

# 특 집

|| LNG 저장탱크의 설계와 시공기술 동향 ||

## LNG 저장탱크에 요구되는 콘크리트의 특성

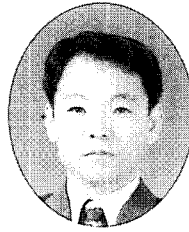
- The Requirement Properties of Concrete for LNG Tank -



하재담\*  
Ha, Jae Dam



성학구\*\*  
Seung, Hak Gu



김낙창\*\*\*  
Kim, Nak Chang



문수동\*\*\*\*  
Moon, Su Dong



박찬규\*\*\*\*\*  
Park, Chan Kyu

### 1. 머리말

메탄을 주성분으로 하는 천연가스를  $-162^{\circ}\text{C}$ 의 초저온에서 냉각시키면 부피가 1/600 상태가 되는 LNG(Liquefied Natural Gas, 액화천연가스)는 가채년수가 약 62년(석유 약 40년)으로 석유와는 달리 구소련, 중동, 아시아, 아프리카, 북미, 유럽 등에 널리 분포되어 있어 수급이 안정적이며 무공해이다. 국내에서 LNG 수요는 연간 1,700만 톤 정도로 계속적으로 증가 추세에 있으며, 2010년까지 607만 톤의 신규 수요가 발생될 전망이다. 이에 한국가스공사(주)에서는 LNG 수요에 대응하기 위하여, <그림 1>에서 보는바와 같이, 평택, 인천 및 통영에 생산기지를 구축하여 운영 중에 있다.

<표 1>에서와 같이, 1983년부터 평택 LNG 생산기지에 10만 kl 지상식 LNG 저장탱크 10기를 건설하여 운영 중에 있고 현재 14만 kl 지상식 LNG 저장탱크를 설계 중에 있으며 통영 LNG 생산기지에는 14만 kl 지상식 LNG 저장탱크 10기를 건설 중에 있다. 특히 인천 송도 앞 바다 8km 지점에 위치한 30만 평의 인공 섬에 1993년부터 2000년까지 10만 kl 지상식 LNG 저장탱크 10기를 건설하여 운영 중에 있으며 1998년부터 8기의 지하식 LNG 저장탱크를 건설 중에 있다. 또한 광양제철소는 자체

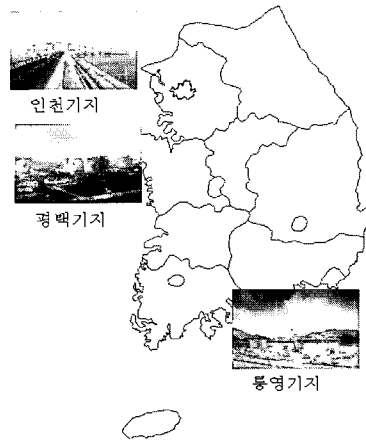


그림 1. 국내 LNG 생산기지 현황

의 에너지 공급을 위하여 10만 kl 지상식 LNG 저장탱크 2기가 건설 중에 있다.

표 1. 한국가스공사 LNG 생산기지 현황(2003년 5월 현재)

구분	평택	인천	통영
운영 중	10만 kl × 10기(지상식)	10만 kl × 10기(지상식) 14만 kl × 2기(지하식) 20만 kl × 2기(지하식)	14만 kl × 2기(지상식)
건설 중	-	20만 kl × 4기(지하식)	14만 kl × 8기(지상식)
계획	14만 kl × 10기(지상식)	20만 kl × 2기(지하식)	14만 kl × 5기(지상식)

\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원  
 \*\* 한국가스기술공업(주) 토건팀장  
 \*\*\* 한국가스공사 통영기지건설사무소 토건팀장  
 \*\*\*\* 대림산업(주) 기술연구소 과장  
 \*\*\*\*\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 과장

본고에서는 현재 국내에서 건설 중에 있는 지상식 및 지하식 LNG 저장탱크에 요구되는 콘크리트의 특성, 평가방법, 적용배합 등을 소개하여 국내의 LNG 저장탱크 관련 콘크리트 기술 발전에 기여하고자 한다.

## 2. 콘크리트의 요구특성

다른 토목 구조물과는 달리 LNG 저장탱크는 초저온성과 고도의 안정성을 필요로 한다. 즉,  $-162^{\circ}\text{C}$ 의 초저온 상태를 유지해야 하는 보냉 구조와 가연성 가스에 대한 충분한 수밀성 및 안정성을 기본적으로 가져야 한다(〈그림 2, 3〉 참조). 특히 지하식 LNG 저장탱크는 지상식 LNG 저장탱크 공사비와 비슷하지만 주변의 경관 및 환경과의 조화와 안정성이 높은 것이 특징이다.

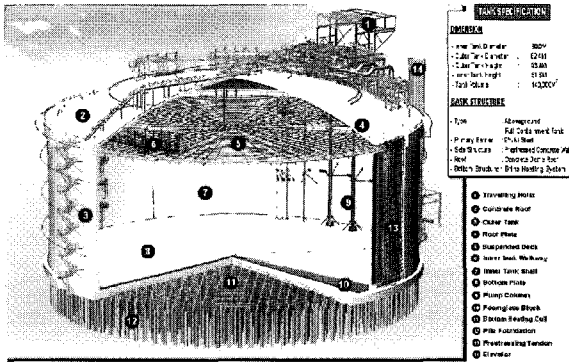


그림 2. 지상식 LNG 저장탱크

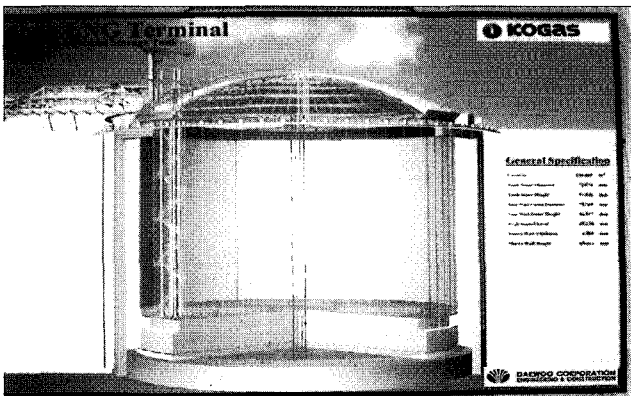


그림 3. 지하식 LNG 저장탱크<sup>1)</sup>

수밀성과 안정성을 확보하기 위하여 LNG 저장탱크에 요구되는 콘크리트는 부재두께가 두꺼워지게 되는데, 이때 결합체의 수화열로 인해 발생하는 온도균열을 제어하는 것이 가장 중요하다. 특히 지하식 LNG 저장탱크의 지하연속벽은 대심도에 트레미관을 통하여 타설되기 때문에 저발열, 고유동, 고강도의 특성이 동시에 필요하며 바닥슬래브는 타설하기 위해서 배관을 통한 이동 거리가 거의 100 m 정도 되기 때문에 유동성 및 점성이 적절한 수준이 되어야 타설이 가능하다.

또한 LNG 저장탱크는 대형 매스 콘크리트 구조물로, 〈그림

4)에서와 같이, 온도해석을 통한 온도균열에 대한 검토가 타설 전 반드시 선행되어야 한다. 가능한 한 온도균열을 제어하기 위하여 온도균열지수를 1.2 이상(혹은 1.5 이상)으로 설계하여야 하며, 온도균열지수가 1.2 이상이 되지 않을 경우에는 균열유발줄눈 설치 등의 설계측면, 저발열형 시멘트 사용 등의 재료 및 배합측면 및 프리쿨링, 파이프쿨링 등의 시공측면에서의 검토 후 장단점 및 경제성을 고려한 대책을 선정하여 재검토하여야 한다.

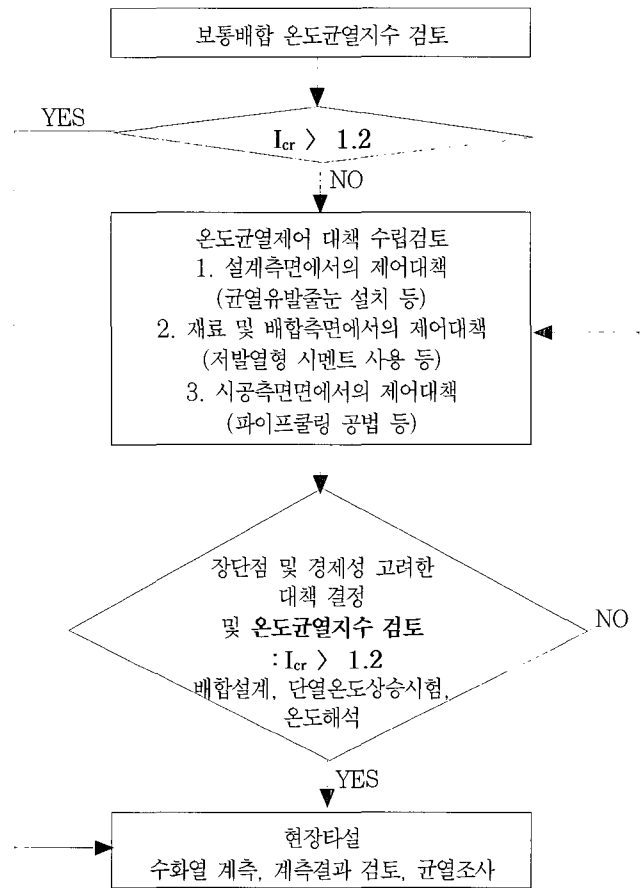


그림 4. 온도균열제어 대책 흐름도

### 2.1 지상식 LNG 저장탱크

현재 국내에서 건설 혹은 운영 중에 있는 지상식 LNG 저장탱크의 저장 용량은 10 ~ 14만 kℓ로, 바닥슬래브, 측벽, 링빔(ring beam) 및 지붕이 일체화된 콘크리트 구조물이다. 〈그림 5)에서 보는바와 같이, 인천 LNG 생산기지의 지상식 LNG 저장탱크는 용량이 10만 kℓ로 바닥 슬래브는 직경이 73 m이고 두께는 1.0 m이다. 원통형의 벽체는 프리스트레스트 콘크리트 구조물이며, 바닥 슬래브에서 보강 빔까지의 높이는 32.4 m이며 내경은 70 m이다. 보강 빔은 높이 2.6 m, 두께 1.1 m의 구조물이다. 구형 지붕은 내경 70 m, 내측 높이는 9.4 m, 지붕의 두께는 45 cm이고 보강 빔의 헌치 부분에서는 80 cm 두께로 시공되었다.<sup>2)</sup>

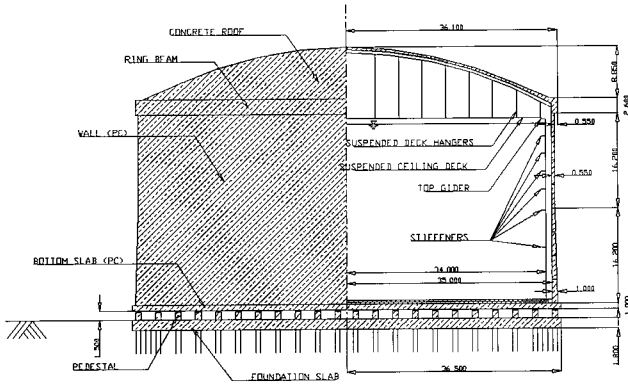


그림 5. 지하식 LNG 저장탱크(10만kℓ)<sup>2)</sup>

또한 통영 LNG 생산기지의 지상식 LNG 저장탱크는 용량은 14만 kℓ로 <표 2>에 구조물의 개요를 나타내었다.

통영 LNG 생산기지의 지상식 LNG 저장탱크의 요구특성은 압축강도 이외에, <표 3>에서, 온도균열지수가 부유벽 1.2 ~ 1.5

이상을 만족하여야 한다.

통영 LNG 생산기지의 지상식 LNG 저장탱크 1, 2 및 3호기에서는 <표 4>에서와 같이 보통포틀랜드시멘트에 플라이 애쉬(FA)를 30% 치환하여 사용하였으며, 위의 온도균열지수를 만족하기 위하여 액체질소를 이용한 프리쿨링 공법 및 굵은골재를 냉각수로 살수하는 프리쿨링 공법 등을 적용하였다.<sup>3)</sup>

## 2.2 지하식 LNG 저장탱크

지하식 LNG 저장탱크의 건설은, <그림 6>에서 보는바와 같이, 먼저 토압에 견디고 지하수의 차수를 위한 대심도 지하연속벽 구조물이 선행되고 그 후에 본체 즉, 바닥슬래브 및 측벽이 건설되며 탱크 내부바닥에서 지붕 골조를 조립하여 Air Raising 으로 지상까지 올려 벽체 상부에 고정하고 마지막으로 보냉재와 멤브레인을 설치한다.

인천 LNG 생산기지의 지하식 LNG 저장탱크(20만 kℓ)는,

표 2. 지상식 LNG 저장탱크 구조물의 개요(통영 LNG 지상탱크, 14만kℓ)<sup>3)</sup>

구분	바닥슬래브	측벽	지붕
콘크리트 설계기준강도 (관리재령)	300 kgf/cm <sup>2</sup> 400 kgf/cm <sup>2</sup> (91일)	400 kgf/cm <sup>2</sup> (91일)	300 kgf/cm <sup>2</sup> (28일)
구조물	내부직경	-	-
	두께	1.1 ~ 0.75 m	1.2 ~ 0.6 m
	높이	33.9 m	-
콘크리트 타설계획	Anular part( $f_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$ )와 Central part로 분할타설	9 Lot 분할 타설 (1 Lot 높이 : 1.5 m) (12 Lot 높이 : 2.338 m) (3 ~ 9 Lot 높이 : 3.837 m) 링빔 : 1 Lot 타설 (1 Lot 높이 : 3.2 m)	1단 및 2단 분할 타설
콘크리트 특성	저발열 콘크리트	저발열 콘크리트	저발열 콘크리트
콘크리트 몰량	10,300 m <sup>3</sup> /tank	8,800 m <sup>3</sup> /tank	4,500 m <sup>3</sup> /tank

표 3. 바닥슬래브, 측벽 및 지붕 콘크리트의 요구특성(통영 LNG 지상탱크, 14만 kℓ)

부위	굳지 않은 콘크리트 (120분간 유지)		굳은 콘크리트		온도균열지수	
	Slump (cm)	Air (%)	$f_{ck}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$f_{cr}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )		
바닥슬래브	Central part	18 ± 2.5	4.0 ± 1.5	300	360	>1.5
	Anular part	18 ± 2.5	4.0 ± 1.5	400	480	>1.2
측벽	18 ± 2.5	4.0 ± 1.5	400	480	>1.5	
지붕	8 ± 2.5	4.0 ± 1.5	300	360	>1.2	

표 4. 바닥슬래브, 측벽 및 지붕 콘크리트의 시방배합표(통영 LNG 지상탱크, 14만 kℓ)

부위	$G_{max}$ (mm)	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )						단열온도상승 $Q(t) = Q_{\infty}(1 - e^{-nt})$		
				W	C	FA	S	G	SP	$Q_{\infty}$ (°C)	r	
바닥슬래브	Central part	20	43.0	39.0	168	273	117	634	1,084	5.85	37.44	0.75
	Anular part	20	35.5	35.0	168	331	142	558	1,084	8.04	56.44	0.85
측벽	20	35.5	35.0	168	331	142	558	1,084	8.04	56.44	0.85	
지붕	20	43.4	43.0	155	268	89	752	1,016	2.86	-	-	-

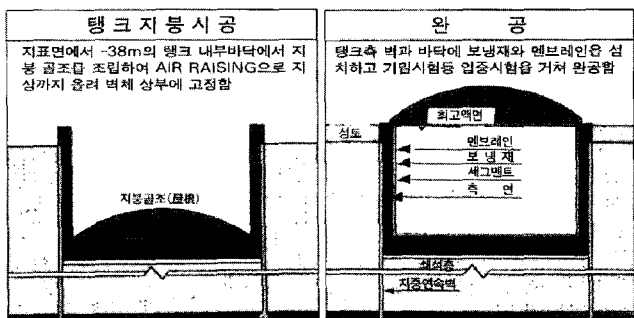
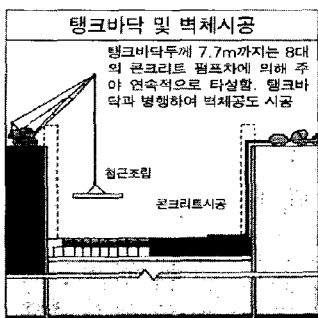
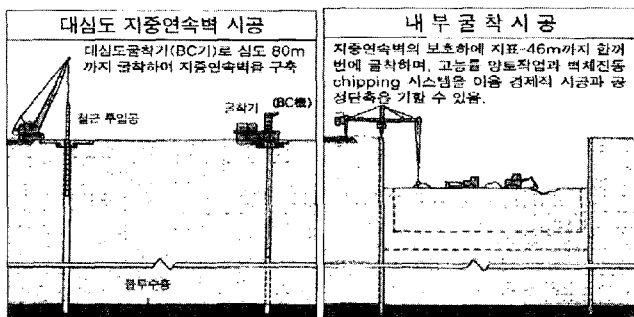


그림 6. LNG 지하탱크의 시공순서<sup>4)</sup>

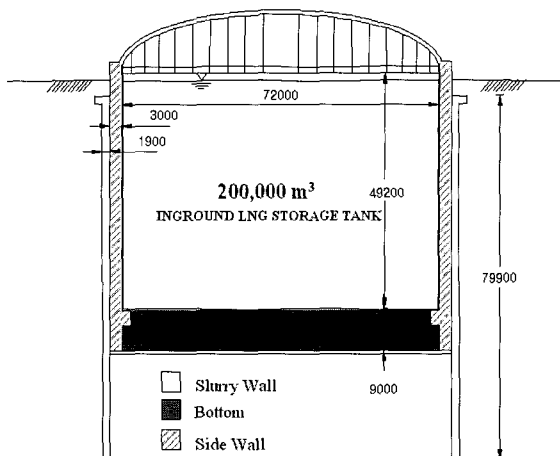


그림 7. 지하식 LNG 저장탱크

〈표 5〉에서 보는바와 같이, 모든 부위가 대형 매스 콘크리트이며 특히 바닥슬래브는 하단높이 6.0m, 상단높이 3.0m로 하단의 경우 무려 2만 4,500 m<sup>3</sup>를 일괄 타설하여야 하는 국내 최대의 매스 구조물이다. 또한, 본체를 보호하는 부분인 지하연속벽은 내부 직경 78.5m, 벽체 두께 1.7m 및 75.0m의 벽체 깊이의 대원통형 구조물이며 구조물에서 발생할 수 있는 온도균열의 방지를 위하여 초저발열성, 벤토나이트 용액이 채워진 상태에서 트레미공법으로 대심도의 충전성을 확보하기 위한 고유동성 및 고강도성을 동시에 만족하기 위하여 초저발열-고유동-고강도 콘크리트(이하 고유동 콘크리트)가 요구된다.

〈그림 7〉에서와 같이, 안지름 72.0m, 높이 68.2m의 철근콘크리트 구조물로 지하연속벽, 바닥슬래브, 측벽 등으로 구성되어 있다.

2.2.1 지하연속벽 콘크리트

지하연속벽 콘크리트의 요구특성은, 다음 표에서 보는바와 같이, 온도해석을 통하여 온도균열지수 1.2 이상을 만족하는 조건

표 5. 지하식 LNG 저장탱크 구조물의 개요(인천 LNG 지하탱크, 20만 kℓ)

구분	지하연속벽	바닥슬래브	측벽	지붕
콘크리트설계기준강도 (관리재령)	400 kgf/cm <sup>2</sup> (91일)	240 kgf/cm <sup>2</sup> (91일)	270, 300 kgf/cm <sup>2</sup> (91일)	300 kgf/cm <sup>2</sup> (28일, 91일)
구조물	내부직경	78.5 m	72.6 m	-
	두께	1.7 m	9.0 m	3.0 m
	깊이	75.0 m	-	50.0 m
콘크리트 타설계획	선행패널 : 26개(길이 : 7.24 m) 후행패널 : 26개(길이 : 2.8 m)	2 Lift 분할 타설 (1 Lift : 6.0 m) (2 Lift : 3.0 m)	10 Lot 분할 타설 (Lot 높이 : 5.0 m)	일괄 타설
콘크리트 특성	병용계 고유동 콘크리트	초저열 콘크리트	초저열 콘크리트	초저열 콘크리트
콘크리트 물량	37,500 m <sup>3</sup> /tank	35,500 m <sup>3</sup> /tank	55,000 m <sup>3</sup> /tank	3,500 m <sup>3</sup> /tank

표 6. 지하연속벽 콘크리트의 요구특성(인천 LNG 지하탱크, 20만 kℓ)

부위	굳지 않은 콘크리트 (120분간 유지)					굳은 콘크리트		단열온도상승(7일) $Q(t) = Q_{\infty}(1 - e^{-nt})$	
	Slump Flow (cm)	S.F. 50 cm (sec)	V-lot (sec)	U-box (mm)	Air Content (%)	$f_{ck}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$f_{cr}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$Q_{\infty}$ (°C)	r
지하연속벽	65±5	7±3	15±5	>300	4±1	400	505	<35	<0.45

인 최대단열온도상승량( $Q_{\infty}$ )은 35°C, 온도상승속도에 관한 계수 ( $r$ )는 0.45 이하이어야 하고, 굳지 않은 콘크리트에서는 75.0 m의 깊이부터 역타설이 가능하도록 점성과 유동성의 균형 및 자기충전성의 확보가 필요하다.

〈그림 8〉에서와 같이, 굳지 않은 콘크리트의 특성은 슬럼프 플로우, 슬럼프 플로우 50 cm 도달시간, V-lot 유하시간 등의 조건을 만족하여야 하며 특히, 시공성을 고려하여 굳지 않은 콘크리트의 특성을 120분간 유지해야 한다.

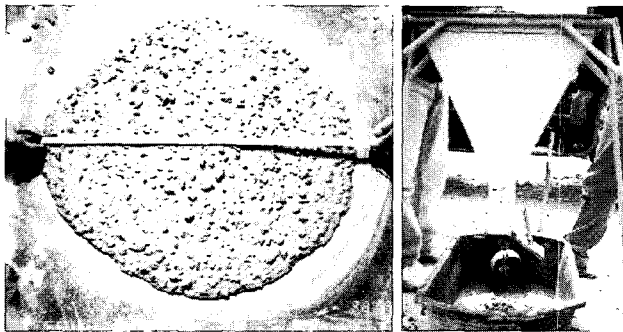


그림 8. 굳지 않은 콘크리트의 특성평가

시멘트는 저발열형 시멘트를 사용하는 것이 기본이며 인천 LNG 탱크 지하연속벽에는 온도균열저감 효과가 크고 유동성이 우수하며, 초기재령에서 압축강도 발현율은 낮지만 재령 91일에서 28일의 1.4 ~ 1.5배 정도의 고강도 발현이 되는 저열 포틀랜드 시멘트를 사용하였고 콘크리트는 지하연속벽의 심도 및 자기충전성을 고려하여 분체로는 석회석 미분말(LP), 증점제(VA)는 폴리사카라이드계를 첨가한 병용계 고유동 콘크리트를 적용되었다.

또한, 혼화제는 감수율이 높고 굳지 않은 콘크리트의 특성을 2 시간까지 유지하는 성능을 지닌 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용하였으며 저열 포틀랜드 시멘트는 혼화제가 흡착하는  $C_3A$  및  $C_4AF$ 의 함유량이 다른 종류의 시멘트에 비하여 30% 이상 적어 혼화제가 분산효과를 최대한 발휘하기 때문에 적은량을 사용하여도 항복점의 감소효과를 높일 수 있다.

잔골재는 LNG 구조물의 내구성을 고려하여 강사를 사용하였으며 조립률 변화에 따라 굳지 않은 콘크리트의 유동특성이 많이 변화하기 때문에 조립률 관리를 철저히 하도록 하였다. 또한, 고유동 콘크리트의 자기충전성을 확보하기 위하여 굵은골재 최대치수가 20 mm인 골재가 사용되었다.

배합조건은 소요의 강도가 얻어지는 물-시멘트비에 대하여 슬럼프 플로우가  $65 \pm 5$  cm인 범위에서 적당한 점성과 분리저항성

표 7. 지하연속벽 시방배합표(인천 LNG 지하탱크, 20만 kl)

부위	$G_{max}$ (mm)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight( $kg/m^3$ )						
				W	C	LP	S	G	SP	VA
지하연속벽	20	51.0	48.8	174	341	254	743	789	7.44	0.16

을 갖는 자기충전성능에 만족하도록 단위 분체량과 단위수량을 선정하여 〈표 7〉의 최종 시방배합을 채택하였다.

배합선정에 있어 특히 중요한 부분은 온도균열을 방지하기 위하여, 〈그림 9〉에서와 같이, 단열온도상승 특성인  $Q_{\infty}$  및  $r$ 을 만족하기 위하여 배합강도가 505  $kgf/cm^2$ 에도 불구하고 단위시멘트량이 341  $kg/m^3$ 이다.

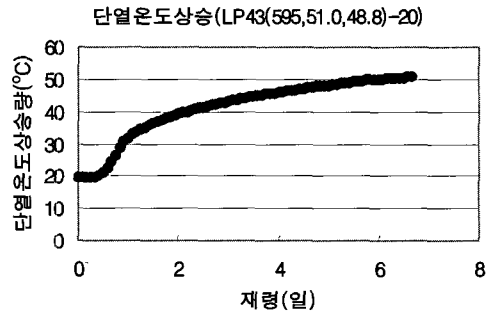


그림 9. 단열온도상승 시험결과(7일)

또한 고유동 콘크리트는 일반콘크리트에 비하여 사용재료의 품질변동, 계량오차, 온도변화 등에 따라 특성이 민감하게 변화하기 때문에, 잔골재, 굵은골재의 조립률, 석회석 미분말 평균입경 등의 사용재료 자체의 변동에 따른 특성과 단위수량, 단위혼화제량, 단위증점제량, 콘크리트의 타설온도 등의 배합요인의 변동에 대한 특성을 평가하여 현장 품질관리의 기준이 되었다.

### 2.2.2 바닥슬래브, 측벽 및 지붕 콘크리트

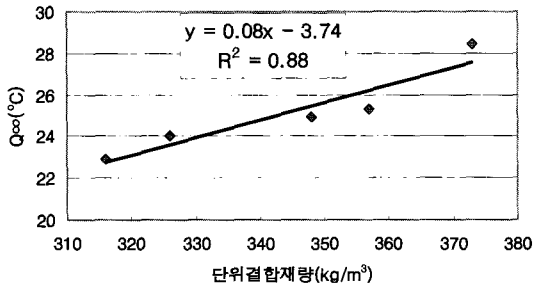
바닥슬래브, 측벽 및 지붕 콘크리트의 요구특성은, 〈표 8〉에서 보는바와 같이, 온도해석을 통하여 온도균열지수 1.2 이상을 만족하는 조건인  $Q_{\infty}$  및  $r$  값을 만족하여야 하며 바닥슬래브를 타설하기 위해서는 배관을 통한 이동거리가 거의 길기 때문에 유동성 및 점성이 적정한 수준이 되어야하며 또한 지붕인 경우에는 경사로 인하여 슬럼프를 낮추어야 하며 도로포장과 같이, 타설량에 비하여 면적이 크기 때문에 건조수축에 대한 검토도 함께 선행되어야 한다.

위의 요구조건을 만족하기 위하여 시멘트로는 보통 포틀랜드 시멘트 및 저열 포틀랜드 시멘트를 사용하고 결합재로 플라이 애

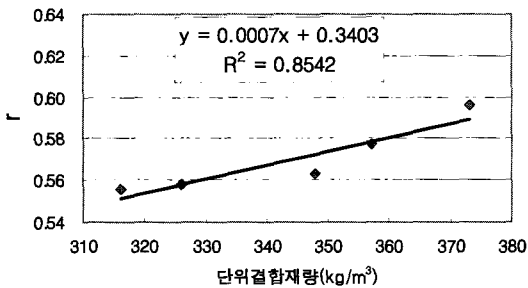
표 8. 바닥슬래브, 측벽 및 지붕 콘크리트의 요구특성 (인천 LNG 지하탱크, 20만 kl)

부위	굳지 않은 콘크리트 (120분간 유지)		굳은 콘크리트		단열온도상승(7일) $Q(t) = Q_{\infty}(1 - e^{-rt})$	
	Slump (cm)	Air (%)	$f_{ck}$ ( $kgf/cm^2$ )	$f_{cr}$ ( $kgf/cm^2$ )	$Q_{\infty}$ (°C)	$r$
바닥슬래브	$21 \pm 3$	$5 \pm 1$	240	288	$< 25$	$< 0.6$
측벽	$21 \pm 3$	$5 \pm 1$	300	360	$< 30$	$< 0.6$
지붕	$15 \pm 2.5$	$5 \pm 1$	300	360	$< 35$	$< 0.6$

쉬, 고로 슬래그 미분말 및 석회석 미분말을 사용하여 단열온도 상승시험을 수행한 결과 단열온도상승 조건을 만족하는 저열 포틀랜드 시멘트에 30%의 석회석 미분말(LP30)을 사용하는 것으로 결정하였으며, 다음 표에서 보는바와 같이, 단위결합재량을 316 kg/m<sup>3</sup>에서 373 kg/m<sup>3</sup>의 범위에서 다섯 배합에 대하여 단위결합재량에 따른 Q<sub>∞</sub> 및 r에 대한 회귀식을 구하였다.



(a) 단위결합재량에 따른 Q<sub>∞</sub>



(b) 단위결합재량에 따른 r

그림 10. 콘크리트의 단위결합재량(LP30)에 따른 Q<sub>∞</sub> 및 r에 대한 회귀식<sup>4)</sup>

위의 단열온도상승시험 결과와 굳지 않은 콘크리트 및 굳은 콘크리트의 요구특성을 만족하는 배합을 선정하여 다음 표의 최종 시방배합을 채택하였으며 배합강도가 288 및 360 kgf/cm<sup>2</sup>에도 불구하고 단위시멘트량이 228에서 268 kg/m<sup>3</sup>이었다.

표 9. 바닥슬래브, 측벽 및 지붕 콘크리트의 시방배합표 (인천 LNG 지하탱크, 20만 kl)

부위	G <sub>max</sub> (mm)	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )					
				W	C	LP	S	G	SP
바닥 슬래브	25	47.1	40.0	158	228	107	707	1,073	2.18
측벽	25	43.4	41.0	155	250	107	721	1,049	2.32
지붕	25	43.4	43.0	155	268	89	752	1,016	2.86

### 3. 맺음말

세계 최고의 LNG 저장탱크 건설 기술을 보유하고 있는 일본

과 국내의 기술을 비교하면 지상식 LNG 저장탱크의 경우, 국내는 14만 kl 탱크에 설계기준강도 400 kgf/cm<sup>2</sup>의 콘크리트를 적용하고 있는 반면, 일본의 경우엔 14만 kl 탱크는 이미 1993년에 완공하여 운영 중이고, 현재는 18만 kl 탱크를 건설하여 2000년부터 운영 중에 있으며 측벽에는 설계기준강도 600 kgf/cm<sup>2</sup>의 고유동 콘크리트를 적용하였다<sup>6)</sup>. 지하식 LNG 저장탱크의 경우에는 국내와 일본의 탱크 용량 측면에서는 동등하나, 사용되는 콘크리트는 국내에서는 설계기준강도 400 kgf/cm<sup>2</sup>의 고유동 콘크리트를 적용하고 있는 반면, 일본에서 설계기준강도 600 kgf/cm<sup>2</sup>의 고유동 콘크리트를 측벽에 적용하고 있다. 국내에서도 안정적인 에너지 수급을 위하여 LNG 저장탱크 건설은 증가 추세에 있으며 또한 대형화되고 있는 실정이다. 이에 대응하기 위하여 콘크리트 기술개발이 필요하다.

LNG 저장탱크의 성공적인 건설은 콘크리트 구조물에 의하여 좌우된다고 할 수 있으며 안전하고 내구적인 건설을 위해서는 온도균열제어가 설계단계에서 반드시 검토되어야 하며 특히, 재료 및 배합측면에서는 저열 포틀랜드 시멘트 등의 저발열형 시멘트의 사용 및 플라이 애쉬 등의 혼화재의 사용과 시공측면에서는 프리쿨링 공법 등을 적용하는 것이 바람직하다. ■

### 참고문헌

1. 권영호 외 3인, "LNG 지하탱크의 바닥 슬래브 콘크리트 시공 사례", 한국콘크리트학회 학회지 제13권 2호, 2001년 3월.
2. 양인환 외 1인, "인천 LNG 인수기지의 지상식 저장 탱크 시공", 한국콘크리트학회 학회지 제13권 4호, 2001년 7월.
3. 정철현 외 3인, "액체질소를 이용한 통영 LNG 탱크의 온도균열 제어", 대한토목학회 학회지, 제49권 제3호, 2001년 3월.
4. 하재담 외 3인, "LNG 지하탱크 지하연속벽 콘크리트의 시공", 콘크리트학회 학회지 제14권 3호, 2002년 5월.
5. 하재담 외 4인, "석회석미분말을 혼입한 초저발열 매스콘크리트의 특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 가을 학술발표회, 2000년 11월.
6. 西崎 외 3인, "PCLNG貯槽の新しい建設技術", コンクリート工學 Vol.41, No.1, 2003. 1.
7. 하재담 외 5인, "저열 포틀랜드(벨라이트)시멘트 콘크리트의 특성", 한국콘크리트학회 가을 학술발표회, 1998년 5월.
8. 현대건설(주) 및 쌍용양회공업(주), "한국콘크리트학회상 기술상 공적서", 1999년.
9. 권영호 외 3인, "LNG 지하탱크의 바닥 슬래브 콘크리트 시공 사례", 한국콘크리트학회 학회지 제13권 2호, 2001년 3월.
10. 하재담 외 3인, "결합재 종류에 따른 콘크리트의 단열온도상승특성 및 단열온도상승에 따른 압축강도특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회, 2001년 5월.
11. 권영호, "병용계 고유동콘크리트의 배합설계 요인 및 공학적 특성에 관한 연구", 박사학위논문, 2001년.