

# 23,000m<sup>3</sup> 대용량 바닥슬래브 콘크리트의 시공기술

## Construction technology of the massive bottom slab placed by 23,000m<sup>3</sup> concrete quantity

권영호<sup>\*</sup>                      이현호<sup>\*</sup>                      하재담<sup>\*\*</sup>  
Kwon, Yeong-Ho            Lee, Hyun-Ho                Ha, Jae-Dam

### ABSTRACT

This research investigates the actual data and construction technology of the massive bottom slab placed by 23,000m<sup>3</sup> concrete quantity in site of the in-ground type LNG receiving terminal having 200,000kl storage capacity. The purpose of this study is to determine the optimum mix design and control the actual concreting procedures including concrete production, transportation, placement, vibrating and curing in site. For this purpose, the optimum mix design using ternary blended cement(furnace slag cement+fly ash) and under piping method having 11 gates and 7 distributors are selected.

As test results of actual construction, concrete placement is finished during 68hours with good success and obtained the good quality of the fresh and hardened concrete including slump, air contents, no-segregation, compressive strength and low hydration heat. Also, actual data for all of concrete procedures are proved successful and satisfied with our specifications.

### 1. 서 론

지하식 LNG(Liquefied natural gas) 저장탱크는 안정성 확보, 지상설비의 불필요, 그리고 토지 이용율의 증대를 목적으로, 1998년부터 해상운송 및 수도권 공급이 원활한 지리적 이점을 갖춘 인천 LNG 인수기지 저장설비 공사에 건설되기 시작하였다. 1998년부터 국내 최초로 14만kl의 용량을 갖춘 저장탱크(#211, 212-TK)가 건설되기 시작한 이래, 후속공사로 세계 최대의 저장용량(20만kl)을 갖는 저장탱크(#213~218-TK)가 건설중에 있다. 지하식 LNG 저장탱크는 크게 지하연속벽, 바닥슬래브, 측벽 및 지붕공사로 나눌 수 있는데, 약 80m 정도의 깊이에 초대형 매스구조물로 건설되기 때문에 콘크리트는 유동성·충진성·재료분리 저항성뿐만 아니라 초저발열성이 함께 요구된다.

특히, 저장탱크의 바닥슬래브에 적용되는 콘크리트는 바닥두께가 9m이고 이를 2회에 나누어서 타설하게 되는데, 1Lift의 경우에는 23,000m<sup>3</sup>, 2Lift의 경우에는 11,000m<sup>3</sup>의 콘크리트가 약 50m의 하부배관을 통해 타설되기 때문에, 재료분리 및 펌핑성을 고려한 콘크리트의 배합설계 및 수화열 억제, 콜드조인트 및 시공불량을 방지하기 위하여 면밀한 시공계획이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 大宇建設에 의해 시공된 인천기지의 지하식 LNG 저장탱크(#213-TK)의 바

\* 정회원, 동양대학교 건축공학과 교수

\*\* 정회원 쌍용중앙연구소 책임연구원

다슬래브에 사용된 超低熱 콘크리트의 배합설계, 온도관리, 콘크리트의 제조·운반·타설·양생 등에 대한 품질관리 결과를 정리하였으며, 국내에서 최대규모로 타설된 콘크리트의 배합조건 및 시공사례에 따른 자료축적은 물론 이를 통해 국내 콘크리트 기술의 선진화·고품질화 및 요소기술의 공유화를 실현하고자 한다.

## 2. 지하식 LNG 저장탱크의 개요

지하식 LNG 저장탱크의 구조개요 및 시공 순서도는 그림1 및 그림2에 나타난 바와 같다.

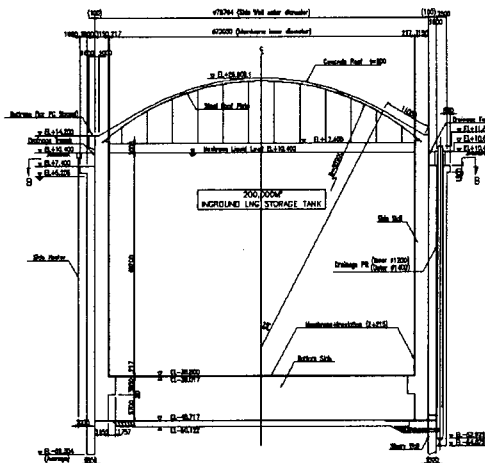


그림 1 지하식 LNG 지하탱크의 구조개요

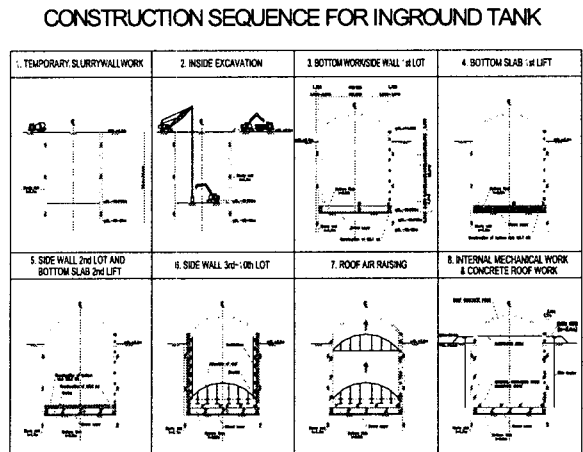


그림2 지하식 LNG 저장탱크의 주요공정 시공순서도

본 공사는 대부분 특수 콘크리트의 공정이고, 단일공사로는 국내에서 처음 시도되는 대규모의 공사로 ①지반 및 지질조사→②가설공사 및 Guide wall 시공→③지하연속벽(Slurry wall) 굴착 및 시공→④Top portion(지하연속벽 상부) 시공→⑤내부굴착 및 하부파일 시공→⑥Pile cap slab 시공→⑦Filter & Gravel layer 포설 및 덮씌움→⑧측벽(Side wall) 1Lot 시공→⑨바닥슬래브(Bottom slab) 1Lift 시공→⑩측벽 2Lot 및 바닥슬래브 2Lift 시공→⑪측벽 3~10Lot 순차적인 시공→⑫Roof air raising 및 Roof 시공→⑬성토 및 마감공사 순서로 시공된다.

본 연구에서는 구조물의 내부직경이 72.8m, 슬래브 두께가 9m인 바닥슬래브의 1Lift(두께 6m)의 매스콘크리트의 배합 및 제조, 시공, 양생 및 품질관리 결과에 대하여 정리하고자 한다.

## 3. 콘크리트의 사용재료 및 배합설계

### 3.1 사용재료 및 요구성능

일본에서 시공된 지하식 LNG 저장탱크의 바닥슬래브 시공사례에 따르면, 콘크리트에 사용된 시멘트는 고로슬래그 시멘트(B중)에 석회석 미분말(Lime stone powder) 또는 플라이애쉬를 혼합하거나 Belite 시멘트에 석회석 미분말을 혼합 또는 Belite 시멘트를 단독으로 사용한 경우가 많았다.<sup>(1)</sup>

본 공사의 바닥슬래브에 사용되는 시멘트는 해외기술선(일본의 大成建設, 大林組, 鹿島)의 시공실적 및 국내 콘크리트 재료의 특성, 경제성 등을 고려하여 3성분계 시멘트(고로슬래그 시멘트+플라이애쉬)로 정하였다. 그러나, 후속공사인 #215, 216 및 #217, 218-TK는 수화열 및 콘크리트의 제조·품질관리 등의 영향을 고려하여 Belite 시멘트와 석회석 미분말을 주요 結合材로 선정하였다.<sup>(2)</sup>

본 연구의 바닥슬래브에 사용된 콘크리트의 재료 및 요구성능은 표 1과 같다.

표 1 바닥슬래브용 콘크리트의 재료 및 요구성능

시멘트	혼화재	잔골재	굵은골재	혼화제	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	엽화물량 (kg/m <sup>3</sup> )	설계강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	배합강도 (kg/cm <sup>2</sup> )
슬래그 시멘트	플라이애쉬	강모래	20mm 쇄석	폴리-카르본계	18±3.0	5±1	0.3 이하	240	288

여기서, 굳지 않은 콘크리트의 요구성능은 경시변화 90분까지 만족해야 하며, 공기량의 범위가 5±1%인 것은 LNG가 저장될 때의 액화온도가 -162℃ 정도로 낮기 때문에, 내구성 측면에서 공기량의 범위를 가급적으로 높게 선정하였다.

### 3.2 콘크리트의 배합조건 및 실험결과

콘크리트의 배합설계는 워커빌리티, 강도, 수화열 및 경제성을 고려하여 표 2와 같은 배합조건을 제시하였으며, 물/결합재비(W/B) 52.3%인 배합조건을 최적배합으로 선정하였다.

표 2 바닥슬래브용 콘크리트의 배합조건 및 실험결과

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	
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	

### 3.3 현장에서의 품질 확인시험

선정된 콘크리트의 배합조건에 대해 현장에 설치된 배처플랜트(이하 B/P)에서 품질확인 시험을 실시하였으며, 믹서의 암페어를 고려하여 배합시간을 55초로 정하였다. 이에 따라 3m<sup>3</sup> 및 6m<sup>3</sup>의 콘크리트를 생산하는데 소요되는 시간은 각각 115초 및 170초이며, 연속생산성 시험으로부터 믹서의 안전효율을 고려하여 1기당 100~110m<sup>3</sup>/hr의 콘크리트 생산이 가능한 것으로 나타났다. 콘크리트의 생산성 시험 및 현장에 설치된 배관라인으로 사전에 펌핑시험을 실시하였으며, 이를 통해 나타나는 시공상의 문제점을 검토하여 보완하였다.

## 4. 콘크리트의 생산 및 타설계획

### 4.1 플랜트의 생산설비 및 생산계획

바닥슬래브용 콘크리트를 제조하기 위하여 인천 LNG 인수기지 현장에 설치된 자체 B/P의 생산설비 및 대물량 콘크리트의 생산을 위한 재료공급 계획은 각각 표 3 및 표 4와 같다.

표 3 현장 배처플랜트의 설비 및 용량

구분	설비용량
저장 설비	시멘트: 500톤 Silo×4기 혼화재: 500톤 Silo×4기 혼화재: 15톤 Tank×4기 배합수: 200톤 Tank×4기
생산 설비	Mixer 용량 : 210m <sup>3</sup> /hr×4기 (360~440m <sup>3</sup> /hr)
보조 설비	Chiller : 150RT×4기 Boiler : 4만kcal × 3기 Generator : 500kW×2기
운반 설비	Agitator 댓수 : 39~41대 Agitator 용량 : 6m <sup>3</sup> /대

표 4 콘크리트의 재료공급 계획 (1Lift 경우)

구분	소요량	공급계획	비고
시멘트	5,120 (Ton)	- 생산전 Silo반입(2,000T) - 1일 1,500Ton 입고	청 원 (177km)
플라이 애쉬	2,215 (Ton)	- 생산전 Silo반입(1,800T) - 1일 500Ton 입고	태 안 (180km)
굵은골재	16,700(m <sup>3</sup> )	- 생산전 20,000m <sup>3</sup> 반입	광 명
잔골재	11,200(m <sup>3</sup> )	- 생산전 15,000m <sup>3</sup> 반입	금 강
혼화제	86.5 (Ton)	- 생산전 50Ton Tank 반입 - 1일 30Ton 입고	홍 천 (140km)

생산설비는 사전에 점검을 실시하였고, 콘크리트를 생산하는 도중에 발생할 수 있는 문제점에 대해서는 여분의 장비와 인력을 배치하였다. 배처플랜트 운영은 믹서당 2개조(조당 12명)로 12시간 교대하도록 인원계획을 세웠으며, 콘크리트의 품질관리는 6인 2개조로 구성하여 실시하였다. 콘크리트의 품

질관리 빈도는 기본적으로 150m<sup>2</sup>당 1회를 기준으로 슬럼프, 공기량 등의 시험을 실시하였다. 특히, 공시체는 150m<sup>2</sup>당 91일 재령의 1조 및 450m<sup>2</sup>당 7, 28, 91일 재령의 3조씩 제작하는 것으로 계획하였다.

### 4.2 콘크리트의 타설계획

바닥슬래브의 콘크리트를 타설하기 위한 장비 및 인원계획은 다음과 같다.

#### 1) 콘크리트의 타설계획

콘크리트의 타설계획은 그림3에 나타난 바와 같이 지상에 11대의 펌프카를 배치하고 배관파이프(직경 150mm)를 통하여 콘크리트가 하부로 압송되도록 하였다. 여기서, 펌프카 #1호기, #4호기, #7호기 및 #9호기는 T-밸브(분지관)로, 나머지 7대의 펌프카는 분배기(Distributor)로 콘크리트를 타설할 수 있도록 배치하였다. 또한, 탱크바닥의 원모양은 각각의 분배기로 콘크리트를 타설할 수 있는 영역을 나타낸 것이다. 수직배관은 자유낙하로 인한 재료분리의 방지 및 원활한 펌핑성을 위하여 2개소에 곡면부를 설치하였다. 수평배관은 분배기와 T-밸브의 배관으로 나누어지며, 분배기의 경우에는 일정한 간격으로 바닥슬래브 하부까지 트레미로 수직배관을 설치하여 콘크리트의 낙하높이를 최소화하였다.

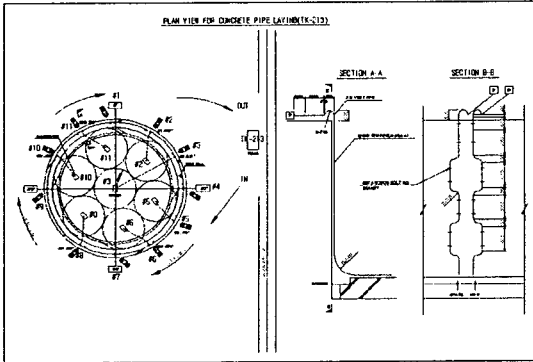


그림 3 콘크리트의 배관 및 타설계획

T-밸브의 경우에는 각각의 타설구에 플렉시블 호스를 부착하여 하부의 콘크리트 타설높이를 최소화하도록 하였다. 특히, T-밸브에는 콘크리트 타설 게이트가 12개소 설치되어 있는데, 초기의 모르타르를 펌핑할 때는 12개소 전부를 열어놓은 상태에서 1번부터 모르타르가 통과된 것을 확인한 후 순차적으로 타설 게이트를 닫으면서 11번까지 반복하도록 하였으며, 콘크리트는 배관의 끝단인 12번부터 10분간 타설한 후 역순으로 이웃한 11번의 타설을 시작하면서 12번을 닫도록 계획하였다. 따라서, 반복하여 동일한 번호의 게이트에 콘크리트가 다시 타설되는데 걸리는 시간은 130분 정도가 소요된다.

#### 2) 다짐 및 배수계획

다짐은 고주파 바이브레이터를 사용하였으며, 각각의 콘크리트 타설구에 2대씩을 상시 가동하도록 하고 1대는 예비로 배치하였다. 또한, 콘크리트 타설중에 발생할 수 있는 블리딩수 및 빗물처리를 위하여 하부에 진공펌프를 배치하였으며, 이를 Notch tank로 수집하여 지상으로 배출하도록 계획하였다.

#### 3) 작업 및 품질관리를 위한 인원배치

콘크리트의 작업 및 품질관리를 위한 인원배치 계획은 표 5와 같다.

표 5 작업 및 품질관리 인원의 배치계획

구분	업무	배치인원	업무	배치인원	비고
탱크 상부	차량 유도원	3명 (배차/송장)	배관보수 요원	6명 (개폐관리)	소계 49명
	슈트 작업원	22명 (2명/펌프카)	상/하 신호수	11명 (1명/펌프카)	
	품질·안전팀	5명 (총괄포함)	전기 관리원	2명 (상/하부)	
탱크 하부	T-밸브 (4기)		분배기 (7기)		소계 113명
	작업 반장	4명 (1명/밸브)	작업 반장	7명 (1명/분배기)	
	밸브 개폐공	4명 (1명/밸브)	분배기 조정공	14명 (2명/분배기)	
	배관 관리공	8명 (2명/밸브)	진동 다짐공	42명 (6명/분배기)	
	진동 다짐공	20명 (5명/밸브)	청 소 공	3명 (발판이동)	
	시공/품질관리	4명 (1명/밸브)	시공/품질관리	7명 (1명/분배기)	
전체인원 (주·야간) 162명 (324명)					

### 4.3 콘크리트의 제조 및 품질관리

콘크리트는 현장내에 설치된 A·B 플랜트(믹서 각각 2기)에서 동시에 제조되었으며, 현장까지의 운반시간은 약 5분정도 소요되었다. 시험빈도는 초기에 각각의 믹서에 대해 3대씩, 이후에는 150m<sup>3</sup>마다 1회로 측정하였다. 또한, 콘크리트의 품질에 영향을 미치는 잔골재의 표면수율 관리를 수시로 실시하여 배합조건에 반영하였다.

#### 1) 에지테이터 뎛수 산정

바닥슬래브 콘크리트의 타설을 위한 배관라인 및 펌프카는 11대가 설치되어 있으며, 콘크리트의 생산시간(약 4분), 운반시간(약 8분), 대기 및 타설시간(약 9분) 및 회차시간(약 9분)을 고려하여 에지테이터의 1회전 시간에 따른 뎛수를 산정하였다. 산정결과, 에지테이터의 뎛수는 34대이고 여기에 예비용 8대를 포함하여 총 42대의 에지테이터를 사용하였다.

#### 2) 시간당 콘크리트의 생산량 및 품질관리 결과

A·B 플랜트에서 시간당 콘크리트의 생산량 및 품질관리 결과는 그림4 및 그림5와 같다.

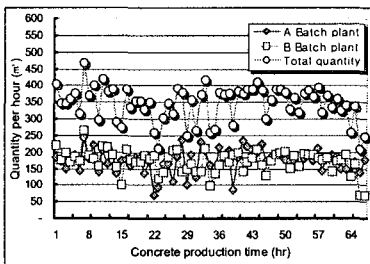


그림4 시간당 콘크리트의 생산량

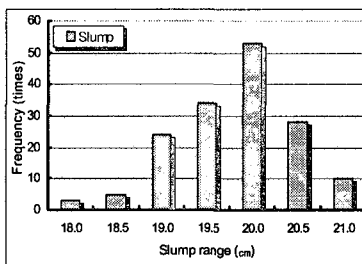


그림5(a) 슬럼프 시험결과 분포도

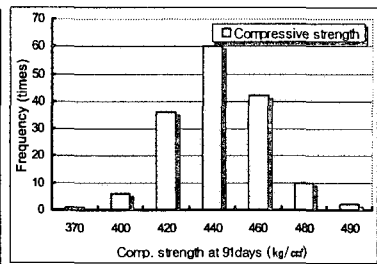


그림5(b) 압축강도 시험결과

분포도

전체적인 콘크리트의 시간당 생산량은 최대 468m<sup>3</sup>, 최소 209m<sup>3</sup> 및 평균 346m<sup>3</sup>로 나타났으며, 슬럼프는 평균 19.8cm, 표준편차 0.71cm, 변동계수 3.4%로 나타났다. 재령 91일의 압축강도를 측정한 결과, 평균값은 442kg/cm<sup>2</sup>, 최대값은 493kg/cm<sup>2</sup> 및 최소값은 378kg/cm<sup>2</sup>을 나타내었으며, 이때의 표준편차는 20.4kg/cm<sup>2</sup>이고 변동계수는 4.6%로 매우 양호한 결과를 나타내었다.

### 4.4 콘크리트의 타설 및 양생관리

현장에서의 콘크리트 타설상황 및 양생관리 방법은 Photo 1 및 그림6에 나타난 바와 같다.

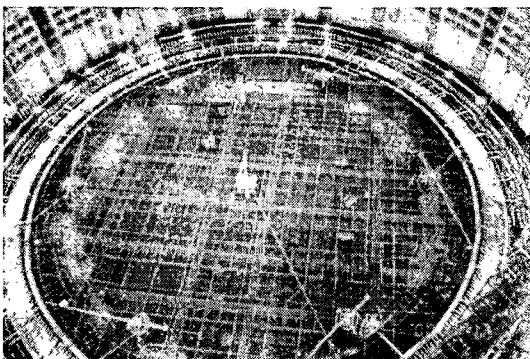


Photo 1 바닥슬래브 콘크리트의 타설상황 (야간)

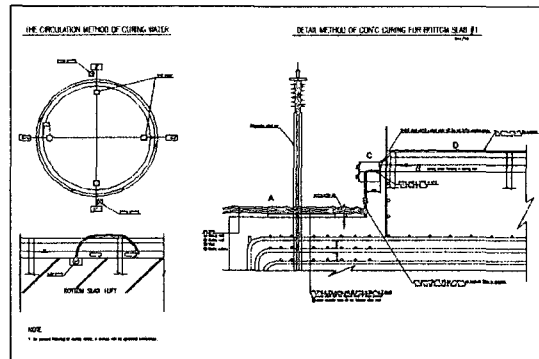


그림6 콘크리트의 영역별 양생방법

펌프카 1대당 콘크리트의 타설용량은 시간당 40m<sup>3</sup>로 11대의 용량은 약 440m<sup>3</sup>이다. 또한, 펌프카의 압송압을 80~100kg/cm<sup>2</sup>로 관리하였으며, 콘크리트의 응결시간(초결 13시간, 종결 18시간)을 고려하여 분배기 및 T-밸브의 타설높이 및 콜드조인트 관리에 반영하였다. 또한, 한꺼번에 타설하는 콘크리트의 두께가 6m인 바닥슬래브는 수화열이 높기 때문에 양생관리에 의한 균열제어가 매우 중요하다.

따라서, 콘크리트의 양생관리는 4개의 영역(A, B, C 및 D)으로 나누어, A영역은 콘크리트 타설을 완료한 후에 7일간 비닐+양생포2겹+비닐을 설치하고 濕潤養生을 실시하였으며, B영역은 타설완료일 부터 5일 경과 후 거푸집을 제거한 뒤 Joint재(t=30)를 면에 부착하였다. C영역은 비닐+양생포+비닐을 덮고 소정의 기간동안 양생을 실시하였다. 가장 중요한 D영역은 양생포를 표면에 깔고 약 10cm정도로 담수한 다음 상부에 양생포를 깔고 비닐천막을 씌워 약 2개월 동안 담수양생을 실시하였다.

양생관리는 바닥슬래브의 각 위치에 설치된 열전대의 온도측정으로 하였다. 하부 콘크리트의 온도는 안정된 지반온도의 영향을 받기 때문에, 최고점의 온도가 7.5일만에 35.0℃에 도달하였으며 계속 일정한 온도로 유지되고 있는 경향을 보였다. 또한, 중앙부 온도는 콘크리트의 水和熱에 의한 영향을 가장 많이 받기 때문에, 최고점의 온도가 8.5일(타설전 1일 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, 단열온도 상승시험에서 분석한 해석값과 비교하여 상관성 및 정확성을 정량적으로 평가할 수 있을 것이다.

## 5. 결 론

국내 처음으로 시도된 23,000m<sup>3</sup>의 대규모 콘크리트 물량을 연속적으로 68時間동안 지하식 LNG 저장탱크의 바닥슬래브에 성공적으로 타설할 수 있었던 것은 워커빌리티, 재료분리 저항성을 갖는 콘크리트의 최적배합설계 및 재료의 품질변동을 고려한 대처방안, 그리고 본 공사와 관련된 모든 엔지니어들의 철저한 준비와 축적된 시공기술 및 콘크리트의 품질관리에 대한 인식변화의 결과로 사료된다.

본 공사를 수행하면서 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 슬럼프가 20cm정도인 콘크리트의 배합설계는 압축강도, 수화열 외에도 컨시스턴시(점도)와 워커빌리티에 대한 적합성 등의 요구성능을 고려하는 것이 매우 중요하며, 특히 콘크리트의 자유낙하에 따른 재료분리 및 막힘을 방지하기 위하여 수직배관에 꼭면부를 설치하는 것이 중요하다.
- 2) 고로슬래그 시멘트 및 플라이애쉬를 사용한 3성분계 콘크리트는 경제성 및 자원의 유효이용에 대한 효과가 있는 반면, 수화열의 최소화 방안 및 플라이애쉬의 수급·품질변동에 대한 문제점이 있기 때문에 후속공사에 벨라이트 시멘트 및 석회석 미분말을 사용하는 방안을 검토해야 한다.
- 3) 현장시공에 있어서 배차 및 현장관리, 분배기와 T-밸브의 적절한 대수선정 및 적소배치는 시공효율에 중요한 영향을 미치기 때문에, 정량적인 자료를 분석하여 향후 활용하는 방안이 필요하다.
- 4) 매스구조물의 수화열에 의한 온도균열을 억제하기 위한 콘크리트의 재료 및 배합선정, 시공상의 수화열 관리, 그리고 효과적인 양생관리 방안에 대해 실측자료를 Data base화하는 것이 필요하다.

## 참고문헌

1. 高木 淳, 中下兼次, 名倉健, 中村龍ほか; “世界最填の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.
2. 權寧鎬, 河在潭, “석회석 미분말을 혼입한 초저발열 매스 콘크리트의 특성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술발표논문집 제12권2호, 2001.11, pp.1175~1180.