

재생골재와 폴리머를 이용한 포장용 포러스 콘크리트의 역학적 특성

박승범¹⁾·윤의식²⁾·서대석¹⁾·이준¹⁾

¹⁾ 충남대학교 토목공학과 ²⁾ 한국원자력안전기술원

(2005년 3월 22일 원고접수, 2005년 7월 30일 심사완료)

Mechanical Properties of Porous Concrete For Pavement Using Recycled Aggregate and Polymer

Seung-Bum Park¹⁾, Eui-Sik Yoon²⁾, Dae-Seuk Seo¹⁾, and Jun Lee¹⁾

¹⁾ Dept. of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

²⁾ Dept. of Structural System and Site Evaluation, Korea Institute of Nuclear Safety, Daejeon, 305-353, Korea

(Received March 22, 2005, Accepted July 30, 2005)

ABSTRACT

The purpose of this study is to utilize recycled concrete aggregates as permeable pavement materials. This study evaluates mechanical properties and durability of porous concrete depending on mixing rates of recycled aggregates and polyme. As a result, void ratio and permeability coefficient of porous concrete for pavement increased a little as mixing rate of recycled aggregates increased. Void ratio and permeability coefficient increased a lot as mixing rate of polymer increased. As polymer was mixed 20%, national regulation of permeable concrete for pavement(8% and 0.01 cm/sec) was met. Compressive strength and flexural strength decreased as mixing rate of recycled aggregates increased but they increased a lot as mixing rate of polymer increased. Even when recycled aggregates were mixed 75% with 10% polymer mixed, national regulation of pavement concrete(18MPa and 4.5MPa) was met. In addition, regarding sliding resistance, BPN increased as mixing rate of recycled aggregates increased. But BPN decreased as polymer was mixed. Compared to crushed stone aggregates, abrasion resistance and freeze-thaw resistance decreased as mixing rate of recycled aggregates increased. When polymer was mixed, abrasion resistance and freeze-thaw resistance improved remarkably. Compared to non-mixture, 10% mixture of polymer improved abrasion resistance and freeze-thaw resistance about 8.6% and 3.8 times respectively.

Keywords : Porous concrete, Polymer, recycled aggregate, void ratio, compressive and flexural strength

1. 서 론

일반적인 도로 포장은 주로 불투수성의 아스팔트 포장과 시멘트 콘크리트 포장이 주류를 이루고 있어 강우시의 배수시설이 부실하거나 용량이 부족할 경우 많은 양의 빗물이 배수되지 못하고 도로에 고여 교통에 장애가 되거나 사고의 위험성이 높다. 이에 따라 1980년대부터 도로의 투수성 향상에 관한 관심이 높아지면서 투수성 아스팔트가 개발되어 일반 도로에 부분적으로 시공이 이루어지고 있으나 여름철에 노면의 온도상승으로 인하여 투수공이 막히고 중량차량이 통행함에 따라 노면이 변형되어 투수기능이 상실되는 단점이 있으며 최근, 이에 대한 대안으로 아스팔트 포장에 비해 차량 주행시 소음이 크지만 내구성

이 우수한 시멘트 콘크리트 포장의 투·배수성 및 소음저감효과를 향상시키기 위한 노력의 일환으로 도로포장에 투수성 및 배수성이 우수한 포러스 콘크리트를 적용하기 위한 연구가 국내·외에서 많은 관심하에 진행되고 있다¹⁻⁵⁾. 이러한 포장용 포러스 콘크리트는 일반 포장용 콘크리트와 동일한 휨강도 및 배수성 아스팔트 포장과 동등한 투수성능(0.01 cm/sec 이상)을 가지고 있음이 확인됨에 따라, 현재 일본에서는 중차량 주행 도로, 교차지점 및 톨게이트 등에 일부 적용되고 있으며⁴⁾, 유럽에서는 고속도로의 표층에 사용되고 있다¹⁾.

또한, 우리나라에서는 최근 도시 재개발 사업 및 사회적 반시설의 확충 등으로 발생하는 건설 폐기물은 약 3,900만 톤(이중 폐 콘크리트는 약 2,400만톤)이 발생되고 있고 그 발생량은 매년 증가하는 경향을 나타내고 있다⁶⁾. 그러나 폐 콘크리트는 그동안 재생설비 부족 및 품질확보의 미흡 등으로 90% 이상이 노반재 등에 이용되고 있는데 비해

* Corresponding author

E-mail : park_sb@cnu.ac.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

일본 등 선진국에서는 폐 콘크리트 재생골재의 건재용 콘크리트용 골재로서의 재활용률이 상당한 수준에 이르고 있음을 고려할 때, 천연골재 자원이 부족한 우리나라에서도 자원의 유효이용 및 환경보호 측면에서 2차 제품 및 도로 포장 등 콘크리트용 골재로서의 활용을 위한 기술개발이 시급한 실정이다. 한편, 문⁷⁾, 박⁸⁾ 등에 의하여 보통 및 재생골재를 이용한 투수성 포장 콘크리트에 관한 연구를 수행한 바 있으나, 재생골재를 이용한 포장용 투수성 포러스 콘크리트에 관한 연구는 극히 미진한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 재생골재의 포장용 포러스 콘크리트에의 적용성을 검토하기 위하여 재생골재를 보통골재에 대하여 0, 25, 50, 75, 100%를 사용하고 포러스 콘크리트의 성능 및 내구성의 향상을 위해 고성능AE감수제와 폴리머를 혼입한 도로 포장용 투·배수성 포러스 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성을 조사·분석하였다.

2. 사용 재료 및 실험 방법

2.1 사용 재료

2.1.1 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 밀도 3.14g/cm³, 분말도 3,200cm²/g인 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.1.2 골재

본 연구에 사용된 골재는 입도가 5~13mm인 부순돌과 폐 콘크리트 재생골재를 사용하였으며, 부순돌과 재생골재의 물리적 성질은 Table 1과 같다.

2.1.3 혼화제

혼화제는 시멘트의 분산작용 개선 및 미세한 공기연행을 목적으로 국내 S사 제품의 리그닌 설펜산염계 고성능 AE 감수제를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 2와 같다.

2.1.4 폴리머

포장용 포러스 콘크리트의 강도, 부착성 및 내동해성, 내마모성 등을 개선할 목적으로 시멘트 혼화용 수성폴리머로서 국내 P사의 스틸렌 부타디엔 고무(SBR) Latex를 사용하였으며, 그 일반적 성질은 Table 3과 같다.

2.2 포러스 콘크리트의 배합 및 시편 제조

포장용 포러스 콘크리트의 배합은 설계공극률을 10%로 하고 물-결합재비 25%에 대하여 재생골재 혼입률(0, 25, 50, 75, 100%) 및 폴리머(SBR)의 혼입률(0, 5, 10, 20%)을 변화시켜 배합을 실시하였으며 그 결과는 Table 4와

Table 1 Physical properties of aggregate

Aggregate Type	Gradation (mm)	Density (g/cm ³)	Water absorption (%)	Absolute volume (%)	Unit weight (kg/m ³)
Crushed	5~13	2.79	0.75	58.0	1,617
Recycled		2.42	2.8	59.3	1,452

Table 2 Physical properties of admixture

Admixture	Appearance	Density (g/cm ³)	pH	Content of solid(%)
AE-HWRA	Dark brown liquid	1.17	7±1	45

Table 3 Properties of polymer dispersions

Polymer Type	Appearance	Viscosity (mPa·s)	pH	Content of solid(%)
SBR	liquid	78	9.3	50

같다. 이때 포장용 포러스 콘크리트 제조시 적정 위커빌리티의 확보를 위해 사전 시험을 통하여 결합재의 목표 흐름값을 180%로 설정하여 혼화제의 첨가량을 결정하였다. 또한 믹싱은 시멘트페이스트의 분산성을 향상시키기 위해 일본 C사의 30ℓ의 Omni-Mixer를 사용하여 먼저 골재와 시멘트를 1분간 건비빔을 실시한 후, 혼합수(물+혼화제+폴리머)를 투입하여 200rpm으로 270초 동안 혼합하는 방법으로 믹싱하였다.

2.3 실험 방법

2.3.1 흐름 시험

포러스 콘크리트 제조시 소요 위커빌리티의 확보와 성형시 재료분리 방지 및 경화 후 연속공극을 형성시키기 위하여 KS L 5111 『시멘트 시험용 플로테이블』에 준하여 목표 흐름값 180%를 만족시키는 혼화제의 혼입량을 결정하였다.

2.3.2 공극률 시험

공극률은 일본 JCI의 ECO콘크리트 연구위원회의 『포러스 콘크리트의 공극률시험방법(안)』 중 용적법⁹⁾에 의하여 측정하였으며, 다음 식 (1)에 의하여 계산하였다.

$$A(\%) = \{ 1 - (W_2 - W_1) / V_1 \} \times 100 \quad (1)$$

여기서, A : 콘크리트의 전 공극률

W₁ : 공시체의 수중질량

W₂ : 24시간 자연방치 후의 기건질량

V₁ : 공시체의 용적

2.3.3 투수계수 시험

투수계수 시험은 일본 JCI의 ECO콘크리트 연구위원회의

Table 4 Mix proportions of Porous concrete

Mix No.	Recycled aggregate contents(vol.%)	W/B (%)	Void (%)	Polymer Contents (wt.%)	Unit weight (kg/m ³)					HWRA (C×%)
					W	C	CA ¹⁾	RA ²⁾	SBR	
I-1	0	25	10	-	141	563	1617	-	-	1.62
I-2				5	127	549	1617	-	28	1.58
I-3				10	113	535	1617	-	56	1.54
I-4				20	85	507	1617	-	113	1.46
II-1	25			-	139	554	1213	363	-	1.61
II-2				5	125	540	1213	363	28	1.57
II-3				10	111	527	1213	363	55	1.53
II-4				20	83	499	1213	363	111	1.45
III-1	50			-	136	546	809	726	-	1.60
III-2				5	122	532	809	726	27	1.56
III-3				10	109	518	809	726	55	1.52
III-4				20	81	491	809	726	109	1.44
IV-1	75	-	134	537	404	1089	-	1.59		
IV-2		5	120	523	404	1089	27	1.55		
IV-3		10	107	510	404	1089	54	1.51		
IV-4		20	80	483	404	1089	107	1.43		
V-1	100	-	131	528	-	1452	-	1.58		
V-2		10	118	515	-	1452	26	1.54		
V-3		20	105	502	-	1452	53	1.50		
V-4		30	78	475	-	1452	106	1.42		

CA¹⁾ : Crushed aggregate, RA²⁾ : Recycled aggregate, HWRA³⁾ : Air entraining and high-range water reducing agent

의 『포러스 콘크리트의 투수시험방법(안)』에⁹⁾ 준하여 Fig. 1과 같은 실험 장치를 사용하여 측정하였으며, Darcy의 법칙에 근거하여 다음 식 (2)에 의해 투수계수를 산출하였다.

$$K = \frac{L}{H} \times \frac{Q}{A(T_2 - T_1)} \quad (2)$$

- 여기서, K : 투수계수(cm/sec)
- L : 공시체의 높이(cm)
- H : 수위차(cm)
- A : 공시체의 단면적(cm²)
- T1 : 측정 개시시간(sec)
- T2 : 측정 종료시간(sec)
- Q : T1에서T2까지 흐른 유량(cm³)

2.3.4 압축강도 시험

압축강도는 ϕ 10×20cm의 공시체를 제작하여 48시간 기건 양생후 23±2℃에서 수중양생을 실시한 다음, 재령 28일에 KS F 2405 『콘크리트의 압축강도 시험 방법』에 준하여 유압식 강도시험기를 사용하여 측정하였다.

2.3.5 휨강도 시험

휨강도는 10×10×40cm의 공시체를 제작하여 48시간 기건 양생후 23±2℃에서 수중양생을 실시한 다음, 재령 28일에 KS F 2405 『콘크리트의 휨강도 시험 방법』에 준하여 일본 S사의 B-Type Autograph를 사용하여 측정하였다.

2.3.6 미끄럼저항성 시험

미끄럼저항성은 50cm×50cm×10cm의 크기의 시편을

제작하여 배합조건별로 Fig. 2와 같은 휴대용 British Pendulum Tester를 사용해 ASTM E 303 『Standard Test Method for Measuring Surface Friction Properties Using the British Pendulum Tester』에 준하여 측정하였

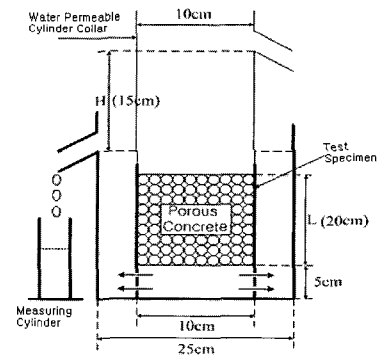


Fig. 1 Measurement of water permeability

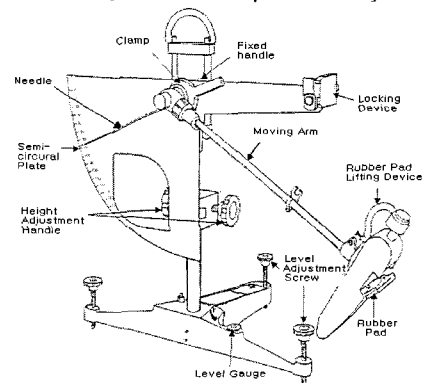


Fig. 2 British pendulum tester

다. 이때 시험은 매 시험마다 물을 뿌려 4회 시험을 반복하여 그 결과를 기록하고 BPN(British Pendulum Number) 값은 표준온도 20 °C의 마찰지수로 보정하였다.

2.3.7 내마모성 시험

포장용 포러스 콘크리트의 내마모성능에 관한 시험방법은 아직까지 확실히 규정된 것이 없다. 이는 포장 등의 실제 구조물에서 발생하는 마모현상은 다수의 인자가 관여하여 복잡한 기구에 의해 발생되기 때문이며, 이것을 실험실에서 재현하기 위해서는 마모기구의 명확한 설명이 선행되어야 하나, 그에 대한 연구가 그다지 진행되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 포장용 포러스 콘크리트의 내마모성을 확인하기 위하여 골재시험용 Los Angeles 마모시험기에 지름이 47.5mm인 강구(무게 : 438g)를 6개씩 넣고 배합조건별로 15×15×15cm의 입방형 공시체를 제작해 재령 28일까지 수중양생 후 500회 회전시켜 질량을 측정하여 마모후의 질량감소율을 측정하였다.

2.3.8 동결융해 시험

포러스 콘크리트의 동결융해저항성을 평가하기 위하여 75×75×355mm의 각주 공시체를 제작하여 48시간 기건양생 후 23±2 °C에서 수중양생을 실시한 후, 배합 조건별로 및 KS F 2456 『급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항시험방법』에 준하여 -18 °C+4 °C에서 1일 6사이클로 상대동탄성계수가 60%이하로 될 때 까지 동결융해를 반복하면서 5사이클마다 공시체의 질량과 1차 공명주파수의 변화를 조사함과 아울러 표면상태를 관찰하여 내동해성을 파악하였다. 이 때 공시체의 동탄성계수 측정은 KS F 2437 『공명진동에 의한 콘크리트의 동탄성계수, 동전단탄성계수 및 동푸아송비의 시험방법』에 준하여 측정하였다.

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 공극률

폐 콘크리트 재생골재 혼입률과 폴리머의 혼입률에 따른 포장용 포러스 콘크리트의 공극률 측정결과는 Fig. 3과 같다. 이를 고찰하여 보면, 공극률은 재생골재의 혼입률이 증가함에 따라 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 재생골재의 표면이 일반쇄석에 비하여 비표면적이 크게 되어 시멘트페이스트가 재생골재 표면을 완전히 피복할 수 없기 때문에 공극률이 다소 증가하는 경향을 나타낸 것으로 판단된다. 또한, 재생골재의 혼입률이 일정할 때 포러스 콘크리트의 공극률은 폴리머의 혼입률이 증가함에 따라 다소 감소하는 경향을 나타내었으나, 이는 시멘트의 일부를 폴리머로 대체 혼입한 경우 폴리머 혼입률이 증가함에 따라 시멘트에 비하여 비중이 상대적으로 작은 폴리머

가 혼입됨으로써 시멘트페이스트의 부피가 증가되기 때문에 실측공극률이 다소 감소하는 것으로 판단된다.

한편, 국내의 경우 포장용 투수 콘크리트의 공극률은 8% 이상으로 규정¹⁰⁾하고 있으므로, 본 연구에 사용된 포러스 콘크리트는 부순돌만 사용하고 폴리머를 20% 혼입한 경우에도 포러스 콘크리트의 공극률은 9.6% 이상을 나타내 상기의 조건을 만족하는 것으로 나타났으며, 배합설계시 고려한 설계 공극률 10%와 실측 공극률과의 차이는 최대 1.2% 이내로 본 연구에 사용된 혼합 방법 및 다짐 방법이 적절한 것으로 판단된다.

3.2 투수계수

재생골재 혼입률과 폴리머의 혼입률에 따른 포러스 콘크리트의 투수계수 시험결과는 Fig. 4와 같다. 이를 고찰하여 보면, 투수계수는 재생골재를 혼입하지 않은 경우에 비하여 재생골재의 혼입비율이 증가함에 따라 폴리머 혼입 여부에 관계없이 현저히 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 폴리머를 혼입하지 않은 경우에 비하여 폴리머를 5, 10, 20% 혼입한 경우, 폴리머 혼입률 증가에 따라 포러스 콘크리트의 투수계수는 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 원인은 폴리머의 혼입률이 증가함에 따라 폴리머

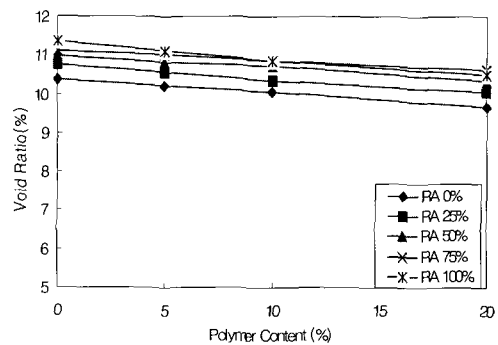


Fig. 3 Void ratio of porous concrete using recycled aggregate by polymer contents

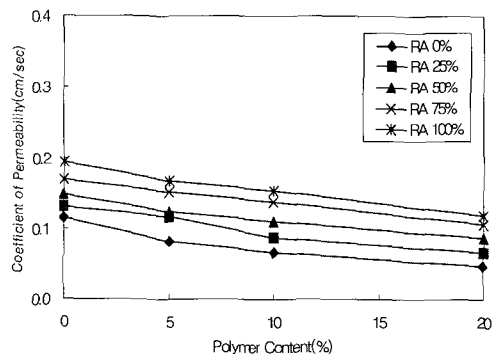


Fig. 4 Permeability coefficient of porous concrete using recycled aggregate by polymer contents

의 혼입으로 인한 시멘트 페이스트의 증가로 연속공극이 감소하기 때문에 투수계수가 감소하는 것으로 판단된다.

그러나 재생골재를 사용하지 않고 폴리머를 20% 혼입한 경우에도 투수계수는 0.05cm/sec를 나타내어 국내·외의 투수성 시멘트 콘크리트 포장에 요구되는 투수계수에 관한 규정(0.01 cm/sec)^{10,11)}을 만족하고 있어 재생골재와 폴리머를 이용한 포장용 포러스 콘크리트는 투수성 포장용 재료로의 적용이 가능한 것으로 판단된다.

3.3 압축강도

재생골재 혼입률과 폴리머의 혼입률에 따른 포장용 포러스 콘크리트의 압축강도 시험결과는 Fig. 5와 같다. 이를 분석해 보면, 폴리머를 사용하지 않은 경우 압축강도는 재생골재를 0% 사용한 경우에 비하여 재생골재를 25, 50, 75, 100% 사용한 경우 각각 5.5%, 13.1%, 23.1%, 31.2% 정도로 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 원인은 재생골재 혼입률이 증가함에 따라 재생골재 표면에 부착되어 있는 노후 모르타르분에 의해 골재와 시멘트페이스트 사이의 결합력이 상대적으로 감소했기 때문으로 판단된다.

그러나 포러스 콘크리트의 압축강도는 폴리머의 혼입률이 5, 10, 20%로 증가함에 따라 폴리머를 혼입하지 않은 경우에 비하여 각각 8.7~9.9%, 16.6~20.2%, 10.2~15.1% 정도 크게 나타났다. 이러한 경향은 폴리머 분산제를 혼입함에 의하여 미세한 폴리머 입자가 시멘트 입자의 분산성을 향상시키고 Dry-out 현상을 방지할 뿐만 아니라 경화후 폴리머 필름의 형성으로 인해 시멘트 수화물과 골재간의 부착력이 현저히 개선되어 매트릭스 자체가 고강도화되기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 폴리머의 혼입률이 10%에서 가장 큰 압축강도를 나타내었으며, 20% 혼입한 경우에는 오히려 감소하는 경향을 나타내어 과도한 폴리머의 혼입은 압축강도 개선에 그다지 효과가 없는 것으로 판단된다.

한편, 국내의 포장용 콘크리트의 압축강도는 18MPa 이상으로 규정하고 있음¹⁰⁾을 고려할 때, 재생골재를 50% 까지 혼입한 경우에는 폴리머를 혼입하지 않아도 18MPa 이상의 강도를 나타내었으나, 75% 정도 사용하는 경우에는 폴리머를 10% 이상 혼입하면 규정강도 이상을 나타내어 포장용 콘크리트에 적용이 가능하지만, 재생골재만을 골재로 사용한 경우에는 폴리머 혼입 여부에 관계없이 규정강도를 얻는 것이 곤란하므로 재생골재를 사용할 경우 일반골재와 적정량 혼합 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

3.4 휨강도

재생골재의 혼입률과 폴리머의 종류와 혼입률에 따른

포장용 포러스 콘크리트의 휨강도 시험결과는 Fig. 6과 같다. 이를 분석해 보면, 폴리머를 혼입하지 않은 경우 포러스 콘크리트의 휨강도는 재생골재의 혼입률이 0, 25, 50, 75, 100%로 증가함에 따라 각각 4.7, 4.4, 3.9, 3.3, 2.9 MPa로 나타나 재생골재의 혼입률 증가에 따라 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 포러스 콘크리트에 폴리머를 혼입함에 의해 휨강도가 증가하는 경향을 나타내어 폴리머를 10% 이상 혼입하면 재생골재를 75% 혼합사용한 경우에도 4.6MPa 이상의 휨강도를 나타내었다. 이는 폴리머 분산제의 혼입으로 인해 믹싱시 시멘트입자의 분산성을 향상시키고 경화후 폴리머 필름의 형성으로 인해 매트릭스가 고강도화 되었기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 국내 도로교시방서에서 포장 콘크리트의 휨강도를 45MPa 이상으로 규정하고 있음을 고려할 때, 재생골재를 사용할 경우 폴리머 분산제를 혼입하지 않으면 규정 휨강도를 발현하기 어렵지만, 폴리머를 10% 이상 혼입할 경우에는 포장용 포러스 콘크리트 제조시 재생골재를 75% 정도 까지도 혼합·사용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.5 미끄럼저항성

포장용 포러스 콘크리트의 미끄럼저항성 시험결과는

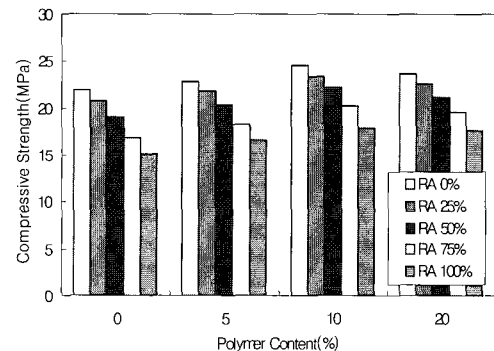


Fig. 5 Compressive strength of porous concrete using recycled aggregate by polymer contents

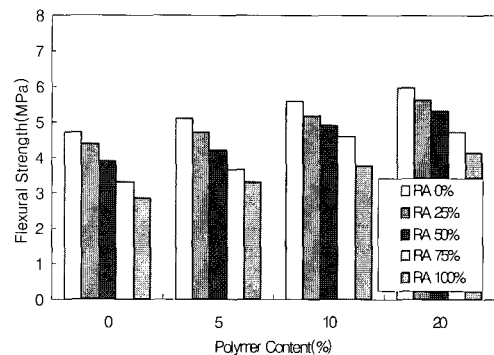


Fig. 6 Flexural strength of porous concrete using recycled aggregate by polymer contents

Fig. 7과 같다. 이를 고찰하여 보면, 재생골재의 혼입률이 증가함에 따라 BPN값은 감소하는 경향을 나타내었으나, 폴리머의 혼입률이 증가함에 따라 BPN은 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 재생골재 혼입률이 증가함에 따라 공극률이 증가하기 때문에 표면에 노출되는 공극이 증가되어 상대적으로 BPN 시험기의 고무패드에 접하는 면적이 감소하기 때문에 미끄럼저항성이 감소하지만, 폴리머의 혼입률이 증가함에 따라 시멘트페이스트에 포함된 폴리머와의 마찰력이 증가하기 때문에 폴리머의 혼입률이 증가함에 따라 미끄럼 저항성이 증가하는 것으로 판단된다.

3.6 내마모성

포장용 포러스 콘크리트의 내마모성시험결과는 Fig. 8과 같다. 이를 고찰하여 보면 재생골재의 혼입률이 증가함에 따라 마모에 의한 질량감소율은 증가하는 경향을 나타냈으나, 폴리머의 혼입률이 5, 10, 20%로 증가함에 따라 마모에 의한 질량감소율은 폴리머를 혼입하지 않은 경우에 비하여 각각 3.1~4.7, 8.6~11.7, 9.2~12.6% 정도 증가하는 경향을 나타냈다. 이러한 경향은 폴리머의 혼입으로 인해 밀실한 시멘트 페이스트가 되고 시멘트 경화체 내의 폴리머필름에 의하여 내마모성이 개선되는 것으로 판단된다.

3.7 동결융해 저항성

포러스 콘크리트의 동결융해 시험 결과는 Figs. 9~12와 같다. 이를 고찰하여 보면, 폴리머를 혼입하지 않은 경우 재생골재의 혼입 여부에 관계없이 포러스 콘크리트는 동결융해 사이클수가 30 이내에서 조기에 상대동탄성계수가 60% 이하로 나타났다. 이와 같이 포러스 콘크리트가 보통 콘크리트에 비하여 내동해성이 현저히 감소되는 이유는 보통 콘크리트의 경우 콘크리트의 표면에 존재하는 미세공극에 수분이 침투하여 동결하면 빙압에 의해 콘크리트 조직에 미세균열이 생기고 동결융해 반복에 따라 콘크리트의 표면에서부터 내부로 균열에 의한 손상이 진행되어 파괴가 일어나게 되는데 비하여¹²⁾, 포러스 콘크리트는 연속된 공극을 갖는 구조를 이루고 있기 때문에 동결과정에서는 공극중의 수분동결이 표면으로부터 중심부로 향하여 진행되어 중앙부의 수분이 동결시 발생하는 빙압을 받아줄 수 있는 공간이 없기 때문에 골재간의 결합이 파괴되어 내동해성이 저하되는 것으로 판단된다.

또한 재생골재를 사용한 경우에는 쇄석골재만을 사용한 경우에 비해 내동해성이 현저히 저하되는 경향을 나타내었으며, 이는 재생골재의 혼입률이 증가함에 따라 재생골재 표면에 부착된 노후 모르타르분의 영향 때문인 것으로 판단된다. 그러나 폴리머분산제를 5% 정도 소량 혼입함에 의해서도 재생골재 혼입률에 관계없이 폴리머를 사용하지 않은

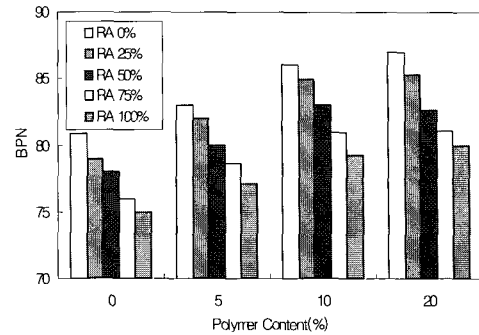


Fig. 7 BPN of porous concrete using recycled aggregate by polymer contents

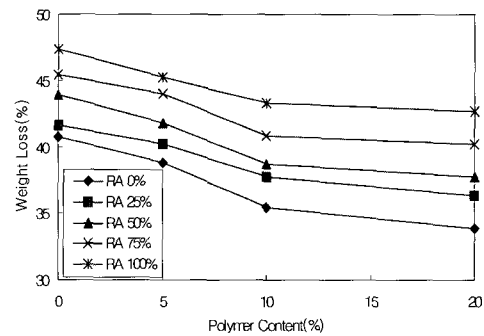


Fig. 8 Weight loss of porous concrete using recycled aggregate by polymer contents

경우에 비하여 상대동탄성계수가 60% 이하로 되는 동결융해 사이클수가 2.3배 이상 증가하였으며, 10% 이상 혼입할 경우에는 포러스 콘크리트의 내동해성이 약 3.8배 정도 개선되는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 폴리머의 혼입률이 증가함에 따라 폴리머 입자가 시멘트페이스트의 미세공극에 충전되어 폴리머 필름으로 시멘트 수화물과 골재와의 결합력을 증진시켜주기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결 론

폐 콘크리트에서 분리한 재생골재 및 폴리머분산제의 혼입에 따른 포장용 포러스 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성 시험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 포장용 포러스 콘크리트의 공극률 및 투수계수는 쇄석골재를 100% 사용한 경우에 비해 재생골재의 혼합비율이 증가함에 따라 다소 증가하는 경향을 나타낸 반면, 폴리머분산제의 혼입률 증가에 따라서는 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 폴리머를 20% 혼입한 경우에도 포러스 콘크리트의 공극률 및 투수계수는 각각 9.26% 이상 및 0.05 cm/sec를 나타내어 국내 포장용 투수 콘크리트에 관한 규정인 8% 및 0.01 cm/sec 이상을 만족하였다.

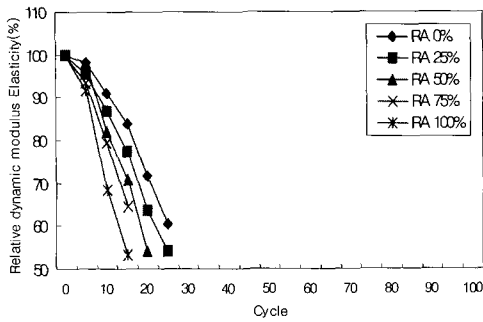


Fig. 9 Relative dynamic modulus elasticity of porous concrete using recycled aggregate(SBR : 0%)

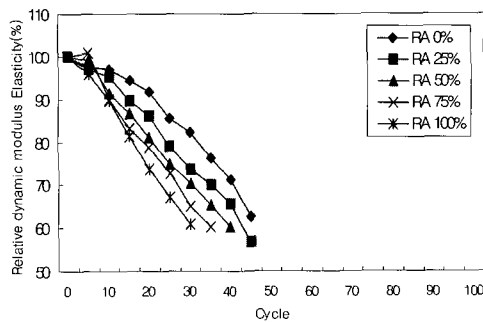


Fig. 10 Relative dynamic modulus elasticity of porous concrete using recycled aggregate(SBR : 5%)

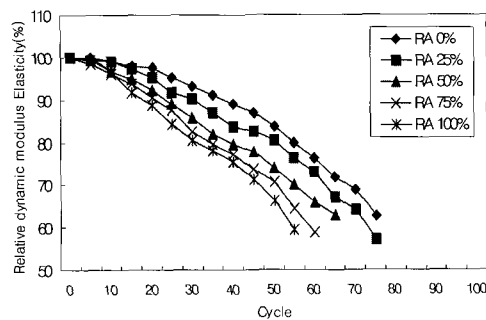


Fig. 11 Relative dynamic modulus elasticity of porous concrete using recycled aggregate(SBR:10%)

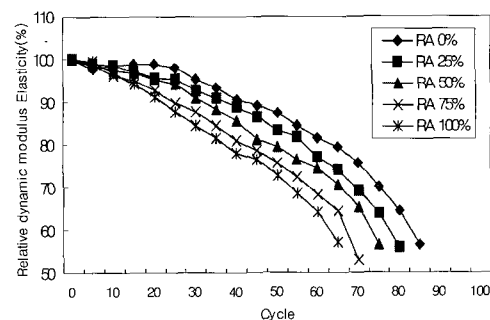


Fig. 12 Relative dynamic modulus elasticity of porous concrete using recycled aggregate(SBR:20%)

2) 포장용 포러스 콘크리트의 압축강도 및 휨강도는 재생골재의 혼입률이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈으나, 폴리머분산제의 혼입률이 증가함에 따라서는 크게 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 폴리머 분산제를 10% 이상 혼입한 경우에는 재생골재를 75% 혼합·사용한 경우에도 포러스 콘크리트의 압축강도 및 휨강도는 각각 19.3MPa 및 4.6MPa로 나타내어 국내 포장 콘크리트에 관한 규정인 18MPa 및 4.5MPa 이상을 만족하였다.

3) 포장용 포러스 콘크리트의 미끄럼저항성 시험 결과, 재생골재의 혼입률이 증가함에 따라 BPN값은 증가하는 경향을 나타내었으나, 폴리머분산제의 혼입률이 증가함에 따라 BPN값은 다소 감소하는 경향을 나타내어 폴리머를 10% 정도 혼입하면 재생골재를 75% 혼합·사용해도 부순돌만을 사용한 경우와 비슷한 정도의 미끄럼저항성을 나타내었다.

4) 포장용 포러스 콘크리트의 내마모성은 부순돌만을 사용한 경우에 비해 재생골재의 혼합비율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으나, 폴리머분산제를 혼입한 경우에는 내마모성이 개선되어 폴리머를 10% 혼입한 경우 혼입하지 않은 경우에 비하여 내마모성은 약 8.6% 정도 개선되는 것으로 확인되었다.

5) 포장용 포러스 콘크리트의 동결융해저항성은 쇄석골재만을 사용한 경우에 비해 재생골재의 혼합비율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으나, 폴리머분산제를 혼입한 경우에는 내동해성이 현저히 개선되어 폴리머를 10% 혼입한 경우 혼입하지 않은 경우에 비하여 내동해성은 약 3.8배 정도 개선되는 것으로 확인되었다.

6) 이들 시험결과로부터 포장용 포러스 콘크리트 제조시 폴리머분산제를 약 10% 정도 혼입하면 재생골재를 75% 혼합·사용해도 투수성 포장 콘크리트에서 요구되는 투수성 및 규정강도를 만족하는 내구성이 우수한 포러스 콘크리트를 제조할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구지원사업(R01-2004-000-10153-0)의 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Dionys Van Gemert, "Review on Porous Concrete in Europe", *Symposium on Design and Practical Method of Porous Concrete*, JCI, TC-013A, 2002, pp.1~21.
2. 中原大畿, "ポーラスコン크리트舗装の品質特性と供用性に關する報告", *日本コン크리트工學協會*, Vol. 42, No.7, 2004, pp.24~31.

3. 하재담, “투수성 콘크리트 포장의 배합설계 및 시공사례”, 한국도로포장공학회지, 2권, 2호, 2000, pp.65~75.
4. 野田悦郎, “ポラスコンクリート舗装の現状と課題”, ポラスコンクリートの製造とこれからがわかる本, 2001, pp.50~58.
5. 박승범, “순환경 사회구축을 위한 환경친화 콘크리트 기술의 현황과 전망”, 콘크리트학회지, 15권, 6호, 2003, pp.14~16.
6. 환경부, “2002년도 전국폐기물 발생 및 처리현황”, 환경부, 2004, pp.9~12.
7. 문한영, “투수성 콘크리트 포장의 실용화를 위한 실험적 연구”, 콘크리트학회지, 10권, 2호, 2000, pp.65~75.
8. 박승범, 특허 제0337672호, 재생골재를 이용한 고강도, 고내구성 다기능 하이브리드투수콘크리트 포장의 제조방법, 대한민국 특허청, 2002.
9. 日本コンクリート工學協會, エココンクリート(ECO Concrete)研究委員會報告, 日本 콘크리트工學協會, 1995, pp.56~58.
10. 주택공사표준시방서, “투수시멘트 콘크리트포장”, 대한주택공사, 2000, pp.7~9.
11. 安岐, “透水性コンクリート舗装の適用性に関する實驗”, 道路建設, 1998, pp.52-56.
12. 片平博, “實環境を考慮した河川護岸ポーラスコンクリートの水中凍結融解耐久性”, ポーラスコンクリートの設計・施工法と最近の適用例に関するツンポツウム, 日本 콘크리트工學協會, 2003, pp.135~138.

요 약

본 연구는 건설 폐기물로 발생하는 폐 콘크리트에서 분리한 재생골재의 투수성 포장 재료로서의 유효이용을 위하여 포러스 콘크리트의 재생골재 혼입률과 폴리머분산제의 혼입률에 따른 역학적 특성 및 내구성을 평가하였다. 시험결과, 포장용 포러스 콘크리트의 공극률 및 투수계수는 재생골재의 혼입비율이 증가함에 따라 다소 증가하고 폴리머 혼입률 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었으나 폴리머를 20% 혼입한 경우 국내 포장용 투수 콘크리트에 관한 규정(8% 및 0.01 cm/sec)을 만족하였으며, 압축강도 및 휨강도는 재생골재의 혼입률이 증가함에 따라 감소하였으나, 폴리머의 혼입률이 증가함에 따라 크게 증가하는 경향을 나타내어 폴리머를 10% 이상 혼입하면 재생골재를 75% 혼합·사용한 경우에도 국내 포장 콘크리트에 관한 규정(18MPa 및 45MPa 이상)을 만족하였다. 또한 미끄럼저항성은 재생골재의 혼입률이 증가에 따라 BPN값은 증가하였으나, 폴리머를 혼입함에 의해 BPN값은 감소하는 경향을 나타내었으며, 내마모성 및 동결융해저항성은 쇄석골재만을 사용한 경우에 비해 재생골재의 혼입비율이 증가함에 따라 감소하였으나, 폴리머를 혼입한 경우에는 현저히 개선되어 폴리머를 10% 혼입한 경우 혼입하지 않은 경우에 비하여 내마모성 및 동결융해성은 각각 약 8.6% 및 3.8배 정도 개선되는 것으로 확인되었다.

핵심용어 : 포러스 콘크리트, 폴리머, 재생골재, 공극률, 압축 및 휨강도