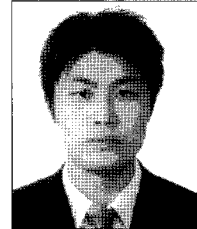


시공 중 교량붕괴와 구조해석(I)

Structural Analysis and Bridge Collapse under Construction(I)



류형근*

*과학기술정책연구원 부연구위원 공학박사

1. 서론

건물이 무너졌다거나 교량이 붕괴되었다는 소식은 우리에게도 아픈 경험으로 남아있지만, 웬지 구시대적이고 낙후된 국가에서나 들려올 것 같은 생각이 든다. 그러나, 실은 건물이나 교량의 붕괴사고 소식은 최근에도 들려왔고, 또 후진국이든 선진국이든 가리지 않고 발생하는 것을 뉴스에서 접하게 된다. 붕괴의 원인이 부실공사로 인해서든, 지식이나 기술이 부족해서든, 근본적으로는 불완전한 인간이 그 원인이라고 생각된다. 본 기사에서는 과거와 최근에 일어난 일련의 교량붕괴사고를 살펴보고, 이를 통해 시공과 관련된 구조해석에 관해 조명해보고, 시사점을 도출해보고자 한다.

구조물의 붕괴는 건설산업의 발전에 가장 큰 장애요소라고 할 수 있다. 경제적 손실과 인명피해 등의 직접적인 손실은 물론, 건설분야에 대한 사회인식의 악화, 심리불안 등 간접적인 영향도 크기 때문이다. 이는 우리의 경험을 통해서도 크게 깨달은바 있지 않을까 생각된다. 구조물 붕괴에 관한 통계에 따르면, 구조물의 사용 중에 생기는 붕괴보다는 건설도중에 생기는 경우가 20내지 30배나 많다고 알려져 있다. 국내의 경우에도 사용 중 파괴된 교량은 매우 드물고 대부분이 건설도중에 붕괴사고가 발생하였다. 건설도중의 사고는 주로 거푸집사고, 가설구조(가설

교각 등)붕괴, 건설 중의 초과하중, 충격 및 충돌에 의해 발생한 것으로 보고되었다.

사우어 교수는 자신이 48년간 조사한 토목사고 500건의 원인을 조사, 분석한 결과를 토대로 사고의 원인분포를 다음 표와 같이 도출한 바 있다.¹⁾

표 1 토목공사 사고의 원인 분포

원인	분포(%)
현행기술의 결핍	12
현행기술에 대한 무지	33
현행기술의 활용회피 또는 활용거부	55

이를 바탕으로 생각해보면, 결국 토목사고의 88%가 인간의 불완전함 또는 결점으로 인해 일어난 것이라고 할 수 있겠다. 특히, 토목공사 사고의 발생 중에서 시공 상에서 발생하는 문제가 큰 것으로 조사되었다. 토목구조물의 계획, 설계, 시공, 운영의 단계 중에 문제의 원인이 어느 단계에 있으며 이들 문제점이 어떤 단계에서 노출되는 것인가에 대해 사우어 교수는 500건의 실패사례를 분석하였다. 그 결과, 시공 중에 노출된 문제 또는 사고 중의 50%는 설계에 잘못이 있었으며 나머지 50%는 시공 잘못이었다.²⁾ 설계 잘못으로 인한 문제 또는 사고 중 3분의 1은 시공 중에 노출되었으며 나머지 3분의 2는 운영 중에 노출되었다. 따라서, 시공 중에 발생한 사고가 전체 조사된 사고 건수

의 63%에 이른다 는 것이다. 이처럼 시공단계해석이 갖는 의미는 매우 크다고 생각된다. 실제 현장에서 일어나는 매 단계별 구조상의 변화와 작용하중을 엄밀히 고려하고 실제 상황을 적극 반영한 구조해석을 수행한다면 시공 중 붕괴되는 사고를 최소화할 수 있을 것이다.

2. 교량 붕괴사고 사례

2.1 해외사례

2.1.1 Quebec교, 1907, 1916, 캐나다

캐나다 퀘벡의 세인트로렌스 강을 가로지르는 퀘벡교(Quebec Bridge)는 미국에서 가장 뛰어난 교량 설계자로 추앙받았던 Theodore Cooper에 의해 1917년 완공된 게르버식 강트러스교이다. 경간이 157m+549m+157m으로 구성되어 있는 이 교량은 현재까지도 가장 긴 경간을 가진 철도교라는 기록은 깨지지 않고 있지만, 이 기록을 세우기 위해 96명의 목숨을 앗아간 비극적인 사고가 있었다.



그림 1 퀘벡교 전경

퀘벡교의 측경간은 중앙경간에 비해 비교적 짧은 경간이었으므로 시공 시 길이가 더 긴 캔틸레버 주경간의 안전을 도모했어야 했다. 사고 당시, 교량의 강가 쪽 팔은 교각 위에 세워졌고 캔틸레버 팔과 두 개 반의 서스펜디드 스패ンは 이동식 크레인을 이용해 양쪽으로 뺏아가면서 시공 중에 있었다. 붕괴의 원인은 부적절하게 브레이스(braced)된 압축부재의 버클링(buckling)으로 알려졌다. 캔틸레버 트러스팔의 몇몇 압축인자가 부재를 외적으로 휘게하는 큰 비틀력을 받아 부재는 좌굴되고 결국 무너지고 말았다. 퀘벡교의 파괴점은 주요 현재의 연결판이었다. 실제로 이음부의 연결판에 좌굴이 있었고, 조사팀에 의하면 8개의 리



그림 2 1907년 8월 29일 붕괴 (1차 붕괴)

벳이 있어야 할 곳에 단지 2개의 연결리벳만 있어 연결된 압축부재의 30%정도 강도만 가지고 있음이 밝혀졌다. 압축부재의 경험적 설계나, 훨씬 더 적은 구조물의 연결판을 기초로 한 당시의 채택된 설계기준은 대규모 구조물에 대해서는 부적합한 것으로 알려졌다.³⁾

1차 붕괴 후 10년이 지난 1916년, K형 트러스 형식의 리벳으로 연결된 더 무거운 구조물 형태로 재설계된 두 번째 캔틸레버 퀘벡교가 거의 완공단계에 이르렀을 때 두 번째의 비극이 발생하였다. 양쪽 캔틸레버가 완성된 후 겔버교의 중앙스팬을 작업하던 중 공중에서 45m의 강트러스를 지지하던 잭의 한쪽이 무너져 강재중량 5,000톤이 세인트로렌스강으로 떨어져 붕괴되었다. 팔을 지지하는 4개의 rocker중 하나가 스패에서 떨어지면서 발생한 사고였다.

퀘벡교의 붕괴사고는 응력해석이론, 시공지식 및 공학적 수학지식이 불충분하여 발생한 사고로 좌굴에 대한 많은 교훈을 주었다.

2.1.2 West Gate교, 1970, 오스트레일리아⁴⁾

1970년 10월 15일 West Gate교의 주경간 서쪽 캔틸레버 단면이 갑자기 부서지고 1,200톤의 강재중량이 교량하부에 있던 작업인부 숙소로 떨어진 참사가 발생했다. 이 사고는 웨일즈 밀포드 항구에서 비슷한 박스거더 지간이 좌굴로 붕

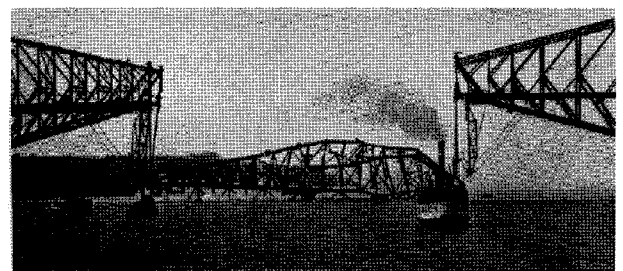


그림 3 1916년 9월 11일 붕괴 (2차 붕괴)

괴된 지 겨우 4개월 후에 다시 일어난 사고였다. 두 경우 모두 동일한 설계용역사의 동일한 설계팀에 의해 설계되었다.

당시, 강 박스거더 시공 중의 문제는 캔틸레버 지간을 압출할 때 거더의 인장과 압축응력이 가끔 거더가 부담해야 하는 최종하중의 크기보다 훨씬 크고, 캔틸레버 선단의 처짐이 크게 발생하는 것이었다. 일반적으로 캔틸레버 선단은 유압잭으로 선형을 맞추고 두 캔틸레버를 연결하는 작업을 하게 되는데, 이 작업은 시간이 꽤 소요되는 것이었다. West Gate 박스거더의 경우 시공의 용이성을 위하여 각 캔틸레버 박스단면은 두 개의 단면으로 조립되어 제 위치에 올려놓고 볼트로 접합했다. 90m 가량 밀어내었을 때 서쪽 캔틸레버 단면의 두 단면 사이의 선형이 맞지 않아, 상판의 반쪽을 다른 반쪽과 연결하는데 충분히 처질 수 있도록 지간을 작업하는 대신 시간을 벌기위하여 60톤의 콘크리트로 조정하기로 결정하였다. 결국, 분리된 상판양쪽을 연결한 중앙연결판에 좌굴이 발생하여 붕괴 사고가 발생한 것이다.

2.1.3 박스거더 교량의 붕괴, 1970년대

1969년 비엔나에 the fourth Danube Bridge가 시공 중에 손상을 입은 이래로 웨일스에서 Milford Haven Bridge, 오스트레일리아에서 Yarra Bridge, 그리고 독일의 Koblenz에 Rhine River Bridge가 시공 중에 문제가 발생하였다. 이러한 실패들은 교량 기술자들이 강박스 거더교의 설계에 관해 의문을 갖게 하였다. 따라서 시공 중에 발생할 수 있는 문제들에 대해 많은 연구자들이 의문을 제기하고 연구하였다.

U.S.Steel 보고서(1978)에 따르면 콘크리트 타설을 진행하는 동안 거더의 기하 형상 변형과 회전으로 인해 시공시에 겪는 어려운 점들이 보고되기도 하였다. 이런 측면에서 박스 거더 교량에 대한 시공 하중의 영향을 분석하는 것이 필요하다. 거더의 전체적인 변형과 좌굴안정성에 대한 브레이싱의 구성도 매우 중요한 부분이다.

개단면 강박스거더의 경우 콘크리트 슬래브가 굳기 이전

까지는 강재와 합성된 것이 아니므로 비틀림강성이 매우 작다. 단면이 콘크리트 슬래브로 폐합되기 이전의 순수비틀림 강성(St. Venant torsional rigidity)은 폐합된 후 값의 수천분의 일 정도밖에 되지 않는다. 그러므로 콘크리트 슬래브가 양생되어 합성단면으로 역할을 수행하기 이전의 운반, 설치 단계에서 작용하는 비틀림모멘트에 대비하여 충분한 비틀림 강성을 갖도록 상부플랜지에 수평브레이싱을 설치해야 한다.

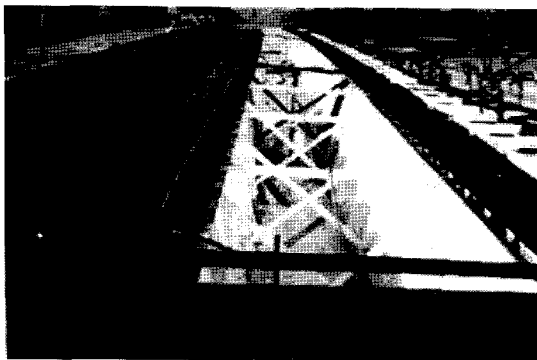
한편, 여러 시공 하중 중에서 특별히 온도하중에 대한 고려가 필요한데, 미국의 clearwater교의 경우 온도에 의한 영향을 고려하지 못하고 브레이싱을 적용하지 않아 시공 중에 큰 어려움을 겪은 예다. 그림 4를 살펴보면 거더가 온도 영향으로 심하게 비틀리거나 구부러진 것을 알 수 있는데, 이로부터 상부 수평브레이싱의 적용이 매우 필요한 것을 알 수 있다. 구조해석을 통해 시공 하중, 예를 들어 바다 판 타설 시에 거더에 작용하는 하중과 온도하중에 의한 수평브레이싱의 역할을 파악하려는 노력이 필요할 것이다.

2.1.4 Kurushima교, 1998, 일본⁵⁾

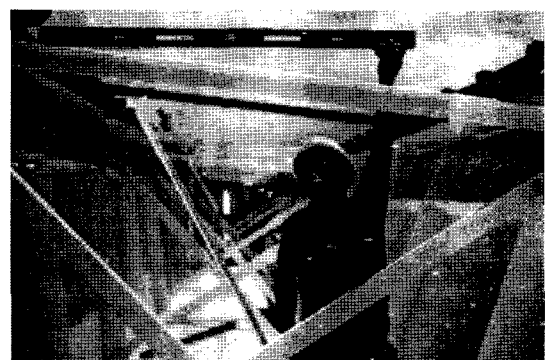
이 사고는 일본 남쪽의 Imabari 근교의 Kurushima 해협을 횡단하는 교량으로 세계에서 가장 큰 교량건설 사업 중의 하나였으며, 1998년 6월에 발생한 사건이다. 이미 압출된 측경간을 지지하는 가지주의 단면이 해체되면서 케이블로 내려졌다. 3개의 케이블이 파단되어 50톤의 가지주 단면이 전복되면서 이곳에 있던 인부들이 60m 아래의 땅으로 떨어져 7명이 사망한 사고였다.

2.1.5 Injaka교, 1998, 남아공⁶⁾

1998년 6월 Injaka교의 두경간이 시공중 붕괴되어 14명이 사망하고, 13명이 중상을 입은 참사가 발생하였다. 첫 번째 segment 앞에 달린 27m의 긴 추진코(launching nose)를 두 번째 교각의 가설용 받침상에 막 밀어넣을 때 갑자기 두 지간이 붕괴되면서 작업인부와 방문객 일행을 30m 아래의 땅으로 곤두박질하게 한 참사였다.



(a) 구부러진 거더 형상



(b) 비틀어진 거더 단면 형상

그림 4 미국 clearwater 교의 시공 중 온도하중에 의한 변형

2.1.6 laegar교, 1998, 미국⁷⁾

1998년 1월 웨스트 버지니아주 근교에 있는 가설교량의 해체 작업 중 한 사람이 사망하고, 두 사람이 중상을 입은 참사가 발생했다. 웨스트 버지니아 도로건설 담당중역인 Bob Tinny는 “배틀릿지 시공사가 중앙 지간을 들어올리려고 준비하는 중에 중앙지간 50m가 떨어졌다. 크레인으로 중앙 span을 붙들고 사고 시에 연결볼트가 풀려나가 발생한 사고인 것으로 알고 있다”고 말하였다.

2.1.7 다시탄대교, 2007, 중국

2007년 8월경에는 중국 후난(湖南)성 평황(鳳凰)에서 건설 중인 다리가 붕괴돼 20명이 숨지고 22명이 다쳤으며 39명이 실종되는 사고가 일어났다. 후난성 평황현 강을 가로지르는 길이 320m, 높이 42m인 아치형 교량 다시탄(堤溪段)대교가 완공을 앞두고 갑자기 무너져 내렸다. 다시탄대교는 후난성 평황현과 구이저우(貴州)성 다싱(大興)공항을 연결하는 고속화 국도 구간에 있는 다리로 관광객 유치를 위해 아치형으로 설계된 것이었다.

2.1.8 허우강교, 2007, 베트남

베트남 남부 켄터성과 빈롱성을 연결하기 위해 건설 중이던 다리가 무너져 최소한 52명의 사망자가 확인됐으며 수십 명의 인부가 실종되고 100명 가까이 다치는 사고가



그림 5 중국 다시탄대교의 붕괴사고

발생했다. 메콩강의 지류인 허우강을 잇는 이 다리는 다이세이 가지마 등 일본기업의 감리아래 지난 2004년 9월 착공돼 내년 완공될 예정이었다. 무너진 곳은 사고 전날 콘크리트 작업이 이뤄진 것으로 알려졌다.

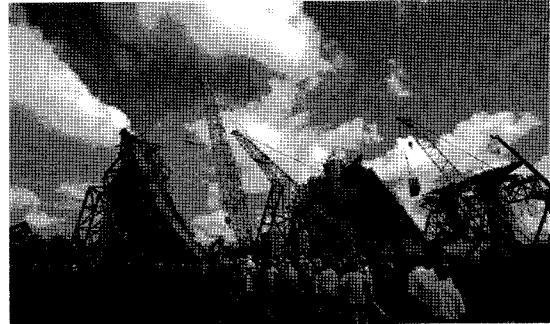


그림 6 베트남 교량 시공 중 붕괴 사고

2.2 국내사례

과거, 국내에 발생된 교량 사고 중에서 시공 중에 발생한 사고를 다음 표 2와 같이 살펴보았다.⁸⁾ 대전3경간 연속 아치교는 시공순서의 부적절함과 가설재에 문제로 인해 시공 중 완전 붕괴되었다. 성산대교는 충돌에 의한 동바리 파괴로, 영동교는 동바리 침하로, 88올림픽대교도 동바리 문제로 시공 중 일부구간이 파괴되거나 붕괴되었다. 팔당대교는 시공 중 국부적 돌풍으로 인한 가설재의 붕괴로, 신행주대교는 과도한 하중으로 인한 가교각 주위의 전단 파괴와 가교각 파괴의 연쇄반응으로 시공 중 붕괴되었다.

위 표에서 완전붕괴된 교량은 대전 3경간 연속RC 아치교, 영동교, 선운교, 팔당대교 및 신행주대교이다. 이 중 선운교를 제외하고는 붕괴사고가 모두 가설재 및 시공순서와 밀접한 관계가 있는 것으로 보고 되었다.

2.2.1 팔당대교, 1991¹⁰⁾

경간 340m의 사장교인 팔당대교가 1991년 완공예정인

표 2 시공중 사고가 발생된 교량 현황 (1970년~1992년)⁹⁾

교량명	위치	사고발생년도	알려진 사고원인
대전3경간 연속아치교	경부고속도로 대전과 대전 터널사이	1970년대	시공순서, 가설재문제로 시공 중 완전붕괴
성산대교	서울	1970년대	충돌에 의한 동바리파괴로 시공 중 일부구간 파괴
영동교	서울	1980년대	동바리 침하로 시공 중 붕괴
선운교	서귀포	1980년대	Eye bar 절단으로 시공 중 붕괴
88올림픽 대교	서울	1980년대	시공 중 입체교차로 확장부에서 동바리 문제로 일부구간 붕괴
팔기교	신안군	1980년대	ILM시공에 의한 교각의 변위로 교각기초 보강
팔당대교	경기도	1991년	풍속 32m/s의 국부적 돌풍으로 시공 중 가설재의 붕괴, 수화열로 인한 주탑의 심한 균열발생
신행주 대교	경기도	1992년	가교각 주위의 전단파괴와 가교각 파괴의 연쇄반응으로 시공 중 붕괴

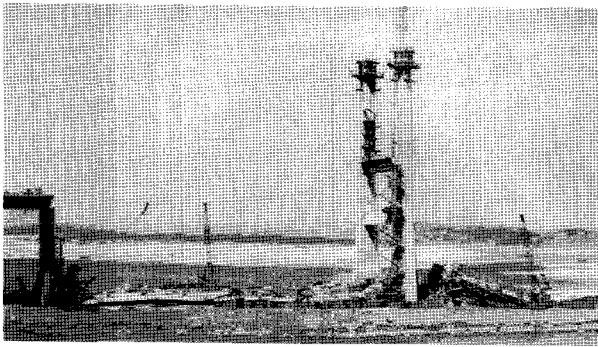


그림 7 팔당대교 붕괴 사고

었으나 시공 마무리 단계에서 사장교 부분(196m)이 돌풍에 의해 파괴되었다.

당시 붕괴 상황은 밤새도록 강풍이 불어 다리 위에 있던 교판이 심하게 진동하는 바람에 교판을 지탱하던 철재 빔이 무너지면서 사고가 일어났다고 알려졌다.

팔당대교는 지형적인 상승돌풍지역으로 붕괴사고 당시 풍속 15m/sec 이상으로 추정되었고, 높이가 30m나 되는 Bent의 강재 지보공을 연결하는데 따른 구조적 결함으로 인한 수평력, 수직력, 동적하중 등의 외력하중에 대한 저항이 약화된 것으로 조사 분석되었다. 바닥판 콘크리트 타설이 부분적(Segment별)으로 타설되어 있는 상태에서는 돌풍 등에 따른 공기동력학적 외력에 의해 편심과 비틀림 변형이 일어나기 쉬운 상태로서 붕괴사고가 발생된 것으로 분석되었다. 결론적으로, 팔당대교 붕괴 당일은 이상 기상 상태에서 지형적 특성에 따른 바람의 여울현상 및 돌풍에 의해, 가설 중에 있는 장대교가 공기의 소용돌이와 와류에 의해, 공기 동역학적 진동현상이 발생하게 되었고, 시공 시 지보공 Bent구조상단부와 교량상판 거푸집의 연결부의 취약한 원인 요소들이 복합적이고 동시다발적으로 상승 작용되어 붕괴 사고와 재해가 일어났으며, 근본 붕괴 원인은 공기의 소용돌이 또는 와류에 의한 진동(Vortex-induced Vibration)에 따른 것으로 판단하였다.

2.2.2 신행주대교, 1992

콘크리트 사장재를 적용한 신행주대교가 시공 도중 붕괴되는 사고가 있었다. 붕괴의 원인은 시공 이음부의 전단 슬립과 가교각 자체의 결함과 편심재하에 의한 것으로 알려져 있다. 이에 대해서는 “시공 중 교량붕괴와 구조해석(II)”에서 시공단계해석과 함께 좀 더 자세히 고찰해보고자 하였다.

2.2.3 소록도 연도교, 2007

올해 4월경에는 고흥군 소록도 연도교 공사 현장에서 교량 상판 일부가 붕괴되면서 상판 위에서 작업을 하던 인부

12명이 부서진 상판 콘크리트 덩어리 및 철근과 함께 22m 아래로 추락하는 사고가 있었다. 소록도 연도교는 V형 각주 PSC 슬래브교로서, 콘크리트를 타설하고 상부 마감 작업을 시행하던 중 붕괴사고가 발생하였다. 붕괴의 원인은 하부지반의 침하 혹은 동바리 좌굴로 인한 것으로 추정되었다. 동바리 설치를 위하여 하부에 암버럭으로 성토한 점을 감안할 때 지지력 확보에는 문제가 없는 것으로 보였다. 그러나, 단면이 상대적으로 큰 교량 중앙부나 작은 노면부나 동일하게 같은 간격으로 동바리를 설치한 점, 그리고 교량중심선측으로 동바리 좌굴이 발생한 점을 감안할 때, 동바리 설치간격의 과대와 좌굴지향에 가장 중요한 역할을 담당하는 사재의 미설치가 사고원인으로 알려졌다.

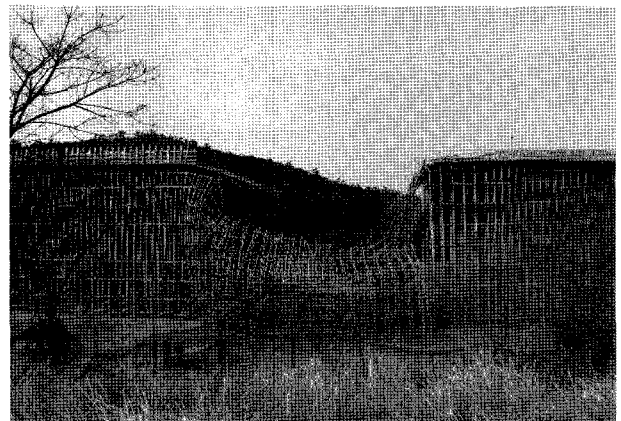


그림 8 소록도 연도교 붕괴 모습

2.2.4 죽암교, 2007

올해 9월 25일 오전 10시45분경 경남 마산시 내서읍 마산대학 앞 지방도 확장공사 죽암교 건설공사 현장에서 교량 상판 붕괴사고가 발생하였다. 정확한 붕괴원인이 알려지지는 않았지만, 강풍에 교량 상판 8개 중 1개가 넘어지면서 연쇄적으로 나머지 상판을 쳐 붕괴됐을 가능성이 높은 것으로 알려졌다. 순간적인 강풍으로 상판의 이음매가 충분히 고정되지 않은 상태에서 붕괴된 것으로 추정되었다.

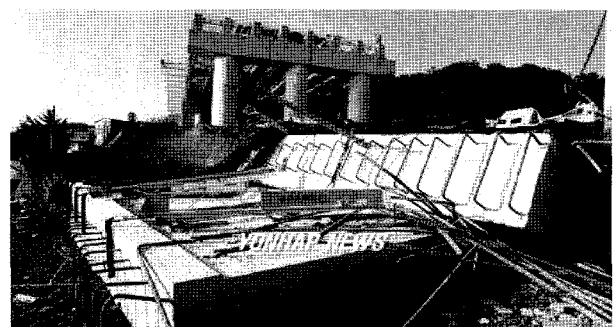


그림 9 죽암교 상판의 붕괴모습

3. 사고로부터 도출된 시공단계해석 이슈

교량이 시공 중에 있다는 것은 완성된 구조계 상태가 아니고 시시각각 변화되는 형태로 놓여있다는 것이기 때문에, 매 순간의 구조물에 대한 정확한 판단이 필요하다는 것을 여러 붕괴사례로부터 알 수 있다. 특히, 주요가설순서의 소홀, 교량에 작용하는 하중 및 응력의 과소평가, 가설재등의 부적절한 배치등으로 인한 사고는 조금의 방심이 큰 사고로 되돌아온다는 것을 깨닫게 한다.

웨백교의 경우, 시공 단계별로 구조물의 연결부에 대한 경계조건을 명확히 파악하고 작용하는 하중을 정확하게 고려하여 좌굴에 대한 엄밀한 검토가 필요하다는 것을 깨닫게 한다. 좌굴은 사전경고 없이 순간적인 붕괴를 유발하기 때문에, 매우 위험하며, 철저히 규명되고 고려되어야 할 사안이다. 특히 약간의 편심으로 인해 발생가능한 비틀림력에 대해서는 주의가 필요하며, 수직하중과 비틀림하중의 복합하중에 의해 좌굴이 더욱 쉽게 일어날 수 있기 때문에 시공 중에 편심재하 가능성은 없는지, 하중의 크기가 좌굴을 일으킬 만한 것인지 등에 대해 사전에 파악하고 있어야 한다. 즉, 다양한 시나리오를 바탕으로 한 시공단계해석이 필요한 것이다.

여러 붕괴사례에서도 알 수 있듯이 책임/책다운 작업은 생각보다 주의가 필요한 것으로 판단된다. 그 이유는 이상적인 상황에서 책임/책다운은 단순히 수직으로 구조물을 들어올리거나 내리는 것이지만, 실제 시공 중에서는 정확히 수직이 되지 않고 약간의 편심이 생기면, 편심하중이 발생될 가능성이 있고, 비틀림으로 인한 좌굴이 발생가능하기 때문이다. 특히 시공 중 책임/책다운 지점은 하나의 지지조건으로 형성되지만, 편심하중으로 인해 위에 실린 구조물이 그 위치를 벗어나게 되면, 지지조건마저 변화되면서, 구조물의 전도 및 붕괴를 가져올 가능성이 크다. 따라서, 구조해석을 통해 이러한 부분이 규명되어야 한다.

ILM공법과 같은 압출공법도 시공 단계마다, 세심한 주의가 필요한 작업임을 알 수 있다. 캔틸레버 지간을 압출할 때 거더의 인장과 압축응력이 거더가 부담하는 하중보다 커질 수 있기 때문이다. 또한 캔틸레버 선단의 처짐이 크게 발생할 수 있는데, 이러한 부분이 시공단계해석을 통해 사전에 파악되고 있어야 한다. 압출 시, 교각에 발생가능한 변위와 작용하중도 사전에 해석을 통해 검토되어야 한다.

시공 중 콘크리트 타설 시점 또한 위험한 시기임을 붕괴 사례로부터 알 수 있다. 콘크리트 타설을 진행하는 동안

거더의 기하 형상 변형과 회전으로 인해 시공 시에 여러 가지 어려움을 겪을 수 있다. 개단면 강박스거더의 경우 콘크리트는 바닥판으로서 굳기 전에는 하중으로 작용하게 되고, 하중을 지지하는 거더는 개단면으로서 비틀림강성이 적은 것도 고려되어야 한다. 이러한 부분이 시공단계해석을 수행할 때, 주의가 필요한 부분이 될 수 있다. 또한 동바리설치나 가지주 설치시에 콘크리트 타설하중에 대한 충분한 고려가 필요하다. 콘크리트의 크리프나 건조수축 효과에 대해서도 시공단계해석을 통해 파악되어야 할 중요한 포인트이다.

한편, 우리가 쉽게 간과하고 넘어가는 하중이 온도하중이다. 온도하중에 의해 발생하는 단면응력은 비선형 분포가 되기 때문에 단면을 뒤틀리게 할 수 있고, 적게는 시공상에 연결작업의 어려움을 가져올 수 있지만, 후행 작업 하중으로 인해 붕괴도 가져올 수 있기 때문에 엄밀한 고려가 필요하다. 이러한 부분은 사전에 시공단계해석을 통해 시뮬레이션 해 볼 수 있다.

팔당대교 사고나, 최근에 발생한 몇 가지 교량사고에서 바람에 의한 사고에 대해서도 주의가 필요한 것을 알 수 있다. 시공 현장의 바람 특성을 정확히 파악하고 이를 하중으로 정확히 반영하여, 여러 가지 시나리오를 바탕으로 한 구조해석이 사전에 수행된다면, 대처방안을 마련하고 사전에 붕괴를 방지할 수 있을 것이다.

작업과 관련된 많은 하중이 시공 중인 구조물에 가해지게 되고, 그 위치와 크기가 변화한다. 건설관련 기계와 장비들이 대형화되고, 경간 하나를 통째로 제작, 운반, 시공하기도 하는 등 최근의 시공기술의 발전은 급속시공 형태로 나아가고 있다. 이처럼 새롭게 등장하는 기술의 적용 시에는 여러 가지 문제에 대해 사전에 많은 고려가 필요할 것이다. 운반 도중에 발생한 사고의 예에서도 알 수 있듯이 정확한 하중의 산정과 운반 시 발생가능한 응력과 연결부에서의 부담능력 등에 대해서 사전에 충분한 인지가 필요할 것이다.

4. 결 론

과거와 최근의 시공 중 발생한 교량 붕괴사고로부터 시공단계 해석 시 고려해볼 사안에 대해서 생각해보았다. 궁극적으로 우리가 원하는 구조물을 안전하게 건설하고, 제 기능을 발휘할 수 있도록 하기 위해서는, 그 구조의 기능, 설계 및 시공법에 대한 철저한 이해 및 소화가 필요하다는 것을 알 수 있다. 특히, 실제 상황을 잘 모사하는 시공단계

해석을 통해 사전에 위협요소들에 대한 대응방안을 마련하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있는데, 이 때 구조형식과 시공법을 이해하고, 구조 모형화, 지지경계조건, 하중모형화 및 재하방법, 구조해석방법 등을 최대한 실제 상황을 반영하여 적용하려는 노력이 필요할 것이다. 특히 해석결과에 대한 맹신은 매우 위험한데, 해석결과에는 여러 가지 가정으로 인해 실제 상황을 100% 반영하지 못할 가능성이 있고, 다양한 시나리오를 반영하지 못한 가능성이 있기 때문이다. 따라서, 시공단계해석을 통해 주의가 필요한 부분을 사전에 파악함과 동시에 해석을 통해 부족할 수 있는 부분에 대한 사전대응 자세도 매우 필요한 것으로 판단된다.

과학기술의 발전과 이로 인한 건설기술의 지속적인 발전, 그리고 타 기술과의 융합으로 인한 새로운 기술의 출현으로 인해 구조물을 이루는 재료와 그 시공법도 계속 변화되고 진화할 것이다. 새로운 재료와 새로운 공법이 개발될수록 이에 대한 충분한 이해가 선행되어야 하며, 이를 바탕으로, 실제 상황을 최대한 반영하기 위해 여러 가지 시나리오를 고려한 시공단계해석을 수행하는 등의 다양한 노력이 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. 홍성완, 실패사례, 대한토목학회지 제41권 제6호, 1993년 12월.
2. 홍성완, 실패사례, 대한토목학회지 제41권 제6호, 1993년 12월.
3. 정동진, 배광환, 강희철, 교량붕괴의 역사가 주는 교훈 (1), 대한토목학회지, 제49권, 제8호, 2001년 8월.
4. 정동진, 배광환, 강희철, 교량붕괴의 역사가 주는 교훈 (2), 대한토목학회지, 제49권, 제9호, 2001년 9월.
- 5~6. 정동진, 배광환, 강희철, 교량붕괴의 역사가 주는 교훈(1), 대한토목학회지, 제49권, 제8호, 2001년 8월.
7. 정동진, 배광환, 강희철, 교량붕괴의 역사가 주는 교훈 (1), 대한토목학회지, 제49권, 제8호, 2001년 8월.
- 8~9. 변근주, 교량의 건설과 붕괴, 대우건설기술, 1992년 12월.
10. 건설 안전 기술, 팔당대교 붕괴재해 원인분석 I, II, 한국건설안전기술협회. 