

## 리젠트街의 高架水槽 붕괴의 調查報告

— 캐나다 뉴우 브런즈 워주의 프레드릭턴시의 수조사고 —  
(Investigation of the Regent Street Water Tower Collapse)

李 鶴 榮\*  
Lee, Hak Young

여기에 紹介하는 리젠트街의 高架水槽 붕괴 사고는 1990年 12月 19日 캐나다의 뉴우브런즈 워주의 프레드릭턴市 리젠트街에서 발생하여, 事故의 調查報告가 미국의 수도협회 (American Water Works Association)에서 發刊하는 Journal紙의 93년 5월호에 발표된바 있습니다.

高架水槽의 붕괴에서 빚어진 事後의 조사보고가 合理的이고 理性的으로 접근된것 같아서 독자에게 참고로 주요부분을 번역하여 소개합니다.

調查報告 책임자인 John L. Dawe외에 C.K. Seah 및 A.K. Abdel-Zaher氏가 보조하였음.

• Dawe氏는 캐나다 뉴우 브런즈워대학의 土木工學科 교수로 재직중이며, 88년 이래 대학내의 研究所 자문역, 기술분쟁 해결을 위한 법정자문역을 맡고 있으며, 83年度엔 캐나다 토목기술협회에서 수여하는 최우수 논문발표자에게 수여하는 Gzowski금상을 획득함. 기타 다수의 논문을 발표하여 수상하였으며, 기술사이며 기술협회 회원임.

• C.K. Seah氏는 뉴우 브런즈워대학의 대서양 석재기술연구소의 책임기술자로 재직중임.

• A.K. Abdel-Zaher氏는 뉴우 브런즈워대학에서 土木工學박사학위를 취득한 이후 本學科에 연구원으로 재직중임. 90년도 최고 논문수상자에게 수여하는 국제메리트(Merit)賞을 수상한 바 있음.

### 1. 개 요

캐나다의 프레드릭턴市의 리젠트(Regent)街에 새로 건설된 고가수조가 1990년 12월 19일 완전히 붕괴되었다.

이 붕괴 사고는 정상적으로 진행되던 최종담수과정에서 발생하였으며 붕괴된 잔해로부터 여러가지 샘플들이 채취되어 테스트가 실시되었다.

또한 이 파국적인 붕괴사고의 원인규명을 위하여 가능한 모든 설계, 시공 관련자료들에 대한 검증이 이루어졌다.

특히 철판으로 제작된 고가수조의 구조설계가 북미와 유럽에서 사용중인 6가지의 구조설계기준에 의거하여 다시 시도되었으며, 복합적인 응력(Stress)과 座屈(buckling) 현상을 규명하기 위하여 컴퓨터를 이용한 수치해석이 이루어 졌다.

모든 조사결과 붕괴사고의 주된 원인은 고가수조의 하부쪽 철판두께가 부족했던 것으로 드러났으며, 그외에 영향을 미친 원인들이 논의 되었으나 그 범위가 난해하고 정량화 할 수 없는 문제점이 있었다.

### 2. 조사과정

#### 1) 사고경위

문제의 고가수조는 콘크리트 받침대위에 철

\* 建築施工技術士, (株)泰榮 技術開發本部, 理事

판으로 제작된 수조가 올려져 있는 복합구조로 되어 있으며 용량은 1,950M<sup>3</sup>이다.(그림1. 참조)

1990년 12월 19일 오후 2시 30분경 정상적인 최초 담수과정에서 이 고가수조는 완전히 붕괴되었다.

최초 담수를 위한 준비는 그 전날인 12월 18일 시청직원들에 의해 이루어 졌으며 당일 오전 10시부터 담수는 일정하게 다소 느린 속도로 진행되어 다음날(12월 19일) 오후 1시경에는 월류수위(Overflow level)보다 0.3m 아래까지 이르렀다. 이때부터 담수속도를 늦추어 물이 월류(Overflow)되도록 할 계획이었다.

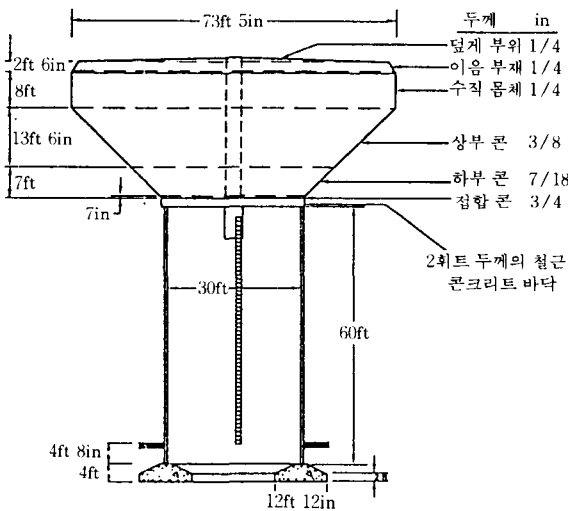


그림 1. 고가수조의 각부 제원

오후 1시 30분이 가까와졌을 때 수위는 월류수위 아래 0.2m에 이르렀으며 시청직원은 갑자기 금속성의 반향음이 들렸다고 보고했다.

이어서 철제고가수조의 북서쪽 하부표면에 S자형의 커다란 좌굴현상이 발견되었으며 그로부터 1시간후인 오후 2시 30분, 파괴적인 완전붕괴가 발생했다.

## 2) 조사방향

조사는 다음과 같은 과정에 입각하여 폭넓게 진행되었다.

### (1) 자재의 결함 또는 단면부족

콘크리트, 철근, 와이어매쉬, 철판등의 샘플을 채취하여 테스트를 시행하였다.

### (2) 설계오류

모든 설계관련자료들에 대한 검증을 실시하였으며, 철판으로 구축된 고가수조의 구조설계가 6가지의 각각 다른 구조설계 기준에 의해 재작성되었다. 응력해석 및 좌굴성능을 파악하기 위하여 컴퓨터를 이용한 수치 해석이 시도되었다.

### (3) 시공상의 문제점

시공중에 촬영한 사진과 서류들에 대한 검증을 실시하였으며 시공에 참여한 사람들의 소견을 청취하였다.

### (4) 비정상적인 자연력(풍압, 지진, 적설하중)에 대한 검토.

붕괴당시의 기상조건을 지방기상국으로 부터 입수하여 검토하였다.

## 3. 조사내용

### 1) 시공기록 檢證

수조 기초의 토목공사는 90년 5월 11일 정지되었으며 기초바닥은 5월 16일 완성되었다. 그림 1)에서보는 바와 같이 원형기초의 높이는 원형타워의 직하부에서 4회트이고 가장자리두께는 2회트이다. 목격자에 의하면 바닥표면의 아래 60cm근처에 수평크랙이 보였다고 진술하였다. 그러나 그것은 바닥과 원형 지주의 접합에서 야기되는 정상적인 바닥 양생 과정의 균열로 보여진다.

### (1) 콘크리트 타설

하부기초부터 상부 바닥판 까지의 콘크리트

타설은 1990년 5월 16일부터 시작하여 같은해 6월 21일까지 사이에 이루어졌다.

높이 18m 콘크리트타워는 2~4m 간격으로 타설하는 Jump Form 공법으로 이루어졌으며 상부 Slab의 두께는 60cm이다.

### (2) 고가수조의 제작

바닥과 덮개부위를 제외한 몸체수조는 지상에서 제작 완성되었다.

정상부위의 아래로부터 철판의 이음부재는 6mm(1/4"), 수직목재는 역시 6mm(1/4") 상부콘은 10mm(3/8"), 하부콘은 11mm(7/16")로 구성되었다.

지상에서 거의 완성된 수조는 전동기, 잭, 진동동이 사용되어 인양 설치되었다.

수조와 콘크리트 바닥 사이의 접합은 콘크리트 바닥에 事前に 설치해둔 링(Ring)모양의 철판 19mm(3/4")에 수조의 하부를 용접하므로써 완성되었다.

수조의 덮개 뚜껑이 설치되기 전까지 외벽에 어떤 변형이나 주름은 발견되지 않았다.(사진1 참조)

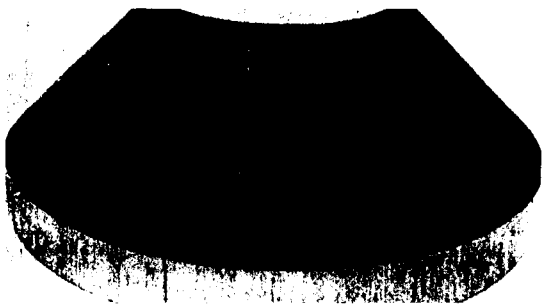


사진 1. 철판수조의 외관



사진 2. 초생달 모양의 틈이 생긴 수조상부

### (3) 덮개 뚜껑의 설치

6mm(1/4")철판으로된 뚜껑은 부채꼴 모

양의 몇개 조각으로 제작되어 인양된 다음 수조 상부에서 용접으로 접합되었다.

뚜껑이 모두 組立 되었을때 뚜껑은 수조상부의 개구부와 잘 맞지 않아 초생달모양의 틈이 벌어 졌고, 따라서 즉각적인 용접이 불가능 했다.(사진 2참조)

이 틈은 길이가 약 8.5m(28")이고, 가운데 부분에서 최대 10cm(4")의 틈이 있어, 이틈을 맞대어 용접하기 위하여 뚜껑과 수조의 상부에 원치와 잭을 이용하여 상당한 힘을 가한 것이 밝혀 졌고 뚜껑이 설치된 후에 수조의 상부에 변형이 생긴 것이 확인 되었다.

### 2) 용접, 콘크리트 공사의 감독일지

용접부위에 대한 X-ray 조사보고 결과 모든 용접부위는 결점이 없는 것으로 밝혀졌다.

시공과정에 기초, 타워, 상부스라브의 콘크리트 타설까지의 品質試驗은 필하여 졌으며, 시험종목은 슬럼프 테스트, 공기량 測定, 압축강도시험 등이 있다.

콘크리트 시험 報告書를 검토한 결과 示方書에 적합했다.

### 3) 사후 샘플조사

붕괴된 잔해에서 채취한 코어샘플(Core Sample)에 의한 시험결과 비중은 AWWA (American Water Works Association의 약어)기준 보다 약간 작은 것으로 나타났으나(기준의 95%), 이 정도의 차이는 중요하지 않으므로 고려 대상에서 제외 시켰다.

압축강도 시험 결과는 평균 393.6kg/cm<sup>2</sup>로서 기준강도 306kg/cm<sup>2</sup>를 상회 하는 것으로 나타났다.

수조의 재료인 철판에 대한 샘플은 각 두께 별로 채취되어 ASTM A370-89(Amer, Soc. for Testing and Materials Annual Book, 1989)에 의해 시험 되었다.

시험결과 水槽상부의 10mm 철판과 6mm철판 부분은 다른 부분보다 연성이 작고 취성이 큰 것으로 드러났다.

철근에 대한 강도시험 결과는  $4,714\text{kg}/\text{cm}^2$ 로서 기준에 부합했다. 사용된 와이어 메쉬도 충분한 강도를 갖고 있는 것으로 判明되었다.

#### 4) 構造設計의 검토

##### (1) 수조의 응력검토

수조의 여러부분에 대한 응력을 계산하여 AWWA D100-84 기준과 비교하였다.

계산한 바로는 붕괴당시의 수조상부 10mm ( $3/8''$ )의 압축응력은 상기기준에 의한 허용치의 2.8배, 수조하부 11mm ( $7/16''$ )의 최대 압축응력은 3.2배에 달했던 것으로 나타났다.

##### (2) 콘크리트 타워의 하중검토

콘크리트 타워에 대한 지진 및 풍하중의 검토결과 콘크리트 타워의 콘크리트 강도설계는 AWWA기준에 적합한 것으로 나타났다.

철근량은 CAN3-A23.3-85에 따르면(캐나다 시멘트 협회기준)최소철근량 기준에 약간 미달했다.

##### (3) 타워기초에 대한 구조내력검토

콘크리트 타워의 기초에 대한 地盤耐力, 휨모멘트, 剪斷耐力에 대한 검토결과 모두 안전측에 드는 것으로 판명 되었다. 기초의 모든 부분은 압축력만을 받는 것으로 나타났으며 따라서 타워의 전도는 문제가 없는 것으로 드러났다.

##### (4) 상부원형 SLAB에 대한 해석

상부 원형 SLAB는 외곽원주를 따라 단순지지된 원형판으로 해석되었으며, 상부에 물의 무게에 의한 등분포하중을 받는 것으로 계산되었다. 철근 배근은 직각 방향으로 되어 있었으며, 이러한 배근 방법이 방사상의 모멘트에 效果的으로 대응할 수 있을 것인가는 문제점으로 지적 되었다.

#### 5) 응력분포 결정을 위한 수치모델기법

##### A. 과대응력의 검토

붕괴시의 응력분포를 판단하기 위하여 컴퓨터 해석이 이루어 졌으며, 水槽, 진입통로, 상부원형 슬라브 그리고 덮개 뚜껑이 대상으로 포함됐다.

Young계수와 poisson비가 測定되었고, 수조와 상부 콘크리트 바닥의 연결은 강철로 해석되었다. 각부재에 대한 有限要素解析(Finite Element Method)이 행해졌다.

응력해석결과 수조, 진입통로, 뚜껑에는 비정상적인 과대응력이 작용하지 않는 것으로 나타났다.

##### B. 주요부분의 좌굴(Buckling)해석

수조의 주요단면 부분의 理論的 좌굴내력을 산출하기 위하여, 수조가 기하학적으로 완벽한 형태를 갖었을 때의 모델에 대한 해석이 행해졌다.

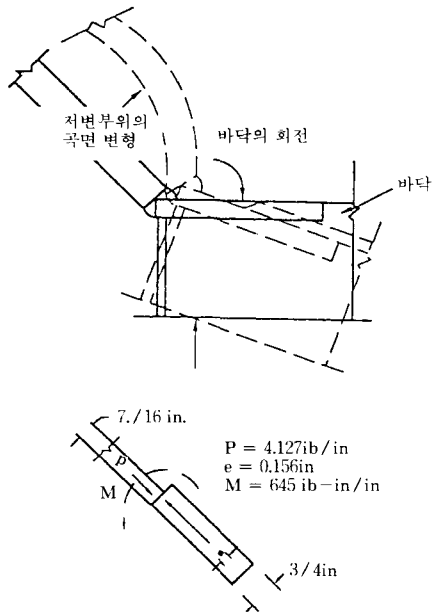
결과는 안전측에 드는 것으로 나타났으나(안전율 : 4.33), 이것은 수조의 모양이 기하학적으로 완벽한 원추형인 경우에 해당되는 것에 주의할 필요가 있다.

실제 構造物의 안정성 판단을 위해서는 형태의 불완전함과 잔류응력(Residual Stress)에 대한 考慮가 필수적으로 포함되어야 한다.

기하학적인 형태의 불완전함이 미치는 영향을 검토하기 위하여 유한요소법이 사용되었다. 해석결과 최초형태의 불완전함의 정도가 심해짐에 따라, 부재의 좌굴 내력은 급격히 저하되며, 완전한 형태에 비하여 최대 30%까지 저하될 수 있음이 밝혀졌다.

그외에 수조하부의 철판이 안쪽으로 휘는 경우가 바깥쪽으로 휘는 경우보다 더욱 치명적인 것도 밝혀졌다.

문제의 수조에서는 그림 2)에서 보는 바와 같이 하부 바닥슬라브의 회전과 이형철판(11mm철판과 19mm철판)의 접합에 따른 편심에 의한 모멘트가 수조의 철판에 치명적인 안쪽휨을 유발 하였고 결과적으로 좌굴내력의 급격한 저하를 가져왔음을 알 수 있었다.



3/4인치와 7/16인치 철판의 접합부에서의 편심하중

그림 2. 바닥의 변형과 편심력을 받는 판재.

### C. 잔류응력(Residual Stress)의 영향검토

전항의 解析에서는 잔류응력은 배제되어 있었다. 최초형태의 불완전함과 잔류응력을 모두 고려하기 위하여는 E.K.F.(Elastic Knock-down Factor)방법이 많이 사용되고 있다.

이 방법에 의해 문제의 수조에 대한 좌굴내력 안전율을 계산해 보면 0.22가 되며 이것을 이상적인 형태일 경우의 안전율 4.33에 적용시켜보면  $4.33 \times 0.22 = 0.95$ 로서 안전율이 1보다 작게 됨을 알 수 있다.

### D. 붕괴 메카니즘

좌굴이 시작된 수조에 대한 응력해석에 의해 수조의 바닥에서 약 0.6m 상부 둘레에 높은 응력집중이 띠형상으로 나타나는 것을 알 수 있었다.

이 응력집중은 부재의 항복(降伏)에 이를 정도로 높은 것이었으며, 이러한 응력집중에 의해 수조의 하부 두곳(응력집중지점과 수조와 바닥의 접합지점)에 소성절점(plastic hinge)

이 그림 3)과 같이 생기는 경우에 붕괴의 메카니즘이 성립될 수 있다는 결론에 도달했다.

이러한 붕괴형태는 서서히 진행적으로 일어날 것으로 예측 되었으며 그것은 실제의 경우와 잘 부합 되었다.

수조의 뚜껑을 강제로 맞추어 용접함으로써 발생한 응력이 좌굴내력에 미친 영향은 10%정도로 분석 되었다.

그러나 뚜껑을 맞추는 과정에서 수조자체에 발생한 초기 변형이 좌굴내력에 더욱 심각한 영향을 미친 것을 알 수 있었다.

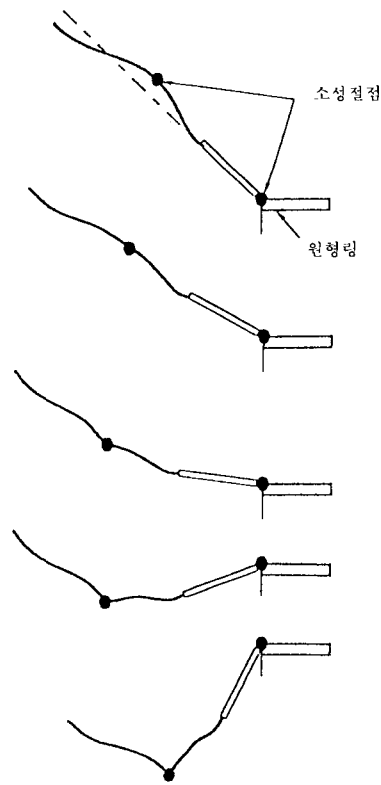


그림 3. 붕괴 과정의 메카니즘

### E. 수치해석 모델技法의 정리

수치해석 모델기법의 적용결과는 다음과 같은 結論들을 얻을 수 있었다.

①水槽下部의 철판 두께가 좌굴에 견딜만큼 두껍지 못했다.

②수조제작시 형태의 불완전함(완벽한 기하학적 형태로부터의 편차)에 의해 수조벽체 철판의 좌굴내력이 심각할 정도로 저하되었다.

③수조제작시의 변형편차는 담수과정에서의 하중에 의해 감당할 수 없을만큼 크게 증폭되었으며, 그 원인 중에는 수조하부 콘크리트 스타브의 회전과 이형철판의 용접에 의한 편심모멘트가 중요한 요소들이 밝혀졌다.

④수조상부의 덮개뚜껑을 강제로 맞추어 용접하는 과정에서 수조자체에 잔류응력이 생겼으며, 이것은 수조하부의 좌굴에 심각한 영향을 미쳤다.

⑤탄성좌굴(Elastic buckling)에 이어 소성절점(plastic hinge)이 발생했고, 결과적으로 서서히 붕괴가 진행되었다.

6) 다른 構造基準에 의한 설계의 검토  
수조의 부재인 철판두께를 검토하기 위하여

6가지의 다른 구조설계 기준이 채택 되었다.

안전률 2를 적용하여 수조하부의 철판 두께를 계산한 결과 가장 보수적인 기준에 의한 것이 27mm(1/16<sup>in</sup>), 좀 낮은 안전치의 값이 18mm(11/16<sup>in</sup>) 였으나 실제로는 11mm(7/16<sup>in</sup>)가 설계에 反映되었다.

실제 수조하부의 철판 두께가 11mm인 점을 감안하면 안전률이 1보다 작은 것으로 드러났으며 붕괴의 可能性은 이미 存在하고 있었음을 알 수 있었다.

#### 7) 사진에 의한 調査

붕괴의 메카니즘(Mechanism)을 규명하는데 가장 도움을 받은 것 중에 하나가 사진에 의한 것이었다. 사고직후에 광범위한 공중촬영과 지상촬영이 행하여 졌고, 그 사진들에 대한 조사가 현장조사와 함께 시행되었다. 본 조사의 결과는 다음과 같이 밝혀 졌다.

①콘크리트 타워잔해의 대부분이 상부수조의 잔해위에 널려 있었다.



사진 3. 리켄트街의 수조 붕괴 사진

(목격자의 진술에 의하면 좌굴현상이후 최종붕괴까지 약 1시간동안 사고가 진행되었다고 함.)

②상부원형 콘크리트 슬라브(수조의 밑받침)는 거의 파손되지 않은 채로 다른 모든 잔해들의 위에 놓여 있었다.

③수조의 뚜껑은 진입통로가 휘어진 방향으로 멀리 날아가 있었다.

④수조는 同心圓방향으로 거의 같은 간격으로 흩어져 떨어져 있었다.(사진 3참조)

⑤수조는 垂直下方으로 붕괴되었으며 전도의 징후는 없었다.

⑥상부의 원형콘크리트 바닥(철재 수조의 밑받침)에 고정되어 있었던 링(Ring) 모양의 鐵板은 용접부위가 아닌 母材부분에서 그림4와 같이 파단 되었다.

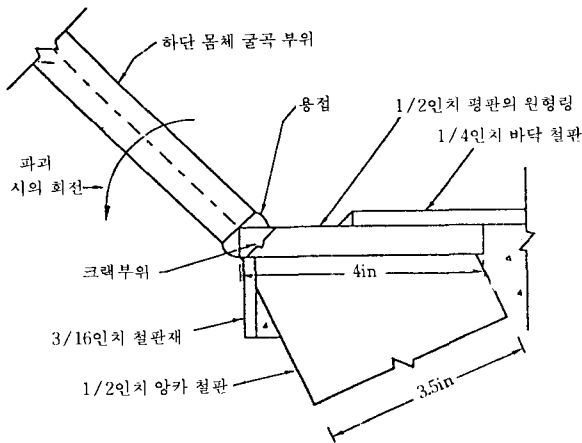


그림 4. 원추형 수조를 접합하기 위한 원형링의 접합상세

⑦수조의 철판들은 모재부분에서 파단(破斷)되었으며, 이것은 용접이 매우 양호했음을 알 수 있었다.

⑧수조의 뚜껑은 둘레의 봉합용접 부위가 떨어져 수조로부터 완전히 분리되었다. 뚜껑은 완전히 떨어지기 전에 진입통로를 꺾어지게 하였다.(진입통로는 수조의 중심부에 위치하여 뚜껑을 받치고 있었다).

뚜껑과 수조의 상부사이에 있던 보강판

(Gusset plate)들은 온전한 채로 뚜껑에 붙어 있었다.

⑨콘크리트 타워의 잔해의 대부분은 수조의 잔해위에 떨어져 있었다.

콘크리트 타워의 외벽잔해의 수직리브(Vertical outer rib)위에는 푸른색의 굵은 흔적이 있었으며, 이것은 외부가 푸른색 페인트로 칠해져 있던 수조의 하부철판이 붕괴과정에서 콘크리트 타워의 외부를 긁으며 미끄러져 내려왔음을 암시해주고 있었다.

⑩약간의 벌어짐을 제외하고는 수조 하부의 철판 링은 온전한채로 남아 있었다.

⑪隣近아파트건물에 피해가 있었으며, 주변 주차장에 있던 몇대의 차가 파손되었다.

#### A. 유추된 붕괴과정

붕괴된 잔해들을 조사해본 결과 콘크리트 타워의 잔해들이 철재수조의 잔해위에 놓여 있었으며 상부원형 슬라브는 모든 잔해의 위에 놓여 있었다.

以上으로부터 다음과 같이 유추할 수 있었다.

수조는 원형슬라브 받침과의 접합지점에서 파괴되어 원형슬라브가 수조내부로 펀칭(punching)되며 관입되었다.

이로 인해 발생한 상향압력은 수조의 뚜껑을 날아가게 했으며, 수조는 콘크리트 타워의 외벽을 타고 미끄러져 내리기 시작했다.

수조가 미끄러져 내리면서 수조 내부의 물의 압력이 콘크리트 타워의 外壁에 가해졌고, 또한 수조의 철판이 굽으면서 가한 타격효과에 의해 콘크리트 타워가 부서지기 시작했다.

수조는 거대한 물의 重量과 함께 수직으로 땅으로 떨어져 내렸으며, 땅에 부딪치는 순간 수조의 몸체가 파열 되면서 모든 붕괴는 끝이 났다.

수조의 뚜껑은 인근 아파트건물의 반대방향으로 날아갔으며, 만약 건물방향으로 날아갔으면 건물의 피해는 더욱 심각했을 것이다.

#### B. 그림으로 본 붕괴과정

그림7)은 붕괴의 시작을 圖示한 것이다. 과

대응력에 의한 좌굴이 수조의 하부에 나타난후 점차 확대되는 과정을 보여주고 있다.

이 과정에는 소성절점 현상이 동반되었으며 동시에 수조하부의 링모양의 철판의 항복이 일어났다.(그림 5)의 A-A단면)

좌굴이 확대됨에 따라 수조의 벽체에서 작용하던 상향축력이 사라졌으며 결과적으로 수조는 그림6)과 같이 풍선처럼 부풀기 시작했다.

수조가 처지면서 뚜껑에 압력이 가해지기 시

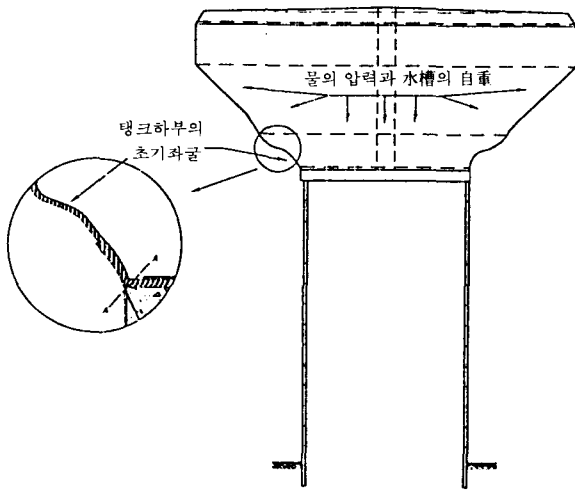


그림 5. 수조하부에서의 초기비틀림의 진행

탱크뚜껑이 수조로부터 분리됨

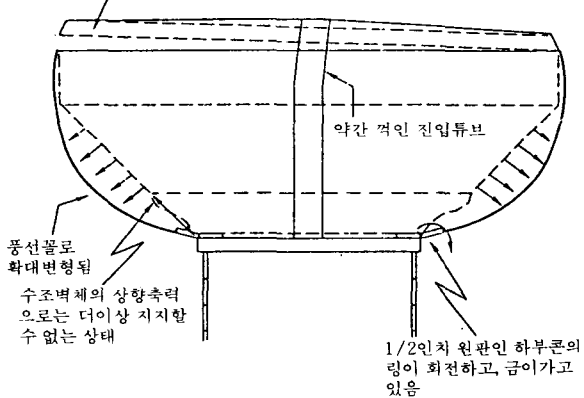


그림 6. 철판수조가 부풀고 있는 상태

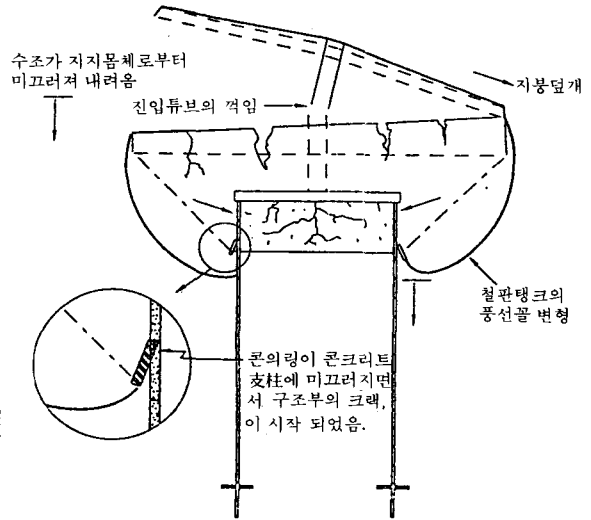


그림 7. 수조바닥에서 하부몸체의 완전분리

작했고, 뚜껑의 봉합용접 지점이 파단되기 시작했다. 이어서 수조의 중심부에서 뚜껑을 받치고 있던 진입통로가 구부러 졌다.

뚜껑은 아파트 건물 쪽에서 부터 벌어지기 시작하여 아파트의 반대방향으로 움직이기 시작했으며 수조하부의 원형스라브에 고정되어 수조하부의 철판과 용접으로 접합되어 있던 링모양의 철판에 하부 스텔라의 中央部の 처짐에 의해 회전이 발생했다.(그림 2)참조

이 회전에 의해 응력집중이 일어났고, 링모양의 철판은 용접부위 옆의 모재에서 파단되었으며, 수조는 콘크리트 타워의 벽면을 타고 미끄러져 내리기 시작했다.

水槽内部의 물의 압력과 수조下部의 철판이 굽으며 미끄러지는 충격에 의해 콘크리트 타워에 그림7)과 같이 금이 가기 시작했다.

수조하부의 철판 링은 완전히 뒤집어진 상태였다.

진입통로가 완전히 부러지면서 뚜껑은 완전히 分離되어 아파트의 반대방향으로 날아갔다.

수조는 아직도 물을 담은채로 콘크리트 타워를 타고 흘러내려 땅에 부딪치는 순간 파열 되었으며 그위로 부서진 콘크리트 타워의 잔해들이



쏟아져 내렸다.

상부 원형스라브(수조의 밀받침)는 부러진 진입통로와 함께 수직하방으로 내려 앉아 콘크리트 타워의 잔해위에 얹혀졌다. 완전히 붕괴된 후에도 잔해들은 고가수조가 있던 위치에 그대로 놓여 있었으며 이것은 수조가 제자리에서 직하방으로 붕괴되었으며, 전도가 아니라는 사실을 입증해 주는 것이다.

수조의 뚜껑은 약 30m정도 북동쪽으로 날아가 있었다.(사진 3. 참조)

처음 좌굴현상이 목격된 시점부터 최종 붕괴까지의 시간은 약 1시간 정도라는 것이 목격자들의 진술에 의해 밝혀졌다.

이것은 부재의 降伏과 破壞가 서서히 진행되면서 水槽壁體의 좌굴을 촉진 하였고, 좌굴의 확장에 의해 또다른 부분의 항복과 파괴가 일어나는 連鎖反應이 일어났음을 의미하며, 이런 반응의 기폭제 역할을 한것이 수조하부 철판의 좌굴 이었음을 알수 있었다.

#### 4. 결 론

금번 사고의 조사가 시작되었을때, 붕괴의

가능한 원인으로 자재의 결함, 설계의 誤謬, 시공상의 문제점, 그리고 비정상적인 자연력(풍압, 지진, 적설하중등) 등이 검토 되었으나, 지방기상국에 문의한 결과 붕괴사고 당시에 비정상적인 자연현상은 전혀 없었던 것으로 밝혀져, 자연력은 考慮대상에서 除外 되었다.

그 외에 가능한 원인들을 조사한 결과 수조하부철판의 좌굴이 결국 전체 붕괴의 원인이 되었으며 좌굴은 설계하중의 95%정도에서 발생하였음을 알 수 있었다.

최초 좌굴의 직접적인 원인은 수조하부 철판의 두께부족임이 判明되었다.

AWWA D100-84의 기준에 따를 경우, 수조하부 철판의 두께는 기존의 11mm(7/16<sup>吋</sup>) 대신 22mm(7/8<sup>吋</sup>)가 되어야 하며, 수조상부의 경우는 10mm(3/8<sup>吋</sup>)대신 18mm(11/16<sup>吋</sup>)가 되어야 했다.

그 외에 많은 요소들이 금번 붕괴사고에 영향을 미친것으로 밝혀졌으나 그 영향의 정도는 매우 복잡하고 定量化 할 수 없는 問題點으로 남겨질 수 밖에 없었다.