

폐유리분말을 충전재로 사용한 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 공학적 성질

성찬용¹ · 김태호^{2*}

¹충남대학교 지역환경토목학과, ²충남대학교 대학원 농공학과

Engineering properties of permeable polymer concrete for pavement using powdered waste glass as filler

Chan-Yong Sung¹, Tae-Ho Kim^{2*}

¹Dept. of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Dept. of Agricultural and Engineering, Graduate School, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Received on 11 February 2011, revised on 7 March 2011, accepted on 9 March 2011

Abstract : This study was performed to evaluate the void ratio, compressive and flexural strength, and permeability coefficient used powdered waste glass, CaCO₃, recycled coarse aggregate and unsaturated polyester resin to find optimum mix design of permeable polymer concrete for pavement. The void ratio and permeability coefficient of permeable concrete for pavement was decreased with increasing the powdered waste glass, respectively. The compressive strength and flexural strength was increased with increasing the powdered waste glass, respectively. In addition, this study found out that required amount of binder was decreased with increasing the powdered waste glass. This fact is expected to have economical effects during the use of powdered waste glass in the manufacture of permeable polymer concrete for pavement. Therefore, powdered waste glass and recycled coarse aggregate can be used for permeable polymer pavement.

Key words : Powdered waste glass, Recycled aggregate, Permeable polymer concrete, Void ratio, Compressive and flexural strength, Permeability coefficient, Pavement

I. 서론

최근 우리나라는 경제발전에 따른 고도의 산업화에 의해 산업 및 생활폐기물의 발생량이 증가하여 매립부지의 부족과 환경오염 등의 문제가 발생하고 있다. 그 중 유리의 경우 더욱 심각한 문제를 일으키고 있는 실정으로 유리제품의 활용이 증대됨에 따라 폐유리 발생량도 점차 증대되고 있다. 또한, 건설폐기물의 양이 급속하게 증가되고 있으며, 최근 환경문제에 대한 인식의 변화로 산업폐기물 처리 및 건설폐기물의 활용에 대한 관심이 고조되고 있다(Park, 2002).

국내의 연간 유리 총생산량은 약 420만 톤이며, 그중 약 36%는 관유리, 6%는 유리섬유 제품, 58%가 병 등의 용기로 사용되고 있다. 폐유리 발생량은 연간 약 73만 톤으로

이 중 53만 톤인 약 73%가 재활용이 되고, 나머지는 대부분이 매립되어 환경오염을 유발하고 있는 실정이다(환경부, 2007). 또한, 갈수록 유리제품의 활용이 증대됨에 따라 발생량이 증가하고 있으나 재활용률이 높지 않으며 매립지의 부족 등으로 환경문제를 야기할 수 있어 이를 재활용하기 위한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다(Park과 Lee, 2002).

이에, 콘크리트에 폐유리를 사용하는 것은 친환경적인 측면에서 많은 중요성을 가지고 있다(Topcu and Canbaz, 2004). 국내에서도 폐유리를 건설재료로 활용하기 위한 연구가 진행되고 있으나, 폐유리와 시멘트의 알칼리성분에 의한 화학적 반응인 알칼리-실리카 반응(ASR)에 의해 유발되는 콘크리트의 팽창으로 인해 그 사용이 제한되기도 한다(Park, 2002).

한편, 산업의 발달에 따라 천연골재자원은 감소되고, 구조물 해체 시 막대한 양의 건설폐기물이 발생됨에 따라 도

*Corresponding author: Tel: +82-42-821-5791

E-mail address: taerut@nate.com

Table 1. General properties of unsaturated polyester resin.

| Specific gravity at 20°C | Viscosity (20°C, poise) | Styrene content(%) | Acid value |
|--------------------------|-------------------------|--------------------|------------|
| 1.12 | 3.5 | 37.2 | 26.5 |

Table 2. Physical properties of powdered waste glass.

| Grain size (mm) | Specific gravity | Color | Unit weight (kg/m ³) | Specific surface (cm ² /g) |
|-----------------|------------------|-------|----------------------------------|---------------------------------------|
| < 0.15 | 2.62 | Gray | 1,326 | 3,218 |

Table 3. Physical properties of CaCO₃.

| Grain size (mm) | Specific gravity | Color | Specific surface (cm ² /g) | Bulk density (kg/m ³) |
|-----------------|------------------|-------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| < 0.15 | 2.92 | White | 3,150 | 1,378 |

Table 4. Physical properties of recycled aggregate.

| Size (mm) | Specific gravity | Absorption ratio(%) | F.M | Bulk density (kg/m ³) |
|-----------|------------------|---------------------|------|-----------------------------------|
| 5-10 | 2.62 | 1.87 | 6.49 | 1,562 |

시 및 주거 환경 파괴의 주범이 되고 있으며, 이러한 폐콘크리트를 활용하기 위한 연구는 그 중요성이 증대되어 영국, 미국 등 선진국에서는 재생골재 콘크리트를 실용화하고 있으나, 우리나라는 1994년, 한국자원재생공사법을 시행함에 따라 폐기물을 재활용하는 산업이 촉진되고, 이를 실용화하기 위한 노력으로 폐기물 재활용 촉진을 위한 정책 및 법률의 제정이 이루어지고 있다(Sung과 Kim, 2010).

또한, 우리나라의 도로포장은 불투수성의 시멘트 콘크리트 또는 아스팔트 포장에 주를 이루어, 강우 시 우수를 하천이나 강으로 직접 배출하기 때문에 포장면 밑에 우수의 침투가 이루어지지 않아 지하수자원의 확보가 어려운 실정이다(Lho 등, 2007), (Lee와 Joo, 2002). 한편, 폴리머를 사용한 콘크리트는 보통 시멘트를 사용한 콘크리트보다 접착성, 내구성, 내마모성, 내충격성, 내화학적성, 내염성, 방수성, 수밀성 등이 우수하고 경화속도가 빠르며, 특히, 압축강도 뿐만 아니라 휨강도가 월등히 큰 것으로 알려져 있다(Sung 등, 1998), (Folwer, 1994). 또한, 폴리머 콘크리트는 1970년대부터 건설분야에서 다양하게 사용되고 있으며, 시공이 간편하고 품질이 균일하여 품질관리에 유리하다.

따라서 본 연구에서는 결합력이 높은 불포화폴리에스터 수지와 국내에서 부산되는 재생골재, 폐유리분말, 탄산칼슘을 사용하여 투수성 폴리머 콘크리트의 공극률, 투수계수, 강도 등과 같은 공학적 특성을 구명하여 포장용 투수성 콘크리트에 활용하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 결합재

폴리머 콘크리트 제조에 이용되는 결합재는 메틸에틸케톤 프록사이드가 55% 함유된 DMP 용액을 개시제로 사용하는 불포화 폴리에스터 수지를 사용하였으며, 이에 대한 일반적 성질은 Table 1과 같다.

나. 충전재

폴리머 콘크리트 제조 시 충전재를 사용하는 주된 목적은 단위체적당 수지의 사용량을 감소시키고 점성을 증가시켜 부착력을 크게 할 목적으로 미립재를 사용한다. 충전재는 무기질 분말이어야 하고, 수분함량은 1%미만이어야 하며, 구형이고, 세립자로 형상이 불규칙하여 비표면적이 큰 것일수록 유리하다(Sung, 1995).

본 연구에서는 비교적 가격이 저렴한 탄산칼슘과 폐유리분말을 사용하였으며, 폐유리분말은 폐유리 수거 전문업체인 국내 K사의 것으로, 본 실험실에서 구비하고 있는 볼밀(Ball Mill)을 이용하여 분쇄한 것을 사용하였고, 이에 대한 일반적 성질은 Table 2, 3과 같다.

Fig. 1은 폐유리 수거 전문업체인 K사에서 가져온 폐유리 조각의 모습이고, Fig. 2는 실험실에서 구비하고 있는 볼밀(Ball Mill)을 이용하여 분쇄한 폐유리 분말의 모습이다.

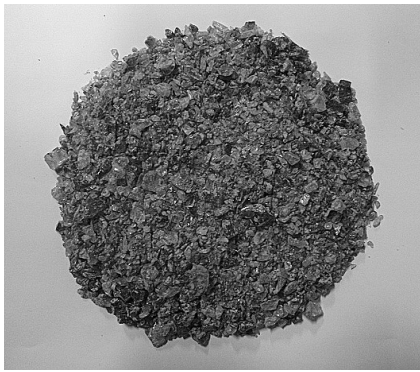


Fig. 1. Before crushing waste glass.

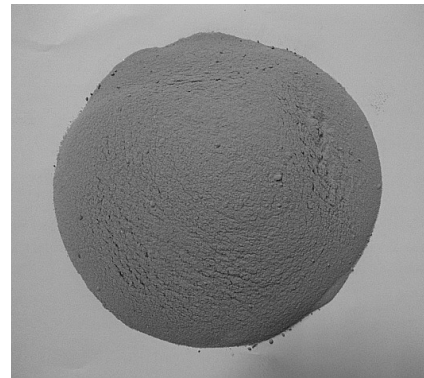


Fig. 2. After crushing waste glass.

Table 5. Mix design of permeable polymer concrete for pavement.

(Unit : kg/m³)

| Mix type | Binder | Recycled aggregate | Filler | |
|----------|--------|--------------------|--------|-------------------|
| | | | WG | CaCO ₃ |
| PWG1 | 177 | 1,575 | - | 218 |
| PWG2 | 175 | 1,575 | 22 | 195 |
| PWG3 | 173 | 1,572 | 43 | 173 |
| PWG4 | 171 | 1,570 | 65 | 151 |
| PWG5 | 170 | 1,568 | 87 | 130 |
| PWG6 | 168 | 1,568 | 107 | 107 |
| PWG7 | 167 | 1,565 | 129 | 86 |
| PWG8 | 165 | 1,564 | 150 | 64 |
| PWG9 | 164 | 1,560 | 172 | 43 |
| PWG10 | 162 | 1,558 | 193 | 22 |
| PWG11 | 160 | 1,555 | 214 | - |

*PWG : Permeable polymer concrete using powdered waste glass and CaCO₃

*WG : Powdered waste glass

다. 골재

굵은골재는 재생골재를 사용하였으며, 이에 대한 물리적 성질은 Table 4와 같다.

2. 배합설계 및 공시체 제작

가. 배합설계

일반콘크리트의 배합은 시멘트, 물, 잔골재, 굵은골재 및 혼화제로 이루어지며, 다공성콘크리트의 배합은 공극을 확보하기 위하여 잔골재를 사용하지 않는 경우가 많기 때문에 강도와 연속공극을 어떻게 균형있게 확보하는 문제가 중요하다(Sung, 1997). 따라서 투수성 포장에 위한 다공성 콘크리트의 배합은 강도와 공극을 고려하며 폐유리분말과 탄산칼슘의 사용량에 역점을 두었으며, 포장용 투수성 콘

크리트의 배합은 포장의 공극률 기준 8%와 투수계수 기준인 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 를 만족할 수 있도록 설계공극률을 15%로 하고 예비실험을 통하여 기본배합을 도출하였다(토목공사 표준 일반 시방서, 2005). 결합재는 예비실험을 통하여 일정한 점성과 유동성을 가질 수 있도록 적절한 양을 선정하여 혼합하였고, 충전재의 혼합비에 따른 공학적 특성을 구명하기 위해 폐유리분말과 탄산칼슘을 중량비로 각각 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10, 100:0의 11종류로 하였으며, 그 배합설계는 Table 5와 같다.

나. 공시체 제작 및 양생

포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 공시체 제작은 KS F 2419(폴리에스터 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제

작 방법)에 규정된 방법에 준하였으며, 경화제는 작업 시 온도와 제작시간을 고려하여 결합재 중량의 1%를 사용하였다(ACI, 1986). 투수성 폴리머 콘크리트의 혼합은 결합재인 불포화폴리에스터 수지를 혼합된 재료에 투입하여 약 3분간 고속믹서기로 혼합하여 결합재가 골재를 충분히 피복할 수 있도록 하였으며, 피복된 골재를 몰드에 타설하여 다짐을 실시하였고, 2시간 후 탈형하여 재령 7일까지 상온에서 기건양생을 하였다.

3. 시험방법

가. 공극률 시험

공극률은 $\varnothing 75 \times 150$ mm의 공시체를 기건상태의 중량과 수중에서의 중량을 측정하여 다음 식에 의하여 산출하였다.

$$P_0 = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \times 100$$

여기서, P_0 = 공극률(%)

W_1 = 수중에서의 공시체 중량(g)

W_2 = 기건양생한 공시체의 중량(g)

V = 공시체의 체적(cm^3)

나. 압축강도 시험

압축강도는 $\varnothing 75 \times 150$ mm인 공시체를 KS F 2481(폴리에스터 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 측정하였다.

다. 휨강도 시험

휨강도는 $60 \times 60 \times 240$ mm의 공시체를 KS F 2482(폴리에스터 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 측정하였다.

라. 투수계수 시험

투수계수는 $100 \times 100 \times 35$ mm의 공시체로 측정하였으며, 일반 콘크리트의 투수계수보다 크기 때문에 KS F 2322(흙의 투수시험방법)의 정수위 투수 시험방법에 준하여 실시하였고, 5회 반복하여 다음 식에 의하여 산출하였다.

$$K = \frac{VL}{Ah(t_2 - t_1)}$$

여기서, K = 투수계수(cm/s)

L = 시료 높이(cm)

A = 단면적(cm^2)

h = 수두(cm)

$V = (t_2 - t_1)$ 시간내에 통과한 수량(cm^3)

III. 결과 및 고찰

1. 공극률

Fig. 3은 폐유리분말과 탄산칼슘의 혼입량에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 공극률을 나타낸다. 본 시험에서는 폐유리분말의 혼입량이 증가할수록 공극률이 감소하는 경향을 나타내었는데, 이러한 결과는 투수성 폴리머 콘크리트에 사용된 폐유리분말이 탄산칼슘에 비해 다짐이 더욱 잘 된다는 것을 알 수 있다. 또한 비표면적이 상대적으로 크기 때문에 페이스트에 의한 골재의 피복 두께가 증가하여 탄산칼슘에 비하여 공극이 감소한 것으로 생각된다. 이러한 결과는 투수성 폴리머 콘크리트의 공극률은 사용된 굵은골재 및 잔골재의 입도와 배합비에 의해 좌우 될 뿐만 아니라 결합재와의 결합으로 페이스트를 형성하는 충전재의 사용량 및 비표면적이 크게 좌우되고(Sung과 Kim, 2007), Park 등 (2005)은 폴리머와 재생골재를 사용한 투수 콘크리트에서 재생골재의 비표면적이 쇄석에 비하여 크기 때문에 재생골재의 혼입율이 증가할수록 공극률이 감소하는 경향을 나타낸다고 보고한 연구와 유사한 결과라 하겠다.

한편, 본 시험 결과, 폐유리분말의 혼입량에 따른 공극률

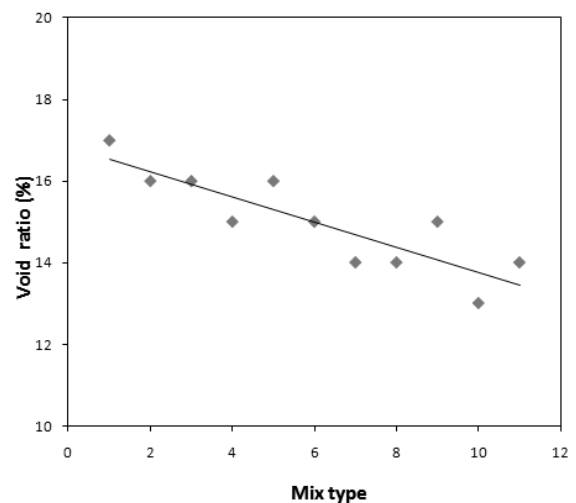


Fig. 3. Void ratio with mix type.

은 모든 배합에서 13~17%로, 국내의 투수 콘크리트 포장의 공극률 규정인 8% 이상을 모두 상회하는 것으로 나타났는데, 모든 배합에서 규정공극률을 상회하는 가장 큰 이유 중 하나는 재생골재의 비표면적이 일반 골재에 비하여 크기 때문에 페이스트가 재생골재 표면을 완전히 피복할 수 없게 되어 공극률이 다소 증가되었기 때문이라 생각된다 (Park et al. 2005). 또한, 배합설계 시 고려한 설계 공극률 15%에 대한 실측 공극률이 상기의 조건을 만족하는 것으로 나타나 본 시험에 사용된 혼합 방법 및 다짐 방법이 적정한 것으로 판단된다.

2. 압축강도

Fig. 4는 폐유리분말과 탄산칼슘의 혼입량에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이다. 폴리머 콘크리트의 대표적인 역학적 특성 중의 하나가 압축강도가 높다는 것이다. 압축강도는 배합설계의 기준이 될 뿐만 아니라, 타설 시 거푸집의 제거시기를 결정할 수 있는 기준이 된다. 투수성 콘크리트의 강도는 일반 콘크리트와는 달리 골재와 골재의 결합에 의하여 강도 특성이 좌우되는 것으로 알려져 있다. 본 시험에서는 폐유리분말의 혼입량이 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었는데, 이러한 결과는 공극률의 시험결과와 마찬가지로 폐유리분말의 혼입량이 증가할수록 골재의 피복 두께가 증가하여 골재와 골재의 결합력이 커져 압축강도가 증가한 것으로 판단된다. Park et al. (2005)은 굵은골재는 재생골재를 75% 이상, 시멘트 혼화용 수성 폴리머(SBR)를 10% 이상 혼합한 결과 우리나라의 투수 콘크리트 포장을 위한 투수 콘크리트의 압축강도 설계기준을 만족하였으며, 포장용 콘크리트로의 적용이 가능하다고 발표하였다. 또한, Sung과 Kim (2010)은 폴리머를 사용한 투수성 콘크리트에서 충전제로 탄산칼슘을, 굵은골재로 재생골재만을 사용한 연구를 통해 투수 콘크리트 포장을 위한 압축강도 규정에 만족하는 결과를 보고한 바 있다.

한편, 본 시험 결과, 폐유리분말의 혼입량에 따른 압축강도는 17~21MPa를 나타내었는데, 재생골재를 사용할 경우 일반골재와 적정량 혼합하여 사용하면 더욱 만족스러운 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 폐유리분말이 혼입되지 않은 배합보다 폐유리분말이 100% 혼입된 배합의 압축강도가 1.2배 정도 증진이 된 것으로 나타나, 우리

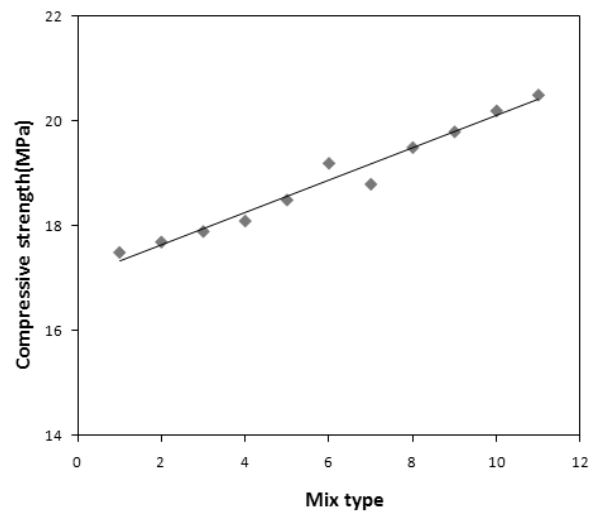


Fig. 4. Compressive strength with mix type.

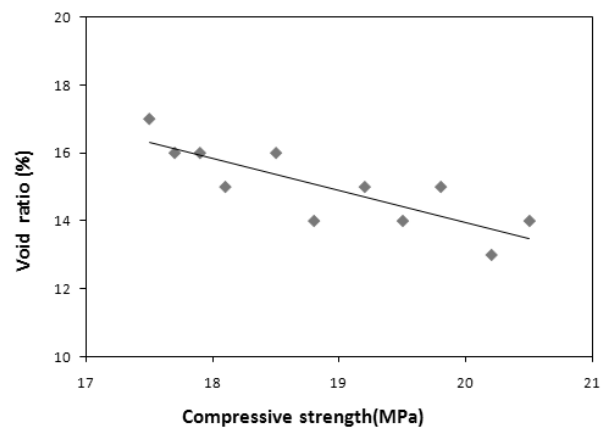


Fig. 5. Relation between compressive strength and void ratio.

나라의 투수 콘크리트 포장을 위한 규정강도 조건을 만족하는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 압축강도와 공극률의 관계를 나타내며, 압축강도가 증가할수록 공극률은 감소하는 것으로 나타났다. 압축강도가 증가하기 위해서는 골재의 피복 두께를 증가시켜야 하는 반면, 연속 공극률을 증가시키기 위해서는 골재의 피복 두께를 감소시켜야 하는 상반관계가 있음을 알 수 있다(Sung과 Kim, 2007).

3. 휨강도

폴리머 콘크리트는 골재의 수분함량에 따라 강도의 변화가 크며, 수분이 많으면 강도가 현저히 저하하는 것으로 알려져 있다. 또한 폴리머 콘크리트는 재령 7일까지는 재령

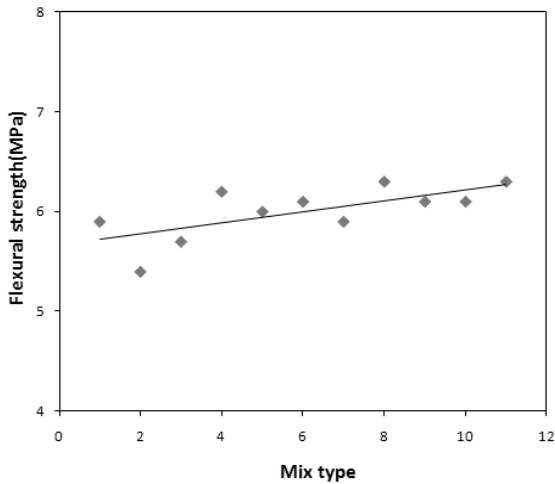


Fig. 6. Flexural strength with mix type.

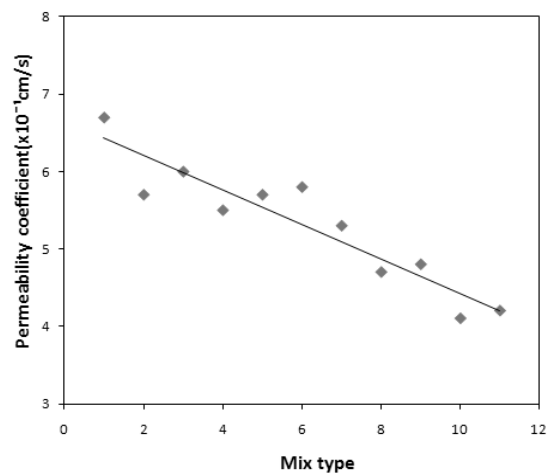


Fig. 7. Permeability coefficient with mix type.

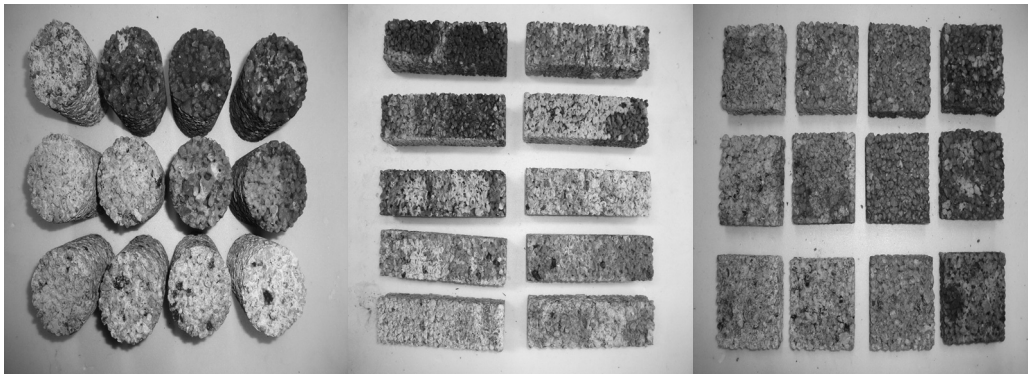


Fig. 8. Specimens of permeable polymer concrete for pavement.

에 따라 강도가 증가하며, 그 이후의 강도 증진은 거의 나타나지 않는 것으로 보고되고 있다(Ohama, 1973). 따라서 압축강도 및 휨강도를 재령 7일에 측정하였으며, 폐유리분말과 재생골재를 사용한 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 휨강도 시험결과를 도시하면 Fig. 6과 같다. Fig. 6과 같이 휨강도는 5.4~6.3 MPa의 범위로 나타났으며, 이는 우리나라 도로교시방서에 있는 포장 콘크리트의 휨강도 규정인 4.5 MPa 이상을 상회하는 것으로 나타났다. 또한, 폐유리분말의 혼입량이 증가함에 따라 휨강도 역시 압축강도와 같이 증가하는 경향을 나타내었다.

Park et al. (2005)은 투수성 콘크리트에 폴리머를 10% 이상 혼입하면 재생골재를 75% 혼합하여 사용한 경우에도 규정강도 이상의 휨강도를 나타낸다고 보고한 바 있다.

4. 투수계수

Fig. 7은 폐유리분말과 탄산칼슘의 혼입량에 따른 포장

용 투수성 폴리머 콘크리트의 투수계수를 나타낸 것이다. 투수계수는 공극률과 마찬가지로 폐유리분말의 혼입량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었는데, 이러한 결과는 탄산칼슘의 비표면적이 폐유리분말에 비하여 상대적으로 작기 때문에 페이스트에 의한 골재의 피복두께가 감소하였기 때문으로 판단된다. 투수계수는 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 투수 특성을 판단할 수 있으며, 우수 시 강우강도에 관계없이 우수를 포장면 밑이 포화될 수 있도록 투수시킬 수 있는 능력이 요구된다(Sung, 1995).

한편, 본 시험 결과, 폐유리분말의 혼입량에 따른 투수계수는 모든 배합에서 $4.1 \sim 6.7 \times 10^{-1}$ cm/s를 나타내어, 국내외의 투수성 시멘트 콘크리트 포장에 요구되는 투수계수에 관한 규정(1×10^{-2} cm/s)을 상회하고 있어, 폐유리분말과 폴리머를 사용한 포장용 투수성 콘크리트는 투수성 포장을 위한 요구조건에 만족하는 것으로 나타났다. Fig. 8은 투수성 포장블록을 타설한 후의 모습을 보여준다.

IV. 결론

본 연구는 폐기물로 분류되고 있는 폐유리분말과 폐콘크리트에서 분리한 재생골재를 결합력이 높은 불포화폴리에스터 수지와 함께 사용하여, 폐유리분말의 혼입량에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 공학적 특성을 구명하기 위한 것으로, 본 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공극률은 폐유리분말의 혼입량에 관계없이, 국내의 투수 콘크리트 포장의 공극률 규정인 8% 이상을 모두 상회하는 것으로 나타났으며, 배합설계 시 고려한 설계 공극률 15%에 대한 실측 공극률이 상기의 조건을 만족하는 것으로 나타났다.
2. 압축강도는 폐유리분말의 혼입량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었으며, 폐유리분말이 혼입되지 않은 배합보다 폐유리분말이 100% 혼입된 배합의 압축강도가 1.2배 정도 증진된 것으로 나타났고, 우리나라의 투수 콘크리트 포장을 위한 규정강도 조건을 만족하는 것으로 나타났다.
3. 휨강도는 폐유리분말의 혼입량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었고, 배합비에 따라 5.4~6.3 MPa의 범위로 나타났으며, 이는 우리나라 도로교시방서에 있는 포장 콘크리트의 휨강도 규정인 4.5 MPa 이상을 상회하는 것으로 나타났다.
4. 투수계수는 공극률 시험결과와 같이 폐유리분말의 혼입량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 모든 배합에서 $4.1\sim 6.7\times 10^{-1}$ cm/s를 나타내어, 국내·외의 투수성 시멘트 콘크리트 포장에 요구되는 투수계수에 관한 규정(1×10^{-2} cm/s)을 상회하는 것으로 나타났다.
5. 폐유리분말의 혼입량이 증가함에 따라 필요한 결합재의 양이 감소하고, 압축강도와 휨강도가 증가되어, 포장용 투수성 폴리머 콘크리트 제조 시 폐유리분말을 사용함으로써 경제적인 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 농림수산식품기획평가원의 농림기술개발사업 연구비 지원에 의하여 수행된 결과의 일부임.

참고 문헌

1. ACI. 1986. Guide for the use of polymers in concrete. Journal of ACI. 83(5): 798-829.
2. Folwer DW. 1994 Current uses of polymer concrete in the United States. Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete: 3-9.
3. Lee YS, Joo MK. 2002. Fundamental properties of water-permeable polymer-modified concrete. Journal of the Korea Concrete Institute. 14(3): 402-408. [in Korean]
4. Lho BC, Choi KH, Kim JH. 2007. An experimental study on permeability in elevation of porous concrete using unsaturated polyester resin. Journal of the Korea Concrete Institute 19(2): 163-169. [in Korean]
5. Ministry of Environment. 2007. Main waste generation and disposal current state. [in Korean]
6. Ohama Y. 1973. Mix proportions and properties of polyester resin concrete, polymers in concrete, ACI. SP 40-13: 283-294.
7. Park SB, Lee BC. 2002. An experimental study on mechanical properties of concrete with waste glass and fly ash. Journal of the Korean Solid Wastes Engineering Society 19 (1): 25-33. [in Korean]
8. Park SB, Lee BC. 2002. Expansion properties of mortar using waste glass and industrial by-products. Journal of the Korea Concrete Institute. 14(3): 440-448. [in Korean]
9. Park SB, Yoon ES, Seo DS, Lee J. 2005. Mechanical properties of porous concrete for pavement using recycled aggregate and polymer. Journal of the Korea Concrete Institute. 17(4): 595-602. [in Korean]
10. Sung CY. 1995. Mechanical characteristics of permeable polymer concrete. Proceedings of the '95 Japan and Korea Joint Seminar, Tottori University, Japan. pp. 32-35. [in Korean]
11. Sung CY. 1995. Properties of high performance lightweight polymer concrete. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers. 37(3-4): 72-81. [in Korean]
12. Sung CY. 1997. An experimental study on the development and engineering performance of rice-husk ash concrete. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 39(5): 55-63. [in Korean]
13. Sung CY, Youn JR, Kim KT, Kim YI. 1998. Engineering properties of permeable polymer concrete with rice-husk ash. Journal of Agricultural Science. 25(1): 89-96. [in Korean]
14. Sung CY, Back SC. 2005. Physical and mechanical properties of polymer concrete using recycled aggregate. Journal of Agricultural Science 32(1): 19-27. [in Korean]
15. Sung CY, Kim YI. 2007. Strengths and permeability properties of porous polymer concrete for pavement with different fillers. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 49(4): 51-59. [in Korean]
16. Sung CY, Kim YI. 2010. Planting properties of porous polymer block using recycled coarse aggregates. Journal of Agricultural Science 37(1): 87-96. [in Korean]
17. Topc IB, Canbaz M. 2004. Properties of concrete containing waste glass. Journal of Cement and Concrete Research 34: 267-274.