

# LNG tank用 超流動 콘크리트의 配合設計 및 品質管理

권 영 호

〈대우건설 인천LNG 지하탱크현장, 품질시험실장〉

백 승 준

〈삼성물산 인천LNG 지하탱크현장, 품질시험대리〉

- |  |   |
|--|---|
| 1. 서론<br>1.1 연구배경<br>1.2 지하탱크의 구조개요 및 특징                             | 3.2 배합변수 및 시험방법   |
| 2. 초유동 콘크리트의 배합강도 및 요구성능<br>2.1 초유동 콘크리트의 배합강도<br>2.2 초유동 콘크리트의 요구성능 | 4. 실험결과 및 분석<br>4.1 물/시멘트비에 따른 실험결과<br>4.2 굵은골재 용적비에 따른 실험결과<br>4.3 단위수량의 변동에 따른 민감도 실험결과<br>4.4 고성능 감수제 첨가량의 변동에 따른 민감도 실험결과 |
| 3. 실험개요<br>3.1 사용재료  | 5. 결론   |

## 1. 서론

### 1.1 연구배경

LNG 지하탱크의 역사는 1970년 일본에서 처음으로 1만kl가 시공된 이래, 기술의 진보 및 가스수요의 증대에 따라 저장용량 및 지하탱크의 깊이가 점차 증대되어 왔다. 특히, 동경가스에서는 도시가스의 수요증가에 대응하기 위하여 1991년부터 대용량의 LNG 지하탱크 건설을 시도하였으며, 현재 根岸공장은 20만kl 용량을 가동하고 있다. 국내에서도 1998

년 인천 LNG인수기지에 처음으로 14만kl 용량의 지하탱크가 건설중이며, 향후 건설용량이 증대될 예정이다. LNG 지하탱크는 저장조의 최고액면이 지표면 아래에 있기 때문에, 탱크의 안정성 확보, 지상설비 불필요 및 토지의 이용율을 높일 수 있으나, 지하굴착 깊이에 따른 토수압의 증가로 부재두께가 증대될 뿐만 아니라 콘크리트의 고강도화 및 고유동화가 필수적으로 요구된다.

특히, 지하연속벽(Slurry wall)에 사용되는 콘크리트는 고강도뿐만 아니라, 구조체 내의 충전성 및 트레미(Tremie) 시공성을 확보

하기 위하여 고유동성이 필요하며, 경화과정에서 구조체에 발생할 수 있는 온도균열을 방지하기 위하여 저발열성이 요구된다.

국내에서도 초유동 콘크리트를 적용한 사례(1),(2),(3),(4)가 있지만, 대부분 건축구조물에 국한되어 있으며 초유동 콘크리트의 타설량도 소규모로 한정되어 있었다.

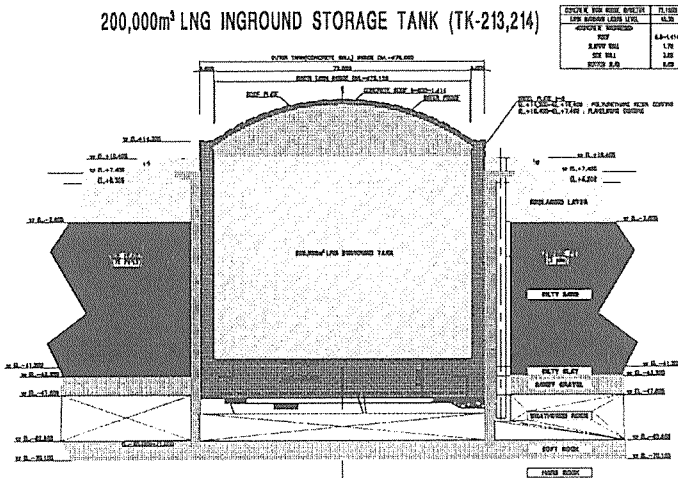
본 논문에서는 국내 최초로 시공되는 20만 *kl* 용량의 LNG 지하탱크 Slurry wall에 대용량으로 사용되는 초유동 콘크리트의 재료선정, 요구성능, 평가기준, 배합설계 및 현장적용을 위한 분석결과를 서술하고자 한다.

## 1.2 지하탱크의 구조개요 및 특징

지하탱크의 구조개요 및 시공순서는 [그림 1] 및 [그림 2]에 나타난 바와 같이 내부직경이 78.58m이고 Slurry Wall의 두께는 1.7m이며, 깊이는 지반조건에 따라 72.4~76.4m이다. 또한, Slurry wall은 26개의 선형 Element(길이 7.24m)와 26개의 후행 Element(길이 2.8m) 및 2개의 Drainage Pit로 구성되어 있다. 선형 Element의 경우에는 평균 콘크리트 타설량이 1,000 $m^3$ 정도이며, 후행 Element의 경우 평균 4,00 $m^3$ 로 Slurry wall 전체의 콘크리트 물량은 약 75,000 $m^3$ 이다.

지하탱크의 토목공사 시공순서는 ①가설공사 및 Guide wall공사→② Slurry wall공사→③ Bottom slab공사→④ Side wall공사→⑤ Roof 공사로 진행되며, 특히 Slurry wall의 콘크리트 공사는 지하탱크의 품질을 좌우하는 주요 공정이기 때문에 많은 기술적 검토가 선행되어야 한다.

200,000 $m^3$  LNG INGROUND STORAGE TANK (TK-213,214)

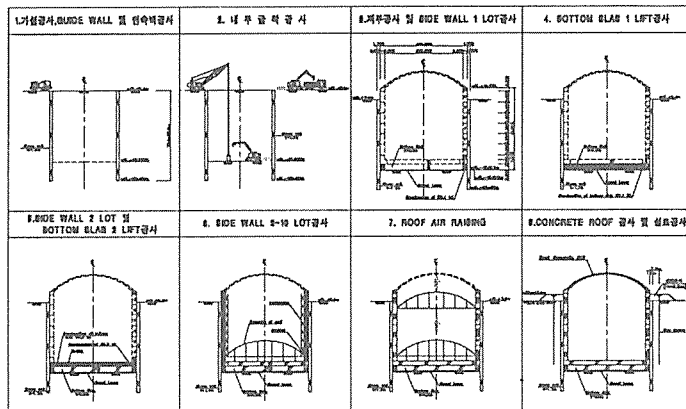


(그림 1) LNG 지하탱크의 구조개요

## 2. 초유동 콘크리트의 배합강도 및 요구성능

### 2.1 초유동 콘크리트의 배합강도

지하탱크의 Slurry wall용 초유동 콘크리트의 설계기준강도(400  $kg/cm^2$ )에 대한 배합강도는 JSCE에서 제시한 산정식에 따라 변동계수(V) 10%로 할때 할증계수( $\alpha$ )는 1.2, 수중 콘크리트의 저감계수( $\gamma$ )는 日本 大成建設에서 Ogishima LNG 지하탱크 공사에 적용한



(그림 2) LNG 지하탱크의 시공순서

0.93을 사용하여 다음식으로 산정하였다. 이 때의 강도관리 재령은 91일로 하였다.

$$\begin{aligned} \text{배합강도}(f_{cr}) &= \text{설계기준강도}(f_{ck}) \\ &\times \frac{\text{할증계수}(\alpha)}{\text{저감계수}(\gamma)} \\ &= 400 \times \frac{1.2}{0.93} \\ &\approx 520 \text{kg/cm}^2 \dots\dots\dots(\text{식 1}) \end{aligned}$$

## 2.2 초유동 콘크리트의 요구성능

LNG 지하탱크의 Slurry wall용 초유동 콘크리트의 요구성능을 평가하는 기준항목은 JSCE에서 제시한 기준값<sup>5)</sup>을 근거로 [표 1]과 같이 정하였다.

여기서, 콘크리트의 유동성은 슬럼프 플로우로 평가하며, 점성 및 재료분리 저항성은 슬럼프 플로우가 50cm에 도달하는 시간 및 V-lot 유하시간으로 평가하였다. 또한, 충전성은 U-type 간극통과성 높이로 평가하였으며, 최종 슬럼프 플로우의 퍼짐상태로 재료분리의 여부를 평가하도록 하였다.

특히, 이러한 요구성능은 콘크리트를 제조한 직후부터 90분간 경시변화의 특성에도 적

용되는데, 이는 콘크리트의 운반 및 타설시간 뿐만 아니라 Slurry Wall의 Tremie에 타설한 후 역충전하여 유동되는 시간을 포함한 시간내에 요구성능을 갖도록 고려한 것이다.

## 3. 실험개요

### 3.1 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트는 고로슬래그 시멘트이며, 이외에도 석회석 미분말, 고성능 AE감수제 및 증점제가 사용된 병용계 초유동 콘크리트로 사용재료의 특성은 [표 2]와 같다.

#### 3.1.1 시멘트

LNG 지하탱크 Slurry wall은 대형매스 구조물일 뿐만 아니라, 선행 Element가 타설된 후 후행 Element를 타설할 때에 구속조건으로 작용하기 때문에 수화열을 줄이는 방안이 강구되어야 한다. 이외에도 장기강도, 수밀성, 내화학적 등을 고려하여야 한다. 이러한 측면에서 고로슬래그 시멘트(특급)을 선정하였으며, 선정된 시멘트의 월별 슬래그 치환율 및 시멘트의 28일 압축강도는 각각 [그림 3] 및 [그림 4]와 같다.

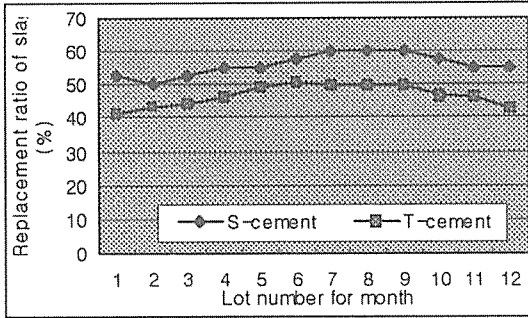
[표 1] 초유동 콘크리트의 평가항목 및 요구성능

Standard	Slump flow	SF 50cm reaching time	V-lot flow time	U-box height	Air content
JSCE	65±5cm	4~10sec	10~20sec	min. 300mm	4±1%

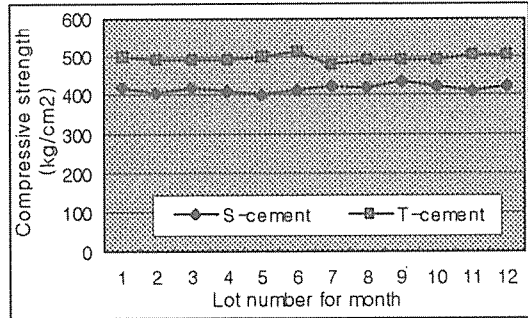
\* 모든 평가항목은 90분까지의 경시변화 특성을 만족해야 함.

[표 2] 초유동 콘크리트에 사용된 재료특성

Slag cement	Lime stone powder	Coarse agg.	Fine agg.	Superplaticizer	Viscosity
-T社(고로시멘트) -치환율(평균 46.5%)	-W社(C-140) -블레인(7.975cm <sup>3</sup> /g)	-19mm쇄석(원우) -F.M(평균 6.64)	-강모래(금강) -F.M(평균 2.50)	-J社(PHOENIX) -폴리카르본산계	-J社(PHOENIX) -Poly saccharide
-블레인(4.035cm <sup>3</sup> /g)	-비 중(평균 2.64)	-비중(평균 2.60)	-비중(평균 2.63)	-고형분(36.4%)	+HPMC
-비 중(평균 3.03)	-입경(평균 8.66µm)	-흡수율(1.05%)	-흡수율(0.71%)	-비 중(1.202)	-점도(800cp)



(그림 3) Lot별 슬래그 치환율



(그림 4) Lot별 시멘트 압축강도(28일)

T社의 경우, 평균 슬래그 치환율이 46.5% 인 반면에 S社의 경우에는 55.8%로 높게 나타났다. 이러한 치환율의 차이로 T社의 28일 압축강도가 높게 나타난 것으로 사료된다.

물론, 수화열 및 응결시간, 압축강도, 그리고 JIS R 5211에 규정한 B type(30~60%) 등을 고려하여 T社의 슬래그 시멘트를 선정하였다.

### 3.1.2 골재

굵은골재는 비교적 현장과 가까운 위치에서 생산되는 19mm 쇄석을 대상으로 품질시험을 실시하였으며, 그중에서 실적을, 마모율, 흡수율 등의 품질이 가장 우수한 원우석산의 골재를 선정하였다. 또한, 잔골재는 LNG 지하탱크의 요구상 강모래를 대상으로 품질시험을

실시하였으며, 입도·비중·단위중량 등의 품질이 우수한 금강산 강모래를 선정하였다.

### 3.1.3 혼화제

고성능 감수제는 초유동 콘크리트에 유동성 및 분산·유지성능을 부여하는 중요한 요인이 된다. 본 연구에서 검토한 고성능 감수제의 특성은 [표 3]과 같다.

고성능 감수제의 선정은 블리딩, 응결시간 외에도 증점제와의 적합성을 고려하여 선정해야 하는데, 고성능 감수제 자체의 품질은 J社의 제품이 약간 우수한 것으로 나타났다. 또한, 본 연구에서 검토한 증점제(분리저감제)의 특성은 [표 4]와 같다.

고성능 감수제 및 증점제는 초유동 콘크리트의 기본 요구성능에 대한 실험 및 유동성·

(표 3) 고성능 감수제의 품질특성

maker	Solid content (%)	Specific gravity	Base	Bleeding		Setting time	
				Content (ml/cm³)	End time (hr)	Initial (hr:min)	Final (hr:min)
J社	36.4	1.202	Poly-carbone	0.006	1.0	9:20	12:20
E社	38.6	1.229	Melaine	0.012	1.8	9:40	12:40

(표 4) 증점제의 품질특성

maker	Viscosity (cp) : (20℃)	pH : (20℃)	Base
E社	260 (2% solution)	7.89 (2% solution)	HPMC (Acryl)
J社	800 (1% solution)	8.90 (1% solution)	HPMC (poly-saccaride)

점성효과를 고려하여 Poly-carbone계와 Poly-saccharide계로 선정하였다.

### 3.1.4 석회석 미분말

석회석 미분말은 주로 초유동 콘크리트의 잔골재 치환용으로 사용하지만, 유동성에 미치는 영향을 고려할 경우에는 분체작용으로 간주한다.<sup>(6)</sup> 또한, 석회석 미분말은 주로 수화 과정에서 콘크리트의 온도상승 및 경화후의 과도한 강도발현을 억제할 목적으로 많이 사용하지만, 콘크리트의 소성점도를 증대시키기 때문에 재료분리 저항성 및 유동성을 개선시킬 수 있다.<sup>(7),(8)</sup>

본 연구에서 검토한 석회석 미분말의 품질 특성은 [표 5]와 같다.

석회석 미분말의 품질특성 결과로 볼 때는 제품별 큰 차이가 없으나, Lot별 편차를 고려하여 W社의 석회석 미분말을 본 연구의 분체로 선정하였다.

### 3.2 배합변수 및 시험방법

LNG 지하탱크의 Slurry wall용 초유동 콘크리트의 배합변수는 [표 6]과 같다. 여기

서, 물/시멘트비는 배합강도 선정용이며, 나머지 배합변수는 굳지않은 콘크리트 상태를 비교·평가하기 위한 것으로 각각의 변수에 따른 요구성능의 만족여부를 평가하고자 하였다. 특히, 잔골재의 표면수를 변동을 고려한 단위수량 및 고성능 감수제의 계량오차를 첨가량 변동에 따른 민감도 시험은 현장 품질관리 범위를 설정할 목적으로 실시하였다.

시험방법은 KS F 4009 규준을 기본으로, 슬럼프 플로우는 JSCE F 503, SF50cm 도달 시간은 JIS A 1101, 공기량 시험은 KS F 2409, V-lot 및 U-box 충전성 시험은 JSCE 제안방법<sup>(9)</sup>에 따라 측정하였다. 콘크리트 배합 시간은 60 l 용 강제식 믹서(rpm 44)를 사용하여 3분30초로 정하였으며, 배합방법은 선-모르타르법으로 하였다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 물/시멘트비에 따른 실험결과

물/시멘트비에 따른 굳지않은 콘크리트의 실험결과는 [표 7]과 같다.

실험결과, 물/시멘트비에 관계없이 경시변

[표 5] 석회석 미분말의 품질특성

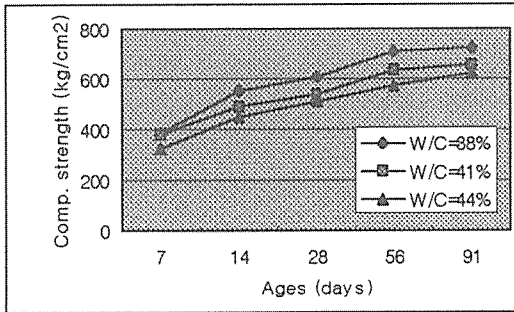
maker	Average particle size (μm)	Specific surface (cm <sup>2</sup> /g)	Specific gravity	Loss Ignition (%)
W社	8.66	7.975	2.64	43.33
Y社	9.71	7.062	2.63	43.45
B社	8.67	7.960	2.73	43.18

[표 6] LNG지하탱크용 초유동 콘크리트의 배합변수

W/C (%)	W/B (%)	Unit water (kg/m <sup>3</sup> )	Coarse agg. volume (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	S/a (%)	Moisture variation (kg/m <sup>3</sup> )	Superplasticizer dosage range (%)
38~44	35.0~35.8	180	0.28~0.32	50.8	180 ± 5, ± 10	2.3 ± 0.2, ± 0.4

(표 7) 물/시멘트비에 따른 초유동 콘크리트의 실험결과

Mix design condition		W/C=38%, S.P=2.4%				W/C=41%, S.P=2.2%				W/C=44%, S.P=1.9%			
Elapsed Time	Spec.	0min	30min	60min	90min	0min	30min	60min	90min	0min	30min	60min	90min
Slump Flow(cm)	65±5	65.0	67.0	67.5	67.0	62.5	69.5	66.5	65.0	64.0	66.5	67.5	63.5
SF50cm time(sec)	4~10	4.6	4.2	6.0	6.7	5.5	4.3	5.4	5.6	4.5	4.8	6.3	7.6
V-lot time(sec)	10~20	10.6	11.3	13.3	17.4	11.6	10.4	14.8	15.2	10.6	12.3	12.8	14.1
U-box H (mm)	≥300	350	347	347	335	347	344	343	340	345	346	344	340
Air contents(%)	4±1	3.5	3.7	3.7	3.5	3.0	3.6	4.4	4.3	3.6	4.2	4.6	4.5
Con'c Temp.(°C)	≤30	18.9	18.8	18.2	17.7	18.8	18.9	18.6	18.0	18.8	18.3	17.5	17.4



(그림 5) 물/시멘트비에 따른 압축강도 시험결과

화에 따른 요구성능을 만족하는 것으로 나타났다. 특히, 슬럼프 플로우는 운반시간을 고려하여 약 15분정도에서 분산성능이 최대로 된 후, 유지성능을 발휘하도록하여 규정된 요구성능을 만족할 수 있도록 고성능 감수제의 구성비를 조절하였다. 물/시멘트비에 따른 재령별 압축강도 결과는 (그림 5)와 같다.

압축강도 시험결과, 물/시멘트비에 관계없이 요구되는 배합강도(520kg/cm²)를 만족하는 것으로 나타났다.

그러나, 본 공사의 특수성 및 현장 품질관리의 안정성, 편차, 수화열 등을 고려하여 최적 배합비를 W/C 41%(S/a=50.8%, C=438 kg/m³, W=180kg/m³, L.S.P=70kg/m³, Superplasticizer(이하, AD)=2.3%)로 결정하였다.

#### 4.2 굵은골재 용적비에 따른 실험결과

굵은골재 용적비는 초유동 콘크리트의 V-lot 및 충전성에 영향을 미치기 때문에, 굳지 않은 콘크리트의 골재용적에 대한 평가시험을 실시하였으며, 굵은골재 용적비에 따른 실험 결과는 [표 8]과 같다.

실험결과, 굵은골재 용적비가 0.32인 경우 대부분의 성능을 만족하지 않는 것으로 나타났다. 0.28의 경우에도 SF50cm 도달시간이 빠른 것으로 나타났다. 이는 골재의 맞물림 및 점성변화에 기인한 것으로, 0.30일 때 가장 적합한 것으로 평가된다.

(표 8) 굵은골재 용적비에 따른 초유동 콘크리트의 실험결과

Gravel volume (m³/m³)	Slump flow (cm)			SF50cm (sec)			V-lot (sec)			U-type (mm)			Air content (%)		
	30min	60min	90min	30min	60min	90min	30min	60min	90min	30min	60min	90min	30min	60min	90min
0.28	68.0	68.0	67.0	4.1	4.1	4.2	10.2	11.2	13.0	332	326	310	5.0	4.8	4.2
0.30	65.0	66.0	64.5	5.3	6.2	6.0	12.3	14.5	14.2	345	339	335	4.8	4.5	3.9
0.32	57.0	54.0	55.0	9.3	10.8	12.4	18.4	20.4	22.4	292	283	275	4.6	4.1	3.8

### 4.3 단위수량의 변동에 따른 민감도 실험 결과

잔골재의 표면수율 변동 및 계량오차 등에 따른 초유동 콘크리트의 품질변동을 측정하기 위하여 단위수량을 기본조건(180kg/m<sup>3</sup>)에  $\pm 5$ ,  $\pm 10$ kg/m<sup>3</sup>로 변화시켰으며, 실험결과는 [표 9]와 같다.

실험결과, 단위수량 변동폭이  $\pm 10$ kg/m<sup>3</sup>인 경우에는 초유동 콘크리트의 요구성능을 벗어나는 것으로 나타났으며, 특히,  $-10$ kg/m<sup>3</sup>인 경우에는 모든 성능을 만족하지 않는 것으로 측정되었다.

[그림 6] 및 [그림 7]은 단위수량 변화에 따른 슬럼프 플로우 및 U-type 충전성 결과를 나타낸 것이다.

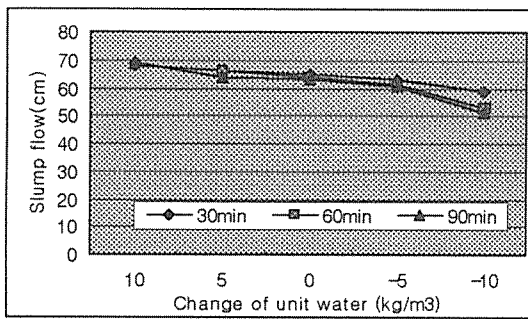
[그림 6] 수량변동에 따른 슬럼프 플로우 [그림 7] 수량변동에 따른 충전성 높이

능을 고려한 단위수량의 변동은  $\pm 5$ kg/m<sup>3</sup>범위에서 요구성능을 만족하는 것으로 나타났는데, 이를 잔골재의 표면수율로 환산하면  $\pm 0.6\%$ 가 된다. 따라서, 현장 초유동 콘크리트의 요구성능을 만족하는 범위에서 단위수량의 변동범위를  $\pm 5$ kg/m<sup>3</sup> 이내로 규정하는 것이 바람직하다.

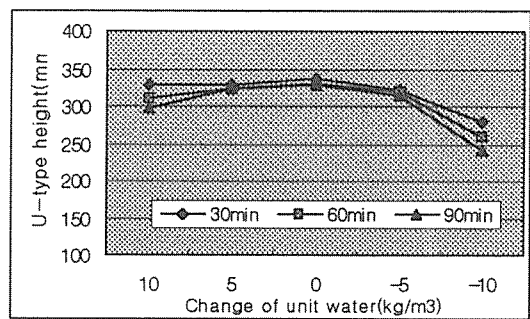
### 4.4 고성능 감수제 첨가량의 변동에 따른 민감도 실험결과

고성능 감수제의 계량오차 등에 따른 초유동 콘크리트의 품질변동을 측정하기 위하여 기준 첨가량(2.3%)에  $\pm 0.2\%$ ,  $\pm 0.4\%$ 로 변화시킨 실험결과는 [표 10] 및 [그림 8]과 [그림 9]에 나타난 바와 같다.

고성능 감수제 첨가량의 변동이  $\pm 4\%$ 일 경우, V-lot 및 U-type 충전성이 요구성능의 범



[그림 6] 수량변동에 따른 슬럼프 플로우



[그림 7] 수량변동에 따른 충전성 높이

[표 9] 단위수량 변동에 따른 민감도 실험결과

Change water (kg/m <sup>3</sup> )	Slump flow (cm)			SF50cm (sec)			V-lot (sec)			U-type (mm)			Air content (%)		
	30min	60min	90min	30min	60min	90min	30min	60min	90min	30min	60min	90min	30min	60min	90min
+10	68.0	68.0	69.0	4.6	5.6	7.2	10.5	17.4	20.4	330	311	298	5.2	5.0	5.1
+5	66.0	66.0	64.0	5.4	6.0	7.4	11.3	13.1	15.6	329	325	324	4.9	4.5	4.0
0	65.0	64.0	63.0	5.5	6.4	7.4	12.0	14.1	14.4	338	331	330	4.8	4.4	3.9
-5	63.0	61.5	61.0	6.8	6.7	9.2	13.6	15.7	18.5	322	320	315	4.7	3.9	3.1
-10	59.0	53.0	51.5	13.4	15.8	18.9	21.4	26.8	×	281	260	242	3.8	3.3	2.9

위를 벗어나는 것으로 나타났는데, 이는 각각 골재 맞물림 및 유동성 저하현상에 기인된 것으로 평가된다. 특히, 충전성을 고려할 때, 고성능 감수제의 변동을  $\pm 2\%$  이내로 엄격히 관리하는 것이 필요하다.

## 5. 결론

국내 최초로 20만 $kl$ 용량의 LNG 지하탱크 Slurry wall에 적용할 초유동 콘크리트의 시험배합 및 요구성능에 대한 평가결과는 다음과 같다.

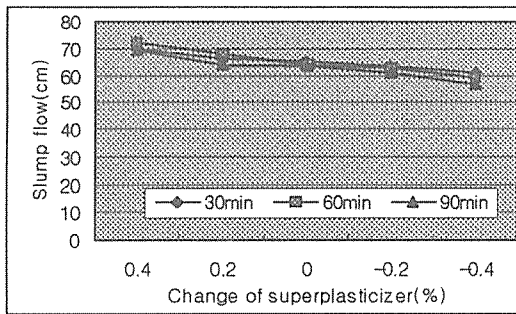
① 수화열, 유동성, 충전성 및 품질의 안정성 등을 고려하여 슬래그 시멘트+석회석분+증점제를 사용한 병용계 초유동 콘크리트를 LNG(#213, 214 TK) 저장탱크의 Slurry

wall용 콘크리트의 재료로 선정하였다.

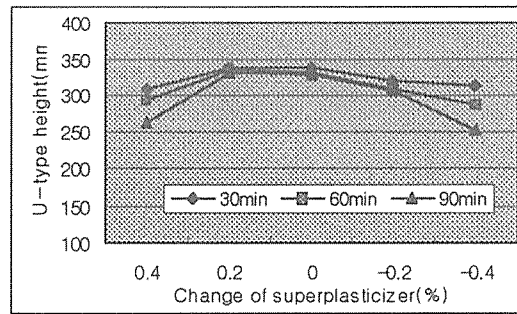
② 경시변화 90분까지의 요구성능을 고려한 최적배합비는  $W/C=41\%$ ,  $S/a=50.8\%$ , 굵은골재 용적 $=0.30$ ,  $C=438kg/m^3$ ,  $L.S.P=70kg/m^3$ ,  $W=180kg/m^3$  및 고성능 감수제 첨가량 $=2.3\%$ 로 정하였다.

③ 민감도 시험결과, 초유동 콘크리트의 충전가능 범위를 만족하기 위하여 단위수량의 변동은  $\pm 5kg/m^3$ (잔골재 표면수율  $\pm 0.6\%$ ), 고성능 감수제의 변동은  $\pm 0.2\%$  이내에서 제한하는 것이 바람직하다.

④ 향후, 토목구조물에 적용할 초유동 콘크리트에 대한 국내의 기준설정을 위한 계기가 되었으며, 현장적용을 통하여 국내 콘크리트의 기술을 한층 더 높이는 기회로 활용되길 기대한다.



(그림 8) Ad변동에 따른 슬럼프 플로우



(그림 9) Ad변동에 따른 충전성 높이

[표 10] 고성능 감수제 첨가량 변동에 따른 민감도 실험결과

Change A.D (%)	Slump flow (cm)			SF50cm (sec)			V-lot (sec)			U-type (mm)			Air content (%)		
	30min	60min	90min	30min	60min	90min	30min	60min	90min	30min	60min	90min	30min	60min	90min
+0.4	70.0	72.0	69.0	4.4	4.2	4.6	18.5	20.6	22.4	308	293	262	5.4	5.0	4.7
+0.2	66.0	68.0	64.0	5.2	5.7	6.0	13.1	13.9	14.0	337	335	332	5.0	4.7	4.1
0	65.0	64.0	63.0	5.5	6.4	7.4	12.0	14.1	14.4	338	331	330	4.8	4.4	3.9
-0.2	63.0	62.5	61.0	6.4	7.2	8.4	16.4	18.7	19.0	319	310	307	4.7	4.1	3.8
-0.4	61.0	59.0	57.0	7.7	9.8	10.8	17.4	19.5	21.5	314	287	251	4.3	3.3	3.2
Tarket	65 $\pm$ 5			4~10			10~20			min. 300			4 $\pm$ 1		



## 감사의 글

지금까지 건설교통부 국책과제인 “초유동 콘크리트 개발 및 실용화 연구”를 수행한 결과 및 현장적용 결과를 바탕으로, 국내 최초로 20만kl 대용량의 LNG 지하탱크 Slurry wall 에 적용할 초유동 콘크리트의 시험배합 및 관리규준을 확립할 수 있었다. 특히, 이번 현장적용 기간동안 시멘트, 석회석 미분말 및 고성능 감수제와 증점제의 품질관리뿐만 아니라 현장시공 과정에 있어서 노고를 아끼지 않았던 해당 업체의 관계자 여러분과 대우건설기술연구소 콘크리트 팀원들께 깊은 감사를 드리는 바이다.

## 참고문헌

- (1) 朴泚林, 安宰鉉, 權寧鎬, 李相洙., “碎砂を用いた高流動コンクリートの實施工例-トップダウン工法への適用”, 高機能コンクリートに関する第2回韓日セミナー講演論文集, 名古屋大學 (日本) 1998.7. pp.61~71
- (2) Park-chil lim, Ahn-jae hyun, Kwon-yeong ho, Lee-sang soo., “The practical application on the super flowing concrete in a method of construction of under pinning”, Proceedings of the 4th Japan-Korea Joint symposium on building materials. Feb. 3. 1999. pp.91~96.
- (3) 朴泚林, 權寧鎬, 李相洙, 金東錫, 金鎮根, “초유동 콘크리트의 現場施工”, 한국콘크리트학회 봄학술발표논문집 제8권1호, 1996.5. pp.402~407
- (4) 朴泚林, 權寧鎬, 李相洙, 元 澈., “초유동 콘크리트의 2차제품 적용에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술발표 논문집 제9권1호, 1997.5. pp.285~291
- (5) 魚本健人, 小澤一雅, 河井 徹, 渡部 正., “土木學會 高流動コンクリート施工指針について”, 콘크리트工學 Vol 36, No.10, 1998.10. pp.9~17.
- (6) 朴泚林, 權寧鎬, 安宰鉉, 李相洙, 金武漢., “석회석분을 사용한 초유동 콘크리트의 유동특성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술발표 논문집 제9권2호, 1997.11, pp. 369~374
- (7) 青木茂, 三浦律彦, 十河茂幸., “各種鑛物質微分末を用いた低發熱超高强度コンクリートに関する基礎研究”, 콘크리트工學, Vol.15, No.1, pp.37~42, 1993.
- (8) 木村芳幹, 寺田早苗, 關口賢二, 田村 博., “碎石粉使用高流動コンクリートの硬化性狀”, 콘크리트工學年次論文集, Vol.17, No.1, pp.167~172, 1995.
- (9) JSCE(日本土木學會) “高流動コンクリートに関する技術の現状と問題”, Concrete Engineering Series 15. 1996.