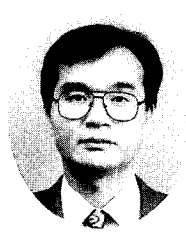


LNG 지하탱크의 바닥 슬래브 콘크리트 시공 사례

- An Application under Bottom Slab Concrete of the LNG Underground Tank -



권영호*



전성근**



이상직***



김무한****

1. 머리말

LNG 저장탱크는 안정적이고 환경 친화적이면서, 저렴한 에너지를 공급하기 위하여 정부가 국책 사업의 일환으로 수행하고 있는 대규모 건설 공사로, 평택·인천에 10만 *kl*의 용량을 갖춘 지상식 탱크가 건설된 바 있으며, 최근에는 통영에 14만 *kl*의 저장 용량을 갖춘 LNG 지상식 탱크가 건설되고 있다. 그러나, 지금까지 국내에서 건설된 LNG 저장탱크는 대부분 지상식 탱크였기 때문에, 설계·엔지니어링·기계, 운전 등에 대한 know-how는 매우 중요한 요소 기술로 인식되어 왔으나, 구조물에 Pre-stressed 또는 Post-tension을 도입하여 건설되었기 때문에 콘크리트 부분은 중요한 요소 기술로 간주되지 않았다.

최근, 시공 기술 및 콘크리트 요소 기술의 발전에 따른 기술력 향상 및 LNG 저장탱크의 안정성 확보, 지상

설비의 불필요, 그리고 토지 이용률의 증대를 목적으로, 1998년부터 한국가스공사에서는 해상 운송 및 수도권 공급이 원활한 지리적 이점을 갖춘 인천 LNG 인수기지 저장 설비 공사에 지하식 LNG 저장탱크를 건설하기 시작하였다.

지하식 LNG 저장탱크의 역사는 일본의 동경가스에서 도시가스의 수요 증가에 대응하기 위하여 1945년부터 건설하기 시작한 이래, 현재 根岸 공장의 경우에는 세계 최대 규모인 20만 *kl* 용량을 가동하고 있다. 국내에서도 1998년 한국가스공사의 인천 LNG 인수기지에 국내 최초로 14만 *kl*의 저장 용량을 갖춘 지하식 탱크(#211, 212-TK)가 건설되기 시작한 이래, <사진 1>에 나타난 바와 같이 후속 공사로 세계 최대의 저장 용량(20만 *kl*)을 갖는 지하식 탱크(#213, 215, 216 및 #218-TK)가 대우건설에 의해 시공되고 있다.

현재의 건설 공정을 살펴보면, #213-TK의 경우 Slurry wall(이하, 지하연속벽), Side wall(이하, 측벽) 1Lot 및 Bottom slab(이하, 바닥 슬래브)

1Lot가 완성되었다.

또한, #215, 216-TK의 경우에는 지하연속벽이 완성되었으며 측벽 및 바닥 슬래브 공사를 위한 내부 굴착이 완료된 상태이고, #218-TK의 경우에는 지하연속벽 공사가 진행 중에 있다.

여기서, 지하연속벽에 사용되는 콘크리트는 고강도(400 kg/cm²) 콘크리트일 뿐만 아니라, 타설시의 자기충전성 및 트레미(Tremie)에 의한 시공성의 확보로 인하여 고유동 콘크리트의 성능이 요구되며, 경화 과정에서 구조체에 발생할 수 있는 온도 균열을 방지하기 위하여 저발열성이 요구된다.

특히, 탱크의 본체 콘크리트에서 바닥 슬래브에 적용되는 콘크리트는 바

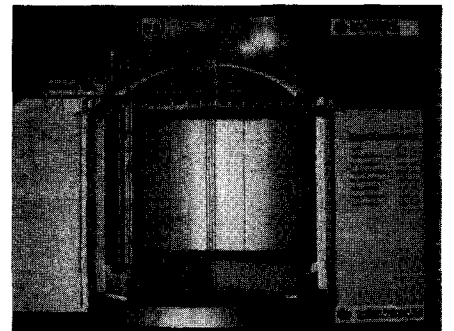


사진 1. 인천 LNG 지하탱크 구조도(20만 *kl*)

* 정회원, 대우건설 인천LNG현장 품질팀장
 ** 대우건설 인천LNG현장 토목소장
 *** 한국가스공사 인천LNG인수기지 토건팀장
 **** 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수

다 두께가 9m이고 이를 2회에 나누어서 타설하기 때문에, 균열을 방지하기 위한 초저열 콘크리트의 성능이 요구된다. 1Lift의 경우, 2만 3,000m³의 콘크리트가 한꺼번에 타설되기 때문에 콘크리트의 배합 설계 및 수화열 억제, 콜드 조인트 및 시공 불량을 방지하기 위하여 면밀한 시공 계획이 요구된다.

따라서, 본 연구에서는 대규모 매스 구조물인 인천 LNG 지하식 탱크의 바닥 슬래브에 사용된 초저열 콘크리트의 배합 설계, 온도 관리, 콘크리트의 제조·운반·타설·양생 등에 대한 품질 관리 결과를 정리하였으며, 국내에서 최대 규모로 타설된 콘크리트의 배합 및 시공 사례에 따른 자료 축적은 물론 이를 통해 국내 콘크리트 기술의 선진화·고품질화 및 요소 기술의 공유화를 실현하고자 한다.

특히, 콘크리트의 재료는 요구 성능(수화열, 강도, 내구성), 경제성 및 자원의 유효 이용이라는 관점에서 고로슬래그 미분말 50% 및 플라이애쉬 30%를 치환한 3성분계 시멘트를 사용하였기 때문에, 이러한 대형 구조물에 시공한 사례를 통해 국내의 콘크리트 분야에 대한 기술의 발전도 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

2. LNG 지하식 탱크의 공사 개요

2.1 공사 개요

지하식 탱크의 공사 개요는 <표 1>과 같다.

<표 1>에 기술한 바와 같이 대부분 특수 콘크리트의 공정이고, 단일 공사로 국내에서 처음 시도되는 규모의 공사임을 알 수 있다.

표 1. LNG 지하식 탱크의 공사 개요

구분	내용
공사명	인천 LNG 인수기지 시설 현장(1차)
발주처	한국가스공사
시공사	대우건설 (#213-TK : 1차현장)
주요토목공정	① 지하연속벽 ② 바닥 슬래브 ③ 측벽 ④ 지붕
공사기간	1998.11 ~ 2002.7 (3년 8개월)
주요설계물량	① 콘크리트 : 132,312 m ³ ② Re-bar : 23,989 Ton ③ Pre-stressing : 94 Ton ④ Roof & Deck PL. : 710 Ton

표 2. 인천 LNG 지하탱크의 주요 구조물의 개요 (#213-TK)

구분	지하연속벽	바닥 슬래브	측벽
설계기준강도	400 kg/cm ² (91일)	240 kg/cm ² (91일)	270~300 kg/cm ² (91일)
구조물사양	- 내부직경 : 78.5m - 연속벽 두께 : 1.7m - 연속벽 깊이 : 75.0m	- 내부직경 : 72.6m - 슬래브 두께 : 9.0m	- 측벽 두께 : 3.0m - 측벽 높이 : 50m
콘크리트 타설 계획	- 선행판넬 : 26개 (판넬길이 : 7.24m) - 후행판넬 : 26개 (판넬길이 : 2.8m)	- 2개 Lift로 분할 타설 - 1Lift : 6.0 m - 2Lift : 3.0 m	- 10Lot로 분할 타설 - 순차적으로 타설 - 1Lot 평균높이 : 5m
콘크리트 특성	병용계 고유동 콘크리트	초저열 콘크리트	초저열 콘크리트
콘크리트 물량	37,500m ³ / tank	35,500m ³ / tank	55,000m ³ / tank

지하식 탱크의 주요 시공 순서는 다음과 같다.

- 1) 지반 및 지질 조사
- 2) 가설 공사 및 Guide wall 콘크리트 시공
- 3) 지하연속벽(Slurry wall) 굴착 및 시공
- 4) Top portion(지하연속벽 상부) 콘크리트
- 5) 내부 굴착 및 하부 파일 시공
- 6) Pile cap slab 콘크리트 시공
- 7) Filter & Gravel layer 포설 및 덮씌움
- 8) 측벽(Side wall) 1 Lot 콘크리트 시공
- 9) 바닥 슬래브(Bottom slab) 1 Lift 시공
- 10) 측벽 2 Lot 및 바닥 슬래브 2 Lift 시공
- 11) 측벽 3~10 Lot 순차적인 시공
- 12) Roof air raising 및 Roof 콘크리트 시공
- 13) 성토 및 마감 공사

물론, 상기의 시공 순서는 순수하게 토목 공사만 국한시킨 공정이며, 기계 및 설비 공정은 제외하였다. 현재 본 공사는 9단계까지 완료되었으며, 본고에서는 바닥 슬래브의 콘크리트 배합 및 제조, 시공, 양생 및 품질 관리 결과에 대하여 기술하고자 한다.

2.2 구조 개요

본고에서 기술하고자 하는 LNG #213-TK의 주요 구조물의 개요는 <표 2>와 같다.

<표 2>에서 보듯이 탱크당 콘크리트가 차지하는 공정이 매우 중요하며, 특히 바닥 슬래브의 경우에는 콘크리트의 타설 높이(6m) 및 물량(약 2만 3,000m³)의 측면에서 볼 때 국내에서 처음으로 시도되는 것으로 간주해도 무방할 것으로 판단된다.

3. 사용 재료 및 콘크리트 배합 설계

3.1 사용 재료

일본의 LNG 지하식 탱크의 바닥 슬래브 시공 사례에 따르면, 콘크리트에 사용된 시멘트는 고로 슬래그 시멘트(B종)에 석회석 미분말(L.S.P) 또는 플라이 애쉬를 혼합하거나 Belite 시멘트에 석회석 미분말을 혼합 또는 Belite 시멘트를 단독으로 사용한 경우가 많았다.⁽¹⁾

본 탱크의 바닥 슬래브에 사용된 시멘트는 해외기술선(일본의 大成建設, 大林組, 鹿島)의 시공 실적 및 국내 콘크리트 재료의 특성, 경제성 등을 고려하여 3성분계 시멘트(고로 슬래그 시멘트+플라이 애쉬)로 정하였다. 그러나, 후속 공사인 #215, 216 및 #218-TK는 수화열 및 콘크리트의 제조·품질 관리 등을 고려하여 Belite 시멘트와 석회석 미분말을 주요 결합재로 선정하였으며, 이로 인해 공정별 사양이 다른 콘크리트를 동일한 플랜트에서 균일한 품질로 생산할 수 있게 되었다.

바닥 슬래브의 콘크리트에 사용된 재료는 <표 3>과 같다. 고로 슬래그 시멘트(B종)는 분말도 4,000 cm²/g, 비중 3.05, 슬래그 치환율이 평균 50%인 S社의 제품을 사용하였고, 플라이 애쉬는 분말도 3,150 cm²/g, 비중 2.21인 태안 화력발전소의 제품을 사용하였다.

또한, 굵은골재는 조립률 6.69, 비중 2.8, 흡수율 0.66%인 20 mm 쇠

석을 사용하였으며, 잔골재는 조립률 2.55, 비중 2.63, 흡수율 0.71%인 강모래를 사용하였다. 특히, 고성능 AE 감수제는 경시 변화 90분까지 굳지 않은 콘크리트의 물성을 유지하기 위해 액상형 폴리카르보네트를 사용하였다.

3.2 콘크리트의 요구 성능

바닥 슬래브에 타설될 콘크리트의 설계기준강도는 240 kg/cm²이지만, 배합강도는 변동계수(V) 10%를 고려한 할증계수(α) 1.2를 적용하였으며 콘크리트의 요구성능은 [표 4]와 같다.

여기서, 굳지 않은 콘크리트의 성능은 경시 변화 90분까지 만족해야 한다. 특히, 공기량의 범위가 5 ± 1%인 것은 LNG가 저장될 때의 액화 온도가 -162 ℃ 정도로 낮기 때문에, 내구성 측면에서 공기량의 범위를 가급적 높게 선정할 것이다.

특히, 지금까지 일반적인 콘크리트 공사는 상부로 콘크리트를 펌핑하는 것인데 비해, LNG 지하식 탱크는 하부로 50 m 정도 펌핑해야 하기 때문에 콘크리트의 컨시스턴시를 유지하면서 재료분리를 방지하는 것이 중요한 사항이다.

3.3 콘크리트의 배합 조건

바닥 슬래브용 콘크리트의 배합 설계는 워커빌리티, 강도, 수화열 및 경제성 측면에서 다각도로 검토되어 왔

으며, 3성분계 초저열 콘크리트의 특성을 갖는 배합 설계의 조건에 만족하는 배합조건을 도출하고자 하였다.

강도 및 수화열 특성, 변수별 시험 결과를 고려하여 <표 5>와 같은 배합 조건을 제시하였으며, 이에 대한 굳지 않은 콘크리트의 특성 및 재령 강도, 수화열 특성을 검토하였다.

각각의 배합 조건에 대하여, 굳지 않은 콘크리트의 성능 및 경시 변화, 재령별 압축 강도의 결과는 모두 만족하였다. 또한, <그림 1>과 같은 단열 온도 상승 시험의 결과, $K = 38.1 \text{ }^\circ\text{C}$, $\alpha = 0.250$ 을 나타낸 두 번째 배합 조건(W/B = 52.3%)을 최적 배합으로 선정하였다.

단열 온도 상승 시험의 결과 및 재령별 압축 강도, 인장 강도, 탄성계수, 크리프계수 등을 사용하여 온도응력을 해석하였다. 해석 결과, 선정된 바닥 슬래브용 콘크리트의 배합 조건은 균열지수가 1.05 ~ 1.26을 나타내어 요구 조건인 1.0 이상을 만족하였다.

따라서, 물/결합재 52.3%인 배합 조건을 바닥 슬래브용 콘크리트의 최적 배합으로 선정하였다.

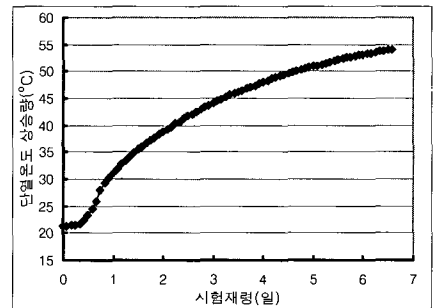


그림 1. 단열 온도 상승 시험 결과(W/B=52.3)

표 3. 바닥 슬래브용 콘크리트의 재료

시멘트	혼화재	잔골재	굵은골재	혼화제
슬래그 시멘트	플라이 애쉬	강모래	20 mm 쇠석	폴리카르보네

표 4. 바닥 슬래브용 콘크리트의 요구 성능

슬럼프 (cm)	공기량 (%)	열화물량 (kg/m ³)	설계강도 (kg/cm ²)	배합강도 (kg/cm ²)
18±2.5	5±1	0.3 이하	240	288

표 5. 바닥 슬래브용 콘크리트의 배합 조건

W/B (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m ³)					Ad (B×%)
		W	C	F/A	S	G	
50.8	41.5	161	222	95	726	1,035	1.17
52.3	41.0	161	215	93	720	1,049	1.18
53.7	41.0	161	210	90	724	1,053	1.18

3.4 플랜트에서의 콘크리트 확인 시험

실내에서 선정된 배합 조건에 대해 배척플랜트의 확인 시험을 실시하였다. 배합 시간은 믹서의 부하를 나타내는 암페어 및 이때의 콘크리트 상태를 확인하여 선정하였다. 비교적 암페어가 안정적인 값을 나타낸 55초를 최종 배합 시간으로 선정하였다. 이러한 배합 시간을 근거로 시간당 생산량을 산출한 결과, 믹서당 90~100m³/hr의 콘크리트 생산이 가능한 것으로 나타났다. 또한, 플랜트에서 최종적인 콘크리트의 품질 시험을 실시하였으며, 결과는 <표 6>과 같다. 본 배합 조건으로 콘크리트를 생산하여 현장에 설치된 배관라인으로 사전에 펌핑 시험을 실시하였으며, 이를 통해 나타나는 문제점을 체크하여 보완하였다.

4. 콘크리트의 생산 및 타설

바닥 슬래브 콘크리트를 타설하기 위한 준비 및 공정상의 품질관리 포인트는 다음과 같다.

4.1 콘크리트 생산 설비 및 용량

인천 LNG 인수기지에는 자체 배척

플랜트 생산 설비가 갖추어져 있으며, 바닥 슬래브용 콘크리트를 제조하기 위한 생산 설비 및 용량은 <사진 2> 및 <표 7>과 같다.

생산 설비는 사전에 점검을 실시하였고, 콘크리트를 생산하는 도중에 발생할 수 있는 문제점에 대해서는 여분의 장비와 인력을 배치하였다.

4.2 재료 공급 및 생산 관리 계획

23,000 m³ 정도의 콘크리트 물량을 한꺼번에 생산·타설하기 위해서는 먼저 재료 공급이 원활해야 한다. 따라서, 공사 개시 전에 <표 8>과 같이 재료 공급에 대한 계획을 수립하여 실시하였다. 배척 플랜트 운영은 믹서당 2개 조(조당 12명)로 12시간 교대하도록 인원 계획을 세웠으며, 콘크리트의 품질 관리는 6인 2개 조로 계획하였다.

콘크리트의 품질 관리는 기본적으로 150m³당 1회를 기준으로 슬럼프, 공기량 등의 시험을 실시하였다. 특히, 공시체는 150m³당 91일 재령의 1조

및 450m³당 7, 28, 91일 재령의 3조씩 제작하는 것으로 계획하였다.

4.3 콘크리트 타설 계획

바닥 슬래브에 콘크리트를 타설하기 위한 장비 및 인원 계획은 다음과 같다.

(1) 콘크리트의 타설 방법

콘크리트의 타설 방법은 <그림 2>에 나타난 바와 같이 지상에 11대의 펌프카를 배치하고 배관 파이프를 통해 하부로 압송되도록 하였다.

여기서, 펌프카 #1호기, #4호기, #7호기 및 #9호기는 T-밸브(분지판)로, 나머지 7대의 펌프카는 분배기로 콘크리트를 타설할 수 있도록 배치하였다. 또한, 탱크 바닥의 원모양은 각각의 분배기로 콘크리트를 타설할 수 있는 영역을 나타낸 것이다.

표 6. 플랜트에서의 최종 배합 시험 결과

항 목	경시 변화에 따른 시험 결과				비고
	직후	30분	60분	90분	
슬럼프(cm)	20.5	20.0	20.0	20.0	양호
공기량(%)	4.3	4.8	5.1	5.0	양호

표 7. 현장 배척 플랜트의 설비 및 용량

구분	설비 용량	비고
저장 설비	- 시멘트: 500톤 사이로 × 4기 - 혼화재: 500톤 사이로 × 4기 - 혼화재: 15톤 탱크 × 4기 - 배합수: 200톤 탱크 × 4기	플라이 애쉬
생산 설비	- Mixer 용량 : 210m ³ /hr × 4기 - 생산용량 : 360~400m ³ /hr	-배합 시간
보조 설비	- Chiller : 150RT × 4기 - Boiler : 40만kcal × 4기 - Generator : 500kW × 2기	-서중 -한중 -정전
운반 설비	- Agitator 댓수 : 39~41대 - Agitator 용량 : 6m ³ /대	-타설 용량

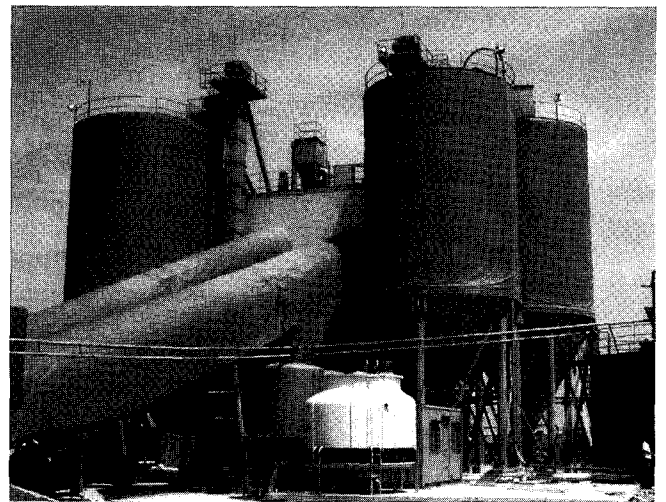


사진 2. 현장 배척 플랜트의 전경

표 8. 콘크리트의 재료 공급 계획

구분	소요량	공급 계획	비고
시멘트	5,120 (Ton)	- 생산 전 Silo 반입(2,000T) - 1일 1,500T 입고	청원 177km
플라이 애쉬	2,215 (Ton)	- 생산 전 Silo 반입(1,800T) - 1일 500T 입고	태안 180km
굵은 골재	16,700 (m ³)	- 생산 전 20,000m ³ 반입	광명
잔골재	11,200 (m ³)	- 생산 전 15,000m ³ 반입	금강
혼화재	86.5 (Ton)	- 생산 전 50T Tank 반입 - 1일 30T 입고	-

수직 배관은 자유낙하로 인한 재료 분리의 방지 및 원활한 펌핑성을 위하여 2개 소에 곡면을 설치하였다.

수평 배관은 분배기와 T-밸브의 배관으로 나누어지며, 분배기의 경우에는 일정한 간격으로 바닥 슬래브 하부까지 트레미로 수직 배관을 설치하여 콘크리트의 낙하 높이를 최소화하였다. T-밸브의 경우에는 각각의 타설구에 고무호스를 부착하여 하부까지 콘크리트를 타설할 수 있도록 하였다.

특히, T-밸브에는 콘크리트 타설구가 12개 소 설치되어 있는데, 초기의 모르타르를 펌핑할 때는 12개 소 전부를 열어놓은 상태에서 1번부터 모르타르가 통과된 것을 확인한 후 순차적으로 타설구를 닫으면서 11번까지 반복한다. 콘크리트는 배관의 끝단인 12번부터 10분간 타설한 후 역순으로 이웃한 11번의 타설을 시작하면서 12번을 닫는다. 따라서, 반복하여 동일한 번호의 타설구에 콘크리트가 다시 타설되는 데 걸리는 시간은 130분 정도가 소요된다.

(2) 작업 및 품질 관리를 위한 인원 배치
콘크리트의 작업·품질 관리를 위한 인원 배치는 <표 9>와 같다.

콘크리트 타설이 시작되기 전에 모든 작업자 및 시공사의 시공·품질 관리 요원이 정위치하여 리허설을 실시하였으며, 배관 라인이 막힐 경우에 신속히 조치할 수 있도록 계획하였다.

4.4 콘크리트 생산 및 품질 관리

콘크리트는 현장 내에 설치된 A·B 플랜트(믹서 각각 2기)에서 동시에 생산되었으며, 현장까지의 운반 시간은 약 5분 정도 소요되었다. 시험 빈도는 초기에 각각의 믹서에 대해 3대씩, 이후에는 150m³마다 1회로 측정하였다. 또한, 콘크리트의 품질에 영향을 미치는 잔골재의 표면수를 관리할 철저하여 배합 조건에 반영하였다.

(1) 콘크리트의 생산량

A·B 플랜트에서 시간당 콘크리트의 생산량은 <그림 3>에 나타난 바와 같다.

전체적인 콘크리트의 시간당 생산량은 최대 468 m³, 최소 209 m³ 및 평균 346 m³로 나타났다. 생산성이 낮은 시간대는 주로 교대 및 식사 시간, 그리고 약간의 플랜트 트러블로 인한 것이지만, 대체적으로 무난한 경향을 보였다.

전체 생산량은 23,180 m³이고 콘크리트

리트의 타설을 완료하는 데 소요된 시간은 68시간으로 나타났다. 그러나, 현장의 타설 능력을 고려하면 시간당 400 m³ 정도 공급해야 할 것으로 평가된다.

(2) 콘크리트의 품질 시험 결과

품질 관리 항목은 슬럼프·공기량·염화물량, 단위중량 및 재령별 압축강도이며, <그림 4>는 빈도별 슬럼프값의 측정 결과를 나타낸 것이다.

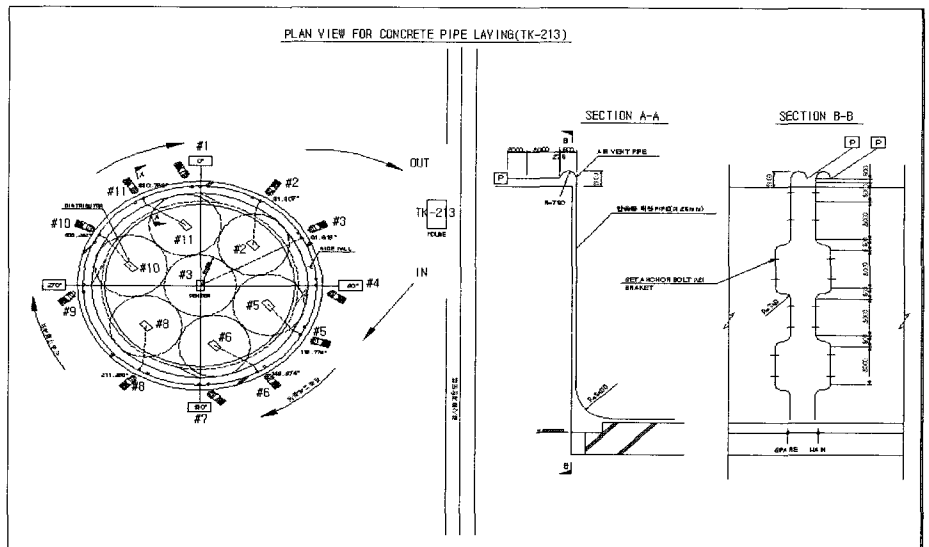


그림 2. 콘크리트 타설 방법 및 배관 계획도

표 9. 작업 및 품질 관리 인원의 배치 계획

구분	업무	배치 인원	비고
탱크상부	차량유도원	- 3명(배차/송장)	
	슈트작업원	- 22명(2명/펌프카)	
	품질·안전팀	- 5명(총괄포함)	
	배관보수요원	- 6명(개폐관리)	
	상/하 신호수	- 11명(1명/펌프카)	
	전기관리원	- 2명(상/하부)	
	소 계	49명	
탱크하부	작업반장	- 4명(1명/밸브)	T 밸브 (4)
	밸브 개폐공	- 4명(1명/밸브)	
	배관 관리공	- 8명(2명/밸브)	
	진동 다짐공	- 20명(5명/밸브)	
	시공/품질관리	- 4명(1명/밸브)	분 배 기 (7)
	작업반장	- 7명(1명/분배기)	
	분배기 조정공	- 14명(2명/분배기)	
	진동 다짐공	- 42명(6명/분배기)	
	청 소 공	- 3명(발판이동)	
	시공/품질관리	- 7명(1명/분배기)	
소 계	113 명		
전체 인원(주·야간)	162명(324명)		

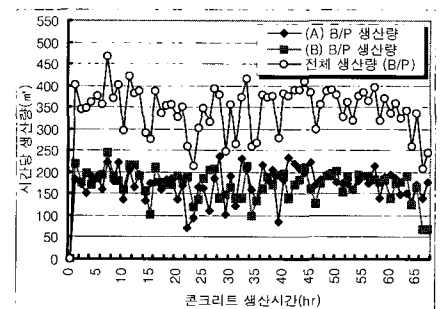


그림 3. 콘크리트의 시간당 생산 추이

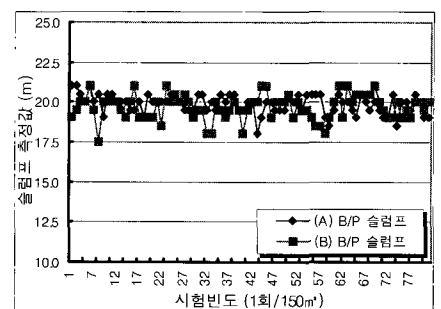


그림 4. 시험 빈도에 따른 슬럼프 추이

슬럼프 시험 결과, 최대 20.5, 최소 17.5 및 평균 19.7 cm를 나타내었고, 공기량(최대 5.9, 최소 4.0, 평균 4.6%) 및 염화물량(최대 0.1, 최소 0.02, 평균 0.06 kg/m³)의 시험 결과도 만족하였다. 또한, 콘크리트의 타설 온도는 최대 17.7, 최소 10.1 및 평균 14.5

℃이며, 현재까지 재령 7일의 압축강도는 219 kg/cm²로 측정되었다.

4.5 콘크리트 타설

현장에서의 콘크리트 타설 상황은 <사진 3>에 나타난 바와 같다.

펌프카 1대당 콘크리트의 타설 용량은 시간당 40 m³로 11대의 용량은 약 440 m³이다. 또한, 펌프카의 압송압을 80~100 kg/cm²로 관리하였으며, 콘크리트의 응결 시간(초결 13시간, 종결 18시간)을 고려하여 분배기 및 T-밸브의 타설 높이 및 콜드 조인트 관리에 반영하였다.

4.6 콘크리트 양생 관리

한꺼번에 타설하는 콘크리트의 두께가 6m인 바닥 슬래브는 수화열이 높기 때문에 양생 관리에 의한 균열 제어가 매우 중요하다.

콘크리트의 양생 관리는 <그림 5>에 나타난 바와 같이 4개의 영역(A, B, C, D)으로 나누어 실시하였다. A영역은 콘크리트 타설을 완료한 후에 7일간 비닐 + 양생포2겹 + 비닐을 설치하고 습윤 양생을 실시하였으며, B영역은 타설 완료일부터 5일 경과후 거푸집을 제거한 뒤 Joint재(t=30)를 면에 부착하였다. C영역은 비닐 + 양생포 + 비닐을 덮고 소정의 기간 동안 양생을 실시하였다.

가장 중요한 D영역은 양생포를 표면에 깔고 약 10 cm 정도로 담수한 다음 상부에 양생포를 깔고 비닐천막을 씌워 약 2개월 동안 담수 양생을 실시하였다.

양생 관리는 바닥 슬래브의 각 위치에 설치된 열전대의 온도 측정으로 하였는데, 중심부 높이별 온도를 측정한 결과는 <그림 6>과 같다.

타설시, 콘크리트의 평균 온도는 약

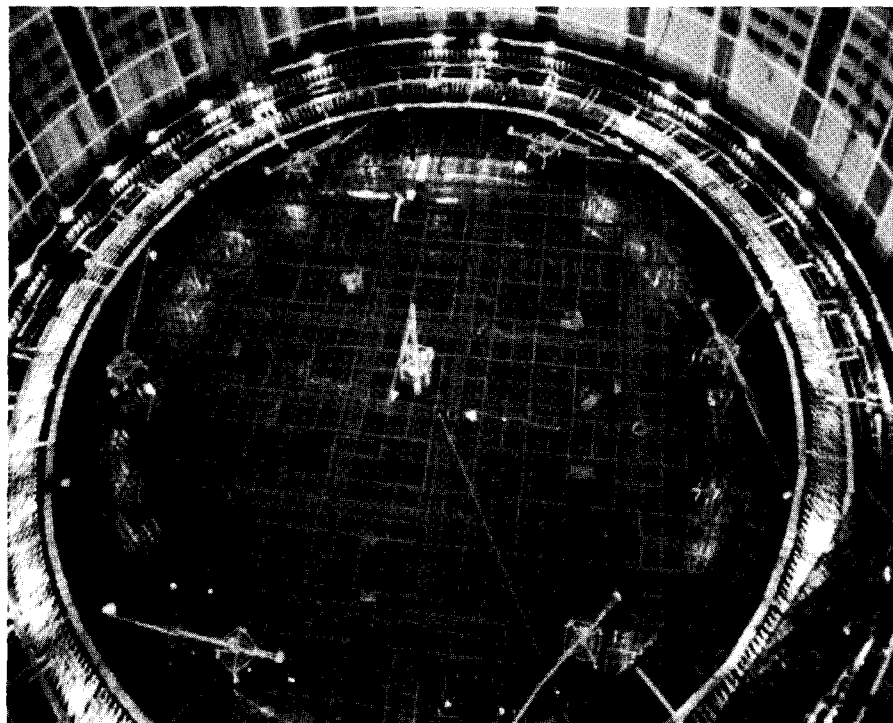


사진 3. 바닥 콘크리트의 타설 상황(아간)

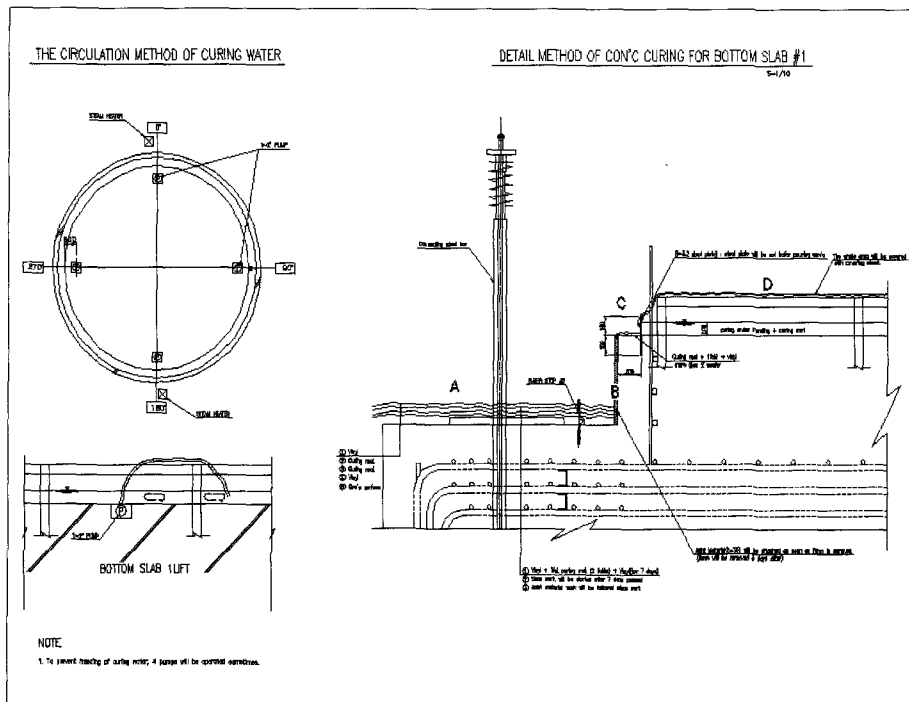


그림 5. 콘크리트의 영역별 양생 방법

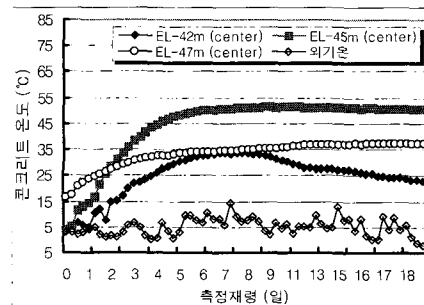


그림 6. 콘크리트 내부 온도의 측정 결과

15℃였는데, 이는 가장 아래에 설치된 열전대(EL-47m)의 초기 온도와 일치한다. 또한 타설을 시작한지 1일 경과하여 중간에 설치된 열전대(EL-45m)의 온도가 15℃를 나타내고 있으며, 약 2일 경과한 후에 가장 상부에 설치된 열전대(EL-42m)의 온도가 15℃에 일치하고 있다. 이때의 외기온은 3~5℃ 범위에 있으며, 이를 통해 콘크리트의 타설 속도를 예측할 수도 있다.

타설된 콘크리트의 하부 온도는 안정된 지반 온도의 영향을 받기 때문에, 최고점의 온도가 7.5일만에 35.0℃에 도달하였으며 계속 일정한 온도로 유지되고 있는 경향을 보였다.

또한, 중앙부 온도는 콘크리트의 수화열에 의한 영향을 가장 많이 받기 때문에, 최고점의 온도가 8.5일(타설 전 1일 제외)만에 51.6℃에 도달한 후 매우 서서히 낮아지고 있다.

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

이러한 온도이력을 고려할 때, 콘크리트 타설 후 약 20일이 경과한 시점에서의 양생 관리는 매우 양호한 것을 알 수 있다.

앞으로 실측 자료가 축적되면 단열 온도 상승 시험에서 분석한 해석값과 비교하여 상관성 및 정확성을 정량적으로 평가할 수 있을 것이다.

5. 맺음말

국내에서 처음으로 시도된 대규모 콘크리트 물량(실타설 물량 = 23,180 m³)을 인천 LNG 지하탱크의 바닥 슬래브에 성공적으로 마친 것은 발주처·시공사·협력업체의 철저한 준비와 축적된 시공 및 품질 관리 기술의 결과로 사료된다.

본 공사를 수행하면서 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 슬럼프가 20 cm 정도인 콘크리트의 배합 설계는 압축강도, 수화열 외에도 컨시스턴시(점도)와 워커빌리티의 균형에 대한 적합성을 갖는 것이 중요하며, 특히 수직 하부의 펴핑에 따른 재료분리 저항성에 유의해야 한다.

- (2) 고로 슬래그 시멘트 및 플라이 애쉬를 사용한 3성분계 콘크리트는 경제성 및 자원의 유효 이용에 대한 효과가 있는 반면에, 수화열의 최소화 방안 및 플라이 애쉬의 수급·품질 변동에 대한 사전 검토가 필요하다.

- (3) 현장 시공에 있어서 분배기와 T-밸브의 적절한 대수 선정 및 적소 배치는 시공 효율에 중요한 영향을 미치기 때문에, 본 공사를 통해 얻은 정량적인 자료를 분석하여 향후 범용적으로 활용하는 방안이 필요하다.

- (4) 매스 구조물의 균열 억제를 위하여 콘크리트의 배합 및 시공상의 수화열 관리, 그리고 효과적인 양생 관리 방안에 대해 본 공사에서 수행한 방법을 실측자료와 함께 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.

경제 용어 해설

● 패러다임 경영(paradigm management)

: 종전의 기업 경영에서 승패가 엇갈리던 기업 경영의 패러다임을 윈윈(win-win)의 패러다임으로 바꾸어야 한다는 새로운 기업 경영관이다. 패러다임 경영을 위해서는 중소기업과 대기업은 물론 대기업간에도 협력을 해야 한다는 것이 핵심이다. 패러다임 경영에서는 중소기업과 대기업이 경쟁보다는 계열화, 영역 차별화를 통해 서로 공존하고 협력할 수 있는 방안을 강구해야 하며, 전자·컴퓨터·자동차 분야에서도 경쟁사간 기술과 특허의 공유 필요성을 주장하고 있다.

● 출자전환

: 은행이 기업에 빌려준 대출금을 그 기업의 주식으로 맞바꾸는 조치를 말한다. 대출금을 주식으로 전환하면 은행은 기업의 주주로 변한다. 은행 지분만큼 소유를 분산시키는 효과도 거둘 수 있다. 주로 은행 부채가 너무 많아 재무 상태가 취약한 기업을 대상으로 한다. 은행이 주주가 되어 경영 정보를 공유하게 되며 대출 심사 등 은행 본연의 기능을 수행하는 데도 도움이 된다. 다만 기업이 부실한 재무 구조를 극복하지 못하고 쓰러지면 은행의 손실은 견잡을 수 없이 커질 위험이 있다.