

# Caisson식 안벽 상치 콘크리트의 횡 방향 관통 균열 방지 사례

- Preventable Method for Lateral Cracks of Cap Concrete of Quay Wall(Caisson) -



김동역\*

## 1. 머리말

콘크리트 구조물에 발생하는 가장 큰 문제 중의 하나가 바로 균열 문제이다. 숙명적인 콘크리트 균열은 발생 원인에 대해서 많은 연구가 행해졌고 그 대책도 고려되고 있지만 완전히 없어지지 않는 것은 그 대책이 현실적이지 못한, 즉 기술적으로 어렵거나 경제적이지 못하기 때문이다. 콘크리트 구조물의 균열 발생은 그 균열의 많고 적음에 관계없이 구조물에 대해 어떠한 형태론든 피해를 초래한다. 특히, 항만 구조물은 일반적인 콘크리트 구조물에 비하여 해수의 물리적 및 화학적 작용, 기상 작용, 선박, 파도나 표류 고형물에 의한 충격 등 여러 가지의 유해한 작용을 받는 열악한 환경이다.

이와 같은 열악한 장소에 건설된 중전의 Caisson 식 안벽 상치 콘크리트에서 횡 방향 관통 균열이 다수 발생하여 내구성 저하로 인한 구조물 수명 단축, 균열

보수로 인한 경제적 손실, 건설 기술의 이미지 하락, 사용자 불안 등이 문제점으로 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하고자 현재 사용 중인 중전 안벽 구조물들을 조사한 후 균열 발생 원인을 파악하고 균열 방지 대책을 수립하여 시험 시공을 실시하였다. 현장 시험 시공을 통해 균열 방지 효과가 입증된 재료, 배합, 시공, 설계 등의 개선 사례에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 공사 개요

- (1) 공사명 : 광양항 2단계 1차 컨테이너 터미널 축조 공사
- (2) 공사 위치 : 전남 광양시 황금동 지선 해상
- (3) 공사 목적 : 동북 아시아의 컨테이너 중심 항만으로 개발

### (4) 공사 내용

·안벽 상부공 : 1,350m(5만 톤급 × 2선석 = 700m, 2만 톤급 × 2선석 = 450m, 관용선 : 200m, 하역 능력 72만 TEU)

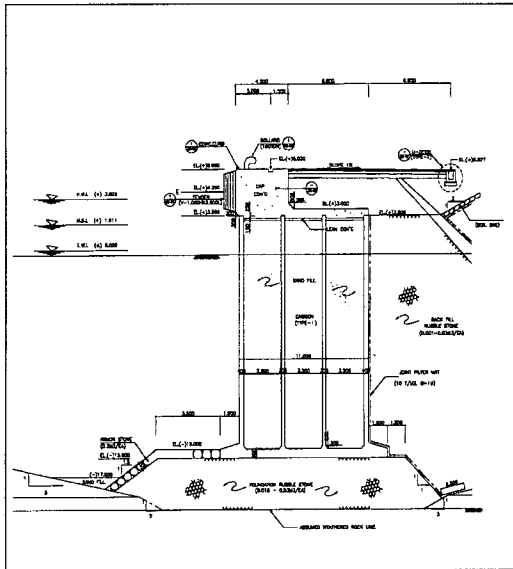
\* (주)한국항만기술단 광양항 컨테이너 부두 축조 공사 감리단 차장

- 지반 개량공 : 1,158.15a
- 크레인 기초공 : 886m
- 크레인 레일 부설공 : 1,762m
- 포장공 : 4,993a
- 교량공(폭 40m, 길이 100m) : 1개소
- 부대공 : 1식

- (5) 공사 금액 : 1,750억원
- (6) 기간 : 1996. 9 ~ 2000. 10
- (7) 시행청 : 한국컨테이너부두공단
- (8) 설계회사 : 한국항만기술단(주)의 1개 사
- (9) 감리회사 : 한국항만기술단(주)의 2개 사
- (10) 시공회사 : 동아건설산업(주)

### 3. 종전 Caisson식 안벽 상치 콘크리트의 횡 방향 관통 균열 조사

#### 3.1 Caisson식 안벽의 개요도



#### 3.2 균열 발생 위치

현재 사용하고 있는 다수의 Caisson식 안벽 상치 콘크리트에서 발생한 균열의 조사 결과는 대부분 (사진 1)과 유사하다. 하부에서 상단까지 관통 균열이 발생하였고 첫 균열은 신축 이음부에서 4~5m 떨어진 곳에서 이후의 균열은 1.5~2.0m 간격으로 발생하였다.



사진 1. 종전 안벽 배면의 균열 보수 광경

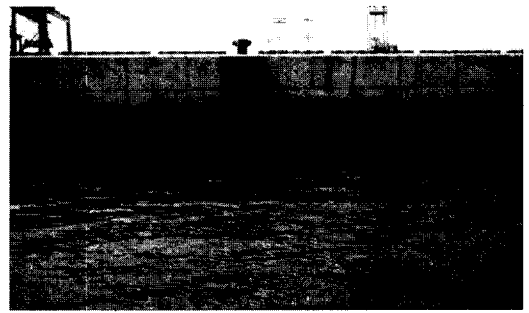


사진 2. 종전 안벽 전면의 균열 보수 후 광경

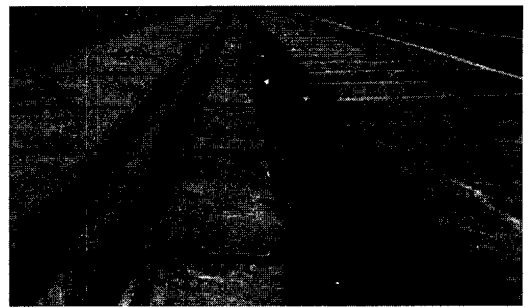


사진 3. 종전 안벽 상단의 균열 보수 후 광경

#### 3.3 균열 발생 개소

1.5~2.0m당 1개소  
(42.4m당 12~17개소, 28m당 13~15개소)

#### 3.4 신축 이음부 상태

종전의 Caisson식 안벽 상치 콘크리트의 신축 이음부(간격: 42.4m, 28m) 신축 상태를 상단 및 전면에서 계절별(여름, 겨울)로 육안으로 확인한 결과 신축 작용 현상을 거의 발견할 수 없었고 시공 당시의

상태를 유지하고 있는 것으로 관찰되었다.

#### 4. 균열 방지 대책

##### 4.1 저발열성 시멘트 사용

매스 콘크리트의 온도 균열은 시멘트의 수화열에 의한 콘크리트의 온도 상승이 원인이 되어 발생하기 때문에 중용열 포틀랜드 시멘트, 고로 슬래그 시멘트, 플라이 애쉬 시멘트 등 저발열성 시멘트를 사용하여 온도 균열의 발생을 제어하는 것이 바람직하다. 이들 혼합계 시멘트는 현장에서 사용시 내해수성 이외에도 장기 재령의 강도가 크고 수화열이 적은 이점이 있어 해양, 매스 콘크리트에 적합하긴 하지만 강도 발현, 온도 상승 및 내마모성 등의 품질의 안정성에 대해서 충분한 검토를 한 후에 사용해야 한다. 경제성과 범용성, 제반 성능 등을 고려하여 고로 슬래그 시멘트를 사용하는 것이 타당하고 판단되었다.

내 용	종 전	개 선
시멘트	보통 포틀랜드 시멘트	고로 슬래그 시멘트

##### 4.2 최소 단위 시멘트, 최소 단위 수량의 배합

최근에 현장에서의 콘크리트 강도 시험 결과가 재령 7일에 거의 호칭 강도 이상 발현되는 경향이다. 이러한 현상은 레미콘 공장에서 안전을 위하여 큰 증가계수 사용, 콘크리트 공사의 분업화에 따른 제조업자 외에는 이해 부족, 공사 현장에서 콘크리트의 압축 강도만 지나치게 강조하는 등의 사유로 배합시 과다 시멘트 사용의 영향으로 판단된다. 그러나, 매스 콘크리트에서는 과다 시멘트 사용으로 인하여 수화열 및 건조 수축 증가로 균열 발생, 경제성 저하 등의 부작용이 발생되고 있다. 따라서 해양 콘크리트의 내구성과 매스 콘크리트의 수화열에 의한 온도응력, 강도 등을 고려하여 균열 제어의 관점에서 단위 시멘트량, 단위 수량을 최소화하여 배합을 결정하였다.

내 용	종 전	개 선
배 합	배합명 : 25-240-8	배합명 : 25-240-8
	W/C(%) : 48.0	W/C(%) : 46.0
	S/A(%) : 43.0	S/A(%) : 45.0
	W : 177kg/m <sup>3</sup>	W : 152kg/m <sup>3</sup>
	C : 369kg/m <sup>3</sup>	C : 330kg/m <sup>3</sup>
	S : 760kg/m <sup>3</sup>	S : 814kg/m <sup>3</sup>
	G : 1047kg/m <sup>3</sup>	G : 1042kg/m <sup>3</sup>
AD : 0.554kg/m <sup>3</sup>	AD : 1.98kg/m <sup>3</sup>	

#### 4.3 Caisson과 상치 콘크리트의 접합면 처리

콘크리트의 수축이 구속되지 않을 경우 콘크리트에 균열은 발생하지 않는다. 그러나 콘크리트 구조물은 기초나 다른 구조 요소 또는 콘크리트 내의 보강 철근 등에 의해 구속을 받게 된다. 이러한 수축 작용의 구속은 인장 응력을 유발시키며, 이 인장 응력이 콘크리트의 인장 강도에 도달할 때 콘크리트는 균열이 발생한다. 새롭게 타설한 콘크리트가 냉각 또는 경화되는 과정에서 발생하는 수축을 기존 콘크리트등이 구속함으로써 외부 구속에 의해 균열이 발생하므로 신 콘크리트가 외부에 의해 구속이 되지 않도록 하거나 완화되게 하는 등의 조치를 하였다. 격벽(隔壁)은 T = 10 mm Asphalt Cork판을 부착하고 PE 필름을 포설하였고, 들고리에는  $\phi 10$  mm 백업(back up)재로 공간을 확보하고 PVC Pipe로 Capping을 실시하였다.

내 용	종 전	개 선
Caisson과 상치 콘크리트의 접합면 처리	Caisson 격벽(隔壁) 및 들고리와 상치 콘크리트가 일체가 되게 시공	Caisson 격벽(隔壁) 및 들고리에 의해 상치 콘크리트가 구속되지 않도록 Asp. Cork와 PE 필름 포설 및 들고리 Capping

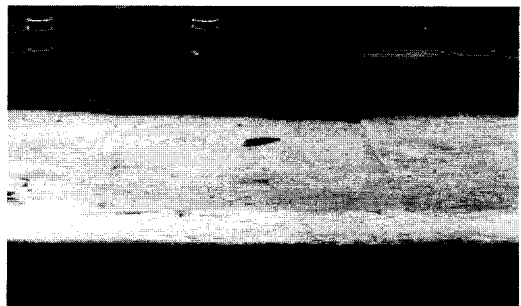


사진 4. 들고리 Capping, PE 필름, Asp. Cork 설치

#### 4.4 소구경 철근 배근

균열 폭과 온도 균열 지수와 철근비의 상호 관계에 대해서는 아직 명확히 밝혀져 있지 않으며, 또한 예측 방법도 확립되어 있지 않기 때문에 시멘트 수화열과 건조 수축에 의한 균열을 제어하기 위하여 철근의 덮개를 정확하게 확보하고 철근량의 증가 없이 소구경 철근을 좁은 간격으로 분산시켜 응력 분산 효과를 높였다.

내용	종 전	개 선
철근 배근	<ul style="list-style-type: none"> <li>상하단 배근 : 종철근D19@200~300 횡철근D16@200~300</li> <li>전후면 배근 : 종철근D16@250~300 횡철근D19@300</li> <li>피복:10cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상하단 배근 : 종철근D13@100 횡철근D16@200</li> <li>전후면 배근 : 종철근D13@100 횡철근D19@200</li> <li>피복:10cm</li> </ul>

#### 4.5 신축 이음

신축 이음은 팽창과 수축을 수용함으로써 온도 및 습도 등 환경 변화, 마찰, 그리고 시공에 의하여 발생하는 응력을 가능한 완화시키거나 콘크리트의 파할 수 없는 체적 변화 등을 규칙적으로 일정한 장소로 유도시키는 목적으로 설치한다. 온도 균열을 재료 및 배합의 대책에 의해 제어하는 것은 어려운 경우가 많다. 상기 대책과 더불어 균열을 제어하기 위하여 신축 이음 간격을 구조물 치수, 철근량, 시공 능력 등을 고려하여 21.2m로 결정하였다.

내 용	종 전	개 선
신축 이음 간격	28 ~ 42.4 m (2~4兩當)	21.2 m(2兩當) 또는 30 m 이내

#### 4.6 수평 시공 이음의 단별(段別) 타설 기간

실제의 구조물에 발생하는 온도 균열은 일반적으로 내외부 온도차와 외부 구속의 2개의 원인이 중복하여 발생하며 외부 구속에 의한 온도 균열은 온도가 하강하는 재령 1~2주간 후에 생기고, 판통되는 균열로 되는 경우가 많기 때문에 구조물의 구속 조건, 단별 타설 기간, 양생 등에 대하여 특히 주의하여야 한다. 매스 콘크리트에서 단별 타설 기간이 빠르면 수화열의 발산율이 작아져 온도 상승이 커지고, 늦으면 외부 구속에 의해 균열이 일어날 확률이 많으므로 구조물의 특수성을 감안하여 쳐 올리는 속도의 표준을 4~5일로 규정해서 균열 제어했다.

Caisson식 안벽 상치 콘크리트의 수평 시공 이음은 단면 형태, 부속물 설치, 시공성 등을 감안하여 1단 0.5m, 2단 1.4m, 3단 1.6m 높이로 분할하였다.

내 용	종 전	개 선
단 별 타설 기간	7 ~ 30일로 불규칙	4 ~ 5일

### 5. 시험 시공 결과

#### 5.1 #3 SPAN

- (1) 콘크리트 타설 일자 : 1999. 6. 30
- (2) 사용 시멘트 : 보통 포틀랜드 시멘트
- (3) 신축 이음 간격 : 21.2m
- (4) 배합표 :

배합명 25-240-10	W/C (%)	S/A (%)	배합 재료량(kg/m³)				
			W	C	S	G	AD
	46.3	46	155	335	850	1044	1.675

- (5) 철근 배근 : 종 방향 D16 × @200 mm,  
횡 방향 D16 × @200 mm
- (6) 외부 구속 개선 : Caisson 격벽과 들고리에 의해 상치 콘크리트가 구속되지 않도록 Asp. Cork와 PE 필름 설치 및 들고리 Capping.
- (7) 단별 타설 기간(쳐 올리는 속도)

1단 타설	2단 타설	3단 타설	소요 일수
1999. 6. 30	1999. 7. 5	1999. 7. 10	1단→2단 : 5일 2단→3단 : 5일

- (8) 계측
  - 최대 온도 : 71℃
  - 도달 시간(일) : 1.04
  - 균열 발생 개소 :

균열 폭	1단(개소)	2단(개소)	3단(개소)
HAIR CRACK ~0.2 mm 이하	없음	8	2
0.2 mm ~ 0.3 mm	없음	1	2

#### (9) 효과 분석

배합, Caisson과 상치 콘크리트 접합면 처리, 신축 이음 간격, 수평 시공 이음의 단별 타설 기간 등의 개선으로 종전 구조물에 비하여 3단에서는 균열 폭, 균열 발생 개소가 현저히 줄었지만 조수 영역인 2단에서는 저온(약 17℃)의 해수와 고온(최대 온도 71℃)의 시멘트 수화열에 의한 심한 내외부 온도 차이로 인하여 콘크리트 타설 후 1~2주 사이에 8개소의 온도 균열이 발생했다. 계절별로 관찰한 결과 균열(건조 수축) 진행은 없었다.

#### 5.2 #27 SPAN

- (1) 콘크리트 타설 일자 : 1999. 11. 22

- 2) 사용 시멘트 : 고로 슬래그 시멘트  
 3) 신축 이음 간격 : 21.2m  
 4) 배합표 :

배합명 25-240-10	W/C (%)	S/A (%)	배합 재료량(kg/m <sup>3</sup> )				
			W	C	S	G	AD
	45.9	44.0	152	331	805	1065	0.993

- (5) 철근 배근 : 종 방향 D16 × @200 mm,  
 횡 방향 D16 × @200 mm  
 (6) 외부 구속 개선 : Caisson 격벽과 들고리에 의해 상치 콘크리트가 구속되지 않도록 Asp. Cork와 PE 필름 설치 및 들고리 Capping.  
 (7) 단별 타설 기간(처 올리는 속도)

1단 타설	2단 타설	3단 타설	소요 일수
1999. 11. 22	1999. 11. 26	1999. 12. 1	1단→2단 : 4일 2단→3단 : 5일

- (8) 계측  
 · 최대 온도 : 55℃      · 도달 시간(일) : 3.5  
 · 균열 발생 개소 :

균열 폭	1단(개소)	2단(개소)	3단(개소)
HAIR CRACK ~0.2 mm 이하	없음	1	2
0.2 mm ~ 0.3 mm	없음	없음	없음

- (9) 효과 분석  
 배합, Caisson과 상치 콘크리트 접합면 처리, 신축 이음 간격, 수평 시공 이음의 단별 타설 기간 등의 개선과 시멘트 수화열 감소(보통 포틀랜드 시멘트보다 최대 온도 약 16℃ 감소)로 균열 발생이 다수 감소했다. 계절별로 관찰한 결과 균열(건조 수축 균열) 진행은 없었다.

### 5.3 #29 SPAN

- (1) 콘크리트 타설 일자 : 1999. 12. 4  
 (2) 사용 시멘트 : 고로 슬래그 시멘트  
 (3) 신축 이음 간격 : 21.2m  
 (4) 배합표 :

배합명 25-240-10	W/C (%)	S/A (%)	배합 재료량(kg/m <sup>3</sup> )				
			W	C	S	G	AD
	45.9	44.0	152	331	805	1065	0.993

- (5) 철근 배근 : 종 방향 D13 × @100 mm,

횡 방향 D16 × @200 mm

- (6) 외부 구속 개선 : Caisson 격벽과 들고리에 의해 상치 콘크리트가 구속되지 않도록 Asp. Cork와 PE 필름 설치 및 들고리 Capping.  
 (7) 단별 타설 기간(처 올리는 속도)

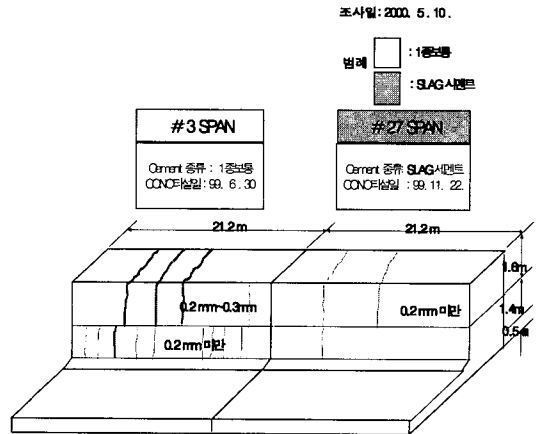
1단 타설	2단 타설	3단 타설	소요 일수
1999. 12. 4	1999. 12. 9	1999. 12. 15	1단→2단 : 5일 2단→3단 : 6일

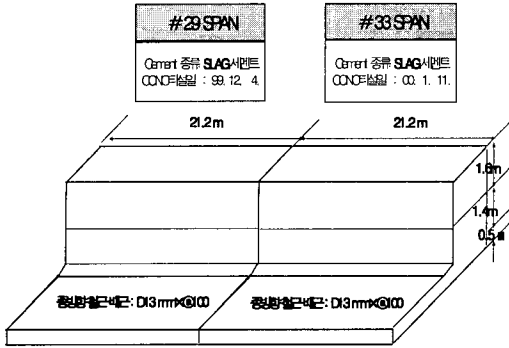
- (8) 계측  
 · 최대 온도 : 55℃  
 · 도달 시간(일) : 3.0  
 · 균열 발생 개소 :

균열 폭	1단(개소)	2단(개소)	3단(개소)
HAIR CRACK ~0.2 mm 이하	없음	없음	없음
0.2 mm ~ 0.3 mm	없음	없음	없음

- (9) 효과 분석  
 종전의 중 철근 배근 방법(D19 @200 ~ 300)을 D13 @100(철근량 증가 없음)으로 배근하여 균열 제어 효과가 탁월했다. 또한 시멘트, 배합, Caisson과 상치 콘크리트 접합면 처리, 신축 이음 간격, 소구경 철근 배근 등의 사항을 전반적으로 개선하여 시공에 반영한 결과 균열 발생이 없었다. 계절별로 관찰한 결과 균열(건조 수축) 진행은 없었다.

### 5.4 시험 시공 균열 조사도





### 6. 개선의 성과

구분	종 전	개 선
시공성 및 품질 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시공 구간이 지나치게 길 경우(1 SPAN = 42.4 m) 1일 작업량으로는 과대하여 콘크리트 타설시 조위 영향을 받고 야간 작업시 품질 관리에 어려움이 많다.</li> <li>· 다수의 균열 발생</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1일 시공 구간(1 SPAN = 21.1 m)이 적정할 경우 조위 영향을 받지 않고 야간 작업 방지, 적절한 노무 관리등이 이루어져 품질 관리가 용이하다.</li> <li>· 균열이 발생치 않음</li> </ul>
내구성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 종전 구조물은 1.5 ~ 2.0 m 간격으로 균열이 발생하여 해수등으로 인한 철근 부식등으로 내구성 저하</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 균열 발생 방지로 구조물의 강도, 내구성, 수밀성 확보</li> </ul>
하자 보수	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1.5 ~ 2.0 m 간격으로 발생한 균열(l = 11.5 m)을 충전공법과 표면처리공법으로 보수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 없음</li> </ul>
경제성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 연장 작업에 따른 노무비 과다 지출</li> <li>· 균열 보수비 : 160,000₩/m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 연장 작업 방지로 연장 수당 절감</li> <li>· 최소 시멘트 사용으로 인한 시멘트량 감소 : 감(약 50,000₩/m)</li> <li>· 외부 구속 개선 : 증(약 70,000₩/m)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 개선 사항을 반영하여</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 종전보다 약 140,000 ₩/m 절감.</li> </ul>

### 7. 맺음말

사회 통념상 콘크리트 구조물에서 발생하는 균열은 부실 공사의 상징이다. 그러나, 콘크리트 구조물에서 시멘트의 수화열에 의한 균열과 건조 수축에 의한 균열에 대해서는 콘크리트 구조물에 있어宿命적인 것이라고 말할 수 있고 완전히 방지하기란 어렵다. Caisson식 안벽 상치 콘크리트의 횡 방향 관통 균열을 방지하기 위하여 많은 어려움과 노력과 시간을 필요로 하였지만 재료, 배합, 시공, 설계, 환경 등의 핵심 사항을 전반적으로 개선하여 설계, 시공에 반영한 결과 균열을 방지하는 것이 결코 불가능 한 것은 아니었다. 향후 많은 시공이 예상되는 해양, 매스 콘크리트 구조물과 같은 유사 여건에서 설계, 시공시 다소나마 보탬이 될 수 있도록 제안하면서 맺음말에 갈음코자 한다. ☐

### 참고문헌

1. 「콘크리트표준시방서」, 건설교통부.
2. 「도로포장설계시공지침」, 건설교통부.
3. 「댐콘크리트시방서」, 건설교통부.
4. 「토목시공학」, 김형수 저.
5. 「최신 콘크리트 공학」, 한국콘크리트학회.
6. 「항만시설물설계기준서」, 해양수산부.
7. 「콘크리트 재료공학」, 정재동 저.