

지하옹벽 매스콘크리트 구조물의 균열제어에 관한 연구

A Study on the Crack Control of Retaining Wall of Mass Concrete Structure

장 동 일*, 채 원 규**, 조 광 현***, 김 광 일***, 손 영 현***
D.I. Chang, W.K. Chai, K.H. Cho, K.I. Kim, Y.H. Son

1. 서론

매스콘크리트 구조물에서는 이미 경화된 콘크리트가 새로이 타설된 콘크리트의 변형을 제한하여 시공직후에 부재의 길이방향에 수직한 균열이 발생하는 경우가 자주 보고 되고 있다. 이 균열은 먼저 타설된 바닥에 대하여 벽체의 변위가 제한될 때 구속인장응력에 의해 발생된다. 이러한 균열의 발생원인은 몇 가지로 살펴볼 수 있는데, 그 하나는 먼저 타설한 바닥 콘크리트와 새로 타설한 벽체 콘크리트와의 수화열 발생의 차이에 의한 것이며, 두번째 이유로 바닥과 벽체사이의 건조수축의 차이를 들 수 있다[1].

이러한 균열은 일반적으로 그 폭이 크고, 구조물의 내력, 내구성, 수밀성 및 미관등을 저하시키는 요인이 되기 때문에 설계단계에서 시공단계 그리고 완공 후 까지 주의를 기울여야 한다.

2. 매스콘크리트 온도균열 대책

시멘트와 물이 반응하여 발생하는 수화열은 매스콘크리트에서 내부의 온도를 상승시키는 역할을 한다. 따라서, 상승된 내부온도와 외부온도와의 차이가 클 경우 균열이 발생하게 된다. 이러한 균열에 대해 일반적으로 설계, 재료 및 시공적인 측면 그리고 양생시등으로 나누어 대책을 논할 수 있다[2],[3].

설계적인 측면에서는 직경이 작고 가는 철근을 등간격으로 배치하거나 적절한 간격의 균열유발줄눈등이 고려될 수 있을 것이다.

재료적인 측면에서는 저발열성 시멘트의 사용, 단위시멘트량과 단위수량의 감소, 포졸란효과를 기대할 수 있는 혼화재료의 사용 등의 방법이 이용될 수 있다.

시공시에 고려될 수 있는 방법으로는 일교차가 적은 시기를 택하여 콘크리트를 타설한다든지, 1회 타설높이를 가능한 한 낮게하는 등의 방법이 있다.

* 한양대 토목공학과 교수
** 신구전문대 토목과 조교수
*** 한양대 토목공학과 박사과정

양생시에는 타설시기에 따라 지속적인 보온양생과 습윤양생이 필요하며, 혹은 이들 양생방법을 병행할 필요도 있다. 또한, 시기에 따라 양생기간을 가능한 한 길게 할 필요가 있음도 간과해서는 않된다.

3. 대상구조물의 개요 및 연구방법

본 연구의 대상 구조물인 지하옹벽은 전체 타설높이가 약 20m이고, 폭이 최소 1.25m , 최대 1.65m인 철근콘크리트 구조물로서 매스콘크리트 구조물로 간주될 수 있다. 따라서, 이러한 구조물은 콘크리트 경화되는 과정에서 발생하는 수화열에 의해 큰 내외부온도차가 발생하기 쉬우므로 이에 주의를 기우려야한다.

이에 본 연구에서는 지하옹벽의 매스콘크리트 타설과 관련하여, 균열제어방안에 관한 일반적인 대책사항을 관련 시방서와 문헌을 토대로 검토하였으며, 온도이력해석을 통해 콘크리트 부재의 중심부와 표면부의 온도차를 추정하였다.

한편, 본 구조물의 시공시의 콘크리트 배합비 및 설계도면상의 배근도에 기초한 관련사항은 각각 표 1과 표 2에 나타내었다.

표 1. 지하옹벽의 콘크리트 배합비

규격	W/C (%)	S/a (%)	단위량 (kg/m ³)					
			W	C	플라이애쉬	S	G	고성능감수제
25-270-18	44.0	47.0	163	315	55 (15%/C)	845	957	6.66

표 2. 설계도면상의 배근관련사항

단면치수 (m)	주철근	배력철근	전단보강철근
W=1.25, H=3.9m	HD29@250	HD22@300	HD13@250x300

4. 간이온도이력해석

본 온도이력해석에서는 일반 토목공사에서 널리 이용되고 있는 10 ~ 20%의 B종 플라이애쉬 혼입율과 표 1과 같이 제시된 배합비상의 플라이애쉬 혼입율 (15%)을 참고로 하여 혼입율 15%와 20%에 대하여 타설시의 콘크리트 온도와 콘크리트 타설시 외기온도를 변수로 하여 구조물 중심부와 표면부의 온도차를 검토하였다.

이때, 콘크리트 1회 타설시의 높이와 옹벽의 길이는 각각 4m와 20m로 하였다.

간이온도이력해석은 유한요소프로그램인 ADINAT(A Finite Element Program for Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis for Temperature)를 이

용하여 수행하였고, 이때 단열온도분포식은 일반적으로 다음과 같이 표현된다.

$$Q(t) = Q_{\infty}(1 - e^{-rt})$$

여기서, 양생시간 t 는 약 500시간(약 21일)까지 고려되었으며, 최종단열온도상승량 Q_{∞} 와 온도상승속도에 관한 계수 r 은 플라이애쉬혼입 시멘트에 대한 [콘크리트표준시방서]의 값을 참고하여 정하였고, 상기 프로그램의 입력치인 단위시간당, 단위체적당 내부발열량은 다음 식으로 구하였다.

$$q_c = C_c * \rho * Q_{\infty} * \frac{r}{24} * e^{(-\frac{r}{24}t)}$$

이때, C_c 는 콘크리트의 비열($kcal/kg^{\circ}C$), ρ 는 밀도(kg/m^3)이다.

표 3. 콘크리트의 열특성치

	밀도 (kg/m^3)	열전도율 ($kcal/mh^{\circ}C$)	비열 ($kcal/kg^{\circ}C$)	열용량 ($kcal/m^3^{\circ}C$)
콘크리트	2350	2.3	0.3	705

해석시 경계조건은 부재의 상부와 측면은 열전달경계를, 그리고 하부는 단열경계를 사용하였다. 또한, 상부는 양생기간중 충분한 습윤상태가 유지되는 경우를 선정하였으며, 측면은 목재거푸집을 사용하는 경우에 대하여 해석을 수행하였다.

이때 열전달계수는 [콘크리트 표준시방서]에 참고값으로 제시된 열전달율을 이용하였으며, 그 값은 상부와 측면에 대해 각각 4.5와 7.0 $kcal/m^2h^{\circ}C$ 이다.

한편, 온도이력해석은 다음과 같은 12가지 경우에 대해 검토하였다.

표 4. 온도이력해석 조건

타설온도 ($^{\circ}C$)	외기온도 ($^{\circ}C$)	플라이애쉬 혼입율(%)	물-결합재비 (%)	1회타설높이 (m)	1회타설 길이(m)
21	18	20	44	4	20
21	10				
21	5				
10	18				
10	10				
10	5				
21	18	15	44	4	20
21	10				
21	5				
10	18				
10	10				
10	5				

다음 그림 1은 해석결과 얻은 중앙부와 표면부의 온도차(혹은 내외부온도차)를

나타낸 것이다.

그림 1의 범주 중 첫 번째 온도는 콘크리트 타설온도이며, 두 번째 온도는 타설시 외기온도를 의미한다.

해석결과에 의하면, 플라이애쉬의 혼입율이 증가할수록 콘크리트 중심부와 표면부의 온도발현이 감소하고 있으며, 또한 중심부와 표면부의 온도차도 감소하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

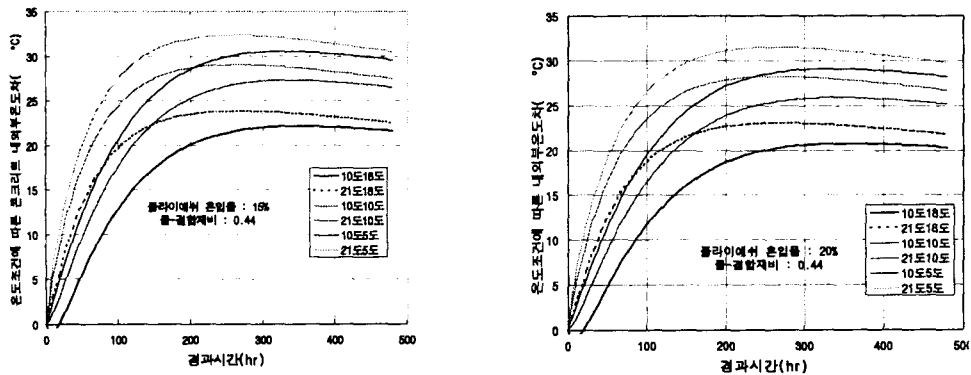


그림 1. 플라이애쉬 혼입율 15%와 20%에 대한 내외부 온도차

따라서, 플라이애쉬의 혼입율을 최대한 증가시키는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 그러나, 일반적으로 토목공사에서 사용되는 플라이애쉬 혼입율이 B-Type(10% ~ 20%)이고, 과도한 플라이애쉬의 치환율은 본 공사와 같은 동결기 공사에서 경화지연에 따른 콘크리트의 동결을 초래할 수 있으므로, 플라이애쉬의 치환율은 약 15% ~ 20% 정도가 바람직할 것으로 사료된다.

한편, 콘크리트의 타설온도와 타설시의 외기온도가 구조물의 온도발현에 미치는 영향을 검토한 결과를 종합한 그림 1에서, 동일한 타설온도를 갖는 콘크리트에서 콘크리트 주변 외기온도가 낮을수록 내외부의 온도차가 커지는 경향을 보이고 있는데 이는 온도응력에 의한 균열의 발생확율을 증대시키는 요인이 된다. 이러한 경향은 플라이애쉬의 혼입율이 15%인 경우와 20%인 경우 동일한 경향을 보이고 있다.

따라서, 본 공사에서는 콘크리트의 타설온도는 10°C ~ 21°C, 타설 후 구조물 외기온도는 10°C 이상을 유지할 것이 추천된다.

또한, 이상의 해석결과는 1회 타설높이를 4m, 1회 타설길이를 20m로 하여 계산된 것으로 본 공사에서 1회 타설높이를 4m로, 그리고 본 해석결과와 기존의 Wischer(1964)의 연구결과를 기초로 최대 15m ~ 20m 정도의 간격으로 Vertical Joint가 형성되더라도 큰 문제는 없을 것으로 판단된다.

5. 온도철근

적절한 온도철근의 배근은 콘크리트 부재의 중심부와 표면부의 온도차에 의한 균열뿐만 아니라, 건조수축 등에 의한 균열을 제어하는데 매우 효과적이다.

외부구속상태에서의 콘크리트 구조물은 다음 그림 2와 같이 거동하는 것으로 알려져 있다.

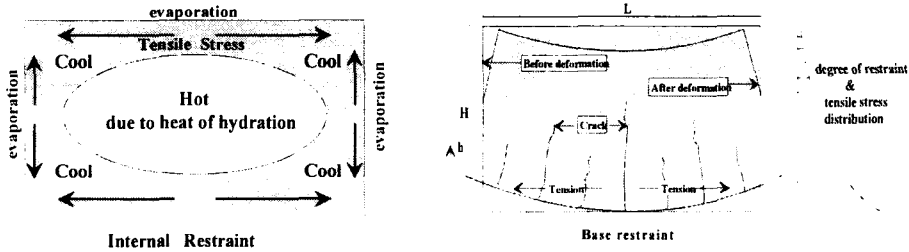


그림 2. 내외부구속 및 온도조건에 따른 매스콘크리트의 거동

이러한 거동으로 인하여 본 구조물과 같이 외적인 구속이 강하게 작용할 것으로 예상되는 경우, 일반적으로 균열은 외부구속이 강한 하부에서 상부로 발생하여 진전될 것으로 추정된다.

이와같이 하부에서 상부로 진전되는 건조수축이나 온도변화에 따른 균열을 제어하기위해 온도철근을 배근하게 되는데, 이때, 동일한 철근비내에서 가능한 가는 철근을 조밀하게 배근함으로써 양호한 균열의 분산성을 꾀하고, 폭을 감소시킬 수 있다.

온도철근량의 배근에 대하여 [콘크리트표준시방서], [도로교표준시방서]를 참조하면, 높이 1m당 5cm²이상, 간격은 시공성을 고려하여 30cm 이하로 하는 것을 추천하고 있다.

따라서, 본 구조물에서는 1회타설높이를 4m로 하였을 때, 구조물 중앙부와 온도차가 큰 표면부 근처 즉 배력철근의 위치에 배력철근과 나란히 온도철근을 배근할 것이 추천되며, 이때 처음 1m 높이까지는 HD10@100으로 벽체 내외부에, 그리고, 다음 1m까지는 HD10@300로 벽체 내외부에 배근하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

6. 거푸집의 탈형 및 양생

본 구조물의 콘크리트 타설시기는 11월초 정도일 것으로 사료된다. 이때는 대체로 바람이 많고, 급작스런 외기온도의 급강하가 기대되는 시기이다. 이때는 특히 이러한 외적인 요인이 매시브한 구조물의 균열을 유발시킬 수도 있다. 이러한 문제는 거푸집의 탈형과 직접 관련된다.

거푸집의 조기탈형은 콘크리트 표면으로의 급작스런 방열을 초래할 수 있음을

잊지 말아야 한다. 따라서, 가능한 한 거푸집의 존치기간을 길게 하는 것이 바람직하며, 거푸집 탈형 후, 콘크리트 표면의 급냉을 방지하기 위하여 표면의 보온을 계속해 주는 것이 좋다.

본 구조물에 있어서는 그림 1에서와 같이 타설 후 주변 외기온도가 낮을 경우 콘크리트의 내외부의 온도차도 커짐을 알 수 있었다. 따라서, 이러한 문제에 대해 지속적인 보온양생이 필요하다. 이때 온풍기등의 특별한 방법이 사용될 수도 있을 것이다. 그러나 이때 국부적으로 가열되거나 급격한 건조상태에 이르지 않도록 주의해야 한다. 즉 습윤양생도 병행해야 할 것이다.

이러한 측면에서, 본 구조물에서는 콘크리트의 강도가 $50\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상이 될 때까지 약 10°C 이상의 외기온도를 유지할 것이 추천되며, 이를 위해 최소 4일 최대 7일정도의 보온, 습윤양생이 실시되어야 할 것으로 사료된다.

7. 결론

이상과 같이 지하옹벽 매스콘크리트 구조물의 균열제어에 관하여 관련 시방서와 간이온도이력해석을 통해 그 대책을 검토하였다.

매스콘크리트 구조물 공사에서 빈번히 보고되고 있는 균열은 콘크리트 구조물의 내력의 저하 뿐만아니라, 구조물의 중요도에 따라 심할 경우 구조물의 철거 및 재시공이라는 어려운 국면에 처하게 될 수도 있다.

따라서, 균열제어 및 방지를 위해 설계, 시공 및 시공 후 관리단계에서 철저한 관심이 필요하다.

한편, 이러한 제어 및 방지에 관한 많은 대책이 제시될 수 있으나, 대상구조물의 종류에 따라 가장 적절하다고 판단되는 방법을 선정하기란 쉬운 일이 아니다. 따라서, 방법의 선정과정에서 구조물의 종류 및 중요도, 콘크리트의 타설시기 및 선정된 콘크리트 생산라인의 용량, 사용되는 콘크리트용 재료 및 설계강도, 그리고 설계도면상의 배근상세등을 고려하여 신중히 검토되어야한다.

지하옹벽 매스콘크리트 구조물을 대상으로 균열제어 대책을 검토한 본 연구는 실 시공 예정인 11월 초에 현장계측을 수행하여 온도분포 및 온도응력등에 대한 실측치와 비교함으로써 본 균열제어 대책의 타당성을 검토할 예정이다.

참고문헌

1. "매스콘크리트 온도해석시스템 개발," 현대건설 기술연구소 최종보고서, 1995.
2. "콘크리트표준시방서," 건설교통부, 1996.
3. "도로교표준시방서", 건설교통부, 1996.
4. "토목기술강좌", 대한토목학회, Vol. 2, No.1, 1997.
5. ACI Committee 207, "Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete," ACI Manual of Concrete Practice, 207.2R, 1994.