

LNG저장시설 적용을 위한 매스콘크리트 최적 결합재 혼입율 검토

Optimum Binder Ratio of Mass Concrete for LNG Tank

김영진¹ · 박상준¹ · 김경민^{1*} · 이의배¹

Young-Jin Kim¹ · Sang-Jun Park¹ · Kyoung-Min Kim^{1*} · Eui-Bae Lee¹

(Received December 6, 2013 / Revised December 19, 2013 / Accepted December 19, 2013)

The optimum binder ratio of the low heat mass concrete for LNG tank was evaluated in the present study. Three types of binder such as OPC I, ground granulated blast-furnace slag powder were mixed and were used. Also fine particle cement and activator were used to raise an early age strength development and ground limestone was used to reduce the cost. As a result of the study, mix ratio II (30:30:40) was suitable for Bottom Center and mix ratio III(40:30:30) was suitable for Roof based on compressive strength and semi-adiabatic temperature.

키워드 : 매스 콘크리트, 결합재 비율, LNG시설

Keywords : Mass Concrete, Binder ratio, LNG structure

1. 서론

최근 특수구조물 및 건설 구조물의 대형화/ 복잡화에 따라 매스 콘크리트 사용이 증가하고 있다. 매스콘크리트 시공시 가장 중요한 관리사항은 높은 수화열에 의한 수화열 온도균열 제어이다. 이를 해결하기 위해 여러 가지 측면에서 검토되고 있지만 가장 효율적인 것으로 평가되는 재료적인 측면에서는 시멘트량을 최소화 하고 광물질 혼화재료를 다량 사용하여 수화열을 낮추는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이때, 수화열을 낮추기 위한 방안으로 다량의 광물질 혼화재료를 혼입 하게 되는데, 이는 수화열은 제어되지만 시멘트량 부족에 의한 초기강도 저하가 발생되어 진다. 특히, 널리 사용되고 있는 고로슬래그미분말과 플라이애시의 경우에는 온도에 대단히 민감하여 낮은 외기온일 때 초기압축강도 발현 지연에 대한 문제가 발생되고 있다. 이를 위해 수화열 저감과 동시에 초기 압축강도 발현이 가능한 결합재 개발이 필요시 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 광물질 혼화재료 혼입비율 및 초기강도 발현이 가

능한 결합재 혼입비율을 검토하여 LNG 저장시설용 최적의 결합재를 개발하고자 한다.

2. 결합재 구성

본 결합재는 1종포틀랜드시멘트, 고로슬래그미분말, 플라이애시를 혼합 사용하였다. 또한 여기에 미립자시멘트 및 자극제를 첨가하여 조강성능 향상 및 석회석 고미분말을 사용하여 경제성을 향상시켰다. 사용 결합재의 종류 및 물리·화학적 특성은 Table 1과 같다.

본 결합재는 전용 프리믹스 플랜트에 의해 혼합을 실시하여 생산 및 공급한다. 믹서의 혼합원리는 일정 각도로 경사진 상태에서 회전하는 외통 (rotating mixing pan)과 반대방향으로 회전하는 Mixing Tool에 의하여 강력한 대각선 흐름과 역류흐름으로 단시간 내 균일하게 혼합된다.

* Corresponding author E-mail: kyoungmin.kim@daewooenc.com

¹대우건설 기술연구원 (DAEWOO Institute of Construction Technology, Kyonggi-do, 440-210, Korea)

Table 1. Chemical and physical properties of binder

Binder	Symbol	chemical composition (%)								Fineness	
		LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Blaine (cm ² /g)	44 μ m (%)
Cement	C	0.6	21.74	5.10	3.76	63.69	2.05	1.78	1.08	3,217	10.3
Slag powder	BS	-1.32	32.55	16.97	1.75	38.48	9.34	2.04	0.19	4,101	0.18
fly ash	FA	1.86	54.16	26.55	9.48	5.21	1.28	0.94	0.52	3,571	24.0
Fine particle cement	FC	1.39	20.13	4.73	4.45	60.90	1.88	4.54	1.83	7,530	3.0
Ground slag	Ma	10.77	25.92	12.03	1.25	41.30	4.58	3.40	0.63	5,684	1.2
Ground limestone	FLP	36.14	9.92	3.71	2.60	44.01	1.58	0.76	1.20	9,069	0.11

Table 2. Experimental plan

Item	Contents						
Mark	2	20-30-150, 20-30-100					
Basic	Mixture (Binder ratio)	Bottom	Biner	Cement	FA	BS	
			P	85*	15	0	
		Center	I	20	30	50	
			II	30	30	40	
			III	40	30	30	
		Roof	P	75**	25	0	
			I	20	30	50	
			II	30	30	40	
				III	40	30	30
		Slump (mm)	1	Target \pm 25			
Air content(%)	1	5.0 \pm 1.5					
Test	Fresh concrete	2	· Slump · Air contents				
	Hardened concrete	2	· Compressive strength (3, 7, 14, 28, 56, 91days) · Semi-adiabatic temperature				

* Low heat cement ** OPC

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

대상구조물은 Fig. 1과 같이 가스저장시설 Bottom Center와 Roof로서 기존 콘크리트의 배합사항은 Bottom Center의 경우 수화열 저감을 위해 저열시멘트를 사용하였고, Roof의 경우에는 수화열 저감을 목표로 하는 구조물이 아니기 때문에 플라이애시를 25 % 혼입한 일반콘크리트 배합이다.

실험 계획은 Table 2와 같고, 배합사항은 Table 3과 같다. 실험 요인 중 최적 결합재 비율은 시멘트, 플라이애시, 고로슬래그미분말의 비율을 달리한 3가지 배합으로 계획하였다. 실험사항으로서 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량 실험, 경화콘크리트에서



Fig. 1. LNG structure

Table 3. Physical properties of aggregate

Physical properties	Fine	Coarse
Density (g/cm ³)	2.60	2.62
Absorption (%)	0.91	0.56
Unit volume weight (kg/cm ³)	1,650	1,495
Ratio of absolute volume (%)	64.1	57.2
Distribution of grain shape (%)	-	57.2
Passing ration of 0.08mm (%)	0.88	0.75
F.M.	2.76	6.46

는 압축강도 및 간이 수화열을 측정하는 것으로 계획하였다.

3.2 사용재료

먼저 결합재로서 보통 포틀랜드 시멘트, 고로 슬래그 미분말 3종, 미립자 시멘트, 및 석회석 고미분말은 A사에서 생산되는 제품을 사용하였고, 플라이애시 2종은 보령화력발전소에서 발생된 제품을 사용하였다. 각 결합재의 물리·화학적 성질은 Table 1과 같다.

골재로 잔골재는 인천産 세척사를 사용하였고, 굵은골재는 25 mm 부순골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 4와 같다.

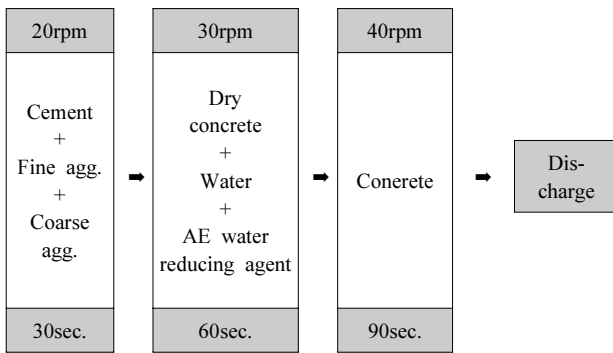


Fig. 2. Mixing of concrete



(a) Semi-adiabatic box (b) Measurement

Fig. 3. Measurement of hydration heat

자극제는 황산나트륨 (Na_2SO_4 99%)을 사용하였고 혼화제로 감수제는 D사의 PC계 고성능 감수제를 사용하였고, AE제는 D사의 레진계 제품을 사용하였다.

3.3 실험방법

콘크리트는 Fig. 2와 같이 강제식 팬믹서를 사용하여 혼합하였으며, 실험방법으로 슬럼프 (KS F 2402), 공기량(KS F 2421), 압축강도(KS F 2405)는 KS의 일반적인 방법에 의거하여 실시하였다.

수화열은 Fig. 3과 같이 간이단열온도상승시험을 통해 측정하였으며, W220×L220×H200mm (두께 20mm)의 발포폴리스티렌 보드 상자의 중앙에 열전대를 설치한 후, 콘크리트를 채워 넣고, 두께 100mm의 스티로폼으로 제작한 단열상자의 내부에서 양생하면서 데이터 로거를 이용하여 10분 간격으로 측정하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 균지않은 콘크리트

Table 5 및 Fig. 4는 공정별 콘크리트 결합재 혼입 비율에 따른 슬럼프 및 공기량 결과를 나타낸 것이다.



Fig. 4. Slump and air content

Table 4. Slump and air content

Mixture		Slump (mm)	Air content (%)
Bottom Center	P (85:15:0)	150	4.4
	I (20:30:50)	170	4.0
	II (30:30:40)	170	4.1
	III (40:30:30)	170	4.4
Roof	P (75:25:0)	105	3.5
	I (20:30:50)	110	4.5
	II (30:30:40)	110	4.6
	III (40:30:30)	110	3.9

실험결과, 먼저 슬럼프의 경우 Bottom Center는 배합별 150~

170mm 사이로 나타났고, Roof의 경우는 105~110mm 사이의 결과로 나타나 모든 배합에서 목표로 하였던 ±25mm를 만족하는 것으로 평가되었다.

또한, 공기량의 경우에는 Bottom Center의 경우 4.0~4.4%로 평가되었고, Roof의 경우는 3.5~4.6%로 나타나 목표로 하였던 공기량 5.0±1.5% 범위를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 즉, 콘크리트 결합재의 최적비율을 결정하기 위한 굳지 않은 콘크리트의 물성은 유동성 및 공기량에서 모두 적합한 것으로 평가되었다.

4.2 경화 콘크리트

4.2.1 압축강도

Fig. 5는 공정별 콘크리트 결합재 혼입 비율에 따른 재령별 압축강도 특성을 나타낸 것이다. 평가결과 먼저 Bottom Center의 경우, 당연한 결과이겠지만 시멘트 비율이 높은 III, II, I 순으로 크게 나타났고 저열시멘트를 사용한 Plain이 가장 작게 평가되었다. 특히, 혼입비율 II (30:30:40)의 경우 초기재령에서 Plain 대비 약 118~126% 수준인 것으로 평가되어 거푸집 탈형시기 단축에 효율

적일 것으로 판단되어 진다. 또한, Bottom Center의 모든 배합은 관리재령인91일 재령에서 설계기준강도를 만족하는 것으로 평가되었다.

Roof의 경우에는 반대 경향으로서 Plain, III, II, I 순으로 크게 나타났다. 특히, Plain의 경우 저탄소 결합재 혼입비율 대비 모든 재령에서 약 130~150% 수준으로 크게 평가되었는데, 이는 수화열 저감을 목적으로 하는 저발열 콘크리트 개념으로 설계되지 않았기 때문이다.

특히, Roof의 경우 설계기준강도 외에도 원활한 시공을 위해 7일에 21 MPa를 만족해야 하는데, 혼입비율 III(40:30:30)이 기준에 해당되는 것으로 나타났다. 즉, 후속공정에 영향이 없는 범위라면 압축강도 관리재령을 91일로 연장하여 관리하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

4.2.2 간이 수화열

Fig. 6은 공정별 콘크리트 결합재 혼입 비율에 따른 재령별 간이 수화열 온도이력을 나타낸 것이다. 평가결과 먼저, Bottom Center

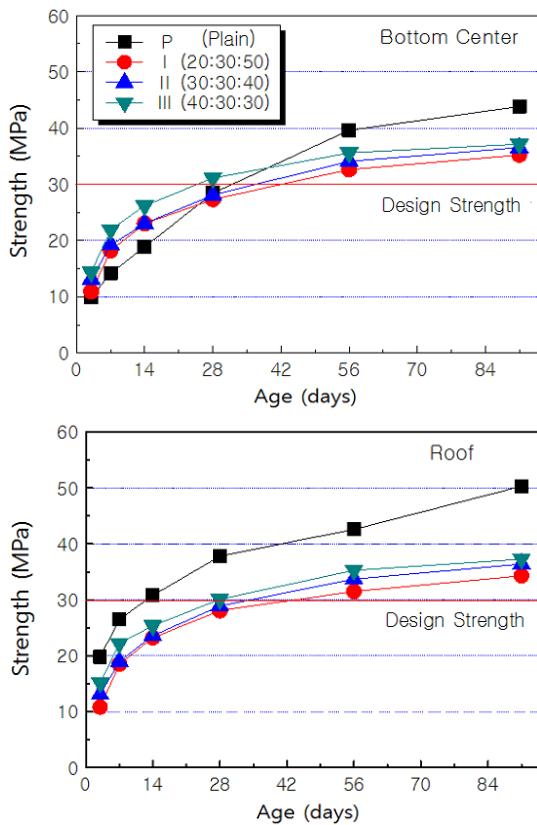


Fig. 5. Compressive strength

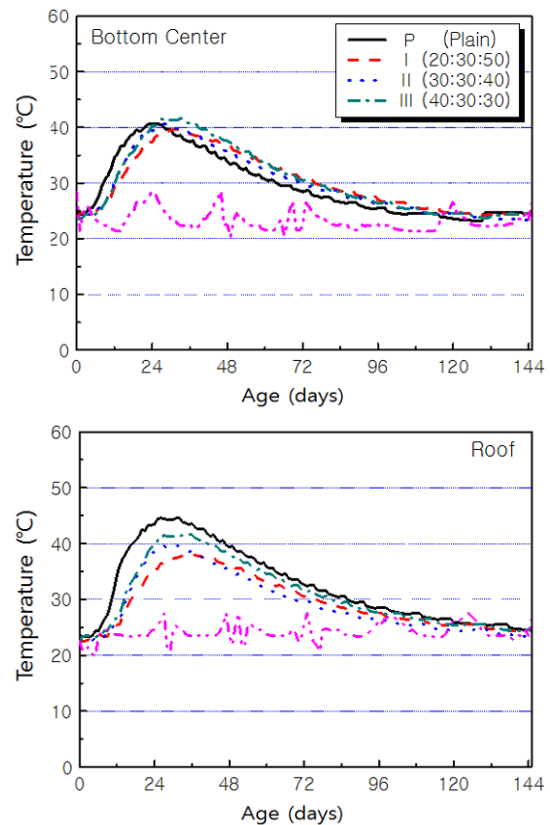


Fig. 6. Semi-adiabatic temperature

의 경우 III, Plain, II, I 순으로 최고온도가 높게 나타났다. 즉, 저열 시멘트를 사용한 Plain의 경우 시간이 경과함에 따라 온도가 상승하기 시작하여 약 24시간 후 40.7°C의 최고온도를 기록하였고, I은 31시간 후 39.6°C, II는 27시간 후 40.6°C, III은 27시간 후 41.5°C로 기록되었다. 큰 차이는 아니지만 II와 I의 경우 Plain 대비 낮은 최고 온도에 의해 수화열 온도균열 발생 측면에서 우수할 것으로 예상된다.

또한, Roof의 경우에는 Plain, III, II, I 순으로 최고온도가 높게 나타났는데, Plain은 26시간 후 44.6°C, I은 35시간 후 38.4°C, II는 37시간 후 38.6°C, III은 35시간 후 41.6°C를 기록하였다. 즉, 실험 콘크리트는 Plain 대비 3.0~6.2°C의 큰 차이를 나타내어 수화열 온도균열 발생 측면에서 우수할 것으로 예상된다.

5. 결론

수화열 저감형 콘크리트의 LNG 저장시설 적용 검토 중 결합재 최적비율 검토 실험결과는 다음과 같다.

1. 굳지않은 콘크리트의 실험결과 모든 결합재 혼입비율에서 목표로 하였던 유동성 및 공기량을 만족하는 것으로 평가되었다.
2. 경화 콘크리트의 압축강도 실험결과, Bottom Center의 모든 혼입비율에서 설계기준강도를 만족하였으며, Roof의 경우에는 설계기준강도와 현장 요구조건인 7일에 21 MPa를 만족하는 배합으로서 혼입비율 III(40:30:30)이 적합한 것으로 평가되었다.
3. 간이 수화열 실험결과, Bottom Center의 경우 결합재 비율 II와 I, Roof의 경우에는 모든 혼입비율에서 Plain 대비 수화열 최고 온도가 낮게 나타나 온도균열 발생 측면에서 우수한 것으로 평가되었다.
4. 즉, 수화열 저감용 콘크리트의 조건인 시멘트 사용량 저감, 압축강도 및 간이 수화열 실험 결과를 종합해 볼 때, Bottom Center의 경우 혼입비율 II(30:30:40), Roof의 경우 혼입비율 III(40:30:30)이 최적 혼입비율인 것으로 평가되었다.

References

Korea Concrete Institute (2009). Concrete standard specification, Korea Concrete Institute.
 Architectural Institute of Korea (2006). Standard Specification for Building Construction, Architectural Institute of Korea.

Han C.G. (2011) Concrete Properties and Mix design, KimoonDang.
 Byun K.J., Kim J.H., Nam J.W. and Kim H.J. (2007) KimoonDang
 Korea Concrete Institute (2001). Concrete Admixture, Korea Concrete Institute.
 Korea Concrete Institute (2005). Concrete Engineering, Korea Concrete Institute.
 Korea Concrete Institute (2004). Special Concrete Engineering, Korea Concrete Institute.
 ACI committee 232 (2003) Use of fly ash in concrete, America Concrete Institute.
 Kim J.K. and Yang E.I. (1997) Factors for Hydration Heat and Thermal Stress in Mass Concrete, Korea Concrete Institute Journal, **9(3)**, 15-2.
 Park C.K., Son S.H., Lee S.H., Jang K.W., Jeong J.H. and Kim M.S. (2001) Hydration Heat Control with Closed Loop Pipe Cooling System, KCI Autumn Conference, **13(2)**, 403-408.
 Lee J.H., Bae H.U., Woo S.M., Woo J.I., Ha B.T. and Kim J.S. (2002) Study on thermal crack control using pipe-cooling in massive concrete foundation of urban bridge, KCI Spring Conference, **14(1)**, 41-46.
 Kim Y.J., Lee S.S. and Lee S.H. (2000) Crack Control of RC Structures Using the Low Heat Concrete Mixed with Fly Ash, Korea Concrete Institute Journal, **12(2)**, 41-47.
 Kim K.H., Hwang I.S., Kwon O.B., Kim K.M., and Park S.J. (2010) A Study on the Fundamental Properties of Low Carbon Low Heat Concrete according to Replacement Ratio of Mineral Admixture, KCI Autumn Conference, **22(2)**, 71-72.
 Lee I.S., Hong S.M., Baek D.H., Kim K.H., Han M.C. and Han C.K. (2009) Characteristics the Concrete According to Mixing Methods and Unit Water Content of Ternary Blended Cement, KIC Autumn Conference, **9(2)**, 133-136.
 Choi S.Y., Kim S.H., Cha W.H. Kwon O.B., Han M.C. and Han C.K. (2007) Properties of High Strength Concrete Depending on the Blaine of Cement Particle Classifying, KIC Spring Conference, **7(1)**, 71-74.
 Kim S.I., Kim K.H., Bae J.C., Lee H.I., Kim S.S. and Han C.K. (2007) Effect of the Various Combinations of the Binders and the Silica Fume Types to the Physical Properties of the Pre-Mix Cement, KIC Autumn Conference, **7(2)**, 37-40.
 Kim K.H., Hwang I.S., Kim S.S., Choi S.Y., Han M.C. and Han C.K., The Influence of the Type of Silica Fume on the Property of Cement Binder for Ultra High Strength (2007) KIC Spring Conference, **7(1)**, 51-54.

LNG저장시설 적용을 위한 매스콘크리트 최적 결합재 혼입율 검토

본 연구에서는 LNG저장시설용 수화열 저감형 콘크리트 적용을 위하여 최적의 결합재를 개발하고자 하였다. 결합재는 1종포틀랜드시멘트, 고로슬래그미분말, 플라이애시를 혼합 사용하였다. 또한 여기에 미립자시멘트 및 자극제를 첨가하여 조강성능 향상 및 석회석 고미분말을 사용하여 경제성을 향상시켰다. 검토결과, 압축강도 및 간이 수화열 실험 결과를 종합해 볼 때, Bottom Center의 경우 혼입비율 Ⅱ(30:30:40), Roof의 경우 혼입비율 Ⅲ(40:30:30)이 최적 혼입비율인 것으로 평가되었다.