

폴리머 콘크리트 맨홀의 양생 조건 도출을 위한 실험적 고찰

The experimental investigation for the curing condition deduce of the Polymer concrete manhole

김 동 훈*, 한 진 우
(Donghun Kim and Jin Woo Han)

Abstract : 불포화 폴리에스테르 수지를 결합재로 사용하여 제작되는 폴리머 콘크리트 맨홀은 조기 고강도 발현, 접착성, 수밀성, 내동결융해성, 내약품성, 내마모성, 전기절연성이 우수하여 프리캐스트로 제작되는 많은 통신용 맨홀에 적용되고 있다. 폴리머 콘크리트의 결합재로 사용되는 불포화 폴리에스테르 수지는 열경화성 수지로서, 자체 발열에 의해 거푸집을 탈형할 정도의 초기 경화 반응이 나타나지만, 구조물로서 요구되는 소요 강도를 발휘하기 위해서는 적정 온도에 의한 추가 양생이 반드시 필요하다.

이에 본 논문에서는 폴리머 콘크리트의 휨 강도 시험용 공시체를 사용하여, 다양한 양생 온도 조건 및 양생 시간에 따른 휨 강도를 측정하였으며, 이를 가열 촉진 양생에 의한 휨 강도와 비교하여 콘크리트가 소요 강도를 발휘하는데 요구되는 적정 온도와 기간을 도출하였다. 이를 통해 폴리머 콘크리트 맨홀의 품질 확보를 위한 생산 관리와 제품 검사를 체계적이고 효율적으로 수행할 수 있도록 하였다.

Keywords: manhole, polymer concrete, curing

I. 서론

지하에 매설되는 통신용 맨홀은 바닥 면적이 1.2m² 정도 인 소형에서부터 5m² 가까이 되는 대형까지 다양한 규격 이 있으며, 이들 맨홀은 제작에 사용되는 재료에 따라 폴리머 콘크리트 맨홀과 시멘트 콘크리트 맨홀로 크게 구분 된다. 또한 현장에 설치하는 방법에 따라 현장 타설 맨홀 과 프리캐스트 맨홀로 구분하기도 한다.

폴리머 콘크리트 맨홀은 재료적인 특성상 공장 제작품 인 프리캐스트 맨홀이 대부분이며, 시멘트 콘크리트 맨홀 은 현장에서 콘크리트를 타설하여 맨홀을 만드는 현장 타 설 방식이 주로 사용되어 왔으나, 소형 규격 맨홀은 경제 성과 공사 기간 단축 등에서 현장 타설 방식에 비해 프리 캐스트 방식이 유리함에 따라, 공장에서 제작되는 맨홀의 사용량이 점차 증가하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 현재까지 통신용 맨홀로 가장 많이 사용 되고 있는 폴리머 콘크리트 맨홀에 대해, 구조물로서 요구 되는 소요 강도 발휘에 필요한 양생 조건을 도출하기 위해 1년간의 실험을 진행하였다.

이를 위해 먼저 현장과 유사한 상황을 고려하여 10일 동 안 유형 별로 3가지의 초기 양생 조건을 설정하였다. 초기 양생기간 동안 1일, 3일, 7일, 10일째 휨강도를 측정하였고, 이후 공시체는 1m 깊이의 땅속에 매립하여 1개월, 3개월, 6 개월, 1년째 휨 강도를 측정하였다. 이러한 1년간의 휨강도 측정으로 지하에 설치된 통신용 맨홀의 양생 조건에 따른 장기 강도 변화를 파악할 수 있었으며, 이를 통해 공장에서 제작된 폴리머 콘크리트 맨홀에 대한 최적의 초기 양생 조건을 제시하고자 하였다.

II. 폴리머 콘크리트 맨홀의 균열

폴리머 콘크리트는 불포화 폴리에스테르 수지를 결합재 (Binder)로 사용하며, 잔골재, 굵은골재, 충전재(탄산칼슘), 수축 저감재를 적정 비율로 혼합하여 적당량의 촉매제 및 경 화 촉진제를 첨가하여 맨홀을 제조한다.

정상적인 양생 과정을 거친 폴리머 콘크리트는 결합재와 골재 간의 접착강도가 일반 시멘트 콘크리트에 비해 극히 크 기 때문에 콘크리트의 강도는 골재 강도에 좌우되는 특징이 있다. 이는 폴리머 콘크리트의 파괴 시 골재가 절단되는 것 으로 설명될 수 있다. 이러한 이유로 인해 폴리머 콘크리트 에 사용되는 골재는 압축강도가 높고 함수율이 낮은 규사를 많이 사용하고 있으며, 그 외에도 강모래, 화강암을 파쇄한 쇄석 등이 사용되고 있다.

일반적인 시멘트 콘크리트에서는 건조수축으로 인한 자연 적인 균열이 발생하며, 이는 인위적으로 제어가 불가능하기 때문에 허용 균열 폭이나 균열 감소 방안 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, 폴리머 콘크리트를 사용하여 공장에서 제작된 통신용 맨홀에 대해서는 균열 자체를 허용 하고 있지 않음에 따라, 결합재인 불포화 폴리에스테르 수지 의 경화 과정에서 필연적으로 발생하는 큰 수축 현상을 거푸 집 탈형 시간 조절 및 내부 수축형 거푸집 사용으로 제어하 고 있다.

결합재인 불포화 폴리에스테르 수지는 열경화성 수지이며, 초기 경화 시 발생하는 자체 발열 반응에 의해 거푸집 탈형 이 가능할 정도의 강도가 발현된다. 이후에는 별도의 열을 공급하는 양생 과정을 통하여 구조물로서 요구되는 소요 강 도를 가지게 된다.

통신용 폴리머 콘크리트 맨홀 제작 시 주로 사용하는 양생 방법은 상온 양생과 가열 촉진 양생이 있으며, 이러한 양생 이 정상적으로 이루어지지 못할 경우 맨홀에는 <그림-1>과 같은 균열 현상들이 발생한다. 폴리머 콘크리트는 파괴 특성 이 매우 취성적이므로, 균열이 발생한 맨홀은 붕괴와 같은 최악의 상황을 배제할 수 없으므로, 현장에 적용되는 일이

* 책임저자(Corresponding Author)

논문집수 : 2008. 8. 8., 채택확정 : 2008. 8. 1.

김동훈, 한진우 : (주)KT 인프라연구소

(kdh1314@kt.com, jinuhan001@kt.com)

없도록 철저한 관리가 있어야 한다.

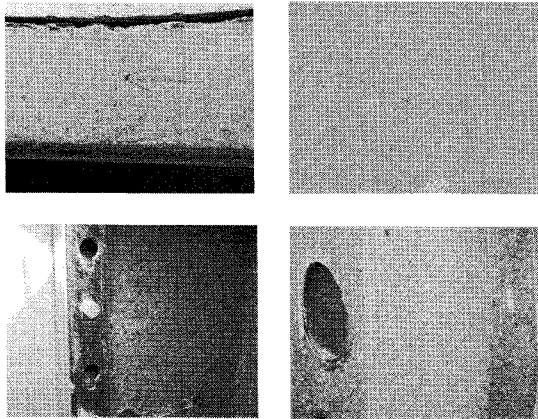


그림 1. 폴리머 콘크리트 맨홀의 균열

이러한 균열 발생은 재료의 배합비가 불량하여 발생하는 경우도 있으나, 대부분 거푸집 탈형 직후 초기 양생 관리 미흡으로 인한 경우가 대부분인 것으로 판단된다. 또한, 육안으로 확인할 수 있는 균열은 발생하지 않았어도, 초기 양생이 불량한 맨홀 제품은 소기의 구조 강도를 발휘할 수 없으므로 지하에 매설되는 시설물로는 부적합하다고 할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 초기 양생 조건 별로 공시체의 휨 강도를 측정하여, 양생 조건이 구조 강도에 미치는 영향을 파악해 보고자 한다.

III. 휨강도 측정용 공시체 제작 및 양생

폴리머 콘크리트 맨홀의 배합강도에 대한 설계기준은 압축강도 100MPa 이상, 휨강도 20MPa 이상으로 규정하고 있으며, 맨홀 상부에 작용하는 외부 하중에 의한 구조물의 파괴는 주로 휨 인장 응력(Bending tensile stress)에 좌우된다. 따라서, 본 논문에서는 휨 인장 응력을 맨홀 파괴의 주요 특성으로 보아, 양생 조건 별로 폴리머 콘크리트 재료의 휨 인장 응력을 측정하였다.

휨 인장 응력 측정은 KS F 2482 (폴리에스테르 래진 콘크리트의 휨강도 시험 방법)에 따라 시험하였으며, 시험용 공시체는 6×6×24cm 크기의 각주 형상으로 <그림-2>와 같이 제작하였다.

공시체 제작을 위한 재료의 배합비는 <표-1>과 같으며, 공시체 제작에 따른 실험 오차를 최소화 하기 위해 믹서 가동 시간, 진동 시간 및 온도 조건은 <표-2>와 같이 동일하게 적용하였다.

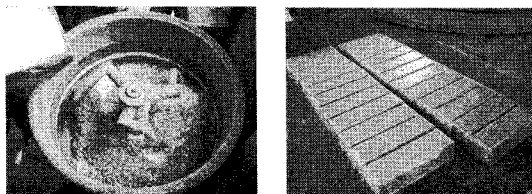


그림 2. 휨강도 측정용 공시체 제작

표 1. 공시체 제작을 위한 재료 배합비

자갈	모래	충진재	수지	저감재
43.2%	23.0%	22.0%	8.8%	3.0%

표 2. 공시체 제작 조건

구 분	제작 조건	비 고
믹서 가동 시간	3분	○ 수지와 저감재는 사전 혼합 ○ 경화제 첨가 후 혼합
진동 시간	5분	
실험실 온도	25±3℃	

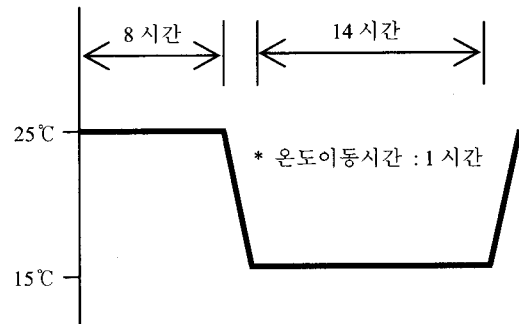
제작이 완료된 공시체는 거푸집 탈형 후 실제 공장 제작 및 양생, 보관, 지하 설치 등을 고려하여 <표-3>과 같은 세 가지 유형으로 양생을 하였다.

총 실험 기간은 1년으로 하였으며, 초기 양생 기간을 거친 후에는 지하 1m 깊이의 땅 속에 공시체를 매립하여 주기적으로 휨강도를 측정함으로써, 맨홀이 지하에 설치된 후의 강도 변화를 살펴보고자 하였다.

표 3. 공시체 양생 조건

구 분	양생 방법	비 고
CASE-1	탈형 → 상온 대기(24시간) → 가열 촉진 양생 및 냉각(80℃ 15시간, 상온 9시간) → 25℃ 보관(10일간) → 지하 보관	
CASE-2	탈형 → 25℃ 보관(10일간) → 지하 보관	
CASE-3	탈형 → 온도 변화(10일간) → 지하 보관	

* CASE-3의 온도 변화 주기 (1일)



CASE-1은 탈형한 공시체를 가열 촉진 양생한 조건으로써, 단시간 내에 폴리머 콘크리트의 강도를 요구 수준까지 상승시킬 수 있는 방법이다. 이 방법은 공시체 강도를 조기에 확인할 필요가 있거나, 공장에서 생산된 맨홀 제품을 긴급하게 출하할 필요가 있을 경우에 사용한다. 본 실험에서는 가열 촉진 양생한 맨홀을 10일간 상온에 보관한 후 지하에 설

치하는 경우를 가정하였다.

CASE-2는 탈형한 공시체를 상온에서 10일간 보관한 양생 조건으로써, 별도의 가열 양생 없이 상온에서 맨홀을 보관 한 후 지하에 설치하는 경우를 가정하였다.

CASE-3은 탈형한 공시체에 10일간 온도 변화를 가한 양생 조건으로써, 온도 변화 주기는 15~25℃ 사이를 24시간에 변화하는 것을 1주기로 하여 총 10주기 동안 양생하였으며, 봄과 가을의 양생 조건을 가정하였다.

위 세가지 경우의 양생 조건에 대하여 1년간 시간 변화에 따른 공시체의 휨강도를 측정하여 비교함으로써, 최적의 양생 조건을 도출하여 폴리머 콘크리트 맨홀의 품질관리에 적용할 수 있도록 하였다.

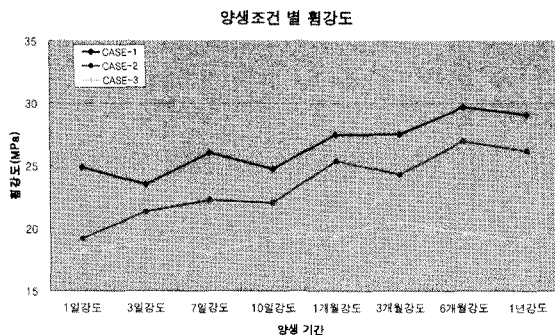
IV. 양생 조건에 따른 휨강도 특성

위 세가지 양생 조건에 대하여 1일, 3일, 7일, 10일, 1개월, 3개월, 6개월, 1년 휨강도를 측정하였으며, 그 결과는 <표-4> 및 <그림-3>과 같다.

표 4. 양생 조건 별 휨강도 (단위:MPa)

구 분	CASE-1	CASE-2	CASE-3	비고
1일	24.8	19.2	18.2	7월
3일	23.5	21.3	18.9	
7일	26.0	22.2	18.0	
10일	24.7	22.0	19.2	
1개월	27.4	25.4	19.5	8월
3개월	27.5	24.3	20.5	10월
6개월	29.6	27.0	19.6	1월
1년	29.1	26.1	19.0	7월
상승률	19.3%	40.6%	14.4%	

그림 3. 양생 조건 별 휨강도



CASE-1의 휨강도 특성을 살펴 보면, 가열 촉진 양생 직후부터 폴리머 콘크리트 맨홀에서 요구하는 휨강도 값인 20MPa보다 높은 23.5MPa를 나타내고 있으며, 최고 휨강도는 29.6MPa로 측정되었다. 또한, 1년간의 측정기간에서는 10일 이전까지 일부 강도 하강 현상이 나타났으나, 시간이 경과할수록 강도가 완만하게 증가하는 경향을 보이고 있다. 초

기 휨강도 대비 최고 휨강도에 대한 상승 효과는 19.3%로 저하의 미미한 온도변화에도 장기적으로는 휨강도가 상승하는 것을 알 수 있다.

따라서, 이 방법은 단시간에 안정적인 품질을 확보하기 위한 양생 방법으로 적합하고, 초기에 소요 강도를 확보할 수 있으므로 제품의 보관이나 현장 설치 후 관리가 용이하며, 계절에 관계없이 제품 생산이 가능한 장점이 있다. 반면에 양생을 위해 시설이나 연료비 등의 비용이 소요되는 단점이 있다.

CASE-2의 휨강도 특성을 살펴 보면, 탈형 직후에는 20MPa보다 낮은 19.2MPa를 나타내고 있으나, 상온 상태임에도 불구하고 3일째부터 요구강도를 상회하였고, 최고 휨강도는 27.0MPa로 측정되었다. 또한, 1년간의 측정기간에서도 시간이 경과할수록 강도가 양호하게 증가함을 알 수 있었다. 초기 휨강도 대비 최고 휨강도에 대한 상승 효과는 40.6%로 상온 상태에서도 시간 경과에 따라 강도 증진 효과가 큼을 알 수 있었다.

이 방법은 양생을 위한 비용 부담 없이 품질 확보가 가능하나, 맨홀 보관을 위해 상온 이상의 온도 상태를 최소 7일 이상 지속적으로 유지해야 하는 제약이 수반된다. 따라서, 하절기 제품 생산에 국한하여 적용할 수 있는 방법이며, 그 외의 계절에 적용하기 위해서는 부분적인 가열 양생이나, 보온 양생 등의 추가적인 조치가 있어야 한다.

CASE-3의 휨강도 특성을 살펴 보면, 탈형 직후 18.2MPa인 휨강도가 1년이 경과한 후에도 19.0MPa를 나타내고 있어, 시간 경과에 따른 강도 증진 효과는 극히 미미한 것으로 나타났다. 최고 휨강도는 20.5MPa로 측정되어, 가열 촉진 양생을 한 공시체의 69.9%에 불과하였다. 1주기의 온도변화를 보면 25℃에서 8시간 동안 보관한 후, 15℃에서 14시간 동안 보관하도록 하였다. 비록 8시간의 상온 상태가 있으나, 결합재인 불포화 폴리에스테르 수지의 경화 반응을 지속하기에는 부족한 것으로 판단되며, 15℃상태에서는 결합재가 경화 반응을 일으키기에는 낮은 온도인 것으로 보인다.

따라서, 이러한 방법의 양생으로는 구조물로서 요구되는 강도를 확보할 수 없으며, 상온 이상의 온도를 유지할 수 있는 가열이나 보온 등의 추가적인 조치가 반드시 병행되어야 한다.

공시체의 지하 보관 전후에 따른 휨강도 상승률을 살펴 보면 <표-5>와 같다.

표 5. 보관 시기 별 휨강도 상승률

구 분	CASE-1	CASE-2	CASE-3	비고
지하 보관 전	-	14.6	7.2	
지하 보관 후	17.3	19.1	-	

CASE-1은 지하 보관 전에는 강도 변화가 거의 없었으나, 지하 보관 후에 17.3%의 강도 증진이 있었다. 이는 초기의 80℃ 가열 촉진 양생에 의한 영향이 공시체에 크게 작용하여, 이후 10일간의 상온 보관에 의한 영향은 받지 않은 것으로 판단되며, 초기에 소요 강도가 확보된 공시체는 온도 변화

가 미미한 지하 보관 상태에서도 장기적으로는 휨강도가 상승함을 알 수 있었다.

CASE-2는 지하 보관 전 후 모두 14.6%와 19.1%의 강도 증진이 있었다. 가열 촉진 양생과 같은 고온이 아닌 상온 상태에서도 최소한의 시간만 주어진다면 적절한 강도를 발휘할 정도의 양생이 가능함을 알 수 있었고, 이렇게 초기에 확보된 휨강도는 지하 보관 상태에서도 장기적으로 증가하였다.

CASE-3은 초기의 상온 상태에서 7.2% 강도 증진이 있었고, 이후 지하 보관 상태에서는 장기간의 시간 경과에도 불구하고 강도 증진은 나타나지 않았다. 이를 통해 소요 강도가 확보되지 않은 상태에서는 시간 경과에 따른 강도 증진 효과가 없음을 알 수 있었다.

V. 결론

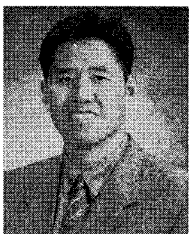
이상의 세가지 양생 방법에 따른 휨강도 특성 파악 및 최적 양생 방법 도출을 위하여 1년에 걸친 실험을 수행하였으며, 이를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 폴리머 콘크리트 맨홀의 구조 성능을 단시간에 안정적으로 확보할 수 있는 양생 방법은 가열 촉진 양생이다.
- 상온 양생을 통해 맨홀을 양생할 경우에는 최소 7일간 상온 상태를 유지하여야 한다.
- 초기 양생 기간 동안 상온 상태를 유지할 수 없을 경우에는 부분적인 가열이나 보온 등의 조치를 병행하여야 한다.

연구 결과에서와 같이 폴리머 콘크리트 맨홀의 구조 성능은 초기 양생에 절대적으로 좌우됨을 알 수 있다. 따라서, 폴리머 콘크리트 맨홀의 강도 품질을 확보하기 위해서는 계절별 또는 제작 여건을 감안하여 적절한 방법의 초기 양생이 반드시 시행되어야 하며, 이를 통해 폴리머 콘크리트 맨홀의 생산 관리와 제품 검사를 체계적이고 효율적으로 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] KT기술연구소, “폴리머 콘크리트의 배합요인 변화에 따른 특성 분석,” 연구보고서, pp. 88-99, October, 2003.
- [2] 최낙운, “콘크리트-폴리머 복합체의 사용법과 그 기술의 현장,” pp. 22-28, May, 2004.



김 동 훈

1994년 경북대학교 농공학과 석사 졸업.
1991년~현재 KT 인프라연구소 재직 중.
관심분야는 통신 관로, 맨홀 등임.



한 진 우

1989년 부산대학교 토목공학과 석사 졸업
1990년~현재 KT 인프라연구소 재직 중
관심분야는 통신 기초시설 분야임.