

구조적 사고 및 그 원인들

孫 基 詳

건설안전기술사

공학박사

한국산업안전공단 산업안전교육원 교수

P · G · Silby & A · C · Walker

주 : 본 논문은 시공중 아니면 개통직후 얼마 안되어 붕괴된 4개의 대형철강교 들에 관한 역사적 고찰이다. 이들 자료로부터 사고는 통상 확실한 원인이 있고 그 역사는 오늘날의 엔지니어링 응용에 많은 교훈을 주고 있음을 결론짓고 있다. (미국토목학회 학술발표지 1부 1977. 5. pp 191-208)

서 론

구조물에 관한 사고의 범주와 통계수집은 엔지니어링 실무에 중요한 바탕이 된다. 이 분야에 관해서 가장 최근 공헌자는 Smith에 의한 것으로 교량사고의 주요 기술적 원인들을 발표한 것이었다. 콘크리트 구조물의 실패들을 유사하게 연구 하였다.

이들 연구들은 수많은 근본사고원인들이 있었음을 보여주고 있다. 정말로 단일사건은 수많은 원인들이 조합되어 생길 수 있다. 그러나 특히 중요한 사고의 한 범주는 설계상 동일하게 간주할 수 있는 약점 때문에 생길 수 있다. Smith는 그러한 사고 5가지를 열거했다. 즉 이 5가지가 전체사건으로 볼 때 미소 부분일지라도 자금비용면에서 그것들의 중요성은 어떤 다른 것들 보다도 많기 때문이다. 그런데 예로써 선박충돌에 따른 교량의 붕괴가 발생하여 그 원인이 설계상 오류로 판명되면 같은 기준으로 설계한 구조물 전체의 보강이나 대체 필요성을 의미한다. 즉 엔지니어들이 도입하여 구조물에 적용하는 하중을 가정하는 방법을 완전히 재고해야 할 필요가 있다.

본 논문에서 이러한 범주에 드는 4가지 사고들이 고찰되었는데 그 목적은 각 사고의 배경에 대한 광범한 그림을 제공하는 것이고 사건에 이르는 환경조건들을 요약하는 것이다.

이 연구에서 의문사항에 관한 문제들을 해결하기 위하여 재판 기록으로부터 좀 더 폭 넓은 정보를 수집하였다. 그러므로 가능하면 사례의 이력은 당시의 자료를 이용하여 서술하였다. 비록 이 논문이 교량에 관한 사고들만을 다루고 있지만 사고사례 이력을 해설하기 위해 여기서 발표된 일반방법론은 훨씬 더 폭 넓은 범위의 구조 유형에 적용할 수 있다. 다시말하면 이들 사고들은 그 당시 공학설계법의 착오인지? 아

다면 그 당시에 개발되고 있는 공학적 구조 방법으로는 거의 불가항력적 결과들이었는지? 이다. 뒷 부분에서 이 문제가 좀 더 자세히 사건들의 유사성들에 관하여 검토 되었다.

1. 디(Dee) 교

영국의 체스터(Chester)에 있는 디(Dee)강을 횡단하는 체스터(Chester)와 홀리헤드(Holyhead)간 철도의 궤도를 지지한 구조물이 당시의 기술정보만으로 피할 수도 있었던 철강교 붕괴의 첫번째 사건으로 공학전문기술자들에게 적합한 양식으로 조합되었고 발표된 정보들이 있었다. 로버트 스티펜슨(Robert Stephenson)사무실에서 1845년에 설계되었고 51°각도 비대칭으로 강을 횡단하고 있는 74.4m 3개의 구조물로 구성되었다.

두개의 평행보가 각 궤도를 지지했고 작은 보는 특히 주철제로 볼트조립 하였고 추가로 단련철 보강연결재를 배열하였다.

이러한 형태의 교량건설은 통상있는 형태의 것이었다. 60개 구조물에 관해 1831년 비그놀리

스(Vignoles)에 의해 도입된 것으로 점증권장법(gradually increasing length)적용을 위해 보조 트러스 시스템을 사용하여 축조하였는데 이 디(Dee)교가 모든 교량중에서 가장 긴 것이었다. 초기에는 주철제 작은보의 인장플랜지에 파괴를 일으킬 경우만 기능을 하게 되는 안전장치로써 단련철 트러스 방식이 고안되었다. 주 빔(작은 보)은 등분포 주철빔의 경제적 설계의 근간이 된 호드킨슨(Hodgkinson) 공식에 맞도록 단순 지지로 간주되어 계산하였다. 강구조 광장건물의 보 비례를 합리화 하기 위해 최초로 계획했던 이 공식은 1831년에 발표되었는데 3m 스패ん까지의 작은보 실험 결과로부터 유도되었다.

빔트러스 상호 작용에 대해서는 어떤 계산도 고려치 않았다. 실로 그런 구조부정정관계를 다룰 수 있는 이론이 개발된 것은 그 후로 20년이 지난 뒤였다. 그러나 이 상호작용이 무시될만하거나 도움이 되지만 비정량적인 통상 사용의 결과로부터 직관적 이치를 근거로한 가정이 있었다.

실제적 실험적 연구의 부족에도 불구하고 설계자들은 트러스의 잇점을 확신하게 되었기 때

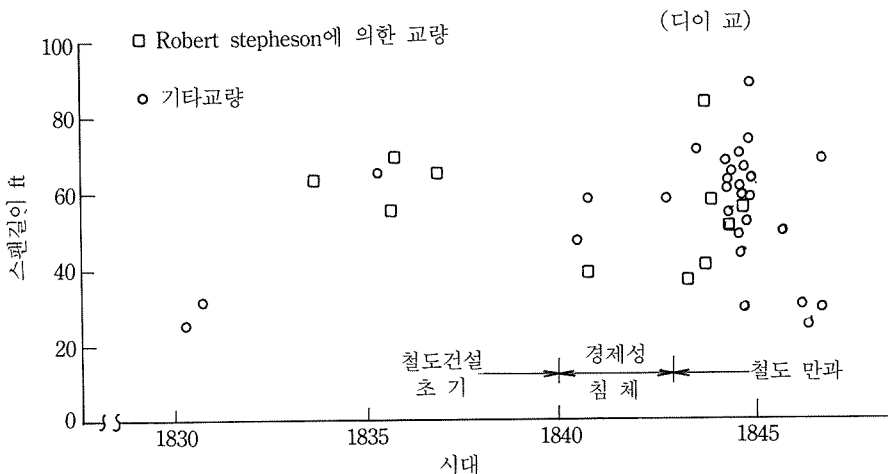


그림 1. 트러스보 철도교량의 시간경과에 따른 스패ん길이의 변화

문에 장스팬 교량 설계에는 이 강도를 포함시키기 시작하였다. 그후에 복합작용을 확보하기 위하여 프리스트레스 형식이 도입되었다. 그림 1은 주철제 빔의 칫수산정에 포함된 안전율 f 가 다른 구조물에서 통상 3~4인데 비해 훨씬 장스팬 임에도 아주 낮은 값을 보여주고 있다. 도표는 당시에 가정된 하중 유형에 근거하고 있다. 즉 적재하중 [1 ton/0.3m(3.3 ton/m)+충등분포하중 5.3ton/m] 보, 궤도, 캔자갈등 고정하중을 포함한 것이다.

초기 교량의 성공적 건설로 이러한 복합시공에 확신을 갖게 되었고 공사의 절정에 달하면서 스패들이 점점 증가되었고 결국에는 디 교의 붕괴를 초래 하였다.

이것은 1847년 5월 24일에 발생한 슬픈 사건이었다. 교량이 개통된지 6개월 정도 였으니까... 영구적인 방법으로 별도의 자갈다짐을 해놓은 다음에 오후 6시 15분 체스터 (Chester)에서 슈류스베리(Shrewsbury)행 기차가 통과하고 있었다. 2개의 스패는 안전하게 통과되었으나 세

번째에 마지막 개구부가 이르자 기관사는 자기 밑의 교량처짐을 느꼈다. 그는 속도를 가속시켰고 건너편 교각에 이르렀으나 기차의 남은 부분은 엔진에서 남은 부분이 분리되어 강으로 빠졌다. 5명이 목숨을 잃고 최초의 철강교 붕괴로 충격을 받은 시민들이 분노하여 철도구조물의 안전에 관한 국민심문을 요구하고 나섰다. 결국 왕립진상위원회가 철도 엔지니어링에의 강제적 응용문제를 조사하기 위하여 설치되었다.

즉각적인 사고 결과는 이러한 유형의 교량시공에 종말을 가져오고 같은 유형의 기존 모든 교량들은 2~3년내에 보강 하던지 아니면 폐쇄토록 하였다. 이 과다 대응으로 많은 비용이 소모되었다. 교량 건설업자들이 매 증가스팬길이 마다에 같은 설계 원리를 사용하는 위험과 본인들의 지식의 한계를 조금만 더 알았다면 아마도 이 과다대응은 피할 수 있었으리라 본다. 사고전에 엔지니어에게 수집되고 발표되었다면 트러스원리에 대한 실제 이해에 관한 사고가 제고되었을 텐데, 그것은 확실히 공장건물에 트

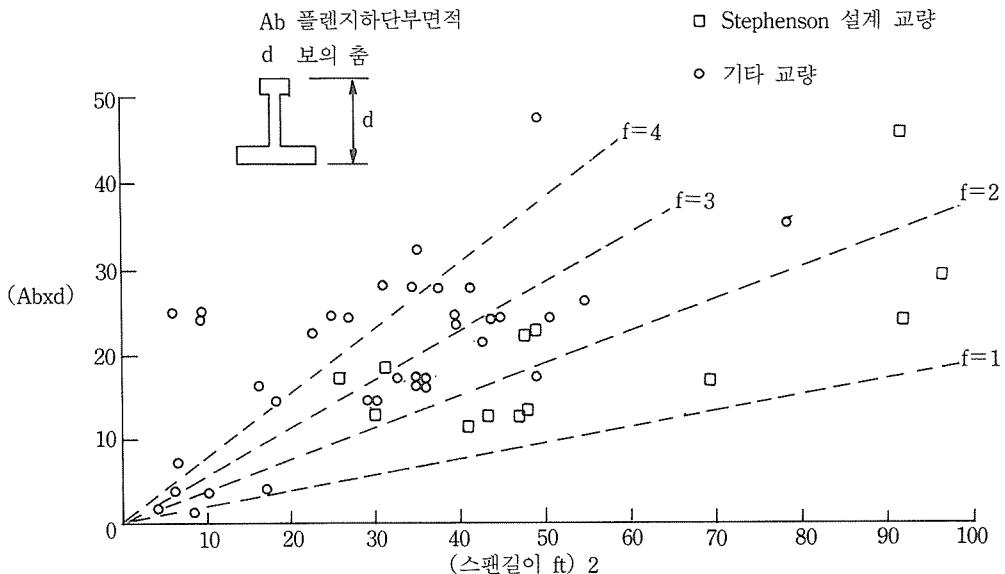


그림 2. 1830-1847 트러스보 철도교의 주철제 빔 설계에 적용된 안전율

러스보의 붕괴에 의해 받은 경고의미의 심각성을 좀 더 큰 의미로 전문가들로 하여금 느끼도록 했을텐데, 그 당시 입장으로는 스테펜슨(Stephenson)과 그의 동료 목엔지니어 협회에서 단순히 불운으로만 간주했지, 이러한 정도의 구조물 전체에 뭔가 심각히 잘못되고 있는 징조로는 여기지 않았다.

이미 완성된 교량설계들로부터 정보의 지속적 검토와 수집에서 빔(beam)의 규모증가로부터 생기는 기타 결점들을 찾아내게 되었다. 이것들 중의 하나는 붕괴 좌굴모우드 관점에서 특히 심각한데 장스팬의 강재 배치의 기하학적 불완전성 이었다. Hodgkinson은 실험적으로 빔을 거의 완전한 연직성을 갖도록 설치할 수 있었는데 반하여 Stephenson은 설치기술의 한계점으로 3인치까지 결함을 갖는 빔으로 해야했다. 그러므로 Hodgkinson의 짧은 빔에서는 2차영향이었던 것이 구조규모의 무절제한 증가때문에 디(Dee)교에서는 첫번째 중요성을 갖게 되었다.

2. 테이(Tay)교

사고의 상세한 기술이 Prebble과 Thomas에 의하여 기록되었다. 이 교량은 에딘버러 (Edinburgh)와 던디 (Dundee) 이후까지 달리는 북부 영국국영철도의 간선노선에서 하나의 교차역을 형성하고 있었다. 처음부터 이공사는 자금고갈로 야기된 투기적인 위험이 있었다. 토마스 보취 (Thomas Bouch)는 테이와 포스(Forth)를 지나 는 필요 교량설계를 제안했다. 이들 교량의 첫 번째는 테이(Tay)를 지나서 1876년에 4억5천5백만원 비용으로 완성되었는데 1871년 2억8천만원의 초기견적과 비교되는 수준이었다. 이 다리는 단련철강고가구조 2마일 (3.2Km)에 단일 궤도를 놓았는데 최대 강물위로 26.7m 높이까지 되었고, 길이가 7.8m에서 73.8m 사이에 있는 85

개 트러스 스팬들로 구성되었다. 다양한 유형이지만 그룹으로 된 주철제 기둥으로 피어(pier)가 되어 있는데 주로 단련철로 기초를 이루고 있었다.

근본적인 문제는 구조물 특히 그리드(Grid)형 구조물에 미치는 바람의 영향을 평가하는 것이 아주 곤란하다는 것이다. 19세기 말에야 풍동사용이 개발되었기 때문이다.

결과적으로 수평가새 시스템이 항상 직관적 기본에 의해 보강되었을지라도 테이교 사고전에는 구조물에 대해 정상적으로 풍하중 계산이 되지 않았다. 때때로 풍하중에 대한 설계 검토가 시행되었고, 채택된 방법은 등분포 풍압이 교량 노출면에 작용하고 또 이 하중에서 일부마찰이 풍하중보에 작용된 것으로 가정하는 것이다.

정확한 비례는 풍상측 부재에 의해 가능한 차폐정도에 관한 직관적 추측에 따라 좌우된다. 이는 소용돌이와 같은 항공역학적 효과를 무시하기 때문에 부적절하다. 이들 힘이 얼마나 과소 평가되는지에 관해서 강조하기 위하여, 그림 3(a)는 구조물을 설계할 때 Bouch에 의해서 가정된 값을 보여주고 있다. 그리고 이 힘들을 Henry 법칙으로 산정한 그림3(b) 임계 도하중과 비교하고 있는데 이 법칙은 심문법정을 위해 테이(Tay)교 산정을 다시 하고 있었을때 사용된 것이다. Bouch의 가정으로는 피어(Pier)기초의 고정성·손실가능성이 허용될 정도로 전도 저항 안전율 4미만인 것이다. 그림3(c), (d)는 사고후 규명위원회에 의해 부과된 법칙들을 사용해서 계산된 힘들이다.

Bouch는 경제적인 면을 더 고려하였기에 충분한 하중을 고려치 못했다. 풍압에 관한 전통적인 정보원은 1759년의 Smeaton에 의한 왕립 협회에 전달된 표였지만, 이것은 대부분 기관들에 의해 지나치게 보수적인 것으로 인식되어 왔다.

Edwin Clark은 1850년에 Smeaton숫자 50l b/ft²(186kg/m²) 등포분압 태풍을 받는 구조물에 대한 것이 너무 높다고 했다. 그는 폭풍이 방향에 노출된 면에 20l bs/ft²의 값이 적절한 것으로 주장했다. Rankine은 예외적으로 설계풍하중은 최대돌풍에는 55l bs/ft²이어야 한다고 하였다. 그러나 이 숫자는 설계자들이 폭넓게 받아들이지는 않았다.

Bouch는 사용 데이터에 불만이었으므로 왕립 천문학회지에서 받은 정보를 사용했다. 이것은 포스(Forth)까지가는 나머지 교량과도 연계되었는데 부분적으로 가능한 돌풍압이 40l bs/ft²임에도 불구하고, 교량전체길이에 대해 작용하는 것으로 정압 10l bs/ft²로 가정하는 것이 합리적이라고 권장했다. 10l bs/ft²이라는 Bouch 결정은 당시 최고로 엔지니어 위원회에 의해 뒷받침되었다.

그러므로 Bouch는 책임있는 방식으로 테이교 설계에 접근했고, 그 당시의 용인된 실제에 맞게 설계한 것으로 분명히 말할 수 있다. 더욱이 이 증거는 사고후 규명 위원회에 의해 가설된 풍압 56l bs/ft² 값이 과다응력이라고 조소된 사실이

다. 사실상 풍하중은 오늘날 가정된 값보다 약 20% 적은 값을 나타냈다. (그림 3 (c), (d)) 구조물들과 비교되는가? 그림4는 당시의 기관들에 의해 수집 분석된 것으로써 기존 트러스 구조물들의 바다무게들에 근거한 것으로서 상부구조물의 이 부분은 비정상적인 것임을 보이고 있다. 즉 커브 A와 B는 Rankine의 트러스이론

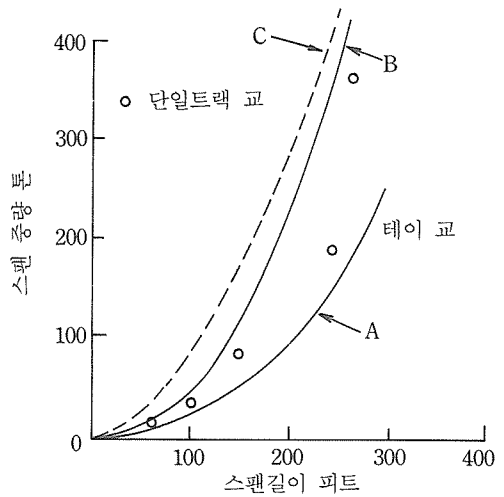


그림 4. 구조물의 이론과 실제에 근거한 강트러스 궤도교량의 스팬길이에 따른 스팬무게 변화

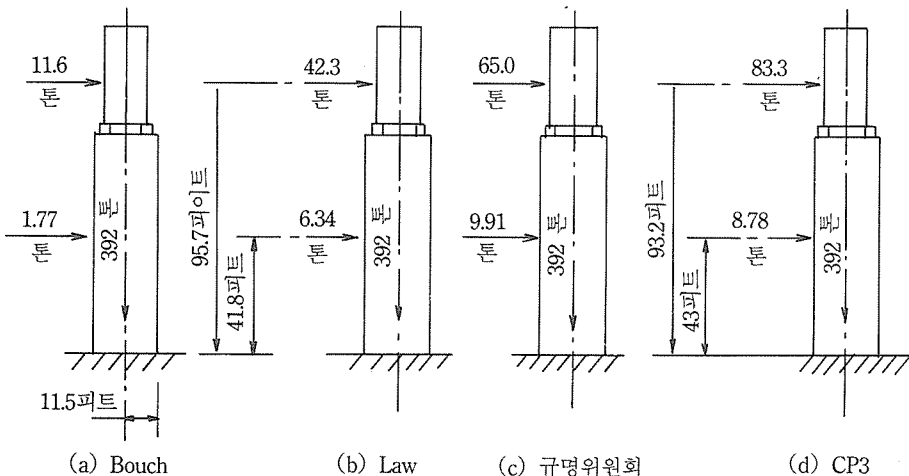


그림 3. 테이교 중심 단면에 작용하는 것으로 가정된 풍하중에 따른 힘

으로부터 작성된 것으로 각각 단선과 복선교를 의미하고, C는 Baker에 의해 수집된 복선케도 구조물에 대한 트러스무게의 하향한계이다. 그러나 테이(Tay)교의 피어들은 통상보다 훨씬더 가볍다는 것이 당시의 도면 조사에서 드러났다. 이것은 협폭, 랙크의 높이, 후미의 노출과 쌍을 이루어 재앙의 상황을 초래하였다.

3. 퀴백 교 (Quebec Bridge)

인간이 설계한 가장 어설픈 구조물 즉 지금까지 건설된 가장 어색한 공학작품 이라고 생각된다. 미국인이 돈에 따른 교량이 적절한가를 결정했고 약 40%가 과다건축적으로 교량이 완공되었을때 수집하는 대신에 소유주에게 50%를 되돌려 주었었다. 1890년에 완공되어 오늘에 이르기까지 교통량을 수용하고 있는 포스(Forth)까지의 위대한 켄틸레버 교량이 벤저민 베이커(Benjamin Baker)에 의해 완료되었던 것을 Theodore Cooper (미국교량건설협회 소속)가 19세기말 비판하였다. 그후 약 10년동안 Cooper는 자신이 설계하고 감리한 세계에서 가장 긴 켄틸레버 교량이 공사중 붕괴하여 75명의 근로자가 목숨을 잃게 되었는지 심문법정에 불러다녔다.

이것은 디 (Dee)교, 테이(Tay)교에서와 같이

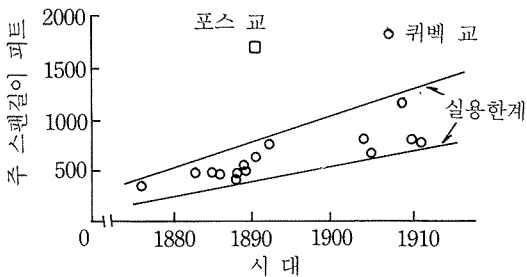


그림 5. 북미지역 켄틸레버 교량의 주요 스패ん길기와 시대와의 관계

부적절 데이터 사용이 불안정구조물의 설계 원인이 되고 구해진 정보는 교량요소의 강도에 대한 기본 이해 부족을 나타내었다.

사고전 수년에 걸친 조사로부터 여러가지 장기적인 전개형태가 탐지될 수 있었다. 그들이 적시에 검토했다면 퀴백교 설계가 아주 특별주의를 갖는데 보통과는 달랐을 것임을 알고 Baker는 아주 끈질긴 인내의 연구를 하였다. 시공전과 시공중에 대한 실험과 분석을 하였다. 그림5는 19세기 후반부에 축조된 모든 켄틸레버 교량의 스패ん길이를 표시하고 있다. 이 다이어그램에서 퀴백교가 이전에 시도된 어떤 교량보다도 2배 더 긴 주스패ん을 갖고 있었다. 심문법정은 “아무것도 작업의 규모와 중요한 데이터의 불충분에 대해 완전히 평가하는 일반적인 설계와는 상황이 달랐다”, 라는 주석을 보고서에 포함해야 됨을 발견하였다.

4. 타코마 협로 사장교 (Tacoma Narrows Suspension)

마지막으로 사례하나를 공기역학적 힘에 의한 타코마 협교의 붕괴이다. 이것은 풍하중이 세장 구조물에 영향을 미칠수 있는 방식에 대한 엔지니어들의 기존사고를 뒤집는 큰 사건이었다. 그러나 역사적 증거에 의하면 설계자들이 불길한 붕괴의 징조를 사전에 경고할 수 있었다는 것을 분명히 보여주고 있다.

L.S. Moisseiff가 주관하여 1938년에 교량을 설계했고, 1940년 7월1일까지 개통식 준비가 되었다. 도폭 12m(39피트) 주 스패ん은 840m(2800피트) 횡단거리였고, 대칭면 스패ん 330m (1100피트)이었는데, 당시 세계에서 세번째로 가장 긴사장교 이었다. 오래전부터 바람에 의한 텍크의 진동은 “뽀뽀기하는 여자”로 별명이 붙여졌다. 여름에는 관광거리가 되었다. 이들 모션이

처음 관찰된 것은 시공중이었고 반복 정지를 계속하였는데 이것은 1940. 11. 7 붕괴시까지 계속되었다.

초기에 파동모션은 수직면에 위험한 진동으로 국한되었으나 마지막 날에는 사장케이블에 텍크를 연결한 중간스팬연결부를 파괴시킬 정도로 큰 증폭을 일으켰다. 감쇄장치가 파괴되면서, 비틀림 진동이 전개되었고 일정한 풍속 42.7km/h (67.2km/h)로 운동 증폭이 증가되었을 때 수직 행거가 파괴되기 시작했다. 주 사장구조가 점증적으로 파괴되었고 탑과 측면 스패는 심각하게 파다 응력을 받았다.

도로구조물의 경량성은 교량해석이론인 Melan 원리 사용으로 확보되었다. 19세기 말엽에 개발되고 1920년대, 1930년대에 사장교에 적용된 것으로 이것은 텍크스티프너보를 비례 배치 하였는데, 최초의 합리적인 프로세스이었다. 이보다 앞선 해에는 교량텍크 크기가 실험적으로 결정됐고 이 보다 뒤에는 Rankine 약산법을 사용했다. 멜란(Melan)이론의 원리는 타코마와 같은 교량들을 설계할 수 있었는데, 아주 경량 텍크 보로 설계하고 경량도로 하중을 전달할 계획이었다. 이 이론을 이용하여 20세기 엔지니어들은 계속 증가되는 주 스패길이의 교량을 축조할 수 있었다(그림 6). 이러한 경향이외에도 20세기에는 좀 더 세장(細長)인 보를 추구하는 운동이 일어났는데, 이는 미적이고 경제적인 교량의 매력을 향상시켰기 때문에 고무될 수 있었다. 그림7은 인자 D/L (=보깊이/스패길이)로 표현되는 세장비는 1920년부터 점점 감소되었고 파다이동 때문에 많은 교량들이 문제가 되었을 때 잠시 중단되는 듯 하였다. 금문교의 미소풍 유도 진동에서부터 다도교 (Thousand Islands Bridge)의 잠재진동까지 다양하게 새로운 거동 형식에 따른 경고들이 있었다. 이것을 모르고서 Moisseiff는 한 단계 높여서 실체를 실행하였다.

경제적 관점에서만 어느정도 평가될 수 있는 타코마교에 관하여 살펴보면 통상적인 트러스 보다는 판보를 사용했고 재료를 절감할 수 있는 즉 돈을 절약할 수 있는 기하학적 고찰을 하기 시작하였다. 외삽법(extrapolation)을 이용한 설계도입으로 좀 더 큰 대형교량의 붕괴에 대비할 수 있게 되었다.

그림 6은 1810~1870년 사이의 바람하중에 대한 여러가지 교량파괴가 있었음을 보여주고 있다. 이들 사이에 브라이튼 체인피어 (Brighton Chain Pier)의 붕괴에 대한 보고에 의하면 수직진동이 바람으로 인하여 생겼고 비틀림 모우-

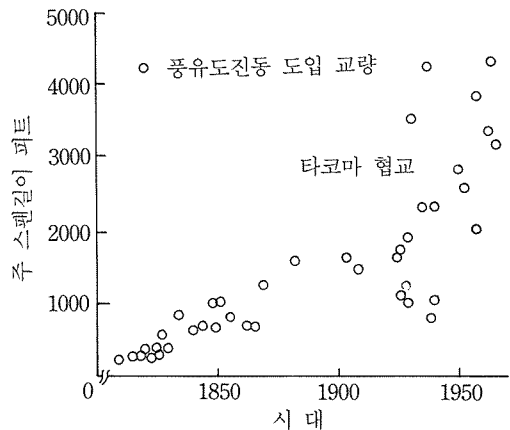


그림 6. 주 사장교에서 주 스패길이의 시대에 따른 관계

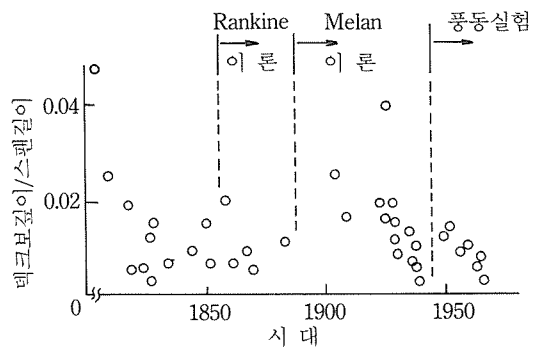


그림 7. 주 사장교에서 텍크보 세장비 인자의 시대에 따른 변화

드가 유도되어 결국 구조물 파괴에 이르렀다고 한다.

흥미있는 것은 이들 교량 모두가 $d/L < 0.006$ 이라는 것이고 공기역학적 안정을 위해 이 변수의 중요성에 대한 몇가지 지침이 있었다.

그림 6과 그림 7에서 제시된 정보로서 타코마 교가 19세기 말엽의 과도한 강(剛) 구조물들과는 흐름을 달리하는 사장교 설계들의 무의식적 진전이 극치를 이루었다. 2개 시기의 구조적 결함이 너무 유사하여 동역학문제 연구를 필요로 한다는 것을 충분히 깨닫게 되었다. 아무도 현재 또는 장래의 역사를 직접적으로 예측할 수는 없지만, 이 연구로부터 좀더 진전된 전망이 가능했고, 새로운 문제에 직면하거나 급박한 상황에 즉각적 조치과정을 제할 수 있게 되었다.

토 의 (Discussion)

1. 장래 재발을 예방키 위한 방법들의 제안과 과거 구조물 사고들의 연구는 다양하게 진행되었는데, 가장 앞선 연구는 Alferd Pugsley 인데, 제안된 설계에 “잠재붕괴”를 판단하는 기준을 제시하였다. 사례 역사들에 대한 연구의 대안형을 제공해주는데 이전의 사고에 이르는 상황과 현재의 방식을 비교하여 현재의 구조개발의 시스템에서 있을지 모를 결점에 대한 통찰력을 얻는 시도가 바로 이것이다. 이 연구는 특히 그 방법을 기타 유형의 구조물에 확장 적용하면 기개발된 수학적 예측 모델의 사례적용 시험을 할 수도 있다.

2. 상기에 서술된 사고들에 이르는 환경에는 수많은 특징들이 있다. 각 경우에 구조형태의 초기예에서 어떤 인자가 안정성이나 강도에 관하여 2차적 중요성을 갖는 상황이었음을 알 수 있다. 그러나 규모가 커짐에 따라 이 인자는 첫 번째 중요성이 되고 결국 붕괴에 이른다. 엔지

니어가 용인된 설계 접근 방법으로 진단한 바와 같이 충분한 강도를 확보해 주지 않아서가 아니라, 사고는, 새로운 유형의 거동의 분별 없는 도입때문에 발생하였다. 개발시간이 경과 됨에 따라, 설계법의 기초들이 잊혀지고 유효성의 한계들도 잊혀진다. 성공하는 것을 알게 되면 설계자들이 자만하여 한번에 너무 자주, 단순히 설계법을 확장해 나가기 일쑤이다.

3. 그러므로 이들 사례 역사들을 통해 설계 방법의 기본들은 자주 검토를 할 필요가 있음을 알 수 있다. 필자는 이것이 현대 실재에도 그대로 적용될 수 있다고 본다. 이것으로 적합한 정보는 기본 판단에 관하여 수집되어야 함을 의미한다. 여기서 요약된 자료들의 유형은 우수 설계자들에 의하여 이용될 수 있는데 이들은 아마도 교량의 크기를 상이하게 정하고 붕괴를 피했던 엔지니어들이다. 가장 가치있는 정보는 구조인자들에 의해 생긴 경향에 통찰력을 주는 것이고 역사적으로 알 수 있듯이 국내는 물론 국외의 실제 사용을 포함해야 한다. 구조물의 각 부류에 대한 검토절차를 만족시키기 위하여 일단의 경험있는 엔지니어 그룹들이 좀더 규칙적으로 주의를 할 필요가 있다.

4. 한 설계사무소와 다른 사무소간에 존재하는 영업상의 비밀 때문에 이러한 정보를 수집하는 방법에는 물론 많은 어려움이 산재하고 있다. 그러나 사고가 대체로 전문적 이미지에 관계되는 손상의 관점에서 아마도 익명의 형태로 정보를 발표해서 이러한 어려움을 극복하는 방법을 찾는 것이 바람직 할지도 모른다. 이러한 익명처리가 좀 더 폭넓게 경향의 출판을 허용하는 계기가 된다. 그러므로 연구자들은 현존실재에 응용할 자기들의 작업의 적절성을 평가하곤 한다. 이들은 또한 특별구조형태의 개발 적용과 새로운 거동 모우드의 가능한 도입을 제안할 수 있다.

5. 또 하나의 문제는 그러한 검토위원회의 인원

배치가 된다. 이상적인 배치는 원래 작용되고 있거나, 잘못 작용되는 방법의 몇가지 관찰기록을 유지하기 위하여 설계실제를 공식화하는 조직에 대한 것이어야 한다. 따라서 설계 시방서에서 다양한 규정조항들의 유효성에 관한 한계를 실제 적용상 초과하지 않도록 할 수 있는 것이다. 오늘날 조차도 실제 적용 기술규준들에서 권장 사항들에 관한 이론 및 실험적 제한에 관하여 곧바로 적용할 수 있는 정보는 거의 없다. 많은 계산을 컴퓨터로 시행하게 되어 기존의 실제들을 생각없이 이용하는 경향이 증가되고 있다.

6. 상기에 서술된 모든 사고들은 설계자들에 대한 경고로서 사용될 정도로 적절히 해석된 비교적 소규모 사고들로 구성되었다. 현재는 구조사고 통계를 수집처리하는 기관이 하나도 없다. 사고데이터에 대한 분명한 기관으로서 설계량을 갖고 이 정보들이 폭넓게 전달되어 익명의 형태로 도입될 수 있도록 하는 것은 검토기관의 우선적인 임무가 되겠다.

7. 축조된 전체구조물과 비교하여 사고들의 수를 고려할 때 토목공학분야는 아주 성공적인 것으로 결론 지을 수 있다. 그러나 대형 엔지니어링 착수의 복잡한 특성 때문에 설계자들은 그의 제안된 구조물에 관한 모든 사실들을 보유하고 있을 수는 없다. 부족한 정보에 대해 결정 사용하기 위하여 개인의 판단 및 직관을 사용

하고 자기 설계를 계속해 나가는 것은 엔지니어링의 매력인 흥미들 중의 하나이다.

이 논문에서 제안하는 것은 이러한 자유를 막거나 실제진전을 방해하려는 것이 아니다. 즉, 반대로 검토 절차의 목표는 좀 더 큰 규모의 아니면 경제적인 형태의 구조물에 설계접근 적용이 훨씬 더 합리적인 방법으로 수용되고 과거에 때때로 발생한 무절제한 방식으로 되지 않도록 하자는 것이다.

8. 필자가 심각한 관찰로서 보다는 토의점으로서 더 강조하고자 하는 마지막 요령은 본 연구에서 사고의 시간 맞추기이다. 즉 디이 (Dee) 교 1847, 테이(Tay)교 1879, 퀴백(Quebee)교 1907, 타코마 (Tacoma)교 1940 등 약 30년 간격이다. 설계 무능으로 이러한 결과가 생긴다고 보지는 않지만 그럼에도 불구하고 박막벽 철골보에 대한 설계방법의 기본적인 개정이 시작되었다. 사고는 또한 박판 철골 구조물의 좌굴거동에 상당한 량의 연구를 자극해왔다. 기하학적 불완전성과 국부적인 잔류 용접응력 그리고 전반적인 좌굴의 영향에 관련하는 이전의 이해부족을 알 수 있다. 이 인자들은 애초 초기 박스보에는 2차적인 중요성만 있었는데 이 보는 좀 더 두꺼운 커버 플레이트(Cover Plate)와 좀 더 근접한 스티프너(Stiffener)로 보강되었다. ㉞

