

폴리머 디스퍼션을 이용한 프리팩트 콘크리트용 주입 모르타르의 배합에 관한 연구

Mix Design of Polymer Grouting Mortar for Prepacked Concrete Using Polymer Dispersions

조 영 국* 김 완 기**
Jo, Young-Kug Kim, Wan-Ki

Abstract

Prepacked concrete has recently been used in the special constructions fields such as underwater concrete work, heavy-weight concrete work, underground structure work, partial repair works for damaged reinforced concrete structures, and polymer-modified mortars have been employed as grouting mortars for the prepacked concrete. The purpose of this study is to recommend the optimum mix design of polymer-modified grouting mortars for prepacked concrete. Polymer-modified mortars using SBR and EVA emulsions as admixture of grouting mortars for prepacked concrete are prepared with various mix proportions such as sand-binder ratio, fly ash replacement ratio, polymer-binder ratio, and tested for flowability, viscosity of grouting mortars, bleeding ratio, expansion ratio, flexural and compressive strengths of grouting mortars and compressive and tensile strengths of prepacked concretes. From the test results, it is apparent that polymer-modified mortars can be produced as grouting mortars when proper mix design is chosen. We can design the mix proportions of high strength mortars for prepacked concrete according to the control of mix design factors such as type of polymer, polymer-binder ratio, sand-binder ratio and fly ash replacement ratio. Water-binder ratio of plain mortars for a constant flowability value are in the ranges of 43% to 50%. SBR-modified mortar has a little water-binder ratios compared to those of plain mortar, however, EVA-modified mortar needs a high water-binder ratio due to a high viscosity of polymer dispersion. The expansion and bleeding ratios of grouting mortars are also controlled in the proper value ranges. Polymer-modified grouting mortars have good flexural, compressive and tensile strengths, are not affected with various properties with increasing fly ash replacement to cement and binder-sand ratio. In this study, SBR-modified grouting mortar with a polymer-binder ratio of 10% or less, a fly ash replacement of 10% to cement and a sand-binder ratio of 1.5 is recommended as a grouting mortar for prepacked concrete.

키워드 : 프리팩트 콘크리트, 폴리머 시멘트 모르타르, 그라우팅 모르타르, 폴리머-결합재비, 블리딩률, 압축강도
Keywords : Prepacked concrete, Polymer-modified mortars, Grouting mortar, Polymer-binder ratio, Bleeding ratio, Compressive strength

1. 서 론

프리팩트 콘크리트는 특수콘크리트로 수중콘크리트 공사, 차폐용 중량콘크리트공사, 지하구조물 공사 등 주로 토목분야에서 널리 이용되고 있다.¹⁾ 프리팩트 콘크리트는 거푸집 내에 굵은골재를 충전한 후 적당한 압력으로 특수 모르타르를 연속하여 주입하므로 시공이음이 없는 대형 구조물의 시공이 가능하다. 특수한 모르타르란 유동성이 크고 재료의 분리가 적으며 적당한 팽창성을 가진 주입모르타르를 말하며, 일반적으로

포틀랜드 시멘트와 골재 외에 플라이 애쉬나 감수제 및 팽창제 등을 혼합한 것이다. 이러한 고유동성의 그라우트제는 복잡한 형상의 타설 및 치기높이의 제한이 없이 시공될 수 있는 장점이 있다.¹⁾ 프리팩트 콘크리트는 재료분리나 수축이 적고 먼저 시공된 콘크리트와의 접착력도 좋아 보수보강 및 수중 콘크리트에 유리하다. 그러나 시공시 측압이 크므로 주입압력 및 주입상승속도를 준수하고 거푸집의 강성을 증대시켜야 하며 혼화제를 사용하여 유동성을 확보해야 한다. 최근에는 이러한 특수 주입용 모르타르로서 역학적 성질 및 내구성면에서 우수한 특수시멘트 또는 폴리머 시멘트 모르타르가 사용되고 있다.²⁾⁻³⁾ 폴리머 시멘트 모르타르는 시공성 및 방수성이 우수하고 타 부재와의 우수한 접착성, 그리고 동결융해 저항성

* 청운대학교 건축공학과 부교수
** 협성대학교 도시·건축학부 부교수

이 커 일반 시멘트 모르타르 보다 내구적이라 할 수 있다.⁴⁾⁻⁵⁾ 본 연구에서는 기존의 주입용 모르타르 배합을 기초로 하여, 유동성 지표인 유하시간의 일정한 범위를 만족하는 물-결합재비를 결정한 후, 각종 실험을 통하여 폴리머 시멘트 모르타르의 주입용 모르타르로서의 적합성을 평가하였으며, 현장에서의 프리캐스트 콘크리트용 주입 폴리머 시멘트 모르타르의 최적배합을 제안하고자 하였다.

2. 실험계획

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 실험에서 사용된 시멘트는 KS L 5201(보통포틀랜드시멘트)의 규정에 따른 국내 S사에서 생산된 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.

2.1.2 잔골재

잔골재는 KS L 5100(시멘트 강도 시험용 표준사)의 규격 품으로 주문진산 표준사를 사용하였다.

2.1.3 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼전

시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼전으로는 SBR과 EVA 에멀전을 사용하였으며, 그 성질은 표 1과 같다.

표 1. 폴리머 디스퍼전의 일반적 성질

폴리머 종류	밀도 (g/cm ³ , 20℃)	pH (20℃)	점도 (mPa·s, 20℃)	고형분 (%)
SBR	1.01	7.8	148	49.0
EVA	1.07	4.8	2,990	55.7

2.1.4 혼화재료

혼화제는 멜라민계 고성능 감수제를 사용하였으며, B사의 플라이애쉬(분말도 3,084 cm²/g, 밀도 2.11 g/cm³)를 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 주입모르타르 제조

폴리머 디스퍼션을 이용한 프리캐스트 콘크리트용 주입모르타르를 제조하기 위하여 표 2와 같이 시멘트에 대한 플라이애쉬 치환률(F/B) 0, 10, 20%, 결합재와 골재의 중량비(S/B)

1:0.5, 1:1, 1:1.5, 폴리머-결합재비(P/B) 0, 5, 10, 15%, 물-결합재비(W/B)는 40~50% 범위안에서, 그리고 팽창재인. 알루미늄 분말 혼입률은 시멘트에 대하여 0.007%, 고성능 감수제는 시멘트 중량에 대하여 0.5% 혼입하여 63개 배합을 설계하였다. 배합절차는 물과 폴리머 디스퍼전을 혼합용기 안에 넣어 섞은 후 플라이 애쉬, 시멘트, 잔골재를 함께 혼합하여 낮은 속도로 예비 비빔을 1분 동안 실시한 후, 빠른 속도로 2분간 본 비빔을 실시하였다.

표 2. 주입용 폴리머 시멘트 모르타르의 배합표

주입용 모르타르 종류	F/B (%)	결합재 : 골재 (S/B)	P/B (%)	W/B (%)	팽창재 (%)	고성능 감수제 (%)
Plain (9개 배합)	0, 10, 20	1:0.5 1:1 1:1.5	0	40~50	0.007	0.5%
SBR 5%, SBR 10%, SBR 15% (27개 배합)	0, 10, 20	1:0.5 1:1 1:1.5	5, 10, 15			
EVA 5%, EVA 10%, EVA 15% (27개 배합)	0, 10, 20	1:0.5 1:1 1:1.5	5, 10, 15			

2.2.2 유동성 시험 및 점도 시험

유동성 시험은 일본토목학회 규준의 JSCE F 521(프리캐스트 콘크리트의 주입 모르타르의 유동성 시험방법(P 플로콘에 의한 방법)에 준하여 그림 1과 같은 유동성시험기를 사용하여 실시하였다. 유동성 시험에서 만족한 배합의 주입모르타르를 그림 2와 같은 브룩필드형 점도계를 이용하여 측정하였다.



그림 1. 유동성 시험

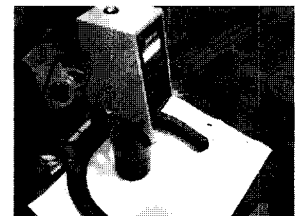


그림 2. 점도측정

2.2.3 블리딩률 및 팽창률 측정

KS F 2433(주입모르타르의 블리딩률 및 팽창률 시험 방법)에 의거하여 그림 3 및 그림 4와 같이 실시하였으며, 블리딩 시험시 폴리에틸렌 비닐에 공기가 들어가지 않도록 하기 위하여 테이핑을 하였으며, 블리딩률과 팽창률은 시험 3시간 후에 측정하였다.

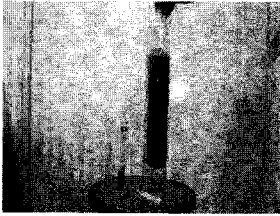


그림 3. 블리딩률 측정

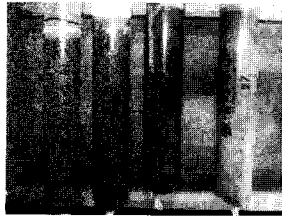


그림 4. 팽창률측정

2.2.4 주입용 모르타르의 압축강도 및 휨강도

KS F 2426(주입모르타르의 압축 강도 시험 방법)에 따라 팽창률시험을 실시한 공시체에 대하여 재령 28일에 있어서 압축강도($\varnothing 4.2\text{cm} \times 4.2\text{cm}$) 시험과 휨강도($\varnothing 4.2\text{cm} \times 16\text{cm}$) 시험을 실시하였다.

2.2.5 프리팩트 콘크리트 제작 및 강도시험

표 2의 배합 중 보통모르타르와 SBR EVA 혼입 모르타르(F/B 10%, S/B 1.5)를 주입하여 만든 프리팩트 콘크리트($\varnothing 10\text{cm} \times 20\text{cm}$)에 대한 예비시험으로서 압축강도와 인장강도를 측정하였다.

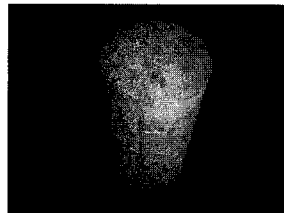
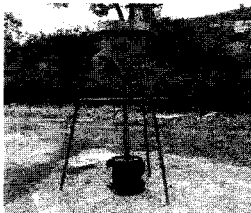


그림 5. 프리팩트 콘크리트 제작 및 완성된 공시체

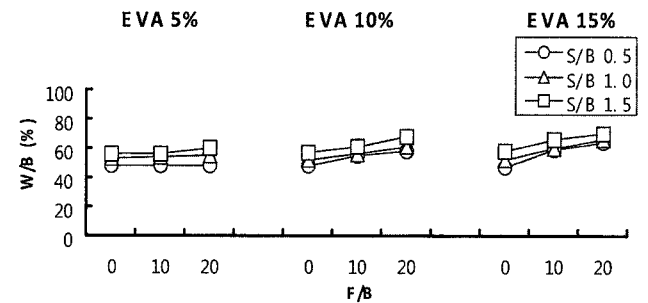
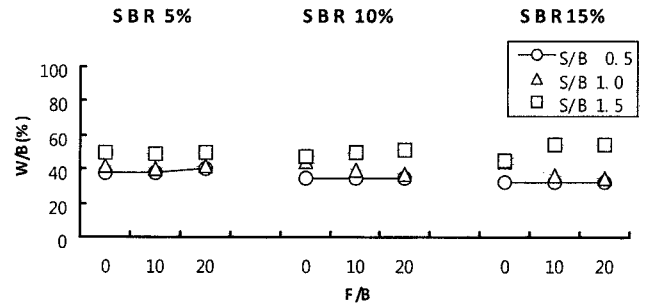
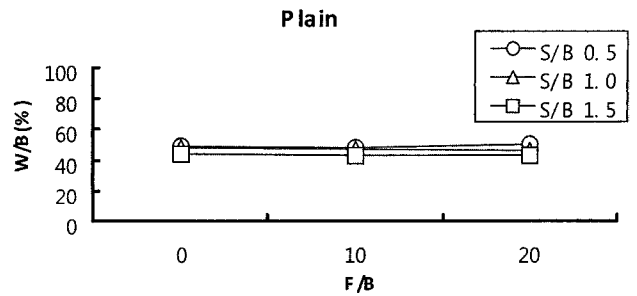


그림 6. 일정한 유하시간을 위한 F/B 변화에 따른 W/B

보여 SBR과는 달리 일정한 경향이 보였다. 이러한 일정한 유하시간 확보를 위한 W/B는 폴리머 종류에 따라 F/B의 영향의 정도차이에 기인한 것으로 볼 수 있다. 즉, 점도가 EVA보다 훨씬 낮은 SBR은 폴리머 입자의 볼-베어링(Ball-bearing) 작용에 의한 유동성 개선 효과가 전반적으로 영향을 미친것에 비해, 점도가 상대적으로 큰 EVA의 경우에는 플라이 애쉬 입자에 의한 유동성 개선 효과가 EVA의 큰 점도 조건에서는 발휘되지 못한 결과로 볼 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 F/B 변화에 따른 W/B

그림 6은 프리팩트 콘크리트용 폴리머 시멘트 주입 모르타르의 유동성시험인 유하시간 25~50초를 만족하기 위한 플라이 애쉬-결합재비(F/B)의 변화에 따른 물-결합재비(W/B)의 결과를 나타내고 있다. 보통시멘트 모르타르의 W/B는 43~50% 범위에 있었으며, F/B의 변화에 따른 큰 차이는 발견할 수 없었다. 다만 유하시간이 25~41초 범위에 있었으며, F/B의 증가에 따라서 유하시간은 약간 증가함을 보여 본 배합에 있어서 플라이 애쉬의 혼입에 따른 유동성의 개선은 거의 나타나지 않았다. SBR 에멀전을 사용한 경우, W/B는 F/B의 변화에 따라 일정한 경향을 알 수 없었으나 폴리머 결합재비(P/B)의 증가에 따라 약간 감소함을 보여 F/B의 변화보다 유동성에 큰 영향을 미쳤음을 알 수 있었다. 그러나 EVA를 사용한 경우에는 F/B의 변화에 따라 W/B가 크게 증가함을

3.2 S/B 변화에 따른 W/B

그림 7은 프리팩트 콘크리트용 폴리머 시멘트 주입 모르타르의 유동성시험인 유하시간 25~50초를 만족하기 위한 결합재-잔골재비(S/B)의 변화에 따른 물-결합재비(W/B)의 결과를 나타내고 있다. S/B의 변화에 따른 주입용 보통시멘트 모르타르의 경우, S/B가 증가함에 따라 W/B가 약간 감소하는 경향을 보였으나, 폴리머 디스퍼션을 사용한 경우에는 폴리머의 종류에 관계없이 W/B가 크게 증가함을 알 수 있었다. 일반적으로 S/B가 증가함에 따라 결합재에 대한 물의 비율이

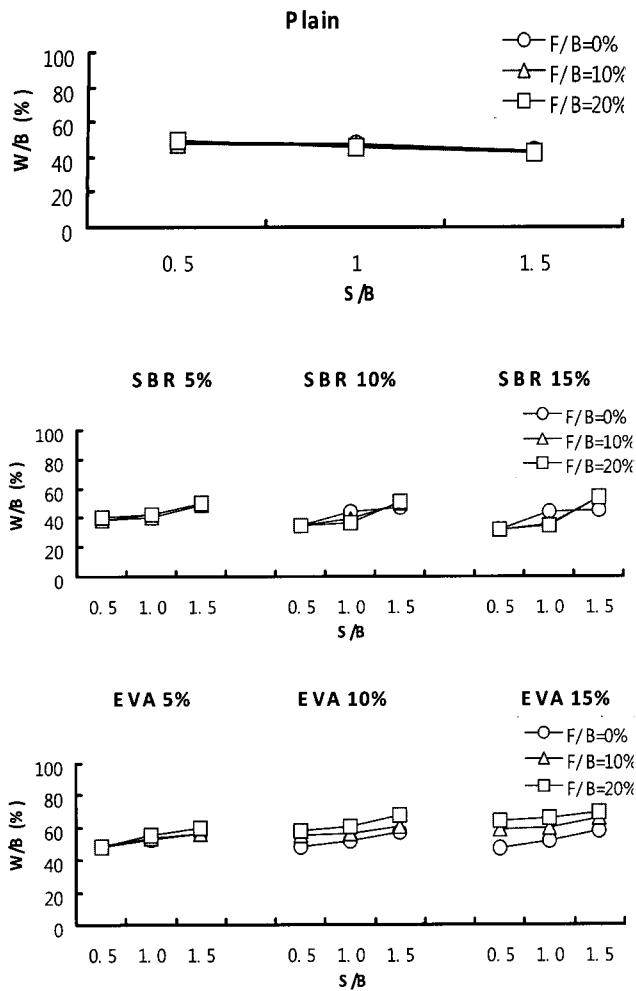


그림 7. 일정한 유하시간을 위한 S/B 변화에 따른 W/B

커져 유동성도 함께 증가하는데, 폴리머를 사용한 경우에는 폴리머 자체의 성질이 S/B 보다 더욱더 영향을 미친 것으로 볼 수 있다. EVA 에멀전을 사용한 경우에는 모든 S/B에서 보통시멘트 모르타르보다 높은 W/B를 나타냈다. 이 또한 점성이 큰 EVA의 폴리머 자체 성질에 의한 것으로 볼 수 있다.

3.3 P/B 변화에 따른 주입용 모르타르의 점도

그림 8은 프리팩트 콘크리트용 폴리머 시멘트 주입 모르타르의 P/B의 변화에 따른 점도를 나타낸 것이다. 보통시멘트 모르타르의 점도는 1,630~2,842MPa.s 범위에 있었으며, SBR을 사용한 경우에는 528~2,743MPa.s 범위로 전반적으로 보통시멘트 모르타르에 비해 낮은 점도를 나타냈다. 그러나 EVA를 사용한 경우에는 5,540~37,760 MPa.s 범위로 SBR에 비해 10~14배 정도 크게 나타났다. SBR의 경우 F/B 0%를 제외하면, P/B의 증가에 따라 점도가 점점 증가함을 알 수 있었으며, S/B 0.5에서 높은 점도를 나타냈다. 또한 EVA를 사용한 경우에는 자체 점도가 매우 커 일정한 유동성에 필요한 W/B도 SBR에 비해 15~30% 정도 높았다. 주입용 폴

리머 시멘트 모르타르의 점도는 전적으로 폴리머 자체의 점도에 크게 의존함을 알 수 있었으며 일정한 유하시간을 위한 물과 플라이 애쉬 혼입에 따른 효과는 미미하였다.

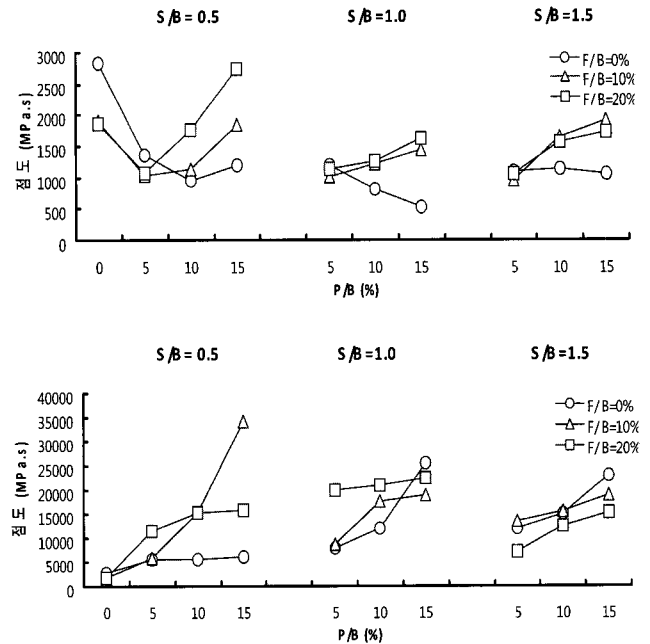


그림 8. P/B 변화에 따른 주입용 모르타르의 점도

3.4 P/B 변화에 따른 주입용 모르타르의 팽창률

그림 9는 프리팩트 콘크리트용 폴리머 시멘트 주입 모르타르의 P/B의 변화에 따른 팽창률을 나타내고 있다. 프리팩트 콘크리트는 미리 굵은골재를 채워 넣은 후 아래에서부터 위로 주입용 모르타르를 채워 나가기 때문에 일정량의 팽창에 의해 균일한 조직을 형성할 수 있다. 보통시멘트 모르타르의 팽창률은 4.00~4.78% 범위에 있었으며, SBR 에멀전을 사용한 경우 P/B 5%에서 약간 증가하다가 P/B의 증가에 따라 크게 팽창률이 감소하여 F/B 0%, P/B 15%에서는 오히려 미세하게나마 수축을 보였다. 일반적으로 폴리머 디스퍼션을 혼입한 경우 시멘트 모르타르 조직의 건조수축 및 경화수축 등을 제어하는 역할을 하기 때문에 팽창제 혼입에 따른 팽창률의 저하를 일으킬 수 있음을 알 수 있었다. EVA를 사용한 경우에도 F/B 20%를 제외하면 P/B의 증가에 따라 팽창률이 감소하는 경향을 보여, 일정한 팽창률을 유지하기 위해서는 배합의 조정이 필요하다. F/B에 따라서는 F/B 0%의 경우가 오히려 F/B 10% 및 F/B 20%에 비해 팽창률이 감소되어 폴리머 시멘트 모르타르 중에서의 플라이 애쉬의 작용은 일반적인 수축률 감소 특성과는 다른 경향을 나타냈다.

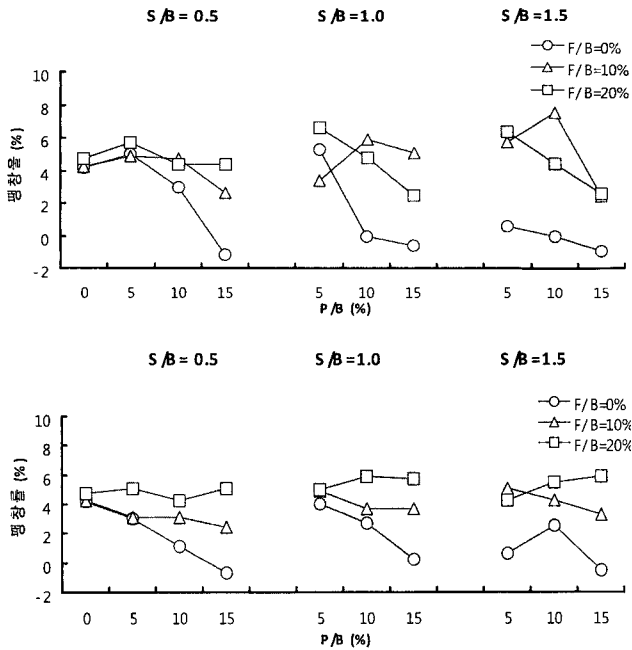


그림 9. P/B 변화에 따른 주입용 모르타르의 팽창률

3.5 P/B 변화에 따른 주입용 모르타르의 불리딩률

그림 9는 프리팩트 콘크리트용 폴리머 시멘트 주입 모르타르의 P/B의 변화에 따른 불리딩률을 나타낸 것이다. 보통시멘트 모르타르의 불리딩률은 3.60~5.48% 범위에 있었으며 F/B 0%, F/B 20%, F/B 10% 순으로 불리딩률이 크게 나타났다. 또한 SBR을 사용한 경우에는 P/B 10%까지는 보통 시멘트 모르타르와 거의 비슷한 불리딩률을 나타냈으며 P/B 15%에는 크게 감소되었다. EVA를 사용한 경우에는 거의 모든 배합에서 보통 시멘트 모르타르에 비해 불리딩률이 크게 낮아졌으며, P/B 15% 경우에는 거의 불리딩이 일어나지 않았다. SBR의 경우에는 점도가 낮아 유동성은 양호하였으나, 불리딩을 제어할 수 있는 배합은 적은 반면, EVA는 점도가 커 유동성은 좋지 않았으나 불리딩을 크게 낮추었다. 따라서 폴리머 종류에 따라 불리딩을 제어 할 수 있는 정도가 달라 배합조정에 의해 목적을 달성할 수 있다. 또한 F/B 0%의 경우에서 폴리머 시멘트 모르타르의 불리딩률이 대체로 낮게 나타나 폴리머 시멘트 모르타르에서는 플라이 애쉬의 혼입에 의한 불리딩 저감효과는 발현되지 못하였다.

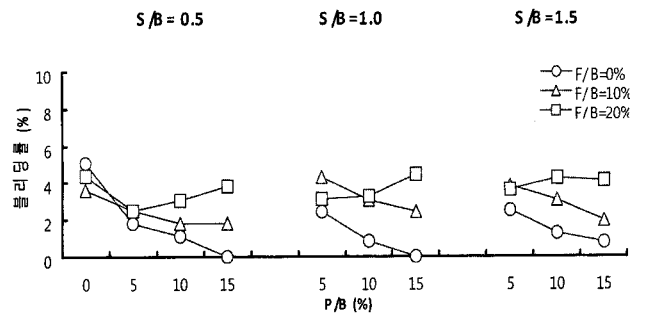
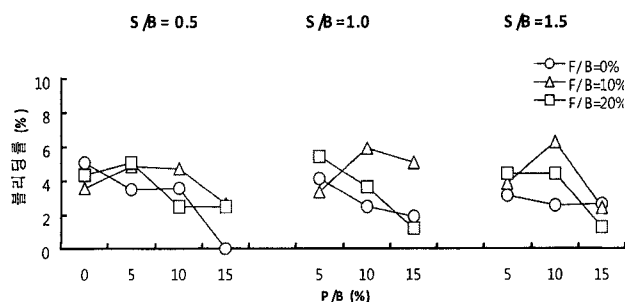


그림 10. P/B 변화에 따른 주입용 모르타르의 불리딩률

3.6 P/B 변화에 따른 주입용 모르타르의 휨강도 및 압축강도

그림 11과 그림 12는 프리팩트 콘크리트용 폴리머 시멘트 주입 모르타르의 P/B의 변화에 따른 휨강도 나타낸 것이다. SBR을 사용한 폴리머 시멘트 모르타르의 휨강도는 최대 17 MPa로 보통시멘트 모르타르에 3~4배의 높은 강도를 나타냈다. 또한 P/B의 증가에 따라 거의 모든 배합에서 휨강도의 개선효과가 나타났으며, 그 정도는 S/B 0.5에서 현저하였다. 또한 플라이 애쉬를 혼입함에 따라 휨강도는 S/B에 따라 약간 차이는 있으나, F/B 10%에서 양호한 휨강도를 나타냈다. 이와같이 보통시멘트 모르타르에 비해 폴리머 시멘트 모르타르의 경우 휨강도가 크게 개선된 것은 폴리머 시멘트 모르타르 내부에서 형성된 폴리머 필름에 의한 휨인성이 크게 증가되었기 때문이다.⁴⁾ EVA를 사용한 경우에는 보통시멘트 모르타르의 휨강도에 비해 낮은 강도를 나타낸 배합이 많이 나타났는데, EVA의 높은 점도에 의해 일정한 유동성을 얻기 위한 W/B가 보통시멘트 모르타르에 비해 최대 20% 높기 때문에 폴리머 자체의 휨인성 개선효과보다 높은 W/B에 의한 휨강도 감소효과가 컸기 때문으로 사료된다.

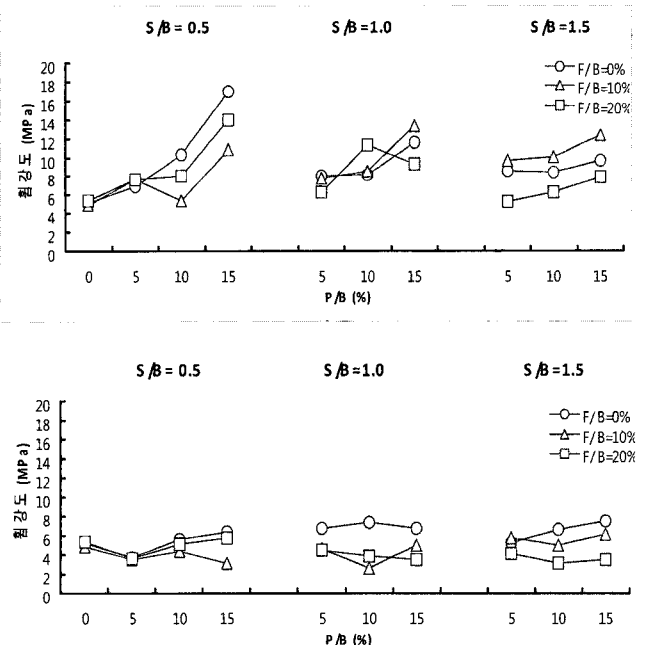


그림 11. P/B 변화에 따른 주입용 모르타르의 휨강도

그림 12는 프리팩트 콘크리트용 폴리머 시멘트 주입 모르타르의 P/B의 변화에 따른 압축강도 나타낸 것이다. 보통 시멘트 모르타르의 압축강도는 44~48MPa 범위에 있었으며, 배합에 따라서는 SBR을 사용한 경우, 보통시멘트 모르타르보다 큰 강도를 나타낸 경우도 있으나, 전반적으로 같거나 낮은 압축강도를 나타냈다. 일반적으로 시멘트 모르타르에 폴리머 디스퍼션을 혼입하면 폴리머 자체의 불베어링 효과에 의해 같은 시공성(플로우 및 슬럼프)에서는 W/B를 대폭 줄일 수 있어 감수효과에 의한 압축강도도 개선되는 효과가 크나, 본 연구에서는 W/B의 차가 별로 크지 않기 때문에 탄성계수가 작은 폴리머의 혼입에 의해 압축강도가 감소하는 경향을 보인 결과로 볼 수 있다. 그러나 본 연구에서도 배합의 조정에 의해 40MPa 이상의 고강도 시멘트 모르타르를 얻을 수 있었다. 이와는 달리 전술한 휨강도와 마찬가지로 유동성 확보를 위한 혼입된 물의 양의 증가에 따라 강도가 감소되었는데 휨강도에 비해 압축강도의 감소가 현저하였다. EVA를 사용한 경우, P/B의 증가에 따라 압축강도도 감소하였으며, 대체로 F/B 10%의 경우가 F/B 20%의 경우에 비해 높은 압축강도를 나타냈다.

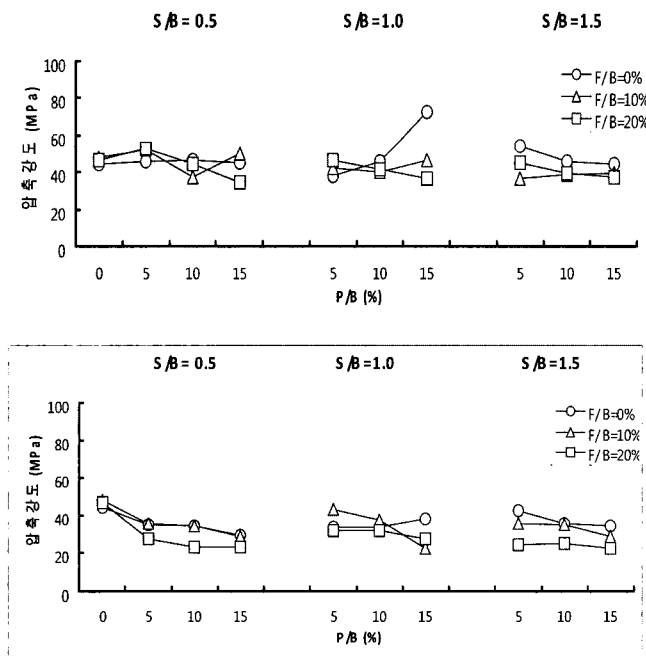


그림 12. P/B 변화에 따른 주입용 모르타르의 압축강도

3.7 프리팩트콘크리트의 압축강도와 활열인장강도

그림 13은 주입용 폴리머 시멘트 모르타르로 만든 프리팩트 콘크리트의 압축강도와 활열인장강도를 나타내고 있다. 프리팩트 콘크리트의 압축강도는 재령 28일에서 SBR 10%가 가장 큰 강도를 나타냈으며 보통 시멘트로 만든 프리팩트 콘크리트에 비해 최대 20~25% 개선되었으며, EVA의

경우에는 같거나 약간 낮게 나타났다. 또한 장기 재령인 90일의 압축강도는 폴리머 시멘트 모르타르로 만든 프리팩트 콘크리트 압축강도가 보통 프리팩트 콘크리트 보다 동등하거나 약간 작은 강도를 나타냈다. 프리팩트 콘크리트의 인장강도는 EVA 10%와 EVA 15%를 제외하면 모든 재령에서 폴리머 시멘트 모르타르로 만든 프리팩트 콘크리트가 보통 프리팩트 콘크리트보다 높은 강도를 보여, 전술한 압축강도보다 폴리머 혼입 효과가 크게 나타났다. 이는 시멘트 매트릭스 안에서 형성된 폴리머 필름은 휨인성을 증가시키는 역할을 담당하기 때문으로 압축강도에 비해 활열 인장강도에서 큰 개선효과를 보였다.

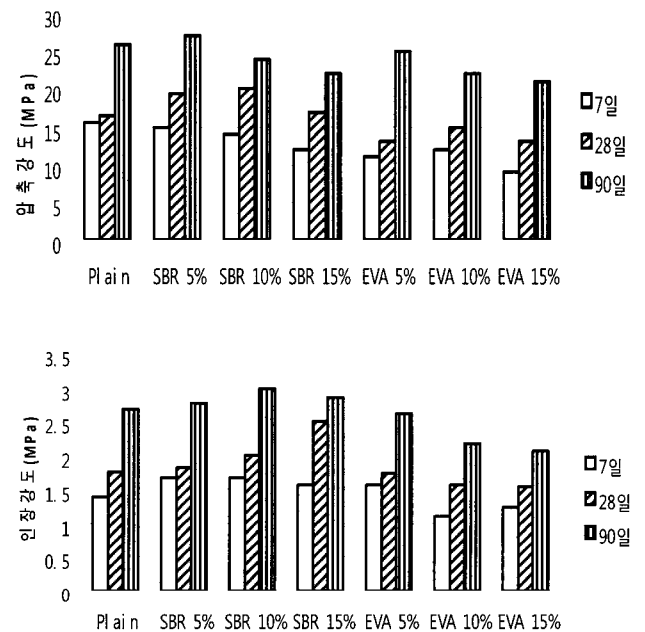


그림 13. 프리팩트 콘크리트의 압축강도와 인장강도

프리팩트 콘크리트의 역학적 성질 및 내구성 향상을 위한 주입용 모르타르의 배합에 관한 본 연구결과, 폴리머 시멘트 모르타르도 우수한 주입용 모르타르로 사용이 가능하며, 폴리머 종류와 P/B, S/B, W/B에 의해 성질이 크게 좌우될 수 있어 현장사정과 콘크리트 사용조건에 맞는 배합 선택이 중요한 것으로 나타났다.

4. 결 론

폴리머 디스퍼션을 이용한 프리팩트 콘크리트용 주입 모르타르의 배합에 관한 연구의 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 주입용 폴리머 시멘트 모르타르의 유하시간, 점도, 팽창률

및 블리딩률의 시험결과, 프리팩트 콘크리트용 크라우팅 모르타르로서 사용이 가능한 배합을 도출할 수 있었다.

- 2) 주입용 플리머 시멘트 모르타르의 경우 휨강도는 보통 시멘트 모르타르에 비해 최대 3~4배 크게 나타났으며, 압축강도의 경우에는 동일 수준이거나 약간 낮은 강도를 나타냈다.
- 3) 프리팩트 콘크리트의 압축강도는 재령 28일에서 SBR 10%가 가장 큰 강도를 나타냈으며 보통 시멘트로 만든 프리팩트 콘크리트에 비해 최대 20~25% 개선되었으며, 인장강도는 EVA 10%와 EVA 15%를 제외하면 모든 재령에서 플리머 시멘트 모르타르로 만든 프리팩트 콘크리트가 보통 프리팩트 콘크리트보다 높은 강도를 보였다.
- 4) 플리머 시멘트 모르타르를 프리팩트 콘크리트 주입용 모르타르로 사용할 때, SBR의 경우 P/B 10% 이하 EVA의 경우 5%, F/B 10%이하, S/B 1.0 또는 1.5를 일반적으로 사용할 수 있는 배합으로 정할 수 있다.
- 5) 본 연구는 압축강도, 휨강도 및 인장강도의 역학적 성질을 파악하였으나, 기존 연구결과인 플리머 시멘트 모르타르의 내약품성, 내동해성, 중성화 저항성, 방수성 등 우수한 내구성⁴⁾을 감안하면 보다 더 프리팩트 콘크리트용 주입 모르타르로 사용 타당성이 있는 것으로 볼 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 청운대학교 학술연구조성비의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 소양섭 외 3인, 프리팩트 플리머 시멘트 콘크리트용 주입 플리머 시멘트 모르타르의 성질에 관한 연구, 한국콘크리트 학회 가을학술발표회 논문집, pp.350-355, 1998
2. 양승규 외 3인, 초속경성 모르타르를 주입한 프리팩트 콘크리트의물성 평가, 한국콘크리트 학회 가을학술발표회 논문집, pp.651-653, 2005
3. ACI Committee 304. Guide for the Use of Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete Applications, ACI materials Journal, Novemver-December Vol.88, No.6, pp.650-668, 1991
4. Ohama, Y., Demura, K., and Kim, W., Properties of Polymer-Modified Mortars Using Redispersible Polymer Powers, Proceedings of the First East Asia

Symposium on Polymers in Concrete, Kangwon National University, Chuncheon, Korea, pp.81-90, 1994

5. Ohama, Y., Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars Properties and Process Technology, Noyes Publications, 1995

(접수 2008. 9. 11, 심사 2008. 10. 7, 게재확정 2008. 10. 14)