

매스콘크리트 벽체에서 콘크리트 응결 특성과 측압과의 관계

Relation of Concrete Setting Characteristic and Lateral Pressure in Mass Concrete Wall

박찬규* 유재현** 백승준*** 정재홍**** 진용만*****

Chan-Kyu Park Jai-Hyun Yoo Sung-Jun Baek Jae-Hong Jeong Yong-Man Jin

ABSTRACT

This paper reports the relation of concrete setting characteristic and lateral pressure in mass concrete wall such as side wall of LNG underground storage tank. In order to estimate the lateral pressure, initial setting time of low heat cement concrete with type of mineral admixture was measured for three concrete mixtures(W/P=41.6%) containing limestone powder, fly ash, and slag powder. As a result, the lateral pressure of the concrete containing limestone powder was the smallest than those of other concretes as well as the initial setting time.

1. 서론

LNG 지하저장 탱크의 측벽(side wall)과 같이 1회 타설 높이가 높고 부재의 두께가 두꺼운 매스콘크리트 벽체를 시공할 경우에 고려되어야 할 사항은 매스콘크리트의 수화열 제어 문제와 함께 콘크리트 타설시 발생하는 측압 문제이다. 일반적으로 매스콘크리트에서 수화열에 의한 온도균열을 제어하기 위해서 저발열 시멘트의 사용과 함께 낮은 단위시멘트량으로 콘크리트 배합설계를 하며, 콘크리트의 타설온도를 가능한 낮게 한다. 이러한 일련의 조치는 콘크리트의 응결시간을 길어지게 하는데, 특히 외기온도가 낮아 콘크리트의 타설온도가 낮을 경우에 콘크리트의 응결시간은 상당히 지연되게 된다. 그 결과 매스콘크리트에 적용되는 저발열 콘크리트에서의 응결시간 지연은 당연한 것으로 여겨지게 되고 피할 수 없는 콘크리트 특성이라고 일반적으로 생각되고 있다. 따라서 콘크리트 배합설계는 수화열에 의한 온도상승량의 저감과 작업성 및 강도에만 초점을 맞추어 이루어져 온 것이 사실이다.

그러나 응결시간이 증가를 하면 1회 타설높이가 높은 대규모 매스콘크리트 벽체에서 상당한 측압이 발생하게 되어 거푸집 구입 및 설치에 막대한 비용이 소요되게 된다. 그 결과 가능한 수화열에 의한 온도균열제어와 함께 크게 측압이 발생하지 않는 콘크리트 배합설계가 LNG 지하저장 탱크 측벽과 같은 구조물

* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 선임연구원

** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 인천LNG현장 과장

*** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 인천LNG현장 대리

**** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 전임연구원

***** 정회원, 동남기업(주) 부장

에 요구된다. 이에 본 연구에서는 대형 매스콘크리트 벽체 시공시 수화열 제어와 더불어 반드시 검토되어야 하는 측압에 대하여 콘크리트에 사용되는 분체재료 종류별로 검토를 실시하였으며, 대상 구조물은 인천 LNG 인수기지 #213, 214 지하저장탱크의 측벽부분이다.

2. 측벽(side wall)에 대한 개요

인천 LNG 지하저장 탱크 #213, 214 호기는 20만 kl의 용량이며, 철근콘크리트 구조물로서 slurry wall, bottom slab, side wall 및 roof 등의 주요 부재로 구성되어 있다. 이러한 부재 중에 side wall은 표 1과 그림 1에 나타난 바와 같이 그 두께가 3.0m이고 1회 타설 높이도 최대 8.0m에 이르는 대단히 큰 측방향 대칭 매스콘크리트 구조물이다. 특히 slurry wall과 기 타설된 lot에 의해 새롭게 타설되는 lot는 온도거동시 구속되기 때문에 외부구속이 강한 구조물에 속한다. 그 결과 수화열 제어시 단열온도상승곡선에서 최대상승온도를 상당히 저감시킨 저발열 콘크리트의 사용이 필수적임을 알 수 있다.

그리고 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 LNG 지하저장 탱크의 측벽 공사는 약 1년에 걸쳐서 시공되기 때문에 각 타설 lot 별로 콘크리트의 타설온도도 달라서 콘크리트의 응결 특성도 또한 달라지게 된다. 그 결과 콘크리트 공사시 콘크리트 타설온도에 따른 정확한 콘크리트의 응결 특성을 파악하고 거푸집을 설계하여야 한다.

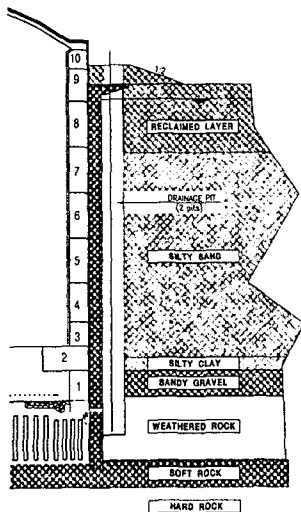


그림 1 측벽의 단면 형상

표 1 측벽에 대한 개요

Lot No.	설계강도 (kgf/cm ²)	두께(m)	높이(m)	콘크리트 타설일자
1	270	3.000	5.250	2000. 10. 4
2	300	5.017	3.800	2001. 1. 30
3	270	3.000	3.912	2001. 2. 26
4	270	3.000	8.000	2001. 3. 26
5	270	3.000	8.000	2001. 4. 19
6	270	3.000	8.000	2001. 5. 21
7	270	3.000	8.000	2001. 6. 12
8	270	3.000	8.000	2001. 7
9	270	3.000	5.750	2001. 8
10	300	1.500~3.000	3.550	2001. 9

- 압축강도 관리재령 : 91일
- 슬럼프 : 18±3cm • 공기량 : 4~6%
- 최소온도균열지수 : 1.0

3. 사용 분체 종류별 콘크리트의 응결 특성

콘크리트의 응결 특성을 파악하기 위하여 사용된 기준 배합은 수화열 검토와 작업성 및 강도 등을 종합하여 결정한 설계강도 300kgf/cm²에 해당하는 최적배합비로서 당 현장의 측벽에 사용된 것이며, 분체 재료는 저열시멘트(고벨라이트 시멘트)와 석회석 미분말(LSP)로 구성되어 있다. 이 기준 배합비에 근거하여 동일한 분체량(W/P가 일정)을 가지도록 플라이애쉬와 슬래그 미분말을 치환하여 콘크리트 응결 특성을 파악하였다. 그리고 상이한 분체 재료일지라도 동일한 작업성 확보를 위하여 폴리카르본산계 고성능 감수제의 양을 변화시켜 공기량과 슬럼프 기준(19~21cm)을 맞추었다. 표 2는 이러한 콘크리트 배합비를 나타

표 2 콘크리트 배합비

분체종류	W/P(%)	S/a(%)	C(kg/m ³) : Type IV	혼화재(kg/m ³)	고성능감수제(%)
저열시멘트+LSP(기준배합)	41.6	41.0	261	112(석회석 미분말)	1.15
저열시멘트+FA	41.6	41.0	261	112(플라이애쉬)	1.00
저열시멘트+Slag	41.6	41.0	261	112(슬래그 미분말)	1.40

낸 것이다. 표 2에서 알 수 있는 바와 같이 동일한 분체량에서 거의 같은 기준의 작업성을 확보하기 위해서는 플라이애쉬의 경우는 고성능 감수제의 사용량이 약간 더 첨가되어야 하고 슬래그 미분말의 경우는 약간 감소하는 것으로 나타났다.

그림 2는 사용된 분체의 종류에 따라 콘크리트 타설온도 별 응결시간을 나타낸 것이다. 그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 측정된 범위 내에서 콘크리트 타설온도와 초결시간의 관계는 분체 종류에 관계없이 거의 선형적임을 알 수 있다.

그리고 동일한 타설온도에서 석회석 미분말(LSP)를 첨가한 경우가 응결시간이 가장 짧은 것으로 나타났고 플라이애쉬를 사용한 경우가 가장 응결시간이 긴 것으로 나타났다. 이는 사용된 분체의 분말도의 영향과 함께 석회석 미분말의 경우 시멘트의 수화반응을 상당히 촉진시켰기 때문인 것으로 판단된다. 석회석 미분말은 초기에 시멘트 수화반응을 촉진시켜 초기강도를 어느 정도 증진시키는 반면, 포졸란 반응성을 나타내는 물질이 아니기 때문에 장기강도에 대한 기여는 거의 없다고 알려져 있다. 그 결과 동일한 치환율에서 콘크리트의 단열온도 상승곡선에서 플라이애쉬나 슬래그와 같은 정도로 최대상승온도를 증가시키지 않으나, 반응속도를 상당히 증가시키는 것이 보고되어 있다.

플라이애쉬의 경우에는 플라이애쉬의 분말도도 작고 또는 동일한 작업성을 확보하기 위하여 고성능감수제가 다른 두 배합보다 많이 사용되었기 때문에 상대적으로 응결시간이 지연되어 나타난 것으로 판단되어지며, 콘크리트의 타설온도가 낮을수록 응결시간의 차이는 더 커지는 것으로 나타났다.

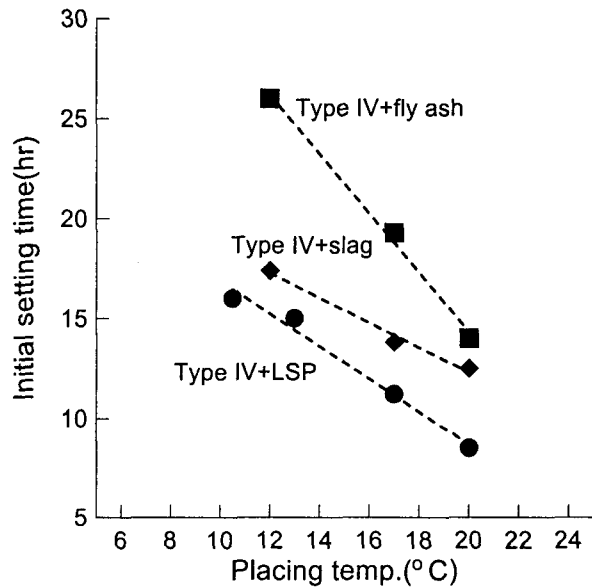


그림 2 타설온도와 응결시간과의 관계

4. 사용 분체 종류와 콘크리트 측압과의 관계

인천 LNG 지하저장탱크 #213, 214의 측벽의 거푸집 설계시 사용된 측압은 DIN 18218의 규정식을 이용하여 계산하였다.

$$P_{max} = G \times C_2 \times K_T \times (0.48V + 0.74) \quad \text{kN/m}^2 \quad (1)$$

여기서

$$C_2 = 0.065 \times T_v + 1.0, K_T = (145 - 3 \times T) / 100, G = \text{unit weight (kN/m}^3), T_v = \text{Concrete Setting Time (hr),}$$

$$T = \text{Fresh Concrete Temperature (}^\circ\text{C)}, V = \text{Concrete Pouring Speed (m/hr)}$$

식 (1)에 앞에서 측정한 응결시간을 대입하면, 각 월별 콘크리트 측압을 계산할 수가 있는데 그 결과가 그림 3에 나타나 있다. 이 때 콘크리트의 타설속도는 0.3m/hr를 사용하였다. 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 플라이애쉬를 사용한 경우에 1월~3월, 11월 및 12월에, 슬래그 미분말을 사용한 경우에는 1월, 2월 및 12월만 콘크리트의 최대 측압이 50kN/m²을 넘는 것으로 나타났다. 그러나 석회석 미분말을 사용한 경우에는 계절에 관계없이 50kN/m² 이하의 최대 측압을 나타내어 가장 경제적인 것으로 나타났다. 특히 플라이애쉬의 경우 타설온도가 낮은 경우에 콘크리트 측압이 매우 크게 발생하기 때문에 이와 유사한 구조물을 시공할 시에 주의를 요하는 것으로 나타났다. 최대 측압 50kN/m²가 중요한 이유는 이 이상의 측압이 발생할 경우에 당 현장의 측벽 콘크리트 공사를 위한 거푸집 구입 및 설치 비용이 기하급수적으로 증가하기 때문이다.

그림 4는 실제 콘크리트 타설온도와 측압 계산시 사용되었던 콘크리트 타설온도와의 관계를 타설 lot 별로 나타낸 것이다. 5 lot를 제외한 모든 lot에서 실제 콘크리트 타설온도는 설계온도보다 약간 높음을 알 수 있으며, 이와 같은 온도관리하에 1회 타설 높이가 8.0m이고 콘크리트 타설온도가 12~15℃로 낮은 계절에서도 석회석 미분말을 사용한 콘크리트를 적용하여 큰 변형 발생없이 안정적이고 경제적인 시공을 할 수가 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 타설높이가 높은 대형 매스콘크리트 벽체구조물에 대한 저발열 콘크리트 배합설계시 각 분체 재료의 종류에 따른 콘크리트 응결 특성과 측압에 대한 검토를 수행하였다. 검토결과 수화열에 의한 온도상승량도 저감되면서 콘크리트 응결도 빠른 혼화재로는 석회석 미분말이 탁월한 것으로 나타났다. 그런데 플라이애쉬와 저열 시멘트를 사용하는 경우 낮은 온도에서 응결지연이 많이 되므로 본 공사와 유사한 종류의 공사시 거푸집 설계에 주의를 요하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 하재담 외 4인, "석회석 미분말을 혼입한 초저발열 매스콘크리트의 특성에 관한 연구," 한국콘크리트학회 2000년도 가을학술발표회 논문집, 제 12권 2호, 2000, pp. 1175~1180.
2. V. Bonavetti, H. Donza, V. Rahhal, and E. Irassar, "Influence of initial curing on the properties of concrete containing limestone blended cement," Cement and Concrete Research, Vol. 30, 2000, pp. 703~708.

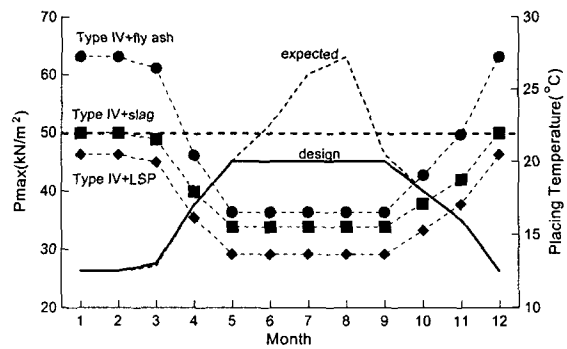


그림 3 분체 종류와 측압과의 관계

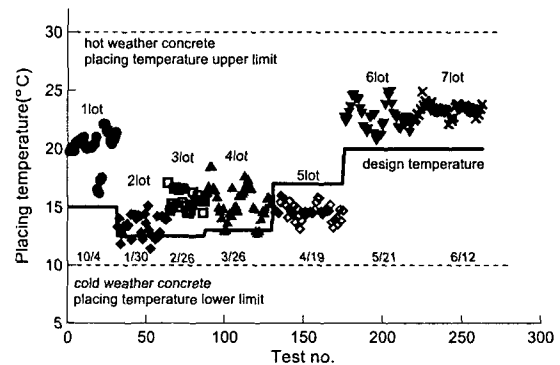


그림 4 각 lot별 콘크리트 타설온도