

인공경량골재를 활용한 경량 폴리머 콘크리트의 개발 및 바닥배수구조물에의 적용

Development of Lightweight Polymer Concrete Using Synthetic Lightweight Aggregate and Application for Bottom Draining Structure

성 찬 용* 김 영 익** 윤 준 노**
Sung, Chan Yong Kim, Young Ik Youn, Joon No

ABSTRACT

This study was performed to develop the lightweight polymer concrete using expanded clay and perlite to improve workability, durability and chemical resistance for bottom draining structure under severe condition. This paper was composed of two parts. One is to invest the physical and mechanical properties of lightweight polymer concrete using synthetic lightweight aggregate, the other is to the develop products for bottom draining structure.

Physical and mechanical test for lightweight polymer concrete was performed unit weight, compressive and flexural strength, chemical resistance, accelerated weathering test, absorption ratio and optimum mix for lightweight polymer concrete was designed. Also, products for bottom draining structures by optimum mix of lightweight polymer concrete was made draining trench of small size.

1. 서 론

현재 지하주장의 지하수 또는 우수의 유입에 따른 배수를 목적으로 트렌치를 이용한 바닥 배수구조 공법은 현장구축방식과 시멘트 콘크리트 제품의 기성 트렌치를 이용한 시공이 주로 이루어지고 있으나, 현장구축방식의 경우 배수 트렌치를 위한 거푸집의 설치가 인력에 의한 수작업으로 시공되므로 현장 기능공의 작업도에 따라 부정확한 제작 및 조립이 빈번하게 발생하고, 거푸집 시스템 자체의 정밀성의 한계로 인하여 구배불량 및 품질확보가 어려우며, 콘크리트 타설시의 충격으로 인하여 배수 트렌치 형상에 변형이 생기는 문제가 발생한다. 또한, 시멘트 콘크리트의 트렌치를 이용하는 경우에는 자중이 크며, 내약품성에 약하여 장기적인 내구성에 문제점을 가지고 있어 이를 개선하기 위한 연구가 요구된다. 따라서 본 연구는 지하수 또는 우수의 유입에 따른 배수를 목적으로 지하주차장에 설치되는 기존 바닥배수구조물의 성능개선을 위하여 인공경량골재를 활용한 경량 고강도 폴리머 콘크리트를 개발하고, 이를 이용한 바닥배수구조물을 제작하여 현장적용성을 검토하는데 그 목적이 있다.

* 정희원, 충남대학교 농공학과 교수

** 정희원, 충남대학교 농업과학연구소 객원연구원

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

본 실험에 사용된 재료는 경량성과 고강도를 동시에 나타낼 수 있도록 폴리머와 인공경량골재인 팽창점토를 굵은골재, 퍼라이트와 탄산칼슘을 충전제로 사용하였으며, 각각의 재료에 대한 특성은 다음과 같다.

2.1.1 폴리머

실험에 사용한 폴리머는 국내 A사에서 폴리머 콘크리트용으로 생산·시판되고 있는 울소 형태의 불포화 폴리에스터 수지를 사용하였으며, 이의 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 불포화 폴리에스터 수지의 물리적 성질

형 태	비 중	점 성 (25℃, ps)	스틸렌 함유량(%)	산 도
울소	1.08	3.5	37.2	26.5

표 2 수축저감제의 물리적 성질

형 태	비 중	점 도 (25℃, ps)	스틸렌 함유량 (%)
SR-A	0.96	12.6	69.0

2.1.2 경화제

경화제는 불포화 폴리에스터 수지의 축·중합 반응을 시발, 촉진시키는 약품으로서, MEKPO 55% DMP 45%의 것을 사용하였다.

2.1.3 수축저감제

폴리머 콘크리트의 경화과정에서 발생하는 축·중합반응에 의해 불포화 폴리에스터 수지는 경화시에 7~10%의 체적수축이 발생하기 때문에 과도한 체적수축으로 인한 폴리머 콘크리트의 균열을 억제하고 치수안정성 유지 및 한도 이상의 수축을 제어하기 위하여 수축저감제를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 2와 같다.

2.1.4 굵은골재

사용된 굵은골재는 수평의 회전로에서 점토를 1,000~1,200℃로 가열하여 냉각시킴으로써 그 과정에서 가스를 흡입하게 되고, 이를 통해 팽창을 유도하여 제조된 것으로, 입형 및 입도의 조정이 가능하고, 실적율이 양호하며, 입자 표면의 상태는 요철이 없이 매끄러운 상태를 지니고 있으며, 흡수율을 저하를 위하여 표면이 코팅 처리되어 있는 최대 입경이 8mm이하인 팽창점토이며, 흡수율이 0.1% 이하가 되도록 100℃의 건조로에서 충분히 건조하여 사용하였고, 그 물리적 성질은 표 3과 같고, SEM으로 촬영한 팽창점토의 내부구조는 사진 1과 같다.

표 3 팽창점토의 물리적 성질

입 경 (mm)	비 중 (20℃)	흡수율 (%)	입 도	단위중량 (kg/m ³)
3~8	0.68	21	5.60	386

표 4 퍼라이트의 물리적 성질

단위중량 (kg/m ³)	입 경 (mm)	색 상	PH	방음성능 (%)
80	0.15~1.2	순백	7	90 <

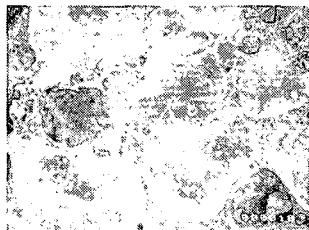


사진 1 팽창점토(SEM)

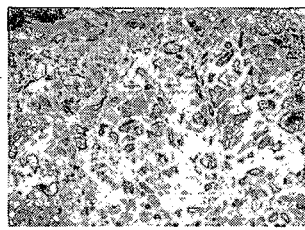


사진 2 퍼라이트(SEM)

2.1.5 충전재

폴리머 콘크리트에 사용되는 충전재는 골재와 골재 사이의 공극을 치밀하게 채워주고 비교적 고가인 폴리머의 사용량을 줄여주는 동시에 폴리머 콘크리트의 수축에 따른 변형을 억제하는 효과를 가지고 있으며, 무기질의 분말로 흡수성이 작고 수분함량이 1% 미만이어야 한다.

본 실험에 사용한 충전재는 퍼라이트와 탄산칼슘으로 퍼라이트의 물리적 성질과 화학성분은 표 4, 5, 탄산칼슘의 물리적 성질은 표 6과 같고, SEM으로 촬영한 퍼라이트의 내부구조는 사진 2와 같다.

표 5 퍼라이트의 화학성분 (단위 : %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
75.5	15.2	0.9	0.12	0.08	3.5	4.0

표 6 탄산칼슘의 물리적 성질

밀도 (kgf/m ³)	비중 (20℃)	비표면적 (blain : cm ² /g)
1,072	2.60	3,650

2.2 실험계획

2.2.1 배합 설계

경량 고강도 폴리머 콘크리트에 대한 배합설계는 팽창점도와 퍼라이트 및 탄산칼슘의 비를 결정하고, 골재와 결합재의 배합비를 결정하였으며, 재령 7일의 압축강도가 350kgf/cm² 이상, 단위중량이 1,000kgf/m³ 이하가 되도록 하였고, 결합재의 배합과 경량 고강도 폴리머 콘크리트의 배합설계는 표 7 및 표 8과 같고, 경량 고강도 폴리머 콘크리트와 비교를 위한 압축강도 210kgf/cm²의 보통 시멘트 콘크리트 및 압축강도 320kgf/cm²의 고강도 시멘트 콘크리트의 배합설계는 표 9와 같다.

표 7 결합재의 배합 (단위 : 중량비)

폴리머의 종류	형태	수지	수축저감제	경화제
불포화 폴리에스터 수지	울소	84	15	1

표 8 경량 고강도 폴리머 콘크리트의 배합 (단위 : 중량비)

결합재	골재	충진재		총량
	굵은골재	퍼라이트	탄산칼슘	
71.3	11.5	13.8	3.4	100

표 9 시멘트 콘크리트의 배합

종류	시멘트 (kg/m ³)	골재 (kg/m ³)		W/C (%)	S/a (%)	슬럼프 (cm)
		굵은골재	잔골재			
보통 시멘트 콘크리트	297	1,069	892	52	76	8±1
고강도 시멘트 콘크리트	372	1,131	754	51.6	66	8±1

2.2.2 공시체 제작 및 양생

경량 고강도 폴리머 콘크리트의 제작은 KS F 2419(폴리에스터 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법)에 준하여 굵은골재와 충진재를 우선 콘크리트 믹서로 건비빔을 한 후 결합재를 투입하여 240r.p.m인 진동기 위에 몰드를 올려놓고 콘크리트를 타설하여 1분간 진동다짐을 하였다. 몰드에 타설된 폴리머 콘크리트는 3시간 후 탈형하여 온도 20±1℃, 습도 70±2%인 실험실에서 소정의 재령까지 기건양생하였다.

2.2.3 프리캐스트 바닥배수구조물 제작

경량 고강도 폴리머 콘크리트의 최적 배합을 사용하여 지하주차장의 배수 트렌치의 요구성능에 부합할 수 있도록 프리캐스트 트렌치를 설계하였으며, 트렌치 규격은 시멘트 콘크리트보다 물리·역학적 특성이 우수한 경량 고강도 폴리머 콘크리트를 사용하기 때문에 단면의 크기를 기존 트렌치에 비하여 대폭적으로 축소하였다.

2.3 시험방법

2.3.1 단위중량 시험

단위중량시험은 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 인 공시체를 재령 7일에 기건상태의 중량과 체적을 측정하여 산출하였다.

2.3.2 흡수율 시험

흡수율 시험은 재령 7일된 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ 의 공시체를 수중에 침적시킨 후 재령 7일에 기건상태와 표건상태의 중량을 측정하여 구하였다.

2.3.3 압축강도 시험

폴리머 콘크리트의 압축강도 시험은 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 의 공시체를 제작하여 재령 7일에 KS F 2481(폴리에스터 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 실시하였다.

2.3.4 휨강도 시험

휨강도시험은 $60 \times 60 \times 240\text{mm}$ 의 공시체를 제작하여 재령 7일에 KS F 2482(폴리에스터 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 실시하였다.

2.3.5 내산성 시험

내산성시험은 $\phi 75 \times 150\text{mm}$ 의 공시체를 기건상태로 하여 황산(H_2SO_4) 5%용액에 침적한 후 재령 7일 간격으로 부식된 표면을 철솔로 닦아내어 표면건조포화상태의 중량차이로 내산성을 비교하였다.

2.3.6 내후성 시험

내후성시험은 $10 \times 50\text{mm}$ 크기의 공시체 시편을 KS F 2274(콘크리트의 내후성 시험방법)에 준하여 재령 7일에 햇빛노출시험(WS형)을 250시간 실시하여 색차의 변화를 조사하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 단위중량

경량 고강도 폴리머 콘크리트와 보통 시멘트 콘크리트 및 고강도 시멘트 콘크리트의 단위중량 시험결과, 폴리머 콘크리트의 단위중량은 946 kgf/m^3 으로 나타나 경량 콘크리트이며, 이는 일반적인 보통 시멘트 콘크리트의 단위중량 $2,300 \text{ kgf/m}^3$ 과 고강도 시멘트 콘크리트의 단위중량 $2,320 \text{ kgf/m}^3$ 에 비해 약 41% 정도로써 59%의 단위중량이 감소하였다.

이와 같이 시멘트 콘크리트에 비하여 단위중량이 감소된 주요원인은 폴리머 콘크리트에 사용된 인공경량 굵은골재인 팽창점도와 충전재로 사용된 파라이트의 단위중량이 시멘트 콘크리트에 사용된 굵은골재 및 잔골재의 단위중량에 비하여 훨씬 작기 때문으로 생각된다.

3.2 흡수율

물과 접하는 구조물에 있어 가장 문제시 되는 것 중의 하나가 흡수율로써 수분의 흡수에 의해 내구성이 저하가 되고, 특히 방수의 목적으로 사용되는 곳에는 흡수율에 대한 시험이 이루어져야 한다.

경량 고강도 폴리머 콘크리트의 흡수율은 0%로서, 완전한 수밀성을 가지고 있는 것으로 나타났고, 지하수의 유입을 차단하고 우수의 배수에 매우 효과적으로 사용될 것으로 기대된다.

3.3 압축강도

인공경량골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 일반적으로 사용 골재의 강도에 크게 의존하게 되며,

골재의 강도가 클수록 압축강도는 크게 나타난다.

폴리머 콘크리트와 시멘트 콘크리트의 압축강도 시험결과, 폴리머 콘크리트의 압축강도는 천연골재에 비해 작은 강도를 가진 인공경량골재를 사용하였음에도 불구하고 352kgf/cm^2 으로서 보통 시멘트 콘크리트의 압축강도 210kgf/cm^2 와 고강도 콘크리트의 압축강도 320kgf/cm^2 보다 각각 67%와 10% 크게 나타났으며, 경량이면서 고강도 콘크리트의 제조가 가능하다는 것을 알 수 있다.

3.4 휨강도

경량 폴리머 콘크리트의 휨강도는 인장강도와 마찬가지로 보통 시멘트 콘크리트보다 크게 나타났으며, 경량 고강도 폴리머 콘크리트의 휨강도는 147kgf/cm^2 으로서 보통 시멘트 콘크리트의 휨강도 42kgf/cm^2 , 고강도 시멘트 콘크리트의 휨강도 70kgf/cm^2 에 비하여 각각 3.5배, 2.1배 크게 나타났다.

이는 폴리머 콘크리트의 결합재인 불포화 폴리에스터 수지의 경화전의 모노머의 결합이 스티렌을 사이에 두는 축·중합작용에 의해 선형상의 모노머가 서로 연결된 견고한 결합구조를 나타내게 됨으로써 휨강도가 크게 증대되고, 사용한 폴리머와 인공경량 굵은골재 및 충전재가 복합적으로 콘크리트의 치밀성을 증가시켰기 때문으로 생각된다.

3.5 내산성

내산성시험 결과 보통 시멘트의 함량이 많은 고강도 시멘트 콘크리트가 보통 시멘트 콘크리트에 비하여 표면 탈락이 많이 발생하였으며, 경량 고강도 폴리머 콘크리트에서는 표면에 어떠한 결함도 발생하지 않았다.

또한, 폴리머 콘크리트를 황산 5%용액에 침적한 후 시일이 아무리 경과하여도 아무런 변화를 나타내지 않고 처음 그대로의 형태와 색상을 유지하였는데, 이것은 폴리머 콘크리트의 수밀성이 뛰어나 흡수가 전혀 이루어지지 않았기 때문에 황산용액이 침투할 수 없을 뿐만 아니라, 폴리머와 황산은 서로 화학반응을 일으키지 않기 때문에 어떠한 결함도 발생하지 않은 것으로 생각된다.

3.6 내후성

경량 폴리머 콘크리트의 250시간 햇빛노출시험결과 변색에 있어서는 색표(호) 3~4 정도로 육안으로는 쉽게 판단할 수 없을 정도의 색차 변화가 발생하였으며, 겉모양에서 형태의 변화는 없는 것으로 나타나 노출 환경에 대한 저항성도 우수한 것으로 나타났다.

3.7 프리캐스트 트렌치 제작

인공경량골재인 팽창점토와 퍼라이트를 활용한 경량 폴리머 콘크리트의 프리캐스트 트렌치의 개발이 가능하였으며, 특히 경량성, 방수성 및 화학저항성이 우수하여 내구성을 요하는 바닥배수구조에 적용할 경우 효과가 클 것으로 기대된다.

완성된 프리캐스트 트렌치 제품과 트렌치와 트렌치를 연결한 모습은 각각 사진 3, 4와 같다.

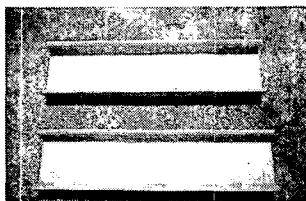


사진 3 트렌치 제품

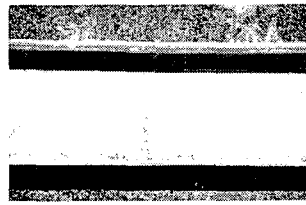


사진 4 트렌치 연결 모습

4. 결 론

인공경량골재인 팽창점토와 퍼라이트를 활용한 경량 고강도 폴리머 콘크리트를 개발하여 물리·역학적 특성을 구명하고, 이를 이용하여 지하바닥배수구조에 적용하기 위한 배수 트렌치를 제작하였으며, 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 단위중량은 946 kg/m^3 으로서, 보통 시멘트 콘크리트에 비해 약 59%의 단위중량이 감소되어 우수한 경량성을 나타내었다
- 2) 흡수율은 0%로 나타났으며, 방수성 및 수밀성이 아주 우수하여 장기적으로 물과 접하는 곳에 사용할 경우 내구성이 클 것으로 기대된다.
- 3) 압축강도와 휨강도는 각각 352kgf/cm^2 와 147kgf/cm^2 으로 보통 시멘트 콘크리트의 압축강도와 휨강도에 비하여 각각 67%와 350% 정도 크게 나타났다.
- 4) 내산성은 시멘트 콘크리트는 시간의 경과에 따라 계속적으로 표면 탈락이 발생하였으나, 폴리머 콘크리트는 장시간의 침적에도 불구하고 콘크리트의 부식과 표면 탈락 등의 결함이 발생하지 않았다.
- 5) 내후성은 색표(호) 3~4 정도로 나타났으며, 결모양에서 형태의 변화는 없는 것으로 나타났다.
- 6) 경량 고강도 폴리머 콘크리트를 이용한 바닥배수구조물인 트렌치 제작 결과 재료의 혼합, 타설, 탈형, 양생 등 일련의 제작이 아주 양호하였으며, 외형적으로 결함이 전혀 발생하지 않았고, 트렌치 부재의 연결시 방수성과 일체성이 아주 우수하여 배수를 요하는 구조물에 적용할 경우 큰 효과를 가져올 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 (주)태·종합기술단에서 지원한 연구과제를 수행함으로써 얻어진 연구결과의 일부이며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 성찬용외 1인, 고성능 경량 폴리머 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지, Vol. 37, No.2, 1995, pp. 72~81.
2. Fowler. D.W., Current uses of polymer concrete in the united states, Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete, Chuncheon, Korea, May 2-3, 1994, pp. 3~9.
3. Vipulanandan, C., Dharmarajan, N., and Ching, E., Mechanical behavior of polymer concrete system, Materials and Structures, Vol. 21. No. 124, 1998, pp. 268~277.
4. Yamasaki, T. and Miyakawa, K., A Study on the rheological mix design of unsaturated polyester resin concrete, Proceedings of the 5th ICPIC, 1987, pp. 43~48.