



## 콘크리트구조물 거푸집의 설계 및 사례

### 국내에서의 거푸집 붕괴 사례

### Collapse Cases of Formwork in Domestic Sites



김 용 준\*

#### 1. 쓰기 전에

콘크리트 공사에서의 붕괴는 여러가지 요인이 복합적으로 작용하는 것이 보편적으로 거푸집 붕괴만으로 사례를 언급하는 것은 필자의 역량으로는 충분한 분량을 기술하기가 힘들다. 그 시공 결과가 붕괴로 귀결된 사례가 더러 있기는 하나 이를 모아서 의미있는 분석 및 지침으로 삼기에는 건수가 다소 부족하고 제각각인 원인으로 인해 취지에 맞는 분명한 추론도 대단히 난해하다.

따라서 필자의 편의상 붕괴에 국한시키지 않고 보다 광범위하게 콘크리트 공사의 실패 사례를 다루기로 한다.

#### 2. 콘크리트 공사의 실패 원인

콘크리트는 아주 가까이 있는 것이기에 우리와 익숙해져, 단순히 굳어지면 되는 것으로 여기다 보면 각 담당자는 콘크리트 공사를 경시하는 경향이 많다.

특히 시공사는 경비 절약을 제일로 여겨 감독자나 설계자의 의견이 작업 진행에 방해만 되고 오히려 비용을 증가시키는 것으로만 생각하여 이것을 무시하다 보면 아주 큰 실패로 붕괴 된다거나 작은 실패로 균열이 발생하거나 외관상 결함이 발생하게 된다.

콘크리트 공사에 있어서 여러가지 실패 원인 중 거푸집과 관련된 사항을 열거하면 다음과 같다.

- 거푸집의 보강재(각목재 등) 경시
- 콘크리트 타설에 의한 내부 압력 과소 평가
- 거푸집의 구조와 가설 방법의 오류
- 긴결재(form tie, anchor bolt, 철선 등) 시공의 소홀
- 거푸집 자재의 불량
- 콘크리트 타설의 오류로 인한 편재 하중의 재하
- 거푸집의 조기 철거
- 거푸집 면의 요철이나 박리제 불량으로 외관 불량이나 골재 분리
- 거푸집 지보공의 불량
- 타설 이음매(시공 joint)의 처리 불량
- 기타

\* 삼성건설(주) 토목기술팀 팀장

### 3. 콘크리트 공사의 실패 형태

#### 3.1 균열

원인별 균열의 형태는 다음 그림과 같다.

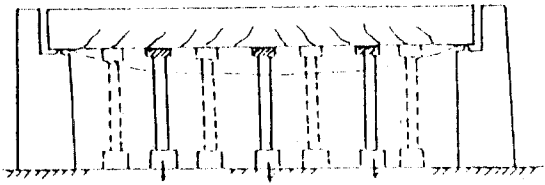


그림 1 지보공 불량으로 인한 균열

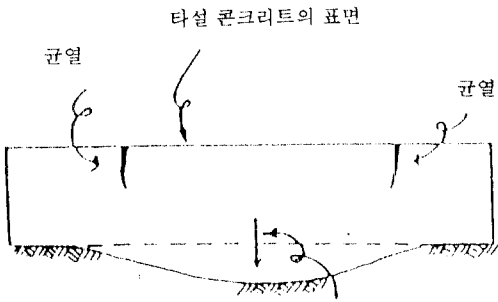


그림 2 지반 침하로 인한 균열

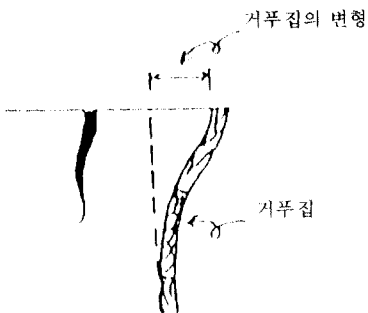
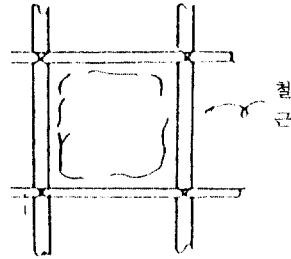


그림 3 거푸집 변형으로 인한 균열

슬래브 상면



슬래브 하면

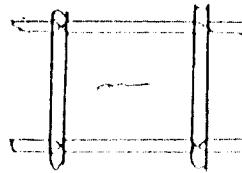


그림 4 철근 피복 부족으로 인한 균열

#### 3.2 붕괴

붕괴는 4.붕괴 사례에서 보다 자세히 기술하되 대략적인 양상은 다음 그림과 같다.

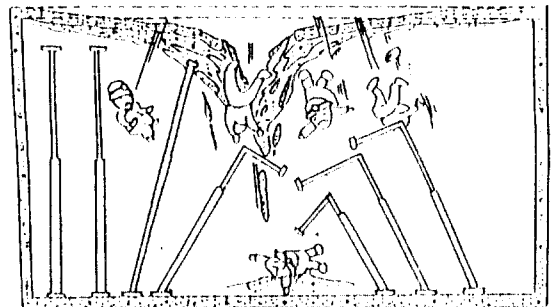


그림 5 BOX 구조물의 붕괴

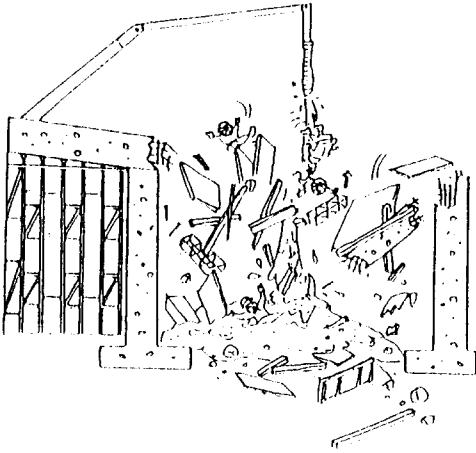


그림 6 교량 상판의 붕괴

## 4. 붕괴 사례

### 4.1 사례 1

교량 슬래브 콘크리트 타설중 슬래브 붕괴로 추락 사망

#### 4.1.1 재해개요

농업용수 개발공사 현장에서, 저수지 방수로 횡단 슬래브 콘크리트 타설중, 슬래브 상부에서 슬래브 타설 작업 중 붕괴됨.

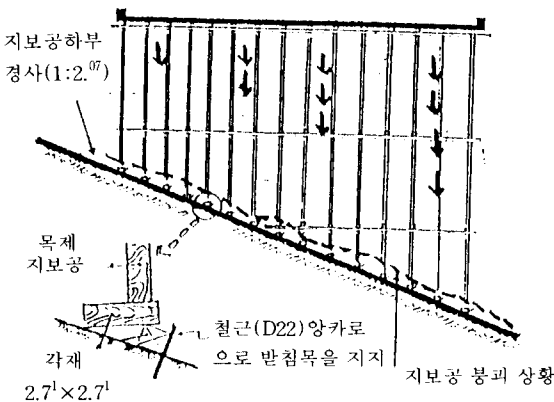


그림 7 사례1의 붕괴개요도

#### 4.1.2 재해상황

- 사고 당일 교량 좌우측에 콘크리트 믹서기 2대를 설치 콘크리트를 배합한 뒤 교량 슬래브에 해당하는 당일 예상 콘크리트타설 물량 중 67m<sup>3</sup>중, 오전에 약 40m<sup>3</sup>를 교량 좌, 우측단에서 중앙으로 타설한 뒤 오전 작업을 종료하고
- 점심 식사를 한 뒤 오후에 잔여분인 콘크리트 약 27m<sup>3</sup>를 오전과 동일한 방법으로 타설하던 중, 마무리 단계에서 기 타설된 콘크리트 중량을 이기지 못한 지보공의 붕괴가 작업자들이 서 있던 지점에선 급격히 진행되어 사고 발생

#### 4.1.3 재해원인

- 거푸집 지보공 설치 구조 불안전

- 슬래브의 높이가 4m-9m로서 목재(2.7×2.7×9자)로 교차 걸침목에 의한 3단 지보공을 설치하므로 수평력 및 좌굴에 대한 안전성 미흡
- 슬래브의 콘크리트 타설하중에 대한 지보공의 사전 안전성 검토없이 경험에 의하여 설치
- 목재를 지주로 사용할 경우 높이 2m 이내마다 수평 연결재를 2개 방향으로 설치하고 수평 연결재의 변위를 방지해야 하나 조치 미흡
- 갈목과 지주의 고정, 지주와 걸침목의 고정, 지주와 명에와의 고정, 걸침목 교차부간의 고정, 걸침목간의 연결 등 지보공 설치시 안전 조치 미흡

- 콘크리트 타설작업 안전조치 미흡

- 콘크리트 타설 작업시 거푸집 지보공에 대한 이상유무 점검 및 급박한 위험 발생시 작업중지 등의 조치를 취하고 근로자를 즉시 대피시켜야 하나 안전조치 미흡

### 4.2 사례 2

PC BOX 교량 강재 동바리 붕괴

#### 4.2.1 교량 현황

- 교량 지간 : 50m
- 교량 형식 : PC BOX

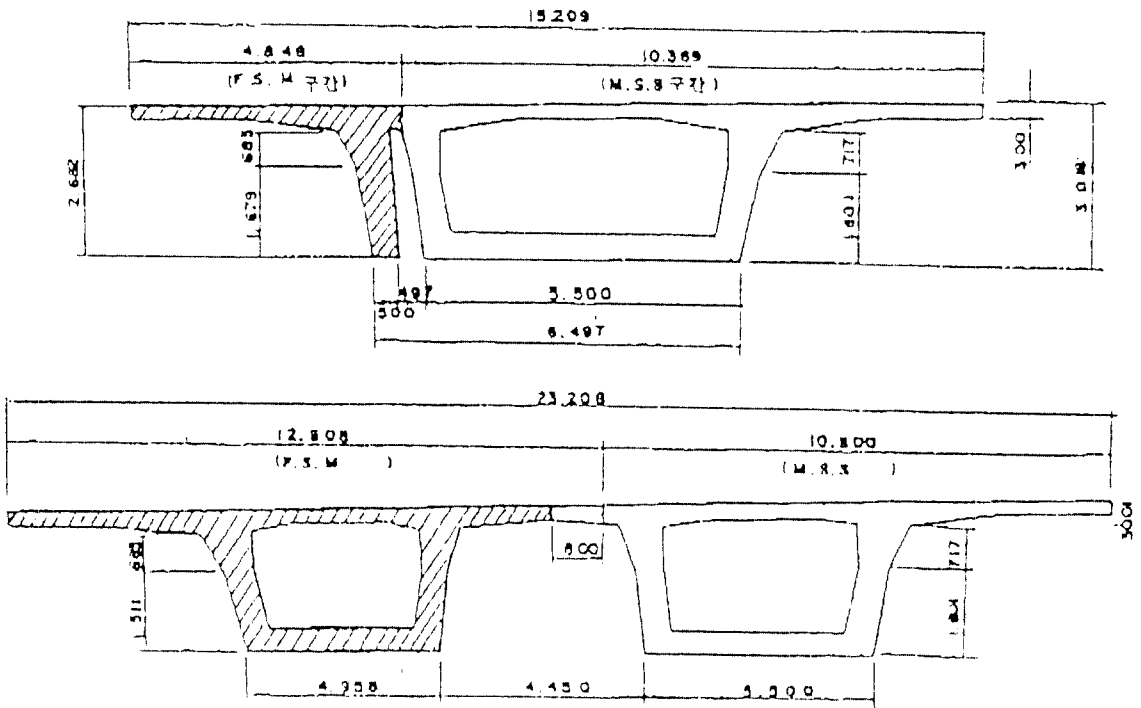


그림 8 교량상부 단면도(점선이 붕괴된 부분)

- 시공법 : MSS 공법으로 선 시공한 부분에  
접속하여 FULL-STAGING 공법사용

#### 4.2.2 강재 동바리 시공 현황

○사용 강재

H-Pile 및 H-Beam : H-254×254×8.6×14.2

H-301.7×307.2×12.3×12.3

Channel : [-381×101.6×10.4×16.3

Angle : L-130×130×12×12  
100×100×10×10

I-Beam : I-762×267×14.2×21.6

○시공단면

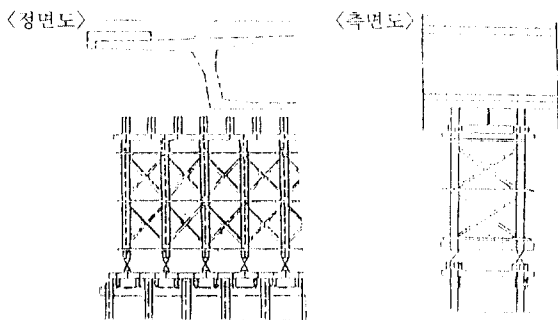


그림 9 강재동바리 개요도

○시공과정

- 크레인 및 바이프로 함마를 조합한 장비로서  
원 지반에 H-Pile 박기를 풍화암 1m 깊이까  
지 실시하여 선단지지.

- H-Pile을 기초로 하여 H-Beam, Channel,  
Angle 등을 Bolt 및 용접체결로서 조립하여  
가벤트를 완성하고

- 가벤트 상에 I-Beam을 설치하여 가설 지보공  
역할을 하도록 시공 하였으며,

- 거푸집 및 비계, 동바리를 설치하여 상부공을  
시공.

#### 4.2.3 붕괴 현황 및 원인

○붕괴 현황 : 높이 15m 상부 슬래브의 FSM  
구간 콘크리트 타설을 2/3 정도 진행 중 붕괴  
되어 사망 1명, 부상 2명의 인명피해 및 상당  
한 물적피해 발생

○사고 원인

- 사고 지점인 확폭부분은 비대칭 구조물로서  
슬래브 콘크리트 타설 중 무게중심이 쏠리면서  
받침 강재가 넘어지고 콘크리트가 무너졌  
음.

- 기푸집 및 동바리 구간에도 일부 하자가 있었음

### 4.3 사례 3

도로 구조물 box의 슬래브 콘크리트 타설 중 붕괴로 3명 사망, 2명 부상

#### 4.3.1 재해 개요

도로개수 현장에서 box 구조물(10m×8m, T=0.7m, L=16.5m)의 상부 슬래브 콘크리트 타설중 슬래브가 붕괴되어 콘크리트공 3명이 사망하고 2명이 부상한 재해임.

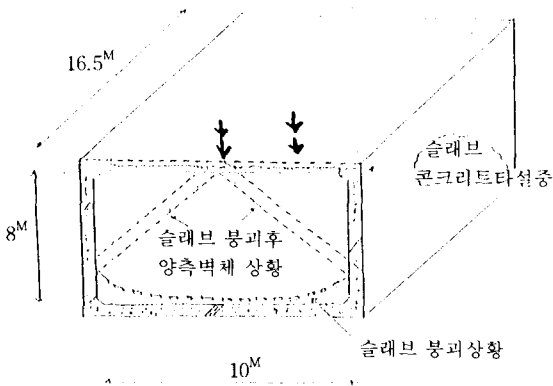


그림 10 슬래브 붕괴상황도

#### 4.3.2 재해 상황

- 사고 일주일 전부터 펌프카를 이용, 콘크리트 타설을 해왔으며 사고 전일에는 벽체 타설을 완료하고, 상부 슬래브의 전면을 1/2 두께(70cm중 35cm)정도 타설함.
- 사공당일 70m<sup>3</sup>를 타설하면 콘크리트 타설이 완료될 예정이었으며 약 30m<sup>3</sup> 정도를 타설중, 슬래브의 중앙부분이 무너져 내려, 작업중이던 5명중 4명이 휩쓸려 들어가고(3명 사망, 1명 부상) 1명은 box 바깥으로 뛰어내림.
- 슬래브는 완전히 함몰되었고 양쪽 벽체 하부가 안쪽으로 부러져 벽체 상부가 서로 맞대어진 삼각텐트 형상으로 붕괴됨.

#### 4.3.3 재해 원인

- 기푸집 지보공 구조 불안전
  - 높이 8m의 슬래브에 강관 지보공을 2단으로 설치하면서 지주와 이음을 전용 철물을 사용하지 않고 불안정하게 설치
  - 수평 연결재를 상하단 1단씩 1방향으로만 설치
- 콘크리트 타설방법 불량
  - 슬래브 콘크리트를 1회 연속 타설이 곤란할 경우, 구획을 나누어 분할 타설해야 하나, 슬래브 두께를 1/2로 나누어 타설하다 사고 발생
- 철근 조립방법 불량
  - D32 철근과 같이 굵은 철근의 이음은 용접 또는 클램프로 설속해야 하나 결속선을 사용하여 사고 발생

### 4.4 사례 4

중공 슬래브 콘크리트 타설중 붕괴

#### 4.4.1 교량 제원

- 형 식 : 철근콘크리트 중공 연속 슬래브교 (20m+24m×5경간+20m=160m)
- 설계하중 : DB-24
- 교 폭 : 11.5m(2차선 도로)
- 슬래브 두께 : 1.2m - 1.5m
- 공 법 : 동바리 공법(full staging method)

#### 4.4.2 붕괴당시 상황

- 사고 당일 작업 계획은 S7(20m), S6(24m), S5일부(4m) 타설계획이었음.
- 총 작업물량은 459m<sup>3</sup>중 364m<sup>3</sup>를 타설하였음
- 콘크리트 타설은 5단으로 나누어 진행되었으며, 4단까지는 콘크리트 타설을 완료하고, 5단째 타설을 P5에서 P6방향으로 8m 지점의 콘크리트 타설중, P5와 P6 사이인 S6의 중앙부위의 슬래브의 1차 처짐(10cm-20cm)이 발생하였고 연이어 슬래브가 붕괴되었음

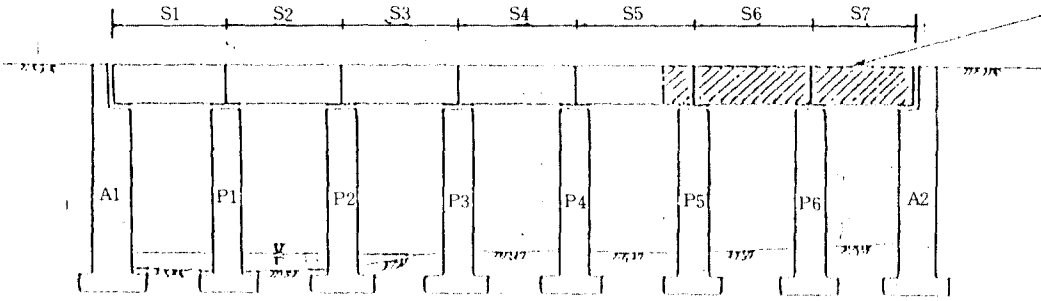


그림 11 슬래브교량 종단

#### 4.4.3 붕괴원인

##### ○편심하중 작용

-가벤트의 기초는 일정 높이의 콘크리트 확대 기초를 타설한 후 그 상부에 가벤트를 설치하도록 설계되었으나, 가설용 H-Pile을 각 벤트에 6조씩 3-4m 깊이로 박아 지지하도록 시공하여 지지점에서의 불균등 변위발생 가능

-당초 설계에 명기되어 있는 보강 철판(stiffener-plate)의 상당수를 시공시 누락하여, 국부적인 변형 및 파괴 가능성

○당초 설계에는 가벤트의 수직 부재가 H-250×250×9×14 였으나 재사용 강재의 이용으로 인하여 H-300×300×10×15 강재로 변경 시공하여, 강재단면 증가로 자체 판단하고 X-Bracing의 일부를 변경 시공함.

-BENT 측면부 : X-Bracing설치 대신 H-300×300강재로 횡방향으로 연결

-BENT 전면부 : X-Bracing 반쪽만 설치

○잭 상부의 횡방향 받침보가 H-600×300×10×15로 설계되어 있으나 시공시 일부 구간을 H-300×300×10×15를 2단으로 설치하였음.

#### 5. 맺음말

일부 붕괴 사례를 분석해 보면, 이것 하나만이라도 제대로 했더라면 무너지지 않았을 텐데라고 느낄때가 많으나, 이것 하나가 곧 바로 결정적인 원인으로 귀결되지는 않을 것이다. 붕괴 결과를 놓고 어느 누구도 그 원인이 바로 이것이다라고 단정 짓기는 대단히 난처하여 여러 요인의 복합 작용 때문인 것으로 귀결되어지는 경우가 더러 있다. 그러나 필자의 사건으로는 이 경우에도 바로 이것이다라고 할 만한 결정적인 한가지 원인은 분명히 있는 것 같다. 그 분명한 원인이 거푸집 및 동바리공을 구성하는 특정 부재 혹은 부위로 상세 구분될 지라도 공통된 사항은 "구조적 결함"이다.

붕괴 원인은 구조측면에서 추정하다 보면 어떻게 이렇게까지 무모하게 공사가 강행될 수 있었을 까라는 생각이 우리를 아연하게 만들 때가 한두번이 아니다. 거푸집 붕괴와 같은 원시적인 사고의 재발을 막기 위해서는, 여러 기관이 상호 검증할 수 있는 제도를 확실히 하고 학회나 연구기관 주도로 상세한 설계기준과 점검 편람을 두루 배포 교육함은 물론 참여 기술사들이 사명감을 가지고 열과 성의를 다해야 할 것이다. **□**