의 파괴모드별 교량분포

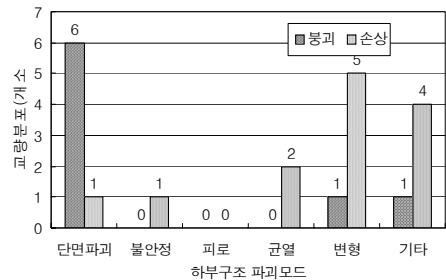


Fig. 2 하부구조의 파괴모드별 교량분포

Table 4와 Fig. 3, 4에서 알 수 있는 바와 같이, 전체적으로 볼 때 거더에서 사고가 발생한 경우는 38%, 교각에서 발생한 경우는 27%를 차지하고 있었다. 한편 붕괴사고의 경우는 상부구조중 거더, 하부구조에서는 교각에서 주로 발생하고 있었고, 손상사고의 경우도 상부구조의 거더, 하부구조의 교각에서 주로 발생하고 있어, 거더와 교각에 대한 안전관리의 중요성을 확인할 수 있었다.

붕괴사고의 경우 시공중에는 주로 거더와 바닥판에서 사고가 발생하였는데, 이는 PSC 거더나 프리캐스

Table 4 사고발생 부재의 분류

부재종류	붕괴사고			손상사고			합계 (%)
	시공	사용	소계	시공	사용	소계	
기초	-	1	1	1	2	3	4(9)
교각	3	3	6	2	4	6	12(27)
거더	4	6	10	3	4	7	17(38)
바닥판	4	-	4	-	2	2	6(13)
기타	2	-	2	2	2	4	6(13)
합계	13	10	23	8	14	22	45(100)

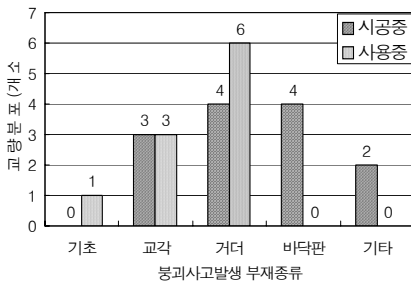


Fig. 3 붕괴사고발생 부재별 교량분포

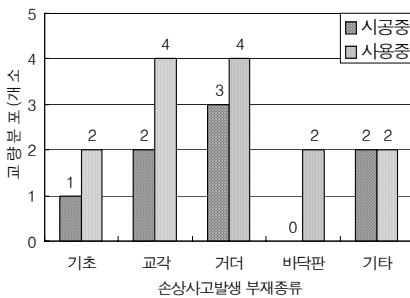


Fig. 4 손상사고발생 부재별 교량분포

트 박스거더의 가설중 전도사고 및 바닥판의 타설중 붕괴 등으로 특히 동바리 공법에 의한 시공시 가설재의 중요성을 확인할 수 있었다. 한편 손상사고의 경우는 시공중인 경우보다 사용중에 경우가 1.8배정도 높은 비율로 발생하고 있으며, 교각 및 거더에서 주로 손상이 발생하고 있었다. 기타 부재에는 신축이음장치의 손상, 동바리의 붕괴 등 가설재와 부속시설에 대한 손상이 포함되어 있다. 한편 Table 5는 파괴된 부재를 구성하고 있는 재료별 분류이고, Fig. 5와 6은 상부구조와 하부구조의 사용재료별 분포이다.

Table 5 사고발생 부재의 재료별 분류

사용재료	상부구조			하부구조			합계 (%)
	붕괴	손상	소계	붕괴	손상	소계	
RC	5	4	9	5	8	13	22(49)
PSC	5	3	8	1	-	1	9(20)
강재	3	2	5	1	-	1	6(13)
기타	2	2	4	1	3	4	8(18)
합계	15	11	26	8	11	19	45(100)

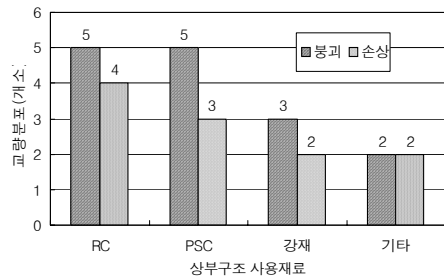


Fig. 5 상부구조사고의 사용재료별 분포

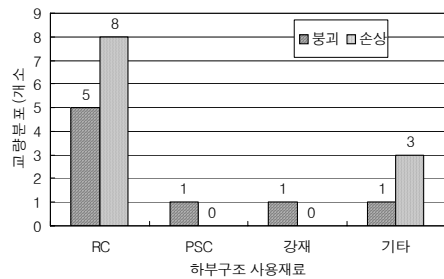


Fig. 6 하부구조사고의 사용재료별 분포

Table 5에서 알 수 있는 바와 같이, 재료별로는 철근콘크리트, 프리스트레스트 콘크리트 및 강재가 각각 49%, 20% 및 13%로 나타나, 건설 주재료로 사용되는 콘크리트 관련 문제가 전체의 70%를 차지하고 있음을 알 수 있다. 이는 콘크리트는 거푸집 설치, 강재의 배치 및 콘크리트의 타설, 양생 등의 작업공정이 다양하고 온도, 습도 등의 기후조건에도 많은 영향을 받는 비균질의 복합재료이기 때문에 부재설계에서부터 품질 및 내구성 확보에 이르기까지 일관적이고 지속적인 관심이 요구되기 때문이다. 또한 많은 인력이 소요되는 작업이기 때문에, 최근 3D직종으로 타 산업에 비하여 50대 이상의 노동력 투입이 많아져 숙련기능공이 부족한 실정과 무관하지 않다고 분석된다(김석주, 1995).

Fig. 7은 사고가 발생한 교량의 도로등급별 분류이다. Fig. 7에서 알 수 있는 바와 같이, 고속국도상 교량은 3개소로 약 7%에 불과하고, 국도, 시도, 군도, 지방도 등에서 발생한 사고가 93%에 달하고 있다. 이는 국도 등에 위치하고 있는 교량의 개소수가 88%로 고속국도의 교량 12%보다 상대적으로 많고, 국도 등에는 저등급 교량이 많아 노후도가 심하며 신설교량의 경우도 동바리 공법 등에 채래식 공법적용시 부적절한 공사관리 등에 의한 사고가 많기 때문인 것으로 판단된다.

3.3 교량사고의 원인

교량사고의 원인은 복합적인 요인으로 발생되고, 개

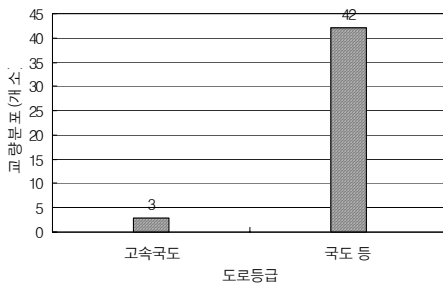


Fig. 7 도로등급별 사고교량의 분포

별 사고별로 공학적 원인분석이 어려운 현실적 한계가 있어, 본 연구에서 수집 또는 주어진 정보에 근거하여 추정된 원인을 중심으로 분석하고자 하였다.

Table 6은 각 사고요인별로 교량사고사례를 분류한 것이다.

Table 6에서 알 수 있는 바와 같이, 전체적으로는 시공, 외적작용, 유지관리 및 설계요인의 순으로 영향을 미친 것으로 분석된다. 세분화하면 붕괴사고는 시공 및 외부요인에 의한 영향이, 손상사고의 경우는 시공, 유지관리 및 설계적 요인이 복합적으로 작용되고 있는 것으로 분석된다. 사용중인 경우 붕괴사고는 외적작용이, 손상사고의 경우 설계, 시공 및 유지관리 요인이 영향을 미친 것으로 분석된다. 여기서 외적작용이란 차량충돌, 지반세굴, 과하중의 작용 등을 의미한다.

Fig. 10은 상부구조, 하부구조 및 전체 교량에 대해 시공중 및 사용중의 건설단계별 사고비율을 조사 대상교량 전체에 대한 비율로 나타낸 것이다.

Fig. 10에서 알 수 있는 것과 같이, 큰 차이는 없지만 상부 및 하부구조 모두 사용중에 발생한 사고 53%로 시공중에 발생한 사고보다 약간 많은 것으로 나타나고 있다. 그러나 실제 사용중인 교량의 수가 시공중인 것보다 많기 때문에, 시공중 발생한 붕괴사고는 기존 교량구조물의 사고보다 훨씬 위험한 요소로 인하여 발생한 것으로 판단된다.

실제 시공중에 발생한 사고중 “천제연 구름다리”의 경우, 도장공사중 케이블 한 끝을 지탱하던 앵커아이바(anchor eyebar) 목부분의 용접과 용접결함으로 인한 용접부 파단이 원인인 것으로 보고되고 있다(장동일, 1995). “팔당대교”의 경우, 풍속 32 m/h의

Table 6 교량사고의 원인별 분류

결함요인	붕괴사고			손상사고			합계 (%)
	시공	사용	소계	시공	사용	소계	
설계	1	1	2	2	3	5	7(16)
시공	8	1	9	5	2	7	16(36)
유지관리	-	2	2	-	6	6	8(18)
외적작용	4	4	8	-	3	3	11(24)
기타	-	2	2	1	-	1	3(6)
합계	13	10	23	8	14	22	45(100)

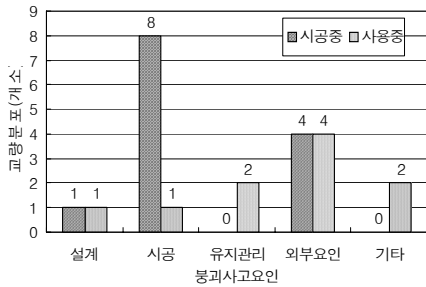


Fig. 8 붕괴사고 요인별 교량분포

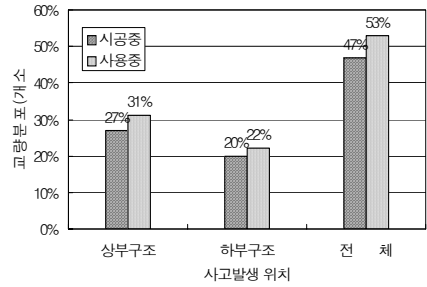


Fig. 10 건설단계별 사고현황

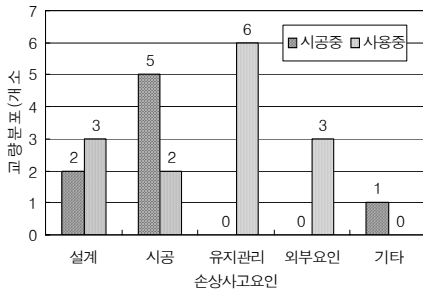


Fig. 9 손상사고 요인별 교량분포

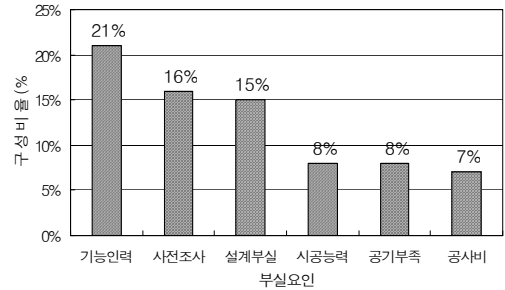


Fig. 11 부실공사의 원인

국부적 돌풍으로 시공중 가설재의 붕괴와 수화열로 인한 주탑의 심한 균열이 원인으로 지적되고 있다(변근주, 1992). “신행주대교”의 경우, 박스커터 시공이음면 부근에서의 전단 내하력 부족과 편심 재하로 인한 가교각의 압축파괴 가능성이라는 직접적인 원인과 부적절한 공법 선택, 부적절한 경간 분할 등의 간접적 원인이 누적되어 발생한 진행성 붕괴로 결론지어졌다(변근주, 1992). 프리스트레스에 의한 콘크리트 사장재 공법을 도입하면서, 대부분 외국기술진에 의존하여 공사과정에 대한 전문지식 부족이 붕괴사고의 간접적인 원인으로 지적되기도 하였다(김생빈, 1992). 이는 국내 교량건설기술의 발전속도에 비해 경제성장에 따른 무리한 건설요구의 증가속도가 더 빨라 이를 수용할 수 없어, 내실있는 기술축적의 여력이 없었다는 것이 현실적인 문제로 나타나고 있다(장승필, 1993).

한편 사용중에 발생한 사고중 “성수대교” 붕괴사고는 설계, 시공 및 유지관리상의 복합적 원인을 갖고 있으

나, 교각에 연결되어 있는 앵크트러스 사이의 현수 트러스를 매달고 있는 수직재의 용접부분이 갈라지면서 사고가 발생하였고 이 용접이 모재 전 단면에 걸쳐서 용입되지 않은 것이 최초의 원인으로 지적되고 있다(김영결, 1997). “창선대교”의 경우, 교각우물통 기초의 손상으로 사용중 붕괴된 것으로 분석되고 있다(변근주, 1992).

Fig. 11은 부실공사의 원인에 대한 조사결과이다(감사원, 1997). 교량건설과정은 다양한 활동과 사건들로 구성되는 상호 연관적인 연속작용으로, 시공과정에는 인력, 자재, 장비, 공사비 및 공기 등의 자원이 요구된다. 따라서 사고발생의 요인도 복합적으로 존재하게 된다. 실제 교량사고에 대한 원인도 Fig. 11과 같은 유사한 원인으로 발생하였을 것으로 가정된다.

또한 Fig. 11에서와 같이, 건설인력은 건설과정의 각 단계를 수행하는 주체로서 인간행동에서 유발되는 결함요인이 교량사고에 영향을 미칠 수 있음을 의미한

다. 실제 각 건설단계에 내포된 결합요인에 의하여 인 간실수가 발생되는데, 부실공사원인으로 기능인력의 주인의식부족이 40.3%, 적당주의가 39%로 나타나고 있고, 부실이 가장 많이 발생하는 공종으로는 철근가 공조립이 51%, 콘크리트 공종이 26%로 고난도의 기술력이 요하는 공종보다는 기본적인 공종에서 부실이 나타나는 것을 알 수 있다(내외건설신문, 1997).

3.4 교량사고의 결과

교량사고는 인적피해, 경제적 손실, 공기연장 및 사회적인 많은 문제를 야기시킨다. 특히 인명피해는 사고발생의 빈도보다는 사고의 심각성과 관련된다. 신행주대교의 경우는 사망자가 없었으나, 성수대교붕괴사고의 경우 사망자만 32명에 이르는 피해가 발생되었다. 한편 교량붕괴사고로 인해 경제적인 피해로는, 교량폐쇄로 차량이 우회할 경우 수송시간 및 운송료 증가, 교통체증으로 인한 에너지낭비, 시간비용 등의 간접적인 손실이 지적되고 있다. 실제 성수대교 붕괴사고로 인한 피해액은 직접공사비 약 800억원이나, 교통손실로 인한 사회비용이 약 6400억원으로 직접공사비의 약 8배나 되는 손실이 발생된 것으로 평가되고 있다(이건영, 1997).

교량사고로 인한 또다른 피해는 손상을 복구하기까지 소요되는 시간손실이다. Table 7은 국내 대형교량 붕괴사고후 복구공사에 소요된 공기이다. Table 7에서 알 수 있는 바와 같이, 전면적인 복구공사인 경우 최소 24개월이상의 추가공기가 소요되었고, 부분적인 복구공사였던 원효대교공사의 경우도 최소 1년이상의 기간이 소요된 것으로 나타나고 있다.

Table 7 교량복구공사의 소요공기

교량명	복구공사기간
성수대교	1995. 4 ~ 1997. 7 (27개월)
신행주대교	1992. 12 ~ 1994. 12 (24개월)
팔당대교	1992. 11 ~ 1994. 12 (25개월)
당산철교	1996. 12 ~ 1999. 6 (30개월)
원효대교	1994. 4 ~ 1995. 6 (14개월)

4. 결 론

본 연구에서 수집된 국내 교량사고사례의 분석을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 붕괴사고와 손상사고는 거의 동일한 비율로 발생하고 있었으며, 하부구조보다 상부구조에서 약간 높은 비율로 발생하고 있는 것으로 나타나고 있다.
- 2) 교량의 파괴모드는 단면파괴, 과도한 변형 및 구조의 불안정 등의 비율이 높으며, 사고가 발생한 부재는 주로 거더 및 교각으로 나타나고 있다.
- 3) 재료별로는 RC, PSC, 강재 순으로 사고발생 비율이 감소하고 있는 것으로 나타나고 있으며, 사고교량은 상대적으로 저등급 교량이 많은 고속국도 외에서 발생하고 있는 것으로 나타나고 있다.
- 4) 교량사고원인은 다양하지만 시공력, 외부요인, 설계 및 유지관리 등의 영향이 복합적으로 작용된 것으로 판단된다.
- 5) 교량파괴에 관한 연구는 장차 안전한 교량의 설계와 시공기술을 향상시키기 위한 것이기 때문에, 향후 국가적 차원에서 과거 붕괴자료의 데이터베이스를 구축하고, 이를 통해 얻어진 잠재적 결합요소를 체계적으로 규명한 후 시방서 등에 반영할 필요가 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. 감사원, 부실 공사 관련 건설업계 환경 및 의식변 화, 1997. 9, pp.46~73.
2. 건설교통부, 도로교의 공용수명 연장방안 연구, 2000, pp.2-1~2-14.
3. 김석주, **건설기능인력육성방안**, 건설, 제20권 제6호, 1995, pp.8~13.
4. 김생빈, 신행주대교 붕괴 최종보고서, 1992.
5. 김영걸, “성수대교 붕괴에서 복구, 개통까지,” 토목, 제45권 제7호, 1997. 7, pp.87~94.
6. 조선일보, “남해장선대교붕괴”, 1992년 7월 31일 기사.
7. 변근주, “교량의 건설과 붕괴”, 대우건설기술, 제5권 2호, 1992. 12, pp.1~10.
8. 이건영, “성수대교 영원히 잊지말자”, 중앙일보 1997

-
- 년 7월 15일 기사.
9. 장동일, “사회기반 시설물의 안전과 유지관리 문제,” 건설기술정보, 통권 143호, 1995. 10, pp.1~6.
 10. 장승필, “어찌다 다 짓다가 무너질 수가 있지,” 서울공대, 통권 2호, 1993. 4, pp.48~50.
 11. 내외건설신문, “철근가공조립때 부실 많다”, 1997년 9월 10일 기사.
 12. A. C. Walker, “Study and Analysis of the First 120 Failure Cases,” Structural Failures in Buildings, The Institute of Structural Engineers, 1981, pp.15~40.
 13. F. C. Hadipriono, “Analysis of events in recent structural failures,” Jr. of Structural Eng., ASCE, Vol.111, No.7, 1985, pp.1468~1481.
 14. I. E. Harik, A. M. Shaaban,, H. Gesund, G. Y. S. Valli, and S. T. Wang, “United States Bridge Failures, 1951-1988,” Jr. of Performance of Constructed Facilities, 1990, Vol.4, No.4, pp.272~277.
 15. J. Fraczek, “ACI Survey of Concrete Structure Errors, Concrete International, 1979. 12, pp.14~20.
 16. R. Hauser, “Lessons from European Failures,” Concrete International, 1979. 12, pp.80~84.

(접수일자 : 2001년 12월 24일)