

프리캐스트 세그멘탈 교량에서의 거푸집 운영사례

Practical Experience of Casting Cell Operation in the Precast Segmental Bridge



관 만 근*

1. 머리말

교량상판을 시공하는 공법에는 여러가지 공법이 있으나 서울시 내부순환도시고속도로에는 프리캐스트 세그멘탈(precast segmental) 공법이 처음 적용되어 일부구간은 개통이 되고 나머지 4공구도 문제없이 진행중에 있다. 그중 북부도시고속도로 1공구에서 적용되었던 balanced cantilever 가설공법은 세그먼트상부 및 하부 슬래브에 PC강선을 삽입할 수 있는 쉬스관 여러 개를 설치하므로 세그먼트 제작방법이 다소 어렵고 정밀을 요하게 된다.

프리캐스트 세그멘탈 공법에 있어서 가장 중요한 부분의 하나가 세그먼트의 제작 공정이라 하겠다. 길이 2.9m의 세그먼트를 조각조각 조립하여야 하는 공법의 특성상 세그먼트 제작의 정확도는 아무리 강조하여도 지나침이 없다. 또한 세그먼트 제작시의 정확도를 높이기 위해서는 거푸집(casting cell)의 관리 및 운영이 중요한 관리의 초점이 된다. 거푸집의 변형이나 부실한 운영은 세그먼트의 정확도에 치명적인 영향을 미치기 때문이다.

이러한 배경으로 향후 동일공법의 공사 수행시 조금이나마 도움이 되었으면 하는 바람으로 지난 4년여의 경험과 이론을 바탕으로 이 글을 쓴다.

2. 프리캐스트 세그멘탈 공법 소개

2.1 프리캐스트 세그멘탈 공법 개요

프리캐스트 세그먼트공법은 캔틸레버공법의 일종으로 일정한 길이로 분할된 세그먼트를 공장에서 제작하여 가설현장에서는 크레인 등의 가설장비를 이용하여 상부구조를 완성하는 공법이다.

이 공법은 당초 세그먼트 접합시에는 모르타르(mortar)를 사용하였으나 1960년대 들어 에폭시(epoxy) 수지접착제가 세그먼트접합제로 사용되면서 최근에는 대부분 에폭시를 사용하고 있는 추세이다.

이 공법은 현장타설 캔틸레버공법과 비교해서 공비를 절감시킬 수 있고 급속시공이 가능하다는 장점이 있어 미국 등지에서는 현장타설방식 보다 오히려 프리캐스트방식에 의한 시공이 많이 이루어지고 있다.

독일의 Dyckerhoff & Widmann, Inc.에서 현

* 삼성건설(주), 북부건설도로 1공구현장 소장

장타설 캔틸레버공법이 최초로 개발된 이래, 최초의 프리캐스트 세그먼트로 적용된 교량은 1962년 프랑스 파리의 세느강상에 Enterprises Campenon Bernand에서 시공되고 설계된 Choisy-le-Roi 교량이 효시가 된다.

프리캐스트 세그멘탈 교량건설에 대한 가장 혁신적인 것은 Oleron Viaduct(1964~1966년 건설)에서 첫번째로 적용한 Launching Gantry 가설장비이다.

유럽에서 프리캐스트 세그멘탈 교량의 적용은 공사진행상에 확실한 관리를 강조하고 있으며, 이 공법은 프랑스에서 개발되었으나 네덜란드, 스위스, 브라질 및 뉴질랜드에서 더욱 개발 및 적용되고 있는 실정이다.

2.2 프리캐스트 세그멘탈 공법의 분류

2.2.1 가설방식에 의한 분류

1) Balanced cantilever method

세그먼트 지지점(교각) 양쪽으로 균형을 이루면서 캔틸레버로 조립된다. 캔틸레버 마감 연결부는 현장타설로써 완성한다.

세그먼트는 크레인 launching girder, beam & winch method 등에 의해 가설된다. 세그먼트는 보통 한번에 하나씩 설치한다. 그래서 매 2개의 세그먼트마다 균형을 벗어나는 모멘트를 받을 수 있도록 설계되기 어려울 경우 보조지주가 필요하다. 또 다른 방법은 균형을 벗어나는 모멘트를 줄이기 위해 교각 양쪽에 기초부위와 상부 구조를 묶는 일시적인 프리스트레스를 도입하는 것이다. 이 가설공법은 거의 모든 공사현장에 적용될 수 있다.

2) Span by span method

앞서 기술한 balanced cantilever method에서 적용되는 경간보다 상대적으로 작은 경간을 가진 긴 교량에서 이 방법이 유리하다.

상부구조는 form traveller에 의해 한경간을 하나의 방향으로 축조한다. form traveller는 이전에 완성된 공사의 끝에서 또는 연결위치, 또는 그 이전의 교각에서부터 다음 교각상에서까지 지지한

다.

3) 진진가설공법

세그먼트는 각 교각에서 균형된 캔틸레버라고 하기보다는 교각의 한쪽 방향으로 연속적으로 설치되는 것이다. 앞서의 span으로부터 약 1/3까지는 캔틸레버 형식으로 조립되며 나머지 2/3 span은 일시적인 사장 시스템에 의해 지지 설치된다. 이 시스템의 장점은 세그먼트 조립을 한쪽 교각에서 다음 교각으로 연속적으로 진행할 수 있고 균형을 벗어나는 모멘트가 발생하지 않는다는 점이다.

2.2.2 세그먼트 제작방식에 의한 분류

1) Long-line(거푸집 이동식) method

이 방식은 camber량까지 고려된 교량상부 구조의 형상과 동일하게 생긴 제작대에서 형상을 따라 거푸집을 이동시키면서 세그먼트를 제작하는 방식이다.

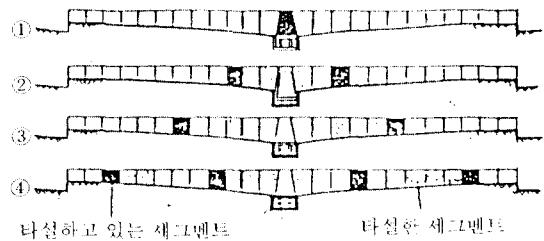


그림 1 Long-line method 개요

이 방식의 장점은 상부구조의 형상대로 자유롭게 제작하기가 용이하고 또한 시공정도가 높으며 연속적인 세그먼트 제작을 위해 반드시 세그먼트를 옮길 필요가 없다는 것이다.

단점은 교량최대경간 1/2 이상의 길이를 가진 작업대를 필요로 하므로 장대교의 경우는 부적합하며 경간의 형상이 각기 다른 경우도 적용이 어렵다는 점이다.

2) Short-line(거푸집 고정식) Method

이 방식은 고정된 외부거푸집과 높이 조절이 가

능한 내부거푸집을 이용하여 연속적으로 세그먼트를 제작해 가는 방식으로 장대교의 세그먼트 제작에 적합하며 곡선교도 적용가능하다. 단점은 제작시 정확성을 기해야 하므로 세그먼트 제작공정이 ling-line method에 비해 복잡하다.(이 방식은 다음 장에서 상세히 기술하고자 함.)

2.2.3 프리캐스트 세그멘탈 공법의 특징

1) 장점

(1) 프리캐스트 세그먼트 가설의 경제적인 경간은 일반적으로 30~120m 정도이나 그 이상의 경간도 대형가설 장비의 사용으로 가능하며, 경제적일 수 있다.

(2) 세그먼트 제작은 하부 공사와 병행해서 실시되므로 공기를 단축시킬 수 있다.

(3) 세그먼트는 일정한 장소에서 반복적 및 연속적으로 제작되므로, 높은 품질 및 고강도 콘크리트를 만들 수 있고(산업화), 인력관리 및 거푸집 전용이 용이하다.

(4) 공사하는 동안 그 교량밑으로 교통을 통과할 수 있으며, 주위 환경에 대한 방해가 최소화될 수 있다.

(5) 취급이 편리한 칫수, 중량을 세그먼트로 분할하여 시공할 수 있으므로 대형구조물, 복잡한 요소의 구조물 등에 쉽게 시공할 수 있다.(표준화)

(6) 구조형상이 종단 곡선, 수평 곡선 및 편구배 변화 등에 능동적으로 대처할 수 있다.

(7) 상부구조 가설시에 세그먼트의 콘크리트는 상당한 재령에 도달해 있기 때문에 가설후에 발생하는 shrinkage 및 creep에 의한 prestress 감소량이 적어진다.

(8) 에폭시의 설치 및 혼합하는 동안에 온도나 날씨의 영향을 받아 제한되지만, 세그먼트 가설은 날씨조건에 대한 영향이 적다.

(9) 높은 품질의 관리를 통해서 생산된 품질 높은 콘크리트를 사용하기 때문에, 균열을 최소화할 수 있으며, 콘크리트의 precompression에 의해 교량상판의 내구성이 좋다.

2) 단점

(1) 세그먼트를 제작과 가설하는 동안 그 칫수를 고도로 통제하는 것이 필요하며, 설계상 고도의 기술을 고려해야 한다.

(2) 에폭시 이음재료는 날씨 및 온도 등의 제한조건을 고려하여 시공하여야 한다.

(3) 세그먼트 제작 및 저장을 위한 넓은 장소가 필요하다.

(4) 세그먼트의 운반 및 가설을 위한 비교적 대형장비가 필요하다.

3. 세그먼트 제작 및 casting cell(거푸집) 운영 사례

3.1 세그먼트 제작 flow

개략적인 세그먼트 제작과정은 표 1에 보인 바와 같다.

3.2 세그먼트 제작장(casting yard)의 구성

3.2.1 casting yard layout

Casting yard는 크게 다음의 7가지 시설로 구성된다.

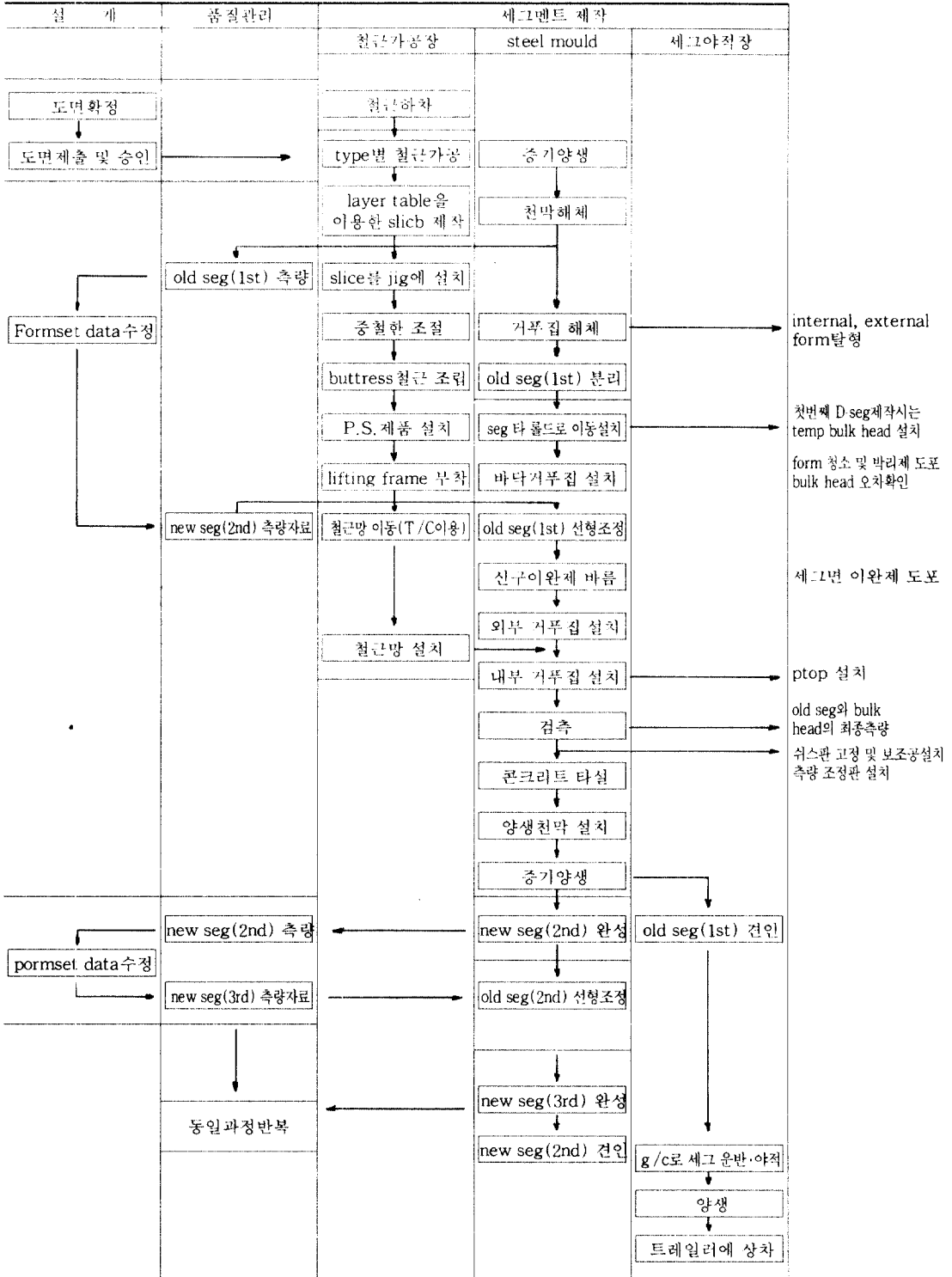
- 거푸집시설(casting cells)
- 철근조립시설 : jigs, layer table
- 철근가공시설 : bar cutter, bar bender, hoist crane, 지게차
- 콘크리트 타설장비 : 펌프카, 레미콘, 콘크리트 bucket
- 배치플랜트 및 부대시설
- 측량시설 : survey tower, target
- 양생시설 : 스팀양생시설(보일러, 자동온도콘트롤러, 자동습도조절장치)

3.3 Casting cell의 제작 및 설치

3.3.1 casting cell의 구성

1) Bulk head : 각 타입별 세그먼트를 제작하기 위해 종방향에도 직각으로 전면에 고정되어 있는 마구리 form으로서 항상 직각을 유지해야 한다.

표 1 세그먼트 제작 flow



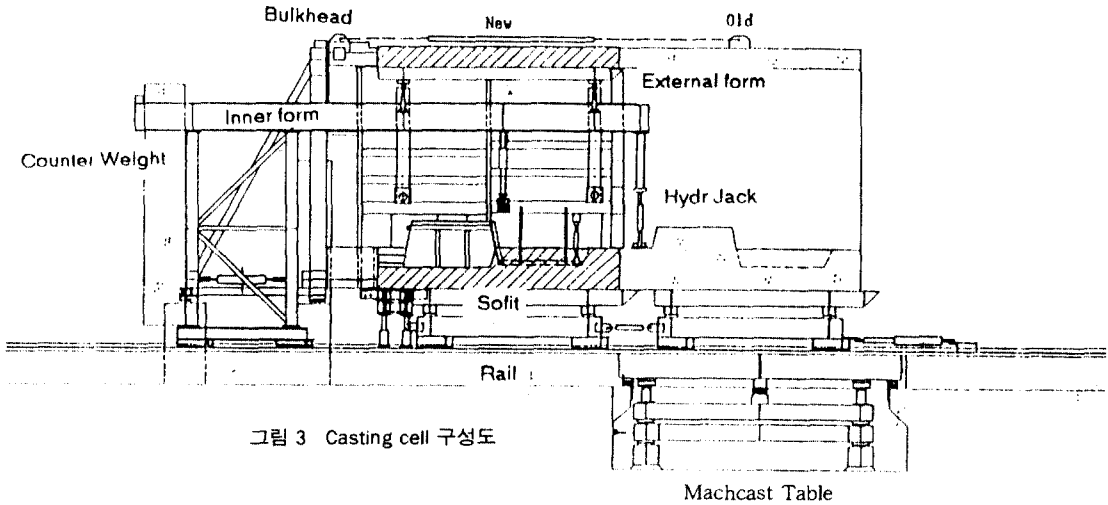


그림 3 Casting cell 구성도

나 후에 기대하지 않았던 변형 혹은 침하가 없도록 모든 하중에 안전하게 지지될 수 있도록 설계, 시공되어야 한다. 토질의 안정을 위한 작업이나 파일 작업이 필요할 수 있다. 세그먼트 생산의 경제성은 거푸집을 여러번 재사용하는데 의미를 두고 있다. 이런 이유로 거푸집의 각 부위는 견고해야 하고 설치 세부사항에 각별히 주의해야 한다.

2) Casting cell의 제작

표 2 Casting cell 제작에 사용되는 재료는 다음의 KS 규격에 준함

강재종류	관련규격
판재류	KSD-3508 2종 SS41, KSD-3500
형강류	KSD-3503 2종 SS41, KSD-3502
pipe류	KSD-3566 2종 SS41
bolt류	KSB-1002 GRADE 4.6, KSB-1002 GRADE 8.8
stainless steel plate	KSD-3698 SUS 304

(1) Casting cell의 setting 순서

- ① cart 이동 system에 필요한 rail 설치
- ② match cast table 설치(유압 jack 포함)
- ③ bulk head 설치(고정)
- ④ external form 설치(유압 jack 포함)
- ⑤ internal form 설치(유압 jack 포함)
- ⑥ temp. bulk head 설치

- ⑦ bottom cart 설치
- ⑧ 유압 system 설치

3.4 Casting cell의 운영(북부간선도로 1공구 운영사례)

3.4.1 당현장 casting cell 현황

표 3 casting cell 현황

구 분	diaphragm			support		trans	field		total
	Da	Db	Dc	Sa	Sb	Ta	Fa	Fb,c,d	
casting cell 수량(set)	1	1	1	1	2	2	6	1	15
temp. b/h	1	1	1	-	-	-	-	-	3
b/h	1	1	1	1	2	2	6	1	15
internal form	1	1	1	1	2	2	6	1	15
external form	1	1	1	1	2	2	6	1	15
match cast table	-	-	-	1	2	2	6	1	12
유압 jack & pump ll/s	1	1	1	1	2	2	6	1	15

3.4.2 소요거푸집 수량 산정

거푸집 제작은 구조물의 형태에 따라 타입이 결정되며 소요 set는 가설 속도와 가설에 소요되는 세그먼트의 수를 감안하여 결정한다. 당현장의 경우 pier segment는 3일에 1개 제작, typical segment는 1.5일에 1개 제작을 기준으로 15 set의 casting cell를 구성하였다.

3.4.3 Casting cell의 배치

세그먼트의 제작시 일반적으로 세그먼트는 여러가지 타입으로 나뉘어진다. 당현장의 경우 크게 D, S, T, F 4가지 타입으로 나뉘어진다. 세그먼트의 생산이 pier segment(C-타입 세그먼트)부터 시작되어 순차적으로 이루어지는 것을 감안하여 pier segment를 생산하는 steel mould를 중심에 두고 좌우로 제작되는 순서대로 casting cell를 배치해야만 이동거리를 줄여 작업의 효율성을 높일 수 있다.

3.4.4 Casting cell의 유지 관리

일반적으로 세그먼트 공법에서는 casting cell를 제작 세팅한 후 1000개 이상의 세그먼트를 반복 생산하게 된다. 그래서 casting cell의 변형을 초래하게 되는데 이는 제작의 정밀도에 치명적인 영향을 줄 수 있다.

이에 대한 대책으로 casting cell 제작 당시 변형에 대비한 견고한 form을 제작해야 함은 물론이고 늘 steel mould 유지관리팀을 운영해야 한다. 당 현장의 경우 3명의 유지관리 인원을 유지하였다.

참고적으로 steel mould 각 부위의 허용오차는 다음과 같다.

- web의 폭 : +10mm
- 하부 슬래브 높이 : +10mm~0mm
- 상부 슬래브 높이 : +5mm
- 세그먼트 전체 높이 : +5mm 이내, 전체 높이의 1/500 이내
- 세그먼트 폭 : +5mm 이내, 전체 폭의 1/2000 이내
- match segment의 길이 : +10mm

4. 맺음말

3,600여개의 세그먼트를 제작하면서 초기에는 여러가지 많은 시행착오를 경험했고 정상적으로 제작하면서는 가설속도보다 빨리 제작 야적장 야드가 부족하여 어려움에 봉착하기도 했고 또 어느

정도 제작하니 casting cell의 변형이 조금씩 발생하여 모서리 등의 품질이 불량하기도 하고, 보일러, 면정리 등 많은 문제점이 발생하여 유지보수팀을 편성운영함으로써 해결할 수 있었다.

사진 1~사진 9는 당 현장에서의 세그먼트 제작 과정을 보여주는 사진이다.

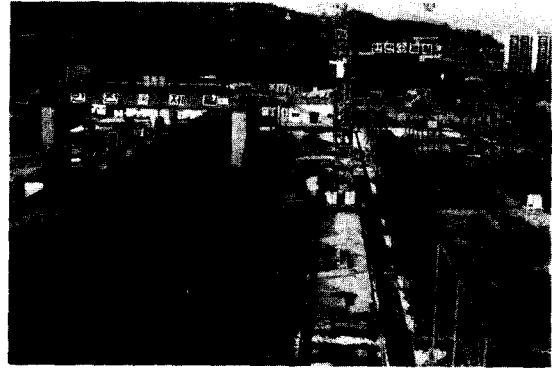


사진 1 Segment 제작용 Cell의 배치광경
(녹색 Tent내에 Cell이 설치되어 있음)



사진 2 Casting Cell의 전체적 사진(뒷면)

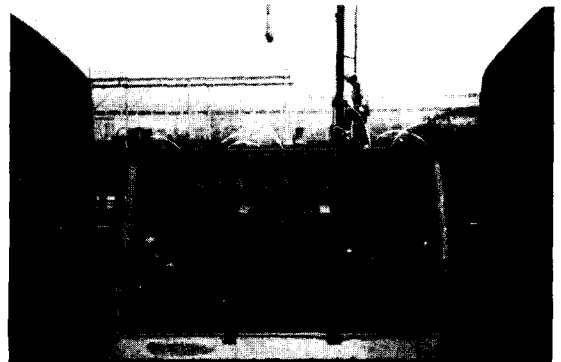


사진 3 Casting Cell의 전면



사진 4 Casting Cell의 내부 상태

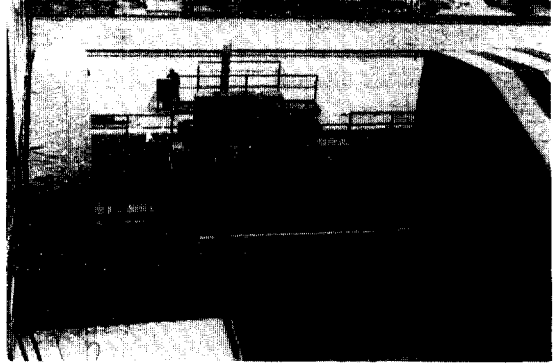


사진 5 Casting Cell에 철근 cage를 조립하는 광경
(흰색 pipe는 grouting용임)



사진 6 철근 cage를 설치하고 Inner Form을
Setting하는 모습



사진 7 Casting Cell을 작동하기 위한 유압 Jack으로
Icell에 40~50EA의 Jack이 설치된다.

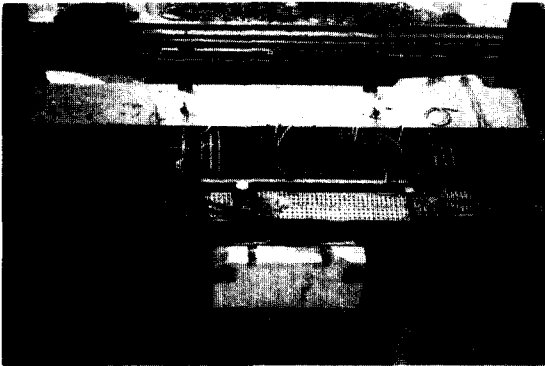


사진 8 Casting Cell에 철근 Cage가 조립되고 Form이
Setting 완료된 상태
여기 에 콘크리트를 타설하고 스팀양생을 실시한다.

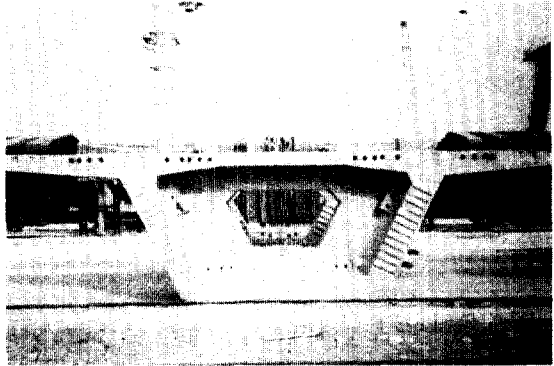


사진 9 제작된 Segment(PIER Segment)

다음은 casting cell을 운영하면서 문제가 된 것
에 대해 항목을 소개하여 향후 이와같은 문제가
발생치 않도록 설계시 검토 바란다.

1) 세그먼트 제작장의 layout은 생산능률에 막
대한 영향을 미치므로 여러가지 안을 검토하여 결
정하여야 한다.

2) 수량에 따라 너무 많은 종류 세그먼트가(본 현장 4가지 형태) 되지 않도록 설계를 해야 한다. 세그먼트 종류에 따라 cell의 갯수가 결정되기 때문이다.

3) cell의 배치는 철근가공장 조립대등에 따라 효율적으로 배치해야 한다. 이것이 향후 생산효율에 영향을 미친다.

4) cell의 기초는 outside form이 쉽게 분리되도록 설계해야 하고, 전체적으로 유압시스템을 쓰는 것은 정밀제작에 도움이 안되고 고장이 자주 나 유지관리가 어렵다.

5) 정밀을 요하는 곳의 받침대는 스크류잭으로 설치하는 것이 좋다.

6) 카트의 이동용 와이어는 1곳이 아니라 2개소에서 끌도록 설비해야 한다.

7) outside form의 철판 두께는 너무 두꺼울 경우 cell setting이 어렵고, 너무 얇을 경우는 쉽게 변형이 일어나므로 유의해야 한다. 본 현장은 6~9mm의 철판을 사용했다.

8) 새로운 세그먼트와 오래된 세그먼트의 사이에는 충분히 이완제를 발라야 한다.

9) 조립시 필요한 측량 포인트는 정밀하게 설치하고 콘크리트 타설시 변형이 가지 않도록 유의해야 한다.

10) 야적 및 이적에 필요한 최소한의 콘크리트 강도는 $220\text{kg}/\text{cm}^2$ 이므로 공시체를 확인한 후 이적한다.

11) 양생은 고온양생($60\sim 70^\circ\text{C}$) 보다는 저온스팀양생이 콘크리트 표면에 헤어크랙이 생기지 않는다.

12) 세그먼트의 숫자에 따라 약간 달리 할 수 있으나 천막보다는 간이 가설건물내에 cell을 설치하는 것이 열효율에 큰 도움이 된다.

13) 쉬스관의 손상이 없도록 콘크리트를 조심해서 타설해야 한다.

14) 쉬스관의 보호를 위해 내부에 고무튜브를 넣어 콘크리트를 타설하면 아주 좋게 유지된다.

참 고 문 헌

1. Precast Segmental Box Girder 교 제작, 가설, 시공/기본설계, 삼성건설, 1990. 12
2. Precast P.C Box Segmental 공법소개, 서울시중합건설본부, 1989. 12
3. Precast Segmental 공법 및 시공계획, 삼성건설, 1991. 3
4. Segmental Manual, FLORIDA, 1989. 10
5. 상판본절교량 가설공법 시공사례, 삼성건설, 1993. 11
6. 세계 Segment 교량가설 보고서 전집 1·2, 삼성건설, 1990. 1