



폐유리분말과 재생골재를 사용한 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 공학적 성질

Engineering Properties of Permeable Polymer Concrete for Pavement using Powdered Waste Glass and Recycled Coarse Aggregate

성찬용* · 김태호**†

Sung, Chan Yong · Kim, Tae Ho

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the compressive and flexural strength, void ratio 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 compressive and flexural strength of permeable polymer concrete for pavement using powdered waste glass were in the range of 16.8~19.7 MPa and 4.7~6.1 MPa, respectively. It was satisfied the regulation of permeable concrete for pavement (18 MPa and 4.5 MPa). The void ratio and permeability coefficient were decreased with increasing the powdered waste glass, respectively. The void ratio and permeability coefficient were satisfied national regulation of permeable concrete for pavement (8 % and 1×10^{-2} cm/s). 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. Accordingly, the powdered waste glass can be used for permeable concrete material.

Keywords: Permeable polymer concrete, pavement, powdered waste glass, recycled coarse aggregate, strength, void ratio, permeability coefficient

1. 서 론

우리나라의 도로포장은 불투수성의 시멘트 콘크리트 또는 아스팔트 포장이 대부분을 차지하고 있으며, 강우 시 우수를 하천이나 강으로 직접 배출하기 때문에 포장면 아래를 통한 우수의 침투가 이루어지지 않아 지하수자원을 확보하기 어렵다. 또한, 불투수성 포장재료에 의해 호우시 포장면에서 배수구를 통한 우수가 그대로 하천에 유입되어 도시 하천의 유출량이 증가되고 저지대 및 하류지역에서 홍수 피해가 빈번하게 발생하고 있다 (Sung and Kim, 2007). 이에 대한 대안으로 아스팔트 포장에 비해 내구성이 우수한 시멘트 콘크리트 포장의 투수성을 향상시키기 위한 노력으로 도로포장에 투수성 및 배수성이 우수한 포러스 콘크리트를 적용하기 위한 연구가 국내·외에서 많이 진행되고 있다. 최근에는 시멘트의 단점을 개선하기 위한 고분자

결합재의 사용이 크게 증가하고 있으며, 특히 불포화폴리에스테르 수지는 강도 발현, 작업성 및 성형성이 우수하여 높은 결합력이 요구되는 포러스 콘크리트에 활용할 경우 효과가 우수한 것으로 알려져 있다 (Vipulanandan et al., 1988). 또한, 폴리머를 사용한 콘크리트는 보통 시멘트를 사용한 콘크리트보다 접착성, 내구성, 방수성 등이 우수하고 경화속도가 빠른 것으로 알려져 있다 (Swamy and Al-Hamed, 1984).

한편, 우리나라는 경제발전에 따른 고도의 산업화에 의해 산업 및 생활폐기물의 발생량이 증가하여 매립부지의 부족과 환경 오염 등의 문제가 발생하고 있으며, 그 중 재활용이 가능한 우리의 경우 더욱 심각한 문제를 일으키고 있는 실정으로 유리제품의 활용이 증대됨에 따라 폐유리 발생량도 점차 증대되고 있다 (Sung and Kim, 2011). 국내의 경우 연간 유리 총생산량은 약 420만 톤이며 이중 약 36 %는 판유리, 6 %는 유리섬유 제품, 58 %가 병 등의 용기로 사용되고, 이중 폐유리 발생량은 약 73만 톤이며 이 중 53만 톤, 약 73 %가 재활용 되고, 나머지는 대부분이 매립되어 환경오염을 유발하고 있는 실정이다 (환경부, 2007).

우리는 자연에서 분해되는데 약 1,000만년의 시간이 걸리는 것으로 알려져 있으며, 만약 1,000만년 동안 폐유리가 축적된

* 충남대학교 지역환경토목학과

** 충남대학교 대학원 농공학과

† Corresponding author Tel.: +82-42-821-7866

Fax: +82-42-821-8877

E-mail: taerut@nate.com

2011년 8월 24일 투고

2011년 10월 26일 심사완료

2011년 10월 28일 게재확정

다면 그 양은 실로 엄청날 것이다. 따라서 폐유리의 처리 및 재활용 문제가 새로운 관심사로 대두되고 있으며, 이와 관련하여 선진국을 중심으로 각종 폐기물 및 폐유리를 활용하여 자원으로 사용하려는 연구가 진행되고 있다. 이에 따라, 국내에서도 폐유리를 건설재료의 용도로 활용하기 위한 연구가 진행되었지만, 폐유리와 시멘트의 알칼리성분에 의한 화학적 반응인 알칼리실리카 반응 (ASR)에 의해 유발되는 콘크리트의 팽창으로 인해 그 사용이 제한되기도 하였다 (Sung and Kim, 2011).

따라서 본 연구에서는 알칼리실리카 반응에 대한 대안으로, 결합력이 높은 불포화폴리에스터 수지와 국내에서 부산되는 폐기물인 폐유리분말, 재생굵은골재, 탄산칼슘을 사용하여 투수성 폴리머 콘크리트의 강도, 공극률, 투수계수 등과 같은 공학적인 특성을 구명하여 포장용 투수성 콘크리트에 사용하기 위한 것으로, 보통 시멘트 포러스 콘크리트의 낮은 강도 및 내구성 등의 단점을 개선하고, 환경친화형 도로, 광장, 주차장 및 차도의 배수성을 향상시키기 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 결합재

폴리머 콘크리트 제조에 이용한 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 (ACI., 1986; Sung, 1996).

본 연구에서는 충전재로 폐유리분말과, 이를 비교하기 위해 폴리머 콘크리트에 가장 보편적으로 사용되는 탄산칼슘을 사용하였으며, 폐유리분말은 폐유리수거 전문업체인 국내 K사의 것으로, 본 실험실에서 구비하고 있는 볼밀 (Ball Mill)을 이용하여 분쇄한 것을 사용하였으며, 이에 대한 일반적 성질은 Table 2, 3과 같다.

다. 골재

굵은골재는 5-20 mm의 재생골재를 사용하였으며, 이에 대한 물리적 성질은 Table 4와 같다.

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 General 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 General properties of CaCO₃

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

Table 4 Physical properties of recycled coarse aggregate

Size (mm)	Specific gravity	Absorption ratio (%)	F.M	Bulk density (kg/m ³)
5-20	2.62	1.87	6.49	1,562

2. 배합설계 및 공시체 제작

가. 배합설계

보통콘크리트의 배합은 시멘트, 물, 잔골재, 굵은골재 및 혼화재로 이루어지지만, 다공성콘크리트의 배합은 공극을 확보하기 위하여 잔골재를 사용하지 않는 경우가 많기 때문에 강도와 연속공극을 균형있게 확보하는 문제가 중요하다 (Sung, 1997). 또한, 투수성 포장을 위해서는 공극률, 강도, 투수계수 및 내구성 등을 고려해야 하는데, 이러한 공학적인 특성에 영향을 미치는 가장 중요한 요소는 결합재의 양이다. 즉, 결합재의 양이 많으면 골재와 골재 사이의 공극을 채워 불투수층이 형성되어 투수콘크리트의 기능을 할 수 없게 되며, 반대로 결합재의 양이 적으면 충전재와 결합재의 점성, 골재와 골재를 결합시키는 결합력이 부족하게 되어 포장용 콘크리트의 기능을 할 수 없다. 따라서 투수성 폴리머 콘크리트의 강도와 공극률 이 두 가지 조건을 만족시키는 최적의 배합을 도출하는 것이 무엇보다 중요하다.

따라서 투수성 포장을 위한 다공성 콘크리트의 배합은 강도와 공극을 고려하며 폐유리분말과 탄산칼슘의 사용량에 역점을 두었으며, 포장용 투수성 콘크리트의 배합은 포장의 공극률 기준 8 %와 투수계수 기준인 1×10^{-2} cm/s를 만족할 수 있도록 설계공극률을 15 %로 하고 예비실험을 통하여 기본배합을 도출하였다. 결합재는 예비실험을 통하여 일정한 점성과 유동성을 가질 수 있도록 적절한 양을 선정하여 혼입하였으며, 경화제는 작

Table 5 Mix design of permeable polymer concrete for pavement (Unit: kg/m³)

Mix type	Binder	Recycled coarse aggregate	Filler	
			WG	CaCO ₃
PWG1	178	1,575	-	218
PWG2	176	1,575	22	195
PWG3	176	1,577	43	173
PWG4	173	1,577	65	151
PWG5	171	1,578	87	130
PWG6	169	1,578	107	107
PWG7	169	1,580	129	86
PWG8	167	1,580	150	64
PWG9	167	1,581	172	43
PWG10	165	1,583	193	22
PWG11	164	1,584	214	-

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

업 시 온도 및 제작시간을 고려하여 결합재 중량의 1 %를 사용하였고, 충전재의 혼입률은 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 제작 방법)에 규정된 방법에 준하였으며, 투수성 폴리머 콘크리트의 혼합은 결합재인 불포화폴리에스터 수지를 혼합된 재료에 투입하여 약 3분간 고속믹서기로 혼합하여 결합재가 골재를 충분히 피복할 수 있도록 하였고, 피복된 골재를 몰드에 타설하여 다짐을 실시하였으며, 제작 2시간 후 탈형하여 재령 7일까지 상온에서 기건양생을 실시하였다.

3. 시험방법

가. 압축강도 시험

압축강도는 Ø75×150 mm인 공시체를 KS F 2481 (폴리에스터 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 재령 7일에 측정하였다.

나. 휨강도 시험

휨강도는 60×60×240 mm의 공시체를 KS F 2482 (폴리에스터 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 재령 7일에 측정하였다.

다. 공극률 시험

공극률은 Ø75×150 mm의 공시체를 재령 7일에 기건상태의 중량과 수중에서의 중량을 측정하여 다음 식에 의하여 산출하였다.

$$P_0 = \left\{ 1 - \frac{(W_2 - W_1)}{V} \right\} \times 100 \quad (1)$$

여기서, P₀는 공극률 (%), W₁은 수중에서의 공시체 중량 (g), W₂는 기건양생한 공시체의 중량 (g), V는 공시체의 체적 (cm³)을 나타낸 것이다.

라. 투수계수 시험

투수계수는 재령 7일에 100×100×35 mm의 공시체로 측정하였으며, 보통 콘크리트의 투수계수보다 크기 때문에 KS F 2322 (흙의 투수시험방법)의 정수위 투수시험방법에 준하여 5회 반복하여 측정한 값을 다음 식에 의하여 산출하였다.

$$K = \frac{VL}{Ah(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

여기서, K는 투수계수 (cm/s), L은 시료의 높이 (cm), A는 단면적 (cm²), h는 수두 (cm), V는 (t₂-t₁) 시간내에 통과한 수량 (cm³)을 나타낸 것이다.

III. 결과 및 고찰

1. 압축강도

Fig. 1은 폐유리분말의 혼입량에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이다. 투수성 콘크리트의 강도는 보통 콘크리트와는 달리 골재와 골재의 결합에 의하여 강도 특성이 좌우되는 것으로 알려져 있다 (Sung and Kim, 2007). 또한, 투수성 콘크리트의 압축강도는 공극의 크기뿐만 아니라 공극률과 밀접한 관계가 있으며, 동일한 공극률인 경우 공극의 크기가 작을수록 공극의 크기가 동일한 경우 공극률이 작을수록 강도면에서 유리하다 (Sung et al., 2009).

본 연구에서는 폐유리분말의 혼입량이 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었는데, 이러한 결과는 폐유리분말의 혼입량이 증가할수록 골재의 피복두께가 증가하여 골재와 골재의 결합력이 향상되어 압축강도가 증가한 것으로 판단된다. Chae (2002)는 폴리머를 사용한 시멘트 투수콘크리트에서 단위결합재량에 따른 압축강도가 13.2~22.1 MPa 범위를 나타내었다

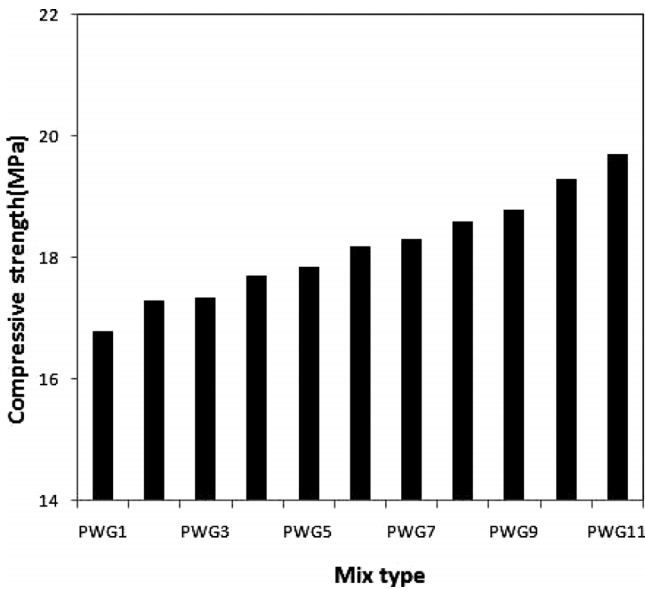


Fig. 1 Compressive strength with each mix type

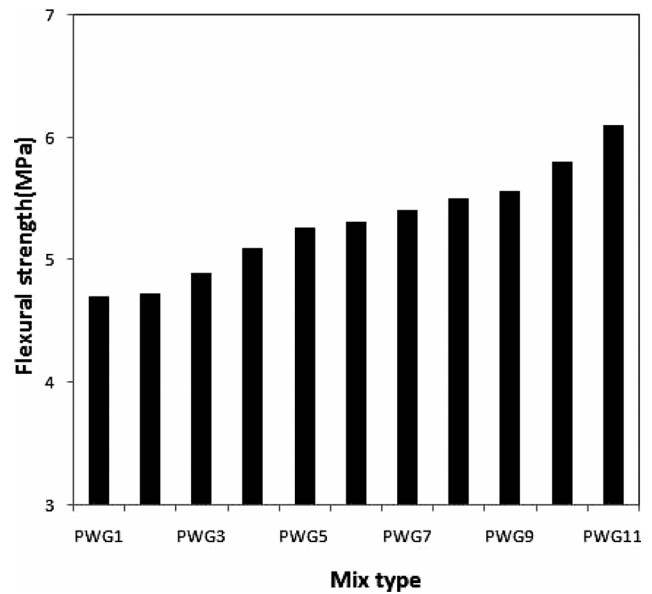


Fig. 2 Flexural strength with each mix type

고 보고하였으며, Sung과 Kim (2010)은 폴리머를 사용한 투수성 콘크리트에서 충전재로 탄산칼슘을, 굵은골재로 재생골재만을 사용한 연구를 통해 투수콘크리트 포장을 위한 압축강도 규정에 만족하는 결과를 보고한 바 있다.

한편, 본 연구 결과에서 나타난 폐유리분말의 혼입량에 따른 압축강도는 16.8~19.7 MPa를 나타내었는데, 재생골재를 사용할 경우 일반골재와 적정량 혼합하여 사용하면 만족스러운 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 폐유리분말의 혼입량에 따른 강도차이는 크게 나타나지 않았으나, 폐유리분말이 100% 혼입된 배합의 압축강도가 폐유리분말이 혼입되지 않은 배합보다 약 1.2배 정도 증진되었으며, 이는 우리나라의 투수콘크리트 포장을 위한 규정강도인 18 MPa에 만족하는 것으로 나타났다.

2. 휨강도

일반적으로 시멘트 콘크리트는 재료의 품질, 배합비, 공기량, 재령, 시공방법에 따라 강도의 차이가 있으며, 폴리머 콘크리트의 강도에 미치는 조건으로는 결합재량, 골재의 강도 및 굵은골재-잔골재 비, 양생방법 및 재령 등이 있다. 이처럼 조건의 차이가 있는 것은 시멘트 콘크리트가 응결반응에 의해 강도가 발현됨에 비해, 폴리머 콘크리트는 분자간 결합반응에 의해 강도가 발현되기 때문이다 (Yeon et al., 1996). 또한, 폴리머 콘크리트는 골재 중의 수분함량에 따라 강도의 변화가 크며, 골재 중에 수분이 많으면 강도가 현저히 저하하는 것으로 알려져 있고, 폴리머 콘크리트는 재령 7일까지는 재령에 따라 강도가 증가하며, 그 이후의 강도증진은 거의 나타나지 않는 것으로 보고

되고 있다 (Ohama, 1973). 따라서 압축강도 및 휨강도를 재령 7일에 측정하였으며, 폐유리분말과 재생골재를 사용한 포장용 투수성 콘크리트의 휨강도 시험결과는 Fig. 2와 같다. 이를 분석해 보면, 휨강도가 4.7~6.1 MPa의 범위로, 이는 우리나라 도로교시방서에 있는 포장콘크리트의 휨강도 규정인 4.5 MPa 이상을 상회하는 것으로 나타났다. 또한, 보·차도용 투수성 콘크리트 블록의 KS 휨강도 규정인 4.0과 5.0 MPa에 만족하는 것으로 나타나 보도와 차도용에서 모두 사용이 가능할 것으로 판단된다. 한편, 휨강도 역시 압축강도와 같이 PWG1~PWG11의 강도차이는 크게 나타나지 않았으나, 폐유리분말의 혼입량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다.

3. 공극률

Fig. 3은 폐유리분말의 혼입량에 따른 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 공극률을 나타낸다. 본 연구에서는 폐유리분말의 혼입량이 증가할수록 공극률이 감소하는 경향을 나타내었는데, 폐유리분말의 혼입량에 따른 공극률의 차이는 크게 나타나지 않았다. 이러한 결과는 폐유리분말이 탄산칼슘에 비해 공시체 제작 시 골재, 폴리머 등과 부착력이 더 크게 나타난 결과라 생각된다. 또한, 폐유리분말의 비표면적이 탄산칼슘에 비하여 상대적으로 크기 때문에 결합재와 충전재가 골재의 피복두께를 크게 증가시키고, 골재와 골재 사이의 공극을 줄여 공극률이 감소한 것으로 생각된다. 반면에 탄산칼슘은 비표면적이 상대적으로 작기 때문에 결합재와 충전재에 의한 골재의 피복 두께가 감소하여 폐유리분말에 비하여 공극률이 증가되는 것으로 판단된다.

즉, 투수성 폴리머 콘크리트의 공극률은 사용된 굵은골재 및 잔골재의 입도와 배합에 의해 좌우 될 뿐만 아니라 결합재와의 결합으로 페이스트를 형성하는 충전재의 사용량 및 비표면적에 크게 좌우된다는 것을 알 수 있다 (Sung and Kim, 2007).

한편, 본 시험 결과, 폐유리분말의 혼입량에 따른 공극률은 모든 배합에서 15.3~19.8 %로, 국내의 투수콘크리트 포장의 공극률 규정인 8 % 이상을 모두 상회하는 것으로 나타났으며, 배합설계 시 고려한 설계공극률 15 %에 대한 실측공극률이 상기의 조건을 만족하는 것으로 나타나, 본 시험에 사용된 혼합방법 및 다짐방법이 적절한 것으로 판단된다.

Fig. 4는 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 압축강도와 공극

률과의 관계를 나타내며, 압축강도가 증가할수록 공극률이 감소하는 경향을 나타내었다. 압축강도와 공극률의 관계에서 압축강도가 증가하기 위해서는 골재의 피복두께를 증가시켜야하고, 연속공극률을 증가시키기 위해서는 골재의 피복두께를 감소시켜야 하는 상반관계가 있음을 알 수 있다. 또한, 압축강도와 공극률과의 상관성은 결정계수 $R^2 = 0.9467$ 로써 비교적 높은 유의성이 있는 것으로 나타났다.

4. 투수계수

투수성 폴리머 콘크리트의 투수계수는 투수포장의 설계 및

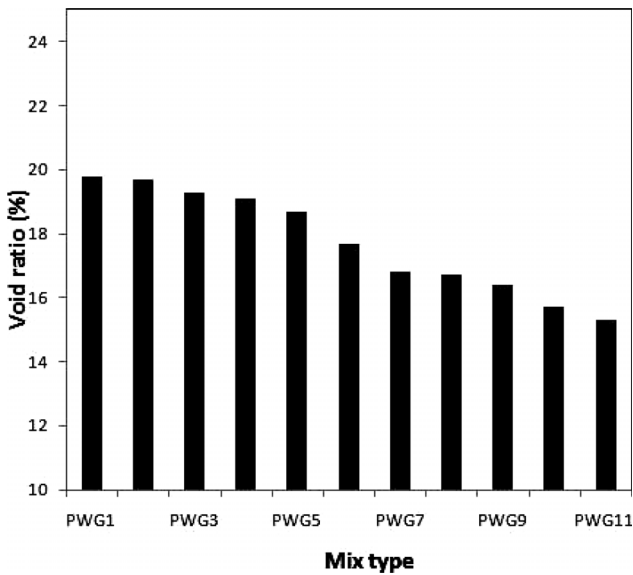


Fig. 3 Void ratio with each mix type

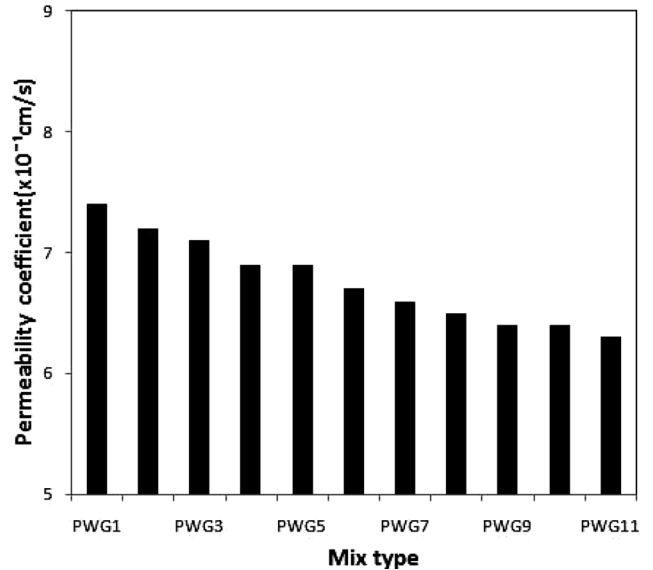


Fig. 5 Water permeability with each mix type

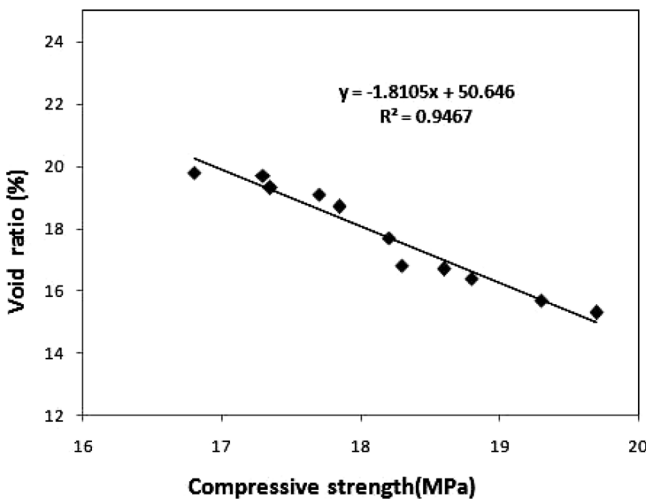


Fig. 4 Relation between void ratio and compressive strength

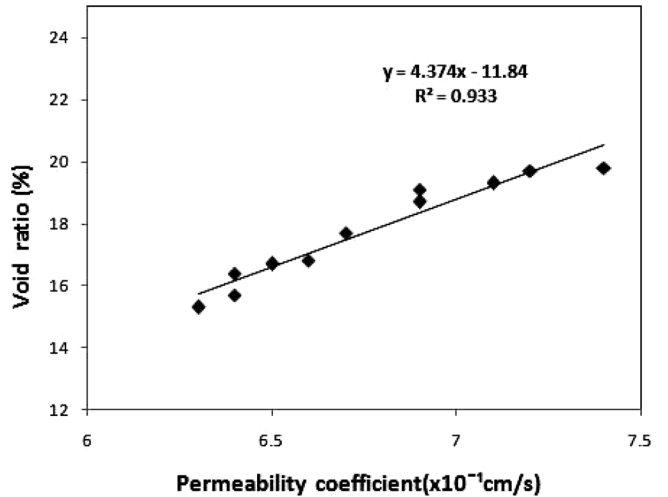


Fig. 6 Relation between void ratio and permeability coefficient

시공을 위하여 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 일반적으로 연속공극률이 커면 투수계수가 증가하는 반면에 강도는 감소하는 것으로 알려져 있다 (Sung and Jung, 1996). Fig. 5는 폐유리분말의 혼입량에 따른 포장용 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 때문이라 판단된다.

한편, 본 연구결과에서 나타난 폐유리분말의 혼입량에 따른 투수계수는 모든 배합에서 $6.3 \sim 7.4 \times 10^{-1}$ cm/s를 나타내어, 국내·외의 투수성 시멘트 콘크리트 포장에 요구되는 투수계수에 관한 규정인 1×10^{-2} cm/s를 상회하고 있어, 폐유리분말과 폴리머를 사용한 포장용 투수성 콘크리트는 투수포장을 위한 요구조건에 만족하는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 포장용 투수성 폴리머 콘크리트의 투수계수와 공극률과의 관계를 나타내며, 공극률이 증가할수록 투수계수가 증가하는 것으로 나타났으며, 공극률이 증가할수록 연속공극을 많이 포함하여 투수성이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한, 폐유리분말을 사용한 시험체에서의 투수계수와 공극률과의 상관성은 결정계수 $R^2 = 0.933$ 으로 비교적 높은 유의성을 보였다.

IV. 결 론

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. 압축강도는 폐유리분말의 혼입량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 폐유리분말이 혼입되지 않은 배합보다 폐유리분말이 100 % 혼입된 배합의 압축강도가 약 1.2배 정도 증진된 19.7 MPa로 나타나, 우리나라의 투수콘크리트 포장을 위한 규정강도 조건인 18 MPa 이상을 상회하는 것으로 나타났다.
2. 휨강도는 폐유리분말의 혼입량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 배합비에 따라 4.7 ~ 6.1 MPa의 범위로 나타나, 우리나라 도로교시방서에 있는 포장콘크리트의 휨강도 규정인 4.5 MPa 이상을 모든 배합에서 상회하는 것으로 나타났다.
3. 공극률은 폐유리분말의 혼입량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 배합비에 따라 15.3 ~ 19.8 %의 공극률을 나타내어, 국내의 투수콘크리트 포장의 공극률 규정인 8 % 이상을 모든 배합에서 상회하는 것으로 나타났다.

4. 투수계수는 폐유리분말의 혼입량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 모든 배합에서 $6.3 \sim 7.4 \times 10^{-1}$ cm/s를 나타내어, 국내·외의 투수성 시멘트 콘크리트 포장에 요구되는 투수계수에 관한 규정인 1×10^{-2} cm/s를 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 기대되며, 포장용 콘크리트에서 요구되는 규정강도, 공극률 및 투수계수를 만족하는 투수성 콘크리트를 제조할 수 있을 것으로 판단된다.

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

REFERENCES

1. ACI., 1986. Guide for the use of polymers in concrete, *Journal of the ACI* 83(5): 798-829.
2. Chae, C. W., 2002. Physical properties of porous concrete using admixtures. *Journal of the Korea Concrete Institute* 14(2): 257-265 (in Korean).
3. Ministry of Environment, 2007. Main waste generation and disposal current state (in Korean).
4. Ohama, Y., 1973. Mix proportions and properties of polyester resin concrete, *Polymers in Concrete. Journal of the ACI*, SP 40-13. pp.283-294.
5. Sung, C. Y., 1996. An experimental study on the mechanical properties of permeable polymer concrete. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 38(5): 95-105 (in Korean).
6. Sung, C. Y., and H. J. Jung, 1996. Engineering properties of permeable polymer concrete with stone dust and fly ash. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 38(4): 147-154 (in Korean).
7. Sung, C. Y., 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).
8. Sung, C. Y., and Y. I. Kim, 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).
9. Sung, C. Y., J. N. Youn, and Y. I. Kim, 2009. Physical and mechanical properties of porous concrete using waste activated carbon. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 51(4): 21-27 (in Korean).
 10. Sung, C. Y., and Y. I. Kim, 2010. Planting properties of porous polymer block using recycled coarse aggregates. *Journal of Agricultural Science* 37(1): 87-96 (in Korean).
 11. Sung, C. Y., and T. H. Kim, 2011. Engineering properties of permeable polymer concrete for pavement using powdered waste glass as filler. *Journal of Agricultural Science* 38(1): 145-151 (in Korean).
 12. Swamy, R. N., and A. H. Al-Hamed, 1984. The use of pulse velocity measurements to estimate strength of air-dried cubes and hence in situ strength of concrete. *Journal of the ACI*. 81(2): 247-276.
 13. Vipulanandan, C., N. Dharmarajan, and E. Ching, 1988. Mechanical behavior of polymer concrete system. *Materials and Structures* 21(124): 268-277.
 14. Yeon, K. S., K. S. Kim, T. Y. Jang, K. H. Jung, M. K. Joo, and D. S. Choi, 1996. Physical and mechanical properties of polymer concrete using coal mine waste. *Proceedings of the Korea Concrete Institute* 13(1): 57-64 (in Korean).