

# 3성분계 시멘트를 사용한 메스콘크리트의 施工事例

## An Application of the Mass Concrete Using Ternary Blended Cement

權 寧 鎬\*      河 在 潭\*\*      全 成 根\*\*\*      金 武 漢\*\*\*\*  
Kwon, Yeong Ho      Ha, Jae Dam      Jun, Seong Keun      Kim, Moo Han

### ABSTRACT

The bottom slab of Incheon LNG in-ground #213 tank is designed as a massive structure which has a large depth and section. The purpose of this study is to determine the optimum mix design having good workability and low hydration heat for bottom slab concrete and to control the actual concrete quality in site. For this purpose, we select the optimum mix design used ternary blended cement(furnace slag cement+fly ash) and design factors.

As test results of actual application, we have finish placing the bottom slab concrete of 23,180 m<sup>3</sup> during 68hours with good success and obtain the good quality of fresh and hardened concrete including slump, air contents, no-segregation, compressive strength and low hydration heat in actual data. All test results are satisfied with our specifications for bottom slab concrete and we cut costs as the use of ternary blended cement and the reduction of placing hours.

### 1. 서 론

大宇建設에서는 인천 생산기지에 20만kl의 저장용량을 갖는 지하식 LNG 저장탱크 4기(#213, 215, 216 및 218-TK)를 건설하고 있다. 본 공사는 설계 및 기계부분이 차지하는 비중도 크지만, 저장탱크 1기당 120,000m<sup>3</sup>의 콘크리트가 타설되기 때문에, 콘크리트의 배합조건 및 품질관리는 탱크의 안정성·품질, 경제성 및 공기 측면에서 매우 중요한 부분으로 인식되고 있다.

선행공정인 지하연속벽에 적용된 콘크리트는 구조 및 타설조건에 따라 高强度(설계강도 400kg/cm<sup>2</sup>), 高流動性(自己充填性) 및 低發熱性이 요구되었지만<sup>(1),(2)</sup> 바닥슬래브 및 벽체에 적용된 콘크리트는 슬래브의 두께가 9m, 벽체의 두께가 3m인 매스구조물로 지하 50m 깊이에 수직·수평배관으로 펌핑을 실시하기 때문에, 수화열 억제·재료분리 저항성·유동성 확보 및 압축강도를 고려한 콘크리트의 배합설계와 대물량의 콘크리트 타설에 따른 콜드조인트 및 시공불량의 방지, 양생방법 등을 고려한 시공계획 및 품질관리 방안이 요구된다.

따라서, 본 연구에서는 현재 시공이 완료된 인천 생산기지의 지하식 LNG 저장탱크(#213-TK)의 바닥슬래브에 사용된 매스 콘크리트의 배합설계, 온도관리, 콘크리트의 제조·운반·타설·양생 등에 대한 품질관리 결과를 정리하였으며, 국내에서 최대규모로 타설된 콘크리트의 배합 및 시공사례에 따른 자료축적은 물론 이를 통해 국내 콘크리트 기술의 선진화·고품질화 및 요소기술의 공유화를 실현하고자 한다.

\* 정희원, 대우건설 인천LNG 저장시설현장 품질팀장  
\*\*\* 정희원, 대우건설 인천LNG 저장시설현장 토목소장

\*\* 정희원, 쌍용중앙연구소 책임연구원  
\*\*\*\* 정희원, 충남대학교 건축공학과 교수

## 2. 지하식 LNG 저장탱크의 개요

지하식 LNG 저장탱크는 안정적이고 환경친화적이면서, 저렴한 에너지의 공급을 위하여 국책사업의 일환으로 수행하고 있는 대규모 건설공사로, 해상운송 및 수도권 공급에 원활한 지리적 이점을 갖춘 인천기지에 지하식 LNG 저장탱크가 건설되기 시작하였으며, 공사개요는 [표 1]과 같고 주요구조는 지하연속벽, 바닥슬래브, 측벽 및 지붕으로 구성되어 있다.

[표 1] 지하식 LNG 저장탱크 공사개요 (#213-TK)

구분	내용	구분	내용
공사명	인천 LNG 생산시설현장(1차)	공사기간	1998.11 ~ 2002.7 (3년 8개월)
발주처	한국가스공사	시공자	대우건설 (#213-TK : 1차현장)
주요 토목공정	① 지하연속벽 ② 바닥슬래브 ③ 측벽 ④ 지붕	주요 설계물량	① Concrete :132,312m <sup>3</sup> ② Re-bar :23,989Ton ③ Pre-stressing :94Ton ④ Roof & Deck PL :710Ton

## 3. 콘크리트의 사용재료 및 배합설계

### 3.1 사용재료의 선정

바닥슬래브 시공사례<sup>(3)</sup>에 따르면, 결합재는 고로슬래그 시멘트(B종)에 석회석 미분말 또는 플라이애쉬를 혼합하거나 Belite 시멘트에 석회석 미분말을 혼합 또는 Belite 시멘트를 단독으로 사용한 경우가 많았다. 본 연구에서 검토한 결합재의 조합별 특성은 [표 2]와 같다.

[표 2] 바닥슬래브용 콘크리트에 사용되는 결합재 특성비교

구분	고로슬래그 시멘트+플라이애쉬	벨라이트 시멘트+석회석 미분말	벨라이트 시멘트+슬래그 미분말	벨라이트 시멘트
워커빌리티	매우 양호	매우 양호	재료분리 경향	점성 증대
수화열	약간 높음	양호	약간 높음	양호
경제성	매우 경제적	경제적	보통	비경제적
압축강도	양호	보통	보통	높음

따라서, 결합재는 일본(大成建設)의 시공실적 및 국내의 재료현황, 경제성 등을 고려하여 3성분계 시멘트(고로슬래그 시멘트+플라이애쉬)로 정하였다.<sup>(4)</sup>

### 3.2 콘크리트의 요구성능

바닥슬래브에 타설된 콘크리트의 설계기준강도는 240kg/cm<sup>2</sup>이지만, 배합강도는 변동계수(V) 10%를 고려한 할증계수( $\alpha$ ) 1.2를 적용하였으며 콘크리트의 요구성능은 [표 3]과 같다.

[표 3] 바닥슬래브용 콘크리트 요구성능

슬럼프 (cm)	공기량 (%)	염화물량 (kg/m <sup>3</sup> )	설계강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	배합강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	경시변화 (분)
18±3.0	5±1	0.3 이하	240	288	90

특히, 바닥슬래브 공사는 하부로 약 50m정도 배관펌핑을 한 후에, 分枝管 工法으로 타설되기 때문에, 콘크리트의 컨시스턴시를 유지하면서 재료분리를 방지하는 것이 중요한 사항이다.

### 3.3 콘크리트의 배합조건 및 실험결과

#### 3.3.1 배합조건에 따른 콘크리트의 특성

바닥슬래브용 콘크리트의 배합설계는 워커빌리티, 강도, 수화열 및 경제성 등을 검토하여 플라이애쉬의 치환율 30%, 잔골재율 41%로 결정하였으며, 물/결합재비에 따른 시험결과는 [표 4]와 같다.

[표 4] 바닥슬래브용 콘크리트의 배합조건 및 시험결과

W/B (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )					Ad (B×%)	슬럼프(cm)			공기량(%)			압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )				비고
		W	C	F/A	S	G		직후	30분	60분	직후	30분	60분	3일	7일	28일	91일	
50.8	41.5	161	222	95	726	1.035	1.17	19.5	19.0	18.0	5.6	5.1	4.8	109	179	309	404	
52.3	41.0	161	215	93	720	1.049	1.18	20.0	20.0	18.5	4.7	4.5	4.2	103	166	288	378	◎
53.7	41.0	161	210	90	724	1.053	1.18	19.0	19.0	17.0	4.8	4.6	4.2	98	138	274	343	

시험결과, 대부분의 배합조건은 요구성능을 만족하였지만 재료분리 저항성, 워커빌리티 및 압축강도의 결과를 고려할 때, 물/결합재비 52.3%가 가장 우수한 것으로 나타났다.

### 3.3.2 응결시간 및 블리딩의 실험결과

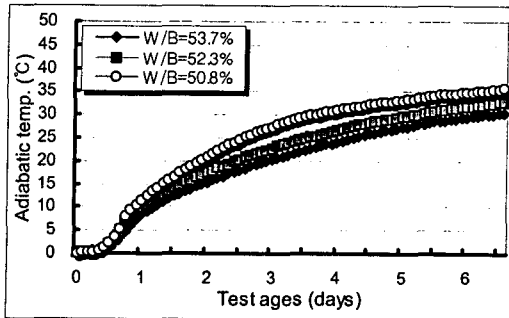
바닥슬래브용 콘크리트의 응결시간은 분배기 및 T-벨브의 회전시간에 따른 콜드조인트의 예측에 중요하며, 블리딩은 1Lift의 타설깊이가 6m인 매스콘크리트의 품질관리에 중요한 항목이 된다. 이에 따른 시험결과, 바닥슬래브용 콘크리트의 초결시간은 12:05, 종결시간은 17:05로 나타났으며, 블리딩량은 0.01cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, 블리딩율은 0.24%로 비교적 양호한 것으로 나타났다.

### 3.3.3 단열온도 상승시험 및 균열지수

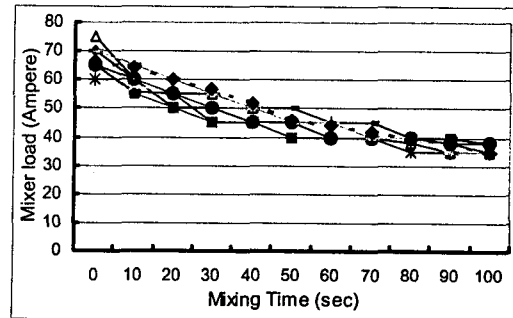
물/결합재비에 따른 단열온도 상승시험 결과는 [그림 1]과 같다. 물/결합재비 52.3%인 경우, 단열온도 상승시험의 결과는  $K=38.1^{\circ}\text{C}$ ,  $\alpha=0.250$ 을 나타내었으며, 재령별 압축강도, 인장강도, 탄성계수, 크리프계수 등을 사용한 온도응력의 해석결과, 균열지수는 1.05~1.26을 나타내어 바닥슬래브 1Lift의 요구조건인 1.0이상을 만족하였다. 따라서, 물/결합재비 52.3%인 배합조건을 바닥슬래브용 콘크리트의 최적배합으로 선정하였다.

### 3.4 플랜트에서의 품질 확인시험

[그림 2]는 배치 플랜트의 배합시간을 결정하기 위한 믹서의 암페어 관계를 측정된 결과이다.



[그림 1] 물/결합재비에 따른 단열온도 상승시험



[그림 2] 배합시간에 따른 믹서의 암페어 관계

이때, 굳지 않은 콘크리트의 상태 및 믹서의 암페어가 안정적인 값을 나타낸 55초를 배합시간으로 선정하였으며, 재료계량·배출시간·배차관리, 믹서의 안전效率을 고려하면 100~110m<sup>3</sup>/hr정도였다.

## 4. 콘크리트의 생산, 운반 및 타설계획

### 4.1 플랜트의 생산 및 운반계획

본 공사를 위해 사용되는 배치 플랜트의 생산설비 및 용량은 [표 5]와 같다.

[표 5] 현장 배치플랜트의 설비 및 용량

구분	설비 용량	비고
저장설비	① 시멘트 : 500톤 Silo×4기    ② 혼화제 : 500톤 Silo×4기 ③ 혼화제 : 15톤 Tank×4기    ④ 배합수 : 200톤 Tank×4기	플라이애쉬
생산설비	① Mixer 용량 : 210m <sup>3</sup> /hr×4기    ② 생산용량 : 360~440m <sup>3</sup> /hr	배합시간
보조설비	① Chiller : 150RT×4기    ② Boiler : 4만kcal×3기    ③ Generator : 500kW×2기	서중 및 한중, 정전시
운반설비	① Agitator 댓수 : 34~42대    ② Agitator 용량 : 6m <sup>3</sup> /대	평균 타설용량

#### 4.2 콘크리트의 타설계획

콘크리트의 타설은 지상에 11대의 펌프카를 배치하고 배관파이프(직경 150mm)로 펌핑한 후에, 하부에서 T-밸브(분지관) 4기와 분배기(Distributor) 7기로 나누어 타설되도록 하였다. 콘크리트의 다짐은 고주파 바이브레이터를 각각의 타설구에 2대씩 상시 가동하도록 하고 1대는 예비로 배치하였으며, 블리딩수 및 빗물처리를 위해 하부에 진공펌프를 배치하여 이를 Notch tank로 수집·배출하도록 하였다. 인원계획은 상부에 49명, 하부에 113명을 포함하여 162명으로 총 324명이 2개조로 운영되었다.

#### 4.3 콘크리트의 양생 및 수화열 관리

바닥슬래브는 수화열이 높기 때문에, 양생관리에 의한 균열제어가 매우 중요하다. 양생관리는 4개의 영역(A, B, C 및 D)으로 나누어 실시하였는데, A영역은 7일간 비닐+양생포2겹+비닐을 설치하고 濕潤養生으로, B영역은 5일후 거푸집을 제거한 뒤 Joint재(t=30)를 면에 부착하였다. C영역은 비닐+양생포+비닐을 덮고 소정의 기간동안 양생을 실시하였으며, 가장 중요한 D영역은 양생포를 표면에 깔고 약 10cm정도 담수한 다음 상부에 양생포 및 비닐천막을 씌워 약 2개월간 담수양생을 실시하였다.

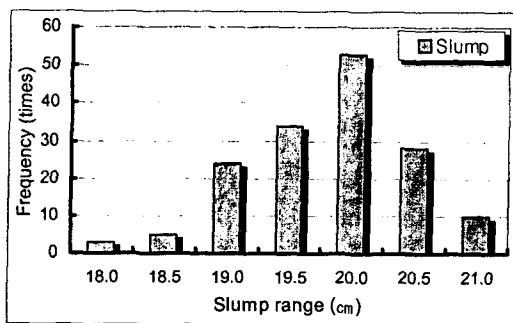
### 5. 콘크리트의 생산 및 품질시험 결과고찰

#### 5.1 시간당 콘크리트의 생산량

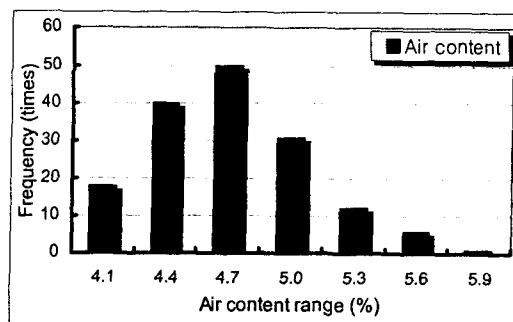
콘크리트의 시간당 생산량은 최대 468m<sup>3</sup>, 최소 209m<sup>3</sup> 및 평균 346m<sup>3</sup>로, 전체 타설량은 23,180m<sup>3</sup>이고 콘크리트의 타설을 완료하는데 소요된 시간은 68시간으로 나타났다.

#### 5.2 콘크리트의 품질시험 결과

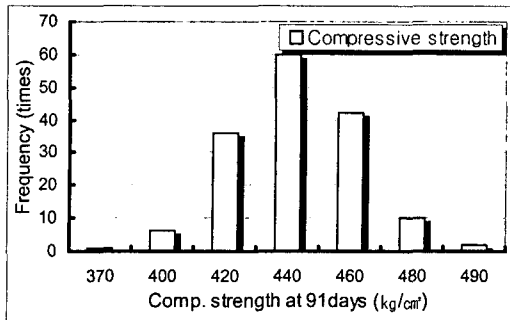
콘크리트의 품질관리 항목은 슬럼프·공기량·염화물량, 단위중량 및 재령별 압축강도로, 슬럼프 및 공기량은 150m<sup>3</sup>당 1회를, 압축강도 측정용 공시체는 150m<sup>3</sup>당 91일 재령의 1조 및 450m<sup>3</sup>당 7, 28, 91일 재령의 3조씩을 제작하였으며, 콘크리트의 품질시험 결과는 [그림 3] 및 [표 6]과 같다.



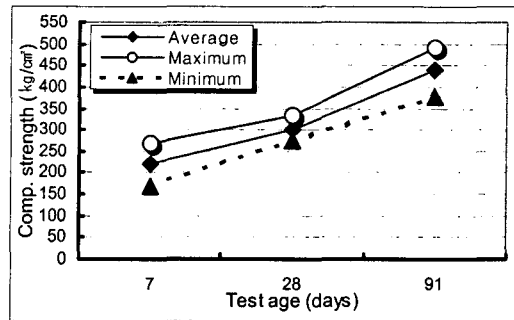
[그림 3(a)] 시험 빈도수에 따른 슬럼프 분포도



[그림 3(b)] 시험빈도수에 따른 공기량 분포도



[그림 3(c)] 시험 빈도수에 따른 압축강도 분포도



[그림 3(d)] 재령별 평균 압축강도 시험결과

[표 6] 바닥슬래브용 콘크리트의 품질시험 결과

구분	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	염화물량 (kg/m³)	콘크리트 온도 (°C)	압축강도 (kg/cm²)		
					7일	28일	91일
평균	19.8	4.7	0.06	14.7	219	302	442
표준편차	0.71	0.38	0.04	1.61	23.1	14.5	20.4
변동계수(%)	3.4	8.1	-	10.6	10.5	4.8	4.6

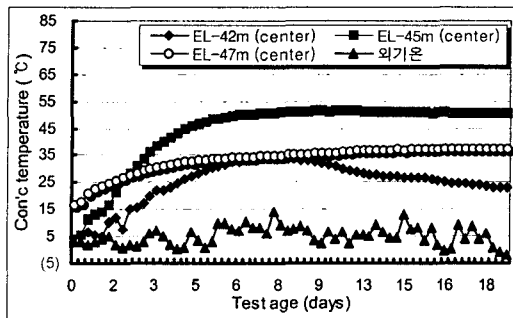
대부분의 빈도별 시험결과 및 평균값은 콘크리트의 요구성능을 만족하는 것으로 나타났다. 특히 재령별 압축강도의 경우 장기재령에 갈수록 변동계수의 범위가 낮아지는 것으로 나타났는데, 이는 포졸란 반응에 따른 강도발현의 안정성에 기인한 것으로 사료된다.

### 5.3 콘크리트의 타설관리

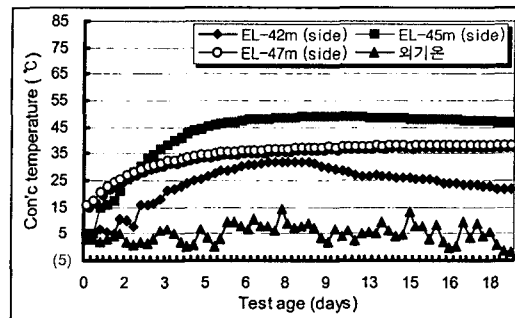
펌프카 1대당 콘크리트의 타설용량은 시간당 40m³로 11대의 용량은 약 440m³이다. 또한, 펌프카의 압송압을 80~100kg/cm²로 관리하였으며, 콘크리트의 응결시간(초결 12시간, 종결 17시간)을 고려하여 분배기 및 T-밸브의 타설높이 및 콜드조인트 관리에 반영하였다.

### 5.4 콘크리트의 양생 및 수화열 관리

양생 및 수화열 관리는 담수 및 바닥슬래브의 각 위치에 설치된 열전대의 온도측정으로 하였는데, 중심부 높이별 온도를 측정할 결과는 [그림 4]와 같다.



[그림 4(a)] 내부온도의 측정결과 (중앙부)



[그림 4(b)] 내부온도의 측정결과 (측면부)

즉, 타설시 콘크리트의 평균온도는 약 14.7°C로, 최하부에 설치된 열전대(EL-47m)의 초기온도와 일

치하였으며, 1일 경과된 후 중간부에 설치된 열전대(EL-45m)의 온도가 15℃를 나타내었다. 또한 약 2일 경과한 후에 가장 상부에 설치된 열전대(EL-42m)의 온도가 15℃에 일치하였고, 이때의 외기온은 3~5℃범위로 이를 통해 콘크리트의 타설속도를 예측할 수 있었다.

타설된 콘크리트의 하부온도는 안정된 지반온도의 영향을 받기 때문에, 최고점의 온도가 7.5일만에 35.0℃에 도달한 후 일정한 온도로 유지되었다. 또한, 중앙부 온도는 콘크리트의 水和熱에 의한 영향을 가장 많이 받기 때문에, 최고점의 온도가 8.5일(타설전 1일은 제외)만에 51.6℃에 도달한 후 매우 서서히 낮아지고 있다.

표면과 가장 근접한 상부온도는 외기온의 영향을 많이 받기 때문에 최고점의 온도가 6일(타설전 2일 제외)만에 33.6℃에 도달한 후 계속 낮아지고 있다. 특히, 콘크리트의 표면에 담수한 물의 온도는 25℃까지 상승하였다가 서서히 하강하여 17.5℃를 나타내고 있다.

이러한 온도이력을 고려할 때, 콘크리트 타설후 약 20일이 경과한 시점에서의 양생관리는 매우 양호한 것을 알 수 있다. 앞으로 실측자료가 축적되면, 단일온도 상승시험에서 분석한 해석값과 비교하여 상관성 및 정확성을 정량적으로 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

## 6. 결 론

국내에서 처음으로 23,180m<sup>3</sup>의 대규모 콘크리트 물량을 68시간동안 연속적으로 지하식 LNG 저장탱크의 바닥슬래브에 성공적으로 타설할 수 있었던 것은 본 공사와 관련된 발주처·시공사·협력업체의 철저한 준비와 축적된 시공 및 품질관리 기술의 결과로 사료되며, 본 공사의 수행으로 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 슬럼프가 20cm정도인 콘크리트의 배합설계는 압축강도, 수화열 외에도 컨시스턴시(점도)와 워커빌리티에 대한 적합성을 부여하는 것이 매우 중요한 요구성능이며, 특히 수직 하부의 배관펌핑에 따른 재료분리 저항성 및 폐색현상에 유의해야 한다.
- 2) 고로슬래그 시멘트 및 플라이애쉬를 사용한 3성분계 콘크리트는 경제성 및 자원의 유효이용에 대한 효과가 있는 반면에, 수화열의 최소화 방안 및 플라이애쉬의 수급·품질변동에 대한 사항을 사전에 철저히 검토해야 한다.
- 3) 현장시공에 있어서 분배기와 T-밸브의 적절한 대수선정 및 적소배치는 시공효율에 중요한 영향을 미치기 때문에, 본 공사를 통해 얻은 정량적인 자료를 분석하여 향후 범용적으로 활용하는 방안이 필요하다.
- 4) 매스구조물의 수화열에 의한 온도균열을 억제하기 위한 콘크리트의 재료 및 배합선정, 시공상의 수화열 관리, 그리고 효과적인 양생관리 방안에 대해 본 공사에서 수행한 방법을 실측자료와 함께 Data base화하는 것이 필요하다.

## 참고문헌

1. 武漢, 全成根, 權寧鎬, "LNG 저장탱크의 지하연속벽 시공사례," 한국콘크리트학회 봄학술발표 논문집 제12권1호, 2000.5, pp.880~887.
2. 金武漢, 全成根, 權寧鎬, "LNG Tank용 超流動 콘크리트의 要求性能," 한국콘크리트학회 봄학술발표 논문집 제11권1호, 1999.5, pp.463~467.
3. 高木 淳, 中下兼次, 名倉健, 中村龍ほか; "世界最墳のLNG地下タンクの合理化施工-東京ガス根岸工場 TL-41LNG地下式貯槽-, "セメント・コンクリート, No.572, pp.8~13, 1994.10.
4. 權寧鎬, 全成根, 李相植, 金武漢, "LNG 지하탱크의 바닥 슬래브 콘크리트의 시공사례," 한국콘크리트학회 학회지 제13권2호(통권61호), 2001.3, pp.56~62.