

폴리머 시멘트 콘크리트의 배합조건이 투수성능과 역학적 성질에 미치는 영향

Effect of Mix Proportions on the Permeability and Mechanical Properties of Polymer Cement Concrete

박 응 모* 조 영 국** 소 양 섭***
Piao, Ying Mo Jo, Young Kug Soh, Yang Seob

ABSTRACT

Permeable polymer cement concrete in this study is one of the environment conscious concretes that can be applied at roads, side walks, parking lots, interlocking block and river embankment, etc. In this study, permeable polymer cement concretes using polymer dispersion(St/Ac) with water-cement ratios of 25, 30, 35 and 40%, polymer-cement ratios of 0, 5, 10, 15 and 20%, and a ratio of cement to aggregate (by weight), 1 : 3.5(about 415kg/m³), 1 : 4.0(about 375 kg/m³), and 1 : 4.5(about 345kg/m³) are prepared, and tested for compressive, flexural and tensile strengths, and permeability. From the test results, increase in the strengths of permeable polymer cement concrete are clearly observed with increasing polymer-cement ratio. we can obtain the maximum strengths at water-cement ratio of 35%. The optimum permeable polymer cement concrete according to application and location of work can be selected in various mix proportions.

1. 서론

투수성 시멘트 콘크리트 시멘트 콘크리트 매트릭스 자체에 많은 공극을 부여한 것으로 최근 생태계의 보존의 의미로 환경친화적 콘크리트 분야로서 관심이 고조되고 있다. 또한 투수콘크리트를 이용한 도로포장 공법으로 차량의 소음을 저감시킬 수 있는 효과에 관한 연구와 현장적용성 실험이 유럽을 중심으로 시도되고 있다¹⁾⁻⁴⁾. 본 연구는 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 역학적 성질과 투수성능에 영향을 미칠 수 있는 배합인자에 대한 평가로서, 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션의 혼입량과 물시멘트 비, 그리고 단위시멘트량을 변화시켜 각종 실험을 실시하였다. 실험결과, 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 요구성능에 적합한 배합을 유도함으로써 투수성 시멘트 콘크리트의 제작 및 적용분야에 기초적인 자료를 제공하고자 하였다.

*. 중국연변대학교, 이공학원, 토목건축계 교수

**.. 정희원, 청운대학교 건축공학과 교수

***. 정희원, 전북대학교 건축공학과 교수

2. 사용재료

2.1 시멘트

시멘트는 국내산 보통 포트랜드 시멘트를 사용하였다.

2.2 골재

굵은골재로서는 13mm이하의 쇄석을 사용하였다.

2.3 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션

시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션으로서는 스티렌·아크릴 공중합체(St/Ac)의 에멀전을 사용하였으며 그 성질은 표 1과 같다.

표 1 폴리머 디스퍼션의 일반적 성질

| Specific gravity (20℃) | Viscosity (mPa·s) | pH | Solid content (%) |
|---------------------------|----------------------|-----|----------------------|
| 1.04 | 200 | 8.0 | 50.3 |

3. 시험방법

3.1 광시체 제작

본 연구에서의 투수성 시멘트 콘크리트는 잔골재를 사용하지 않고 굵은골재만으로 배합설계를 실시하였다. 시멘트와 골재의비를 중량비로서 1 : 3.5(단위시멘트량 약 415kg/m³), 1 : 4.0(단위시멘트량 약 375kg/m³), 1 : 4.5(단위시멘트량 약 345kg/m³), 물시멘트비 25, 30, 35 및 40%, 폴리머 시멘트비 0, 5, 10, 15 및 20%로 변화시켜 표 2와 같은 배합으로서 치수 ϕ 7.5x15cm(압축강도, 휨강도, 인장강도 및 투수시험용), 6x6x24cm(휨강도용)을 제작하였다. 제작후 2일습윤양생(20℃, 80%R.H.), 26일 수중양생(20℃)을 실시하였다.

3.2 압축강도, 휨강도 및 인장강도

투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법), KS F 2407(콘크리트의 휨강도 시험방법) 및 KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험방법)에 준하여 실시하였다.

3.3 투수시험

투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 투수시험은 KS F 2322(흙의 투수시험 방법)에 준하여 투수시험을 실시하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 압축강도

그림 1은 재령에 따른 투수성 폴리머 콘크리트의 배합조건(시멘트:골재)에 따른 압축강도와 물시멘트비와의 관계를 나타내고 있다. 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도는 재령에 따라 증가되며 재령 3일에 있어서는 28일강도의 65-70%에 달하며, 7일강도는 80-85%를 나타내 보통 시멘트 콘크리트

트에 비해 조기강도가 약간 크게 나타났다. 또한 몰시멘트비에 따른 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도는 몰시멘트비의 증가에 따라 커지며 몰시멘트비가 35%일때 가장 높은 강도를 나타냈다. 몰시멘트비 40%에서는 25%나 30% 보다는 높은 강도를 보이거나 35% 보다는 오히려 낮게 나타났다. 이는 투수성 시멘트 콘크리트 제작시, 충분한 몰시멘트비가 필요하나 너무 많으면 골재를 결합시키는 시멘트 페이스트가 비중에 의해 공시체의 하단으로 흘러내려 층을 형성함으로써 균일한 시멘트 콘크리트 매트릭스가 형성되지 못했기 때문이다. 이는 결과적으로 투수성 시멘트 콘크리트의 투수성능의 저하를 초래할 수 있다. 단위시멘트량에 따른 28일 압축강도는 시멘트 : 골재비가 1 : 3.5의 경우 약 20MPa~32MPa의 범위로서 1 : 4.0과 1 : 4.5에 비해 1.5~1.7배 정도 높은 강도를 나타내 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도에 단위시멘트량이 커다란 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 본 실험에서 몰시멘트비를 25%~30% 정도로 작게하고 투수성 시멘트 콘크리트를 제작할 때, 35%나 40%에 비해 압축강도가 낮아 시공성 및 압축강도증진 목적으로서 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션을

표 2 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 배합표

| 시멘트:골재 (중량비) | 몰-시멘트비 (%) | 폴리머-시멘트비 (%) | 단위중량 (kg/m ³) | | | |
|--------------|------------|--------------|---------------------------|------|-----|----------|
| | | | 시멘트 | 골재 | 수량 | 폴리머 디스퍼션 |
| 1:3.5 | 25 | 0 | 414 | 1449 | 104 | 0 |
| | | | 412 | 1442 | 124 | |
| | | | 416 | 1457 | 146 | |
| | | | 416 | 1456 | 166 | |
| 1:4.0 | 25 | 0 | 373 | 1491 | 93 | 0 |
| | | | 375 | 1499 | 112 | |
| | | | 378 | 1512 | 133 | |
| | | | 376 | 1502 | 150 | |
| 1:4.5 | 25 | 0 | 347 | 1561 | 87 | 0 |
| | | | 349 | 1567 | 105 | |
| | | | 344 | 1548 | 121 | |
| | | | 333 | 1502 | 133 | |
| 1:3.5 | 25 | 5 | 422 | 1478 | 106 | 21.1 |
| | | | 417 | 1458 | 125 | 20.9 |
| | | | 416 | 1455 | 146 | 20.9 |
| | | | 414 | 1449 | 163 | 20.4 |
| 1:4.0 | 25 | 5 | 374 | 1493 | 93 | 18.8 |
| | | | 370 | 1483 | 111 | 18.6 |
| | | | 369 | 1477 | 129 | 18.5 |
| | | | 362 | 1448 | 145 | 18.1 |
| 1:4.5 | 25 | 5 | 351 | 1578 | 87 | 17.4 |
| | | | 346 | 1555 | 104 | 17.2 |
| | | | 342 | 1535 | 119 | 17.0 |
| | | | 346 | 1556 | 121 | 17.2 |
| 1:3.5 | 25 | 10 | 412 | 1441 | 103 | 41.1 |
| | | 15 | 406 | 1420 | 101 | 60.8 |
| | | 20 | 398 | 1394 | 100 | 79.6 |
| 1:4.0 | 25 | 10 | 367 | 1471 | 92 | 36.7 |
| | | 15 | 377 | 1509 | 94 | 56.7 |
| | | 20 | 368 | 1472 | 93 | 75.3 |
| 1:4.5 | 25 | 10 | 337 | 1514 | 84 | 33.7 |
| | | 15 | 336 | 1511 | 84 | 50.3 |
| | | 20 | 336 | 1513 | 84 | 67.2 |

시멘트 중량에 대해 5% 혼화할 경우의 결과를 그림 2에 나타냈다. 실험결과 몰시멘트비가 적은 25%와 30%의 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도는 시멘트:골재비 1:3.5의 몰시멘트비 35%와 40%를 제외하면 전반적으로 8%에서 24%까지 압축강도가 증진효과를 나타냈다. 특히 낮은 몰시멘트비(25%나 30%)에서의 압축강도 증진효과가 크게 나타났다. 이는 몰시멘트비가 큰 35%나 40%의 경우

시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션의 혼화에 따라 유동성이 커져 공시체 저면을 시멘트 페이스트가 충전되었기 때문이다.

그림 3은 몰시멘트비를 25%로 고정시킨 투수성 시멘트 콘크리트에 폴리머 디스퍼션을 0~20%까지 혼화

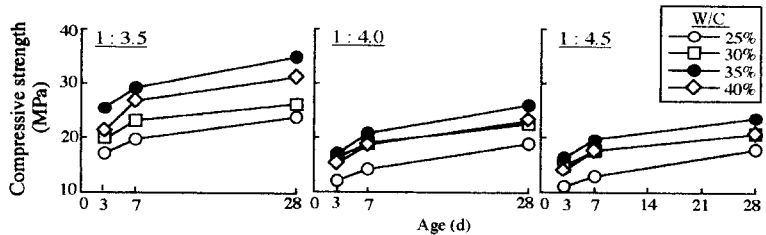


그림 1 재령에 따른 압축강도

한 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도를 나타내고 있다. 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도는 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 크게 증가하고 있음을 알 수 있었으며 폴리머 시멘트비 20%의 경우는 폴리머 시멘트비 0%에 비해 약 1.6~1.8 배의 높은 강도를 나타냈다.

4.2 휨강도

그림 4는 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 배합조건에 따른 휨강도를 나타내고 있다. 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 휨강도는 3.3MPa~5.6MPa로 물시멘트비와 단위시멘트량에 따라 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있었으며 압축강도와 같이 물시멘트비 35%에서 최대치를 나타냈다. 또한 시멘트:골재량비 1:3.5의 경우가 전반적으로 높은 강도를 나타냈다. 또한 그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션을 5% 혼입한 경우 혼입하지 않은 경우에 비해 1:3.5의 경우 5~10%, 1:4.0의 경우 12.4~24.2%, 1:4.5의 경우 12~24%를 나타내 단위시멘트량이 적은 경우 휨강도의 증진효과를 더욱더 발휘할 수 있었다.

그림 6은 물시멘트비가 25%인 시멘트 콘크리트에 폴리머 디스퍼션을 0~20% 까지 혼화한 폴리머 시멘트 콘크리트의 휨강도를 나타내고 있다. 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의

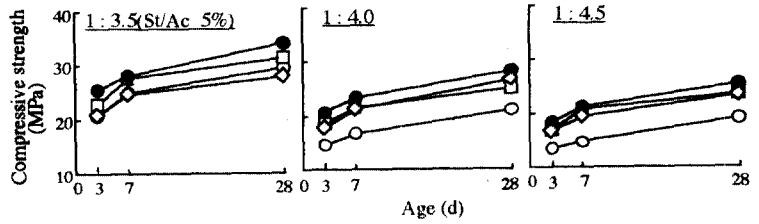


그림 2 폴리머 디스퍼션 5% 혼입한 경우의 압축강도

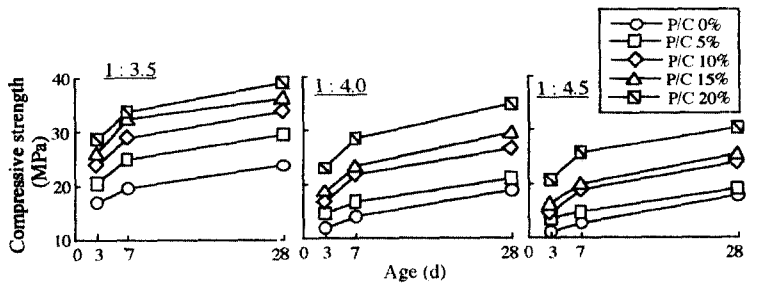


그림 3 폴리머 시멘트비에 따른 압축강도

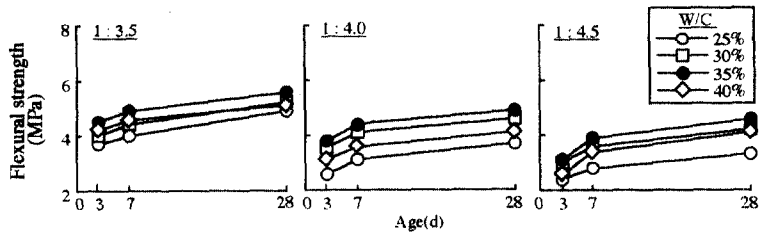


그림 4 재령에 따른 휨강도

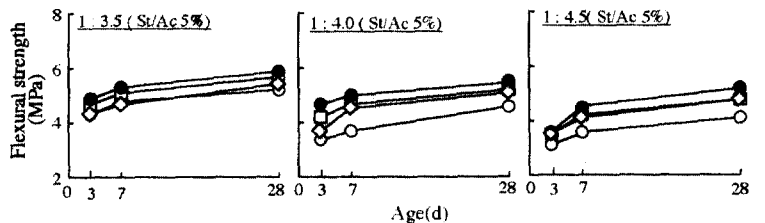


그림 5 폴리머 디스퍼션 5% 혼입한 경우의 휨강도

휨강도는 4MPa ~6MPa를 나타냈으며 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 휨강도는 증진되고 폴리머 시멘트비 20%인 경우 1:3.5의 배합에서 폴리머 디스퍼션을 혼입하지 않은 경우에 비해 1.4배, 1:4.0의 경우 1.6배, 1:4.5의 경우 1.7배로 높게 나타났다.

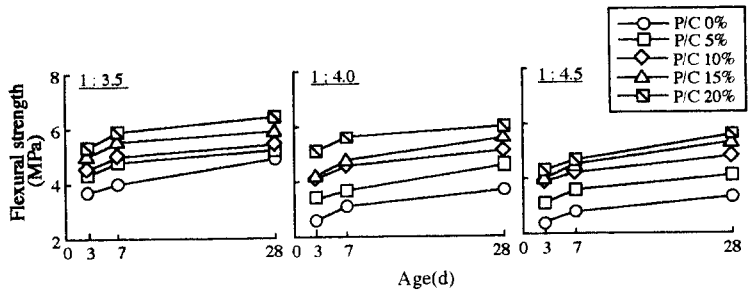


그림 6 폴리머 시멘트비에 따른 휨강도

4.3 인장강도

그림 7은 폴리머 시멘트비 5%인 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 인장강도와 물시멘트비의 관계를 나타내고 있다. 물시멘트비에 관계없이 폴리머 디스퍼션의 혼입에 따른 강도증진 효과는 압축강도 및 휨강도와 마찬가지로 크게 개선되었다. 그 개선의 정도는 1:4.0과 1:4.5의 배합이 1:3.5에 비해 크게 나타나 휨강도의 경향과 비슷하게 나타났다. 또한 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 인장강도도 크게 나타나 폴리머 시멘트비 20%에서 0%에 비해 2~2.5배의 큰 강도를 나타내 역학적 성질중 인장강도에 보다 더 큰 영향을 미쳤다. 이와같이 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션을 혼화함에 따라 휨강도 및 인장강도를 크게 개선시킬 수 있었던 이유는 시멘트 콘크리트 속의 매트릭스에 폴리머 필립이 인장보강재로서 역할을 하였음을 알 수 있다.

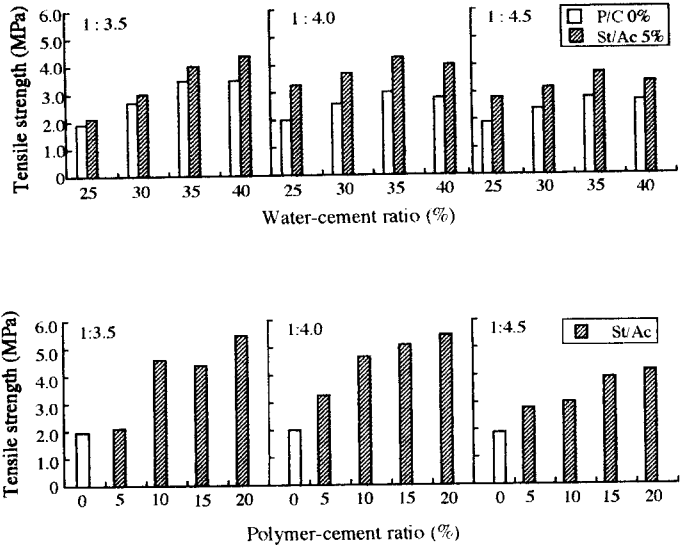


그림 7 물시멘트비와 폴리머 시멘트비에 따른 인장강도

4.4 투수계수

그림 8은 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 투수계수와 물시멘트비 및 폴리머 시멘트비와의 관계를 나타내고 있다. 단위시멘트량에 관계없이 물시멘트비가 증가함에 따라 폴리머 디스퍼션을 혼입하지 않은 투수성 시멘트 콘크리트의 투수계수

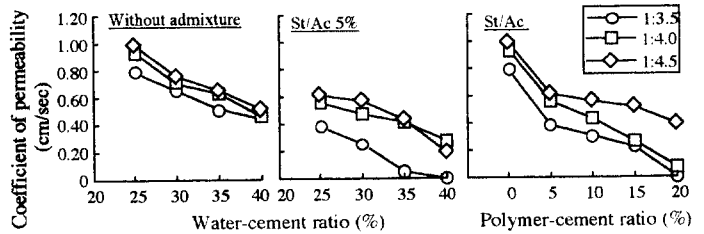


그림 8 물시멘트비와 폴리머 시멘트비에 따른 투수계수

는 0.40~1.9cm/sec의 범위로서 큰 투수계수를 나타내고 있으나 폴리머 디스퍼션을 5% 함유하면 바로 투수성능이 떨어져 0.2~0.6cm/sec 범위와 1:3.5 배합의 물시멘트비 35%이상에서는 투수계수가 0에 가깝게 나타났다. 이는 물시멘트비가 높은 경우 폴리머 디스퍼션에 의해 유동성이 더욱 좋아져 시멘트 페이스트가 투수에 영향을 미칠 수 있는 연속공극을 충전시켰기 때문이다. 따라서 폴리머 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션을 혼입할 경우 단위 시멘트량을 높이든지 물시멘트비를 낮춘 배합에서 그 효용성을 발휘한다는 것을 알 수 있었다. 또한 물시멘트비 25%의 낮은 범위에서의 폴리머 시멘트비를 0~20%로 증가시키에 따라 투수성능이 급격히 떨어졌다. 여기에서도 단위시멘트량이 적은 1:3.5와 1:4.0의 경우 폴리머 시멘트비를 20%로 너무 높으면 투수성능이 0에 가깝게 나타났다. 본 실험에서의 투수계수는 전반적으로 투수성 아스팔트 혼합물의 배합설계 기준등의 투수계수 기준치인 $1.0 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 보다 훨씬 크게 나타나 배합에 따른 투수성능에는 문제가 없었다.

이상의 결과로서 투수성 시멘트 콘크리트를 제작할 경우, 역학적 성질과 투수성능의 밸런스가 적절한 배합을 유도할 수 있었다.

5. 결론

이상의 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 물시멘트비에 따른 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도는 물시멘트비의 증가에 따라 증가하여 물시멘트비가 35%일 때 가장 높은 강도를 나타냈으며, 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도는 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 크게 증가하였다. 또한 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도에 단위시멘트량이 커다란 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.
- 2) 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 휨강도는 압축강도의 경우와 비슷한 경향을 나타내고 있다.
- 3) 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 인장강도는 크게 나타나며 폴리머 시멘트비 20%에서 0%에 비해 2~2.5배의 큰 강도를 나타내, 압축강도와 휨강도에 비해 보다 더 큰 영향을 받았다.
- 4) 투수성 폴리머 시멘트 콘크리트의 투수계수는 물시멘트비와 폴리머 시멘트비에 커다란 영향을 받아 폴리머 디스퍼션을 혼입할 경우 단위 시멘트량을 높이든지 물시멘트비가 낮은 배합에서 그 투수성능을 발휘할 수 있었다.
- 5) 이상의 결과로서 투수성 시멘트 콘크리트를 제작시 역학적성질을 개선시키기 위해 폴리머 디스퍼션을 혼입할 경우 역학적 성질과 투수성능면에서 적합한 배합을 유도할 수 있었다.

참고문헌

1. 出村克宣 外4人, ポリマ-混入透水コンクリートの開発, セメント・コンクリート論文集, No.47, 1993, pp.226-231.
2. 中西弘光, 低騒音コンクリート舗装, コンクリート工學, 日本コンクリート工學協會, vol.36, No.1, 1998, pp.16-18.
3. C. Caestecker, Test Sections of Noiseless Cement Concrete Pavements, The Ministry of Flemish Community, Environment and Infrastructure Department Roads and Traffic Administration, Cement Concrete Pavements Commission, Belgium, 1997. 4. 28p.
4. 박용모, 조영국, 소양섭, 투수성 폴리머 콘크리트의 성질에 관한 기초적 연구, 한국콘크리트학회 기술학술발표 논문집, Vol.9, No.2, 1997, pp. 363-368.