

저열 포틀랜드 시멘트를 사용한 고유동콘크리트의 사용재료 및 배합 변동에 따른 특성 평가

The Effect on the Properties of High Flowing Concrete Using Low Heat Portland Cement by Material and Mixing Variations

하재담^{*} 김태홍^{**} 유재상^{***} 이종열^{****} 권영호^{*****}
Ha, Jae Dam Kim, Tae Hong Ryu, Jae Sang Lee, Jong Ryul Kwon, Yeong Ho

ABSTRACT

Recently, concrete structures have become larger and higher and are demanding high performance concrete with lower heat to prevent thermal cracking, far greater workability, high strength and durability. Application of low heat portland(Type IV) cement for the high performance concrete is the best solution to satisfied those requirements. Here are explained the effect on the properties of high flowing concrete using low heat portland cement by material and mixing variations. Variables for sensitivity test were selected items like finess modulus of aggregates, particle size of limestone powder, unit water, superplasticizer, viscosity agent and concrete temperature.

The results of this study were be applied to slurry wall of #215 and #216 of underground LNG tank in Incheon.

1. 서론

1990년대 초반부터 고유동콘크리트에 대한 연구가 진행되어 왔으나 현장적용은 비교적 소규모로 수행되었으며 1998년 인천 LNG 지하탱크 #211 및 #212에 저열 포틀랜드 시멘트를 사용한 고유동콘크리트가 대량으로 타설된 후 저변화 되고 있는 추세이다. 그러나 고유동콘크리트는 일반콘크리트에 비해 사용재료의 품질변동, 계량오차, 온도변화 등에 따라 특성이 민감하게 변화하기 때문에 성공적인 공사를 위하여 이에 대한 검토가 타설전 반드시 이루어져야 한다.

본 연구에서는 인천 LNG 지하탱크 #215 및 #216 지중연속벽에 타설된 저열 포틀랜드시멘트와 석회석 미분말을 분체로 사용하고 증점제를 사용한 병용계 고유동콘크리트에 대하여 잔골재 및 굵은골재의 조립율, 석회석 미분말의 평균입경, 단위수량, 단위혼화제량, 단위증점제량, 콘크리트의 온도 등의 변화에 대한 특성을 평가하여 현장 품질관리의 기준으로 하였다.

참고적으로 인천 LNG 지하탱크 #215 및 #216는 20만k/의 용량으로 안지름 72.0m, 높이 68.2m의 철근콘크리트 구조물로 slurry wall, bottom, side wall 등으로 구성되어 있으며 본연구의 slurry wall은 고유동 이외에 고강도 및 저열의 특성을 만족하여야 한다.

* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 책임연구원
** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 연구원
*** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 실장
**** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장
***** 정회원, 대우건설 인천 LNG 지하탱크현장 Q/C, Q/A, 공학박사

2. 시험 개요 및 방법

2.1 사용재료

저열, 장기고강도 및 고유동의 특성을 만족하기 위하여 4종 저열 포틀랜드 시멘트를 결합재로 사용하였으며 화학성분 및 물리성능은 다음과 같다.

표 1 시멘트의 화학성분과 광물조성

항목 시멘트	화학성분(%)						광물조성(%)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	R ₂ O	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
4종	25.3	3.1	3.6	62.5	2.3	0.51	29	50	3	9

표 2 시멘트의 물리성능과 수화열

항목 시멘트	비중	Blaine (cm ² /g)	응결(h:m)		압축강도(kgf/cm ²)				수화열(cal/g)		
			초결	종결	3일	7일	28일	91일	7일	28일	91일
4종	3.22	3.500	5:50	9:20	126	175	360	550	55	67	78

또한 골재, 폴리카본산계 고성능 AE감수제, 석회석미분말 등 사용재료의 특성은 다음과 같다.

표 3 기타 사용재료의 특성

재료	기호	특성
잔골재	S	강사, 조립율 2.60, 표건비중 2.62, 흡수율 1.05%
굵은골재	G	20mm 쇄석, 조립율 6.60, 표건비중 2.63, 흡수율 0.71%
증점제	VA	폴리사카라이드계 분말형 증점제, 점도 800cp
혼화제	SP	폴리카본산계 고성능 AE감수제
석회석미분말	LP	C-140, 절건비중 2.70, 평균입경 9.7 μ m, Blaine 6,000cm ² /g

2.2 검토 배합

인천 LNG 지하탱크 #215 및 #216의 slurry wall에 요구되는 콘크리트는 고유동 이외에 고강도 및 저열의 특성을 동시에 만족하여야 하며 시험을 통하여 최적배합을 선정하였으며 사용재료의 품질변동은 이 최적배합에 대하여 실시하였다.

표 4 검토 배합표

Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)						
			W	C	LP	S	G	SP	VA
20	51.0	48.8	174	341	254	743	789	7.40	0.16

2.3 요구 특성

고유동콘크리트의 시험방법은 일본 토목학회 “고유동콘크리트의 시공지침”에 따르며 다음 표 5에서 보는 바와 같이 Fresh 콘크리트 및 Hardened 콘크리트의 요구특성을 만족하여야 하며 특히 Fresh 콘크리트는 90분까지 특성이 유지되어야 한다.

표 5 콘크리트 요구특성

부 위	타설량 (m ³)	Fresh 콘크리트					Hardened 콘크리트 (91일 관리재령)	
		Slump Flow (cm)	SF 50cm (sec)	V-lot (sec)	U-box (mm)	Air (%)	f _{ck} (kgf/cm ²)	f _{cr} (kgf/cm ²)
Slurry Wall	75,000	65±5	7±3	15±5	>300	4±1	400	505

3. 시험인자 및 시험방법

3.1 시험인자 및 수준

현장에서 발생할 수 있는 사용재료의 품질변동은 주로 잔골재, 굵은골재의 조립율, 석회석미분말 평균입경 등의 사용재료 자체의 변동에 따른 것과 단위수량, 단위혼화제량, 단위증점제량, 콘크리트의 치기온도 등의 배합적인 요인이 있으며 시험수준은 표 6에서 보는 바와 같다.

표 6 시험인자 및 수준

시험인자		시험수준					
사용재료	잔골재의 조립율	5	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
	굵은골재의 조립율	3	6.4		6.6	6.8	
	석회석미분말의 평균입경(μm)	3	8.7		9.7	11.0	
배합	단위수량(kg/m ³)	5	-10	-5	W	+5	+10
	단위혼화제량(%)	5	-0.4	-0.2	SP	+0.2	+0.4
	단위증점제량(%)	3	-0.01		VA	+0.01	
	콘크리트의 온도(°C)	3	10		20	30	

3.2 시험방법

잔골재 및 굵은골재의 조립율은 체가름을 통한 입도조정, 석회석미분말은 분쇄를 통한 입도조정 및 콘크리트의 온도는 물의 온도로 조절하였고 충전성, 유동성 등의 시험은 일본 토목학회 “고유동콘크리트의 시공지침”에 따라 V-lot 및 U-box시험을 수행하였다.

4. 시험결과 및 고찰

4.1 사용재료의 품질변동

4.1.1 잔골재의 조립율 변동에 따른 시험결과

LNG 구조물의 내구성을 고려하여 강사를 사용하도록 규정되어 있으며 강사는 채취장소에 따라 잔골재의 조립율 변동이 심하여 잔골재의 조립율에 대하여 기준 2.6에서 ±0.2 및 ±0.4의 수준에서 시험하였으며 잔골재의 조립율이 낮을수록 미분이 많아 콘크리트의 점성이 증대되어 slump flow는 감소하여 2.2인 경우는 요구특성을 만족하지 못하며, SF 50cm 도달시간이 증대되고, V-lot 유하시간이 증대되며 U-box 충전성 높이차가 증가하며 또한 공기량은 증가하는 것으로 측정되었다. 압축강도는 거의 유사하나 조립율이 3.0인 경우 잔골재의 부착력 증대로 인하여 높게 나타났다. 따라서 잔골재의 조립율 변동에 따른 고유동콘크리트의 품질은 2.6±0.2 범위에서 유동성 및 충전성 측면에서 안정적일 것으로 사료된다.

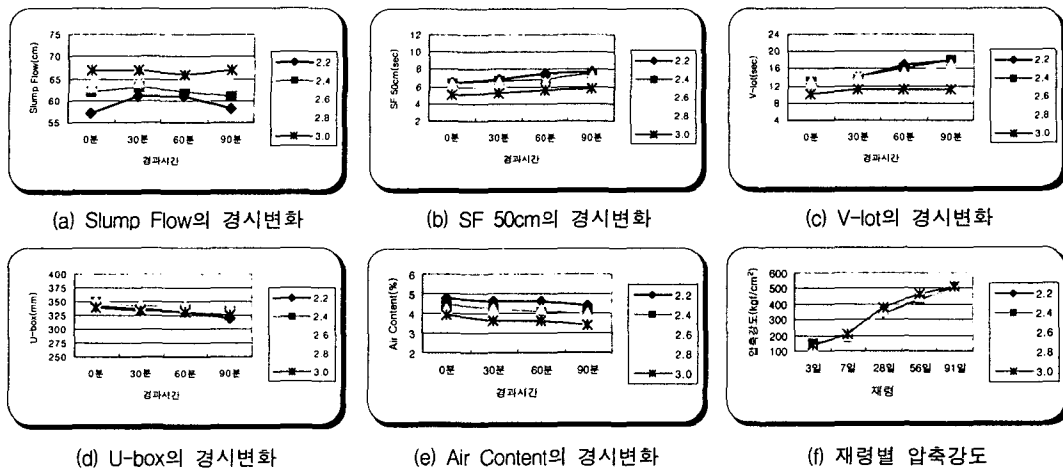


그림 1 잔골재의 조립을 변동에 따른 시험결과

4.1.2 굵은골재의 조립을 변동에 따른 시험결과

굵은골재의 변동에 대한 고유동콘크리트의 특성변화는 유동성과 충전성 모두 둔감한 것으로 나타났으며 시험 범위인 6.6 ± 0.2 범위에서 요구특성을 만족하는 것으로 나타났으며 압축강도도 거의 유사한 것으로 나타났다.

4.1.3 석회석미분말의 평균입경 변동에 따른 시험결과

석회석미분말의 평균입경이 적을수록 즉 분말도가 높을수록 점성이 증대되어 유동성이 감소하여 slump flow가 감소하며 U-box 충전성 높이차가 감소하였다. 또한 공기량은 증가하였으며 이는 점성 증대로 인하여 갇힌 공기량의 영향으로 사료된다.

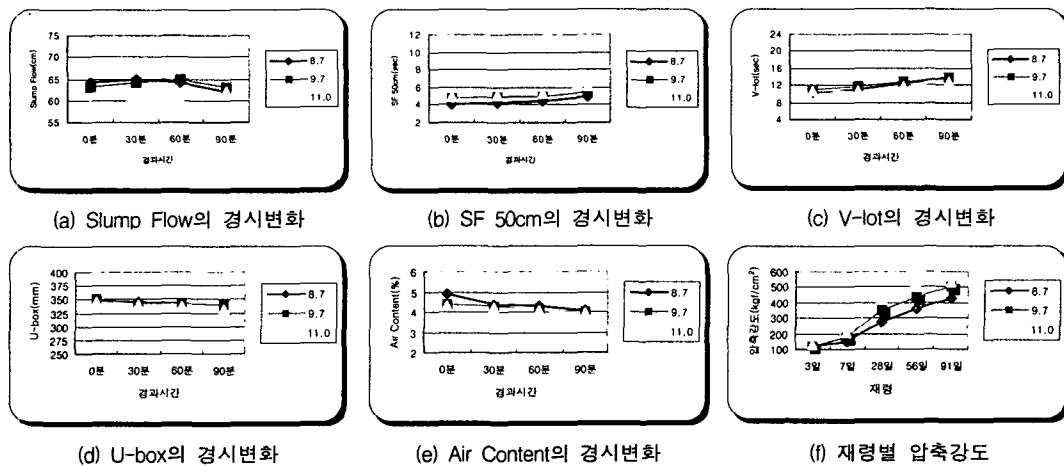


그림 2 석회석미분말의 평균입경 변동에 따른 시험결과

4.2 배합상의 품질변동

4.2.1 단위수량 변동에 따른 시험결과

현장에서 잔골재의 표면수 관리는 실질적으로 불가능한 것을 고려하여 표면수의 변동에 따른 품질변동을 확인하고자 단위수량을 기준 174kg에서 $\pm 5\text{kg}$ 및 $\pm 10\text{kg}$ 의 수준에서 시험하였으며 잔골재의 표면수 변동에 따른 고유동콘크리트의 특성은 유동성 및 충전성 측면에서 영향을 많이 미치는 것으로 나타났으며 시험결과 $\pm 5\text{kg}$ 범위 즉 잔골재 표면수율로 환산할 때 $\pm 6\%$ 범위에서 관리하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

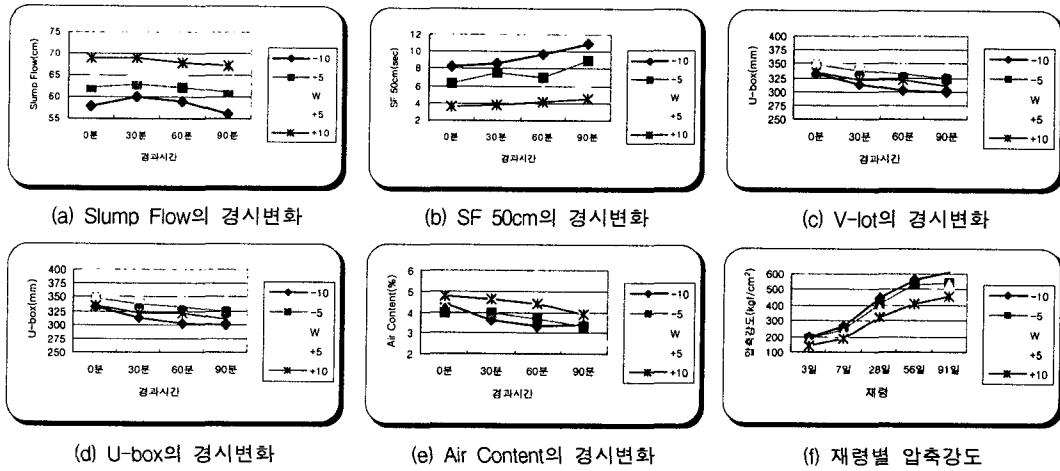


그림 3 단위수량 변동에 따른 시험결과

4.2.2 단위혼화제량 변동에 따른 시험결과

고유동콘크리트에 사용된 혼화제는 폴리카본산계 고성능AE감수제로 감수율이 상당히 높은 혼화제로 사용량의 변화에 따라 특성 변동은 많은 것으로 나타났다. 특히 기준량 $\pm 0.4\%$ 에서는 재료분리 또는 유동성 부족현상이 발생하여 slump flow가 관리기준을 벗어나는 것으로 나타났으며 특히 V-lot 유하시간의 변동은 심하였으며 (-) 범위에서는 유동성 및 분산작용의 부족으로, (+) 범위에서는 골재분리 및 골재 입자간의 맞물림 작용으로 유하시간이 증대되는 경향을 나타내었다.

4.2.3 단위증점제량 변동에 따른 시험결과

증점제의 사용량이 증대할수록 점성이 증대되고 유동성이 저하되기 때문에 slump flow는 감소하였으며 이는 60분 이후 더 증대되는 경향을 나타내었으며 증점제의 사용량이 증가할수록 고유동콘크리트의 공기량은 증가하는 것으로 나타났으며 이는 점성이 증가할수록 연행 공기 이외에 콘크리트 내부의 갇힌 공기의 영향으로 사료된다. 또한 증점제의 사용량이 증가할수록 압축강도는 약간 감소하는 것으로 나타났다.

4.2.4 콘크리트의 온도 변동에 따른 시험결과

병용계 고유동콘크리트의 온도 변동에 따른 품질변화는 증점제의 온도에 대한 민감성으로 인하여 점성 및 공기량에 미치는 영향은 매우 큰 것으로 나타났다. 즉 콘크리트의 온도가 높아질수록 점성이 감소하여

slump flow가 증대되며 SF 50cm 도달시간 및 V-lot 유하시간이 감소되는 것으로 나타났다. 또한 압축강도는 증가하는 경향이지만 후기재령에서는 차이가 감소되는 것으로 나타났다.

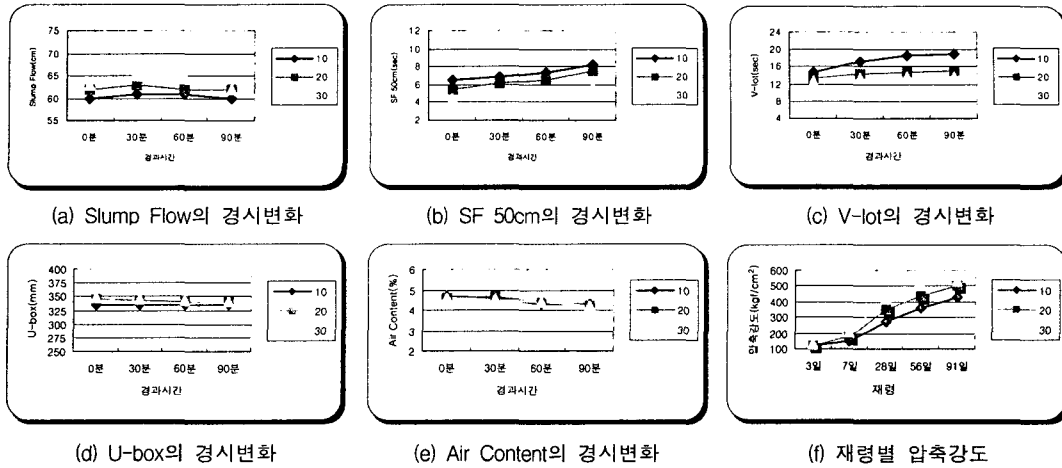


그림 4 콘크리트의 온도 변동에 따른 시험결과

5. 결론

인천 LNG 지하탱크 #215 및 #216의 slurry wall에 요구되는 고유동콘크리트의 시방배합에 대하여 사용재료 및 배합 변동에 따른 영향을 분석하기 위하여 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 잔골재의 조립율은 고유동콘크리트의 점성 및 자기충진성에 영향을 미치기 때문에 2.6 ± 0.2 범위에서 관리하여야 하며 굵은골재의 조립율은 6.6 ± 0.2 범위에서 고유동콘크리트의 특성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
- 2) 석회석미분말의 평균입경의 영향보다는 입도분포가 특성에 영향을 미치는 것으로 사료된다.
- 3) 잔골재의 표면수율 변동의 영향을 평가하기 위해 단위수량을 기준량 ± 5 kg 및 ± 10 kg 범위에서 시험한 결과 유동성, 점성 및 재료분리 저항성뿐만 아니라 압축강도에도 영향을 미치기 때문에 잔골재의 표면수율을 $\pm 0.6\%$ 범위에서 엄격하게 관리하여야 한다.
- 4) 감수율이 높은 혼화제를 사용함으로써 혼화제의 사용량에 따른 특성은 많이 변화하기 때문에 혼화제의 계량오차는 $\pm 1\%$ 범위에서 관리하여야 하며 증점제의 사용량이 증가할수록 점성 및 재료분리 저항성은 증대하지만, 유동성에는 나쁜 영향을 미치는 것으로 나타나 계량오차를 줄이기 위한 방안이 필요하다.
- 5) 콘크리트의 온도변화는 증점제의 온도민감성으로 인하여 점성 및 공기량에 영향을 미치기 때문에 콘크리트의 온도는 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ 범위에서 관리하는 것이 바람직하며, 하절기에도 30°C 를 넘지 않도록 하여야 한다.

참고문헌

1. 하재담 외 5인, “저열 포틀랜드(벨라이트)시멘트 콘크리트의 특성”, KCI 가을 학술발표회, 1998.
2. 하재담 외 4인, “석회석미분말을 혼입한 초저발열 매스콘크리트의 특성에 관한 연구”, KCI 가을 학술발표회, 2000.
3. 권영호 “병용계 고유동콘크리트의 배합설계 요인 및 공학적 특성에 관한 연구”, 박사학위논문, 2001.