

혼화재를 혼입한 투수콘크리트의 물리적 특성

채창우^{1)*}

¹⁾한국건설기술연구원

(2001년 10월 30일 원고접수, 2002년 1월 11일 심사완료)

Physical Properties of Porous Concrete Using Admixtures

Chang-U Chae^{1)*}

¹⁾ Korea Institute of Construction Technology, Koyang, 411-712, Korea

(Received October 30, 2001, Accepted January 11, 2002)

ABSTRACT

Porous concrete has good permeability since it contains about 10~20 % of voids, had has been introduced to Korea in early 1980's. It, however, has problems such as a lack of optimized mixture, low strength and durability, and etc. It is thus interesting to manufacture high-performance porous concrete satisfying the mechanical characteristics to be supplied in practical construction.

The results of this study were as follows ; the compressive strength was 132~221 kgf/cm², the splitting tensile strength was 15~25 kgf/cm², the flexural strength was 36~54 kgf/cm², and the coefficient permeability was $1.05 \times 10^{-1} \sim 9.20 \times 10^{-2}$ cm/sec. In order to change the maximum size of aggregate, it is believed that other mixtures should be studied further.

Keywords : porous concrete, coefficient permeability, strength, durability

1. 서 론

1.1 연구배경

현재 콘크리트는 가장 대표적인 건설재료로서 인정받고 있으며, 구조물의 고층화, 대형화, 다양화되어가는 최근의 추세로 비추어볼 때, 그 중요성은 더욱 증가되고 있는 실정이다. 하지만, 기존에 국내에서 수행된 콘크리트 관련기술 개발의 대부분은 주로 일반 건축·토목 구조용 재료로서, 고강도부분에만 대부분의 기술개발과 활용이 편중되어 이루어지고 있기 때문에 최근 다양한 건설시장의 요구에 따른 투수콘크리트, 콘크리트 2차제품 등과 같은 특수콘크리트의 제조기술 개발, 성능수준 설정 및 이에 따른 개발 여건이 조성되지 못한 것이 현실이다.

따라서 이러한 국내 건설시장의 문제점을 해결하기 위하여 콘크리트 구성재료의 효율적인 활용 및 특수 기능을 지닌 콘크리트 개발이 점차적으로 추진되고 있으며, 그 대표적인 경우가 투수콘크리트이다. 투수콘크리트는 현재 보·차도용이 주종을 이루고 있으며, 포장재료인 보도블록과 아스팔트 콘크리트, 시멘트 콘크리트 등 불투수성 제품이 갖

고 있는 지하수의 고갈, 지중생태계의 파괴, 포장체 하층부의 사막화 현상 등의 단점을 보완하고 6~13mm의 쇄석골재를 사용하여 천연 잔골재원(강모래, 바다모래)의 보호 등을 목적으로 개발되고 있으며, 자전거 도로, 보행용 도로 등에 부분적으로 사용되고 있다. 그러나 현재 국내에서 사용되고 있는 투수콘크리트는 제조 및 품질관리, 용도설정 등이 초보적인 단계에 머물러 있는 실정으로서 그로 인한 제품의 성능기준 및 성능수준이 불명확하고, 현장 시공시 재료분리, 백아화, 내후성 저하, 강성 저하 등의 문제점을 노출시키고 있다.

따라서 본 연구의 목표는 현장에서 사용되는 투수콘크리트의 성능을 향상시키고 항상 일정한 수준이상의 품질을 확보하도록 하는데 있다.

1.2 연구범위

본 연구는 기존 콘크리트 및 콘크리트 2차제품을 제조할 때 사용되는 잔골재를 투입하지 않는 무잔골재콘크리트의 이론적 근거를 바탕으로 투수콘크리트가 지니는 동결융해 성능, 물리적 강성, 내후성능 등의 문제점을 보완하고 새로운 성능을 지니는 고성능 보차도용 투수콘크리트 개발에 초점을 맞추었다.

본 연구에서 목표로 설정한 투수콘크리트의 성능은 외

* Corresponding author

Tel : 031-910-0367 Fax : 031-910-0361

E-mail : cuchae@kict.re.kr

국문헌조사^{1~6)} 및 수차례에 걸친 예비실험을 통하여 압축 강도 270 kgf/cm², 휨강도 45 kgf/cm² 이상, 투수계수 1.0×10⁻¹ cm을 목표로 하였다. 그 외에 단위용적중량, 인장강도, 내구성평가를 위한 동결융해시험 등을 실시하였다.

2. 실험

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

KS L 5201규준에 적합한 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

2.1.2 골재

본 실험에서는 잔골재는 사용하지 않았으며 굵은 골재는 최대 치수가 13mm인 부순돌을 사용하였다. 공극률을 높이기 위해 골재의 입도 분포를 작게 조정하여 No. 8체 이하를 통과하는 골재가 없는 상태인 단입도에 가까운 골재를 사용하였다. 본 실험에서 사용된 굵은 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

2.1.3 무기질 혼화제

본 실험에 사용된 무기질 혼화제는 수밀성과 강도증진효과가 있는 미분말 방수재로서 콘크리트 조직을 밀실하게 하기 위해 사용되었고, 이에 대한 특성은 Table 3과 같다.

2.1.4 폴리머 혼화제

폴리머 혼화제(acrylic/styrene copolymer dispersion)는 시멘트혼화용으로 투수콘크리트의 성능개선을 위하여 투입

되었으며, 이에 대한 특성은 Table 4와 같다.

2.2 배합계획

배합 인자는 현재 투수콘크리트를 취급하는 국내업체들 간에 통상적으로 사용되고 있는 배합인자와 성능을 기반으로 계획하였으며, 따라서 투수콘크리트 배합설계시 외국의 공극률을 기반으로 하는 배합설계와는 달리 단위시멘트량, 물시멘트비, 골재의 크기를 변수로 하여 고려하였다. 이에 따른 배합 인자 및 수준은 Table 5와 같다.

단위 시멘트량은 여러 번에 걸친 예비실험결과와 경제성을 충족하는 범위 내에서 설정한 목표를 달성할 수 있도록 340, 380 kg/m³으로 선정하였으며, 공극률은 일반콘크리트와는 달리 약 18~20%정도를 확보할 수 있도록 계획하였다. 물시멘트비는 혼화제 혼입을 고려하여 부배합이 되는 28%를 채택하였다. 또한, 굵은 골재의 최대크기는 투수성 확보 차원에서 13mm이하를 선택하였다.

본 실험에 사용된 무기질 혼화제와 폴리머 혼화제는 혼

Table 1 Chemical and physical properties of cement

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Specific gravity	Fineness (cm ² /g)
20.3	6.2	3.2	62.4	3.0	2.0	3.14	3,265

Table 3 Chemical properties of inorganic admixtures

SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Ig. loss	Specific gravity	Fineness (cm ² /g)
Minimum 45 %	Maximum 10 %	Maximum 13 %	16 %	1.97	3,422

Table 2 Physical properties of aggregate

Maximum size (mm)	Specific gravity	Absorption rate (%)	Fineness modulus (%)	Unit weight (kg/m ³)	Solid volume percentage (%)
13	2.57	1.97	6.34	1,490	57.98

Table 4 Properties of polymer admixtures

Regulation			Property of diffusion		
Solid contents (%)	Viscosity (mPa · s)	pH	Specific gravity	Average grain size (μm)	Minimum temperature (°C)
57	168	8	1.04	0.2	< 1

Table 5 Mixing factors and levels

	Cement content (kg/m ³)	W/B (%)	Aggregate size (mm)	Inorganic admixtures (%)	Polymer (%)
Factor	340, 380	28	13	0, 5, 10, 20	0, 10, 20, 30
Level	2	1	1	4	4

* The factors of polymer are for the replacement ratio of water

입조건이 다른데, 무기질 혼화제는 시멘트의 일부를 대체하여 결합제의 역할을 하는 것으로 하였으며, 폴리머 혼화제는 물의 일부를 대체하여 혼입되었고, 피막형성을 통해 시멘트의 수화작용을 돕는 재료로서 사용되었다.

2.3 시험방법

본 연구에서 실시한 시험은 압축강도, 인장강도, 휨강도, 동결융해저항성, 공극률, 단위용적중량 시험이다. 동결융해저항성 시험은 투수콘크리트 내구성 평가를 위해 실시하였으며, 투수성능 평가를 위해 투수시험을 실시하였다.

2.3.1 공시체 제작 및 배합

본 실험의 배합은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 실시하였다. 배합시 발생할 가능성이 있는 재료분리 현상을 방지하기 위하여 다음과 같은 배합순서에 따라 실험하였다.

골재의 사용으로 인한 각 배합별로 변화요인을 최소화하기 위하여 24시간 이상 충분한 프리웨팅(pre-wetting)을 실시한 후, 표면수량을 제거한 표면건조내부포화상태의 골재로 실험을 실시하였다.

2.3.2 실험방법

콘크리트의 배합은 기계식 믹서를 사용하지 않고 손비빔을 통하여 균일하게 혼합하였다. 공시체는 성형 1일 후 탈형하여 21°C의 항온수조에서 28일간 수중 양생하였다.

표면건조내부포화상태에서 공시체의 중량을 측정하고 이를 기준으로 단위용적중량 측정, KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험), KS F 2408(휨강도 시험 - 단순보의 3등분하중법), KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험), KS F 2322(흙의 정수위 투수시험방법)등의 방법으로 실시하였으며, 위 시험에 적용한 공시체의 크기 및 성형조건은 Table 6과 같다. 공극률 측정 및 동결융해저항성 시험방법은 다음과 같다.

1) 공극률

투수 콘크리트의 공극률은 다음 식에 의해서 구하였다.

$$P = (1 - \frac{Ga}{Gt}) \times 100$$

여기서, P : 공극률(Porosity, %)

Ga : 겉보기비중(Apparent density)

Gt : 진비중(True density)

또한 원주형 공시체의 측면과 밑면을 물이 새지 않도록 막고 물을 부어 연속 공극률을 구하였다.

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

여기서, Po : 연속공극률 (%)

W_1 : 표면건조상태의 공시체 무게

W_2 : 물을 주입하여 공시체를 완전히 포수시킨 무게

2) 동결융해저항성 시험방법

본 실험의 동결융해시험은 KS F 2456(급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법)중 수중급속동결융해시험 방법에 따라 시험을 하였으나 시료의 특성상 상대동탄성계수의 측정대신 압축강도변화의 추이를 관찰하는 것으로 하는 시험을 행하였다. 시험은 1배합을 4조로 나누어 14일간 양생한 후 1회 압축강도를 측정하고, 20, 40, 60사이클후 압축강도를 각각 측정하여 압축강도변화를 분석하였다. 일반적으로 보통콘크리트의 동결융해저항성 시험은 약 3시간을 1사이클로 하여, 30사이클을 기준으로 측정을 하나, 본 실험에서는 투수콘크리트가 낮은 동결융해저항성을 가지는 것을 고려하여 20사이클을 기준으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 실험은 단위시멘트량을 경제성과 물리적 성능이 유지

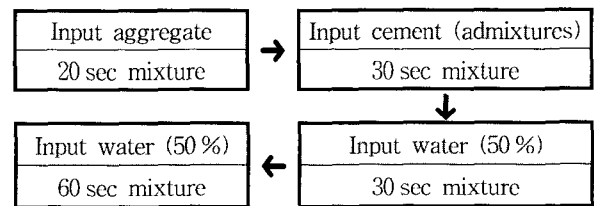


Fig. 1 Mixing program

Table 6 Rod tamping for each specimen

	Compressive, Tensile strengths	Flexural strength	Coefficient permeability
Specimen size	Cylinder mold $\phi 10 \times 20$ cm	Prism mold $10 \times 10 \times 40$ cm	Cylinder mold $\phi 10 \times 20$ cm
Rod tamping condition	75 times for 3 layers (25 times each layer)	200 times for 2 layers (100 times each layer)	50 times for 2 layers (25 times each layer)

* A 5 kg rammer was used for a rod tamping

되는 수준에서 우선적으로 고정시킨 후, 혼입재료를 사용하여 투수콘크리트의 제반성능을 개선하기 위한 실험으로서, 투수콘크리트의 고성능화를 위한 실험의 결과는 Table 7과 같으며, 이에 대한 분석결과는 다음과 같다.

3.1 단위용적중량

본 실험에서 단위용적중량은 $1.99 \sim 2.19 \text{ t/m}^3$ 의 분포를 보이고 있다. 단위결합재량이 340 kg/m^3 일 경우가 단위결합재량 380 kg/m^3 일 경우보다 단위용적중량이 대체적으로 작게 나왔으며, 단위결합재량 340 kg/m^3 에서 무기질 혼화재의 혼입율이 20%일 경우 단위용적중량이 1.99 t/m^3 로 건설교통부제정 건축공사 표준시방서상에서 정하고 있는 경량콘크리트의 단위용적중량과 유사한 것으로 나타났다.

본 실험에서의 투수콘크리트의 단위용적중량은 경량콘크리트의 규정에 상회하는 값을 나타내고 있으나 투수콘크리트의 용도가 주차장이나 자전거도로의 포장용으로 주로 쓰이는 것을 감안하면 단위용적중량은 적용에 문제가 없을 것으로 사료된다.

혼화재의 혼입에 따른 단위용적중량의 변화는 Fig. 2와 Fig. 3에 나타나 있다. Fig. 2는 무기질 혼화재를 결합재로 혼입한 데에 따른 단위용적중량의 변화 값을 나타내고 있는데, 무기질 혼화재가 혼입될수록 전반적으로 단위용적중량이 저하되는 현상을 나타내고 있다. 이는 단위 결합재량 380 kg/m^3 일 경우에 두드러지게 나타나고 있는데 시멘트량에 따라 혼화재 혼입율도 그만큼 높기 때문인 것으로 분석

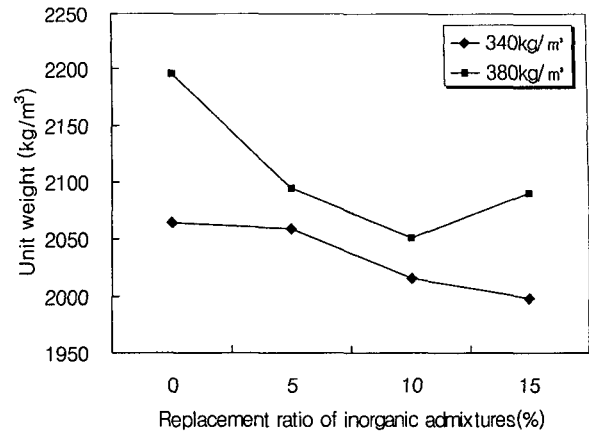


Fig. 2 Unit weight by replacement ratio of inorganic admixtures

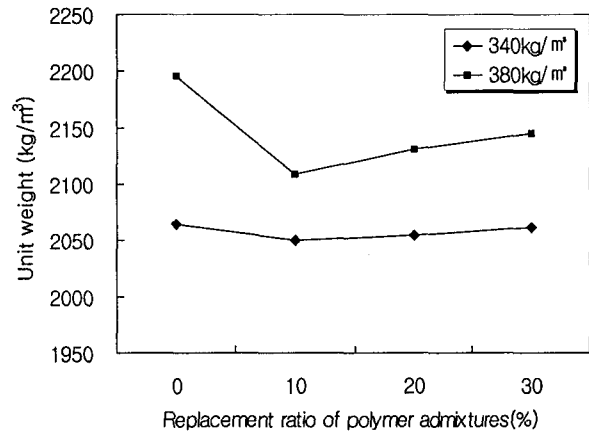


Fig. 3 Unit weight by replacement ratio of polymer admixtures

Table 7 Test results

Symbol	Cement content (kg/m³)	Aggregate size (mm)	W/B (%)	Admixture (%)	Freezing and thawing (20cycle) (kgf/cm²)		Freezing and thawing (40cycle) (kgf/cm²)		Freezing and thawing (60cycle) (kgf/cm²)		Compressive strength (kgf/cm²)	Tensile strength (kgf/cm²)	Flexural strength (kgf/cm²)	Coefficient permeability (cm/s)	Porosity (%)	Surface porosity (%)	Unit weight (kg/m³)
					G.C*	F.T*	G.C	F.T	G.C	F.T							
I-S	340	13	28	0	145	142	150	124	162	119	154	19	36	1.31×10^{-1}	9.25	4.51	2065
I-1				5	125	104	142	134	146	121	146	18	37	7.97×10^{-2}	10.27	4.53	2059
I-2				10	128	123	145	142	151	132	158	19	35	1.05×10^{-1}	10.45	5.33	2016
I-3				20	150	134	158	149	168	139	166	20	42	1.36×10^{-1}	8.23	6.29	1998
II-S	380	13	28	0	157	120	166	130	171	121	171	16	49	1.08×10^{-1}	11.37	5.63	2195
II-1				5	117	114	127	126	135	129	132	16	36	1.72×10^{-1}	12.26	4.17	2095
II-2				10	142	139	153	150	154	145	159	17	39	3.12×10^{-1}	10.42	5.16	2051
II-3				20	160	156	198	188	220	180	220	16	47	5.99×10^{-1}	7.55	1.51	2090
III-S	340	13	28	0	145	142	150	124	162	119	154	15	36	2.45×10^{-1}	11.49	4.51	2065
III-1				10	140	139	149	142	157	137	162	19	36	1.78×10^{-1}	13.98	3.17	2051
III-2				20	148	144	158	150	164	143	162	21	40	1.62×10^{-1}	12.27	5.98	2055
III-3				30	152	145	159	149	166	144	168	22	43	9.20×10^{-2}	10.77	4.64	2062
IV-S	380	13	28	0	157	120	166	130	171	121	171	16	49	1.08×10^{-2}	9.01	5.63	2195
IV-1				10	170	168	210	203	227	200	209	23	47	1.60×10^{-2}	7.92	6.37	2109
IV-2				20	162	161	190	184	205	180	204	24	51	4.08×10^{-2}	8.37	1.33	2131
IV-3				30	171	170	205	199	220	195	221	25	54	5.44×10^{-2}	7.36	4.09	2145

* G.C : General curing, F.T : Freezing and thawing

된다.

단위결합재량 380 kg/m^3 , 무기질 혼화재 15% 혼입인 경우 단위용적중량이 갑작스럽게 증가하는 결과를 보였는데, 이는 다짐을 통한 시험체 제조시, 기계다짐이 아닌 손다짐의 영향에 인한 것이라고 사료된다.

이와 반대로 Fig. 3의 폴리머 혼화재 혼입에 따른 단위용적중량의 변화는 혼화재의 혼입에 크게 영향을 받고 있지 않는 것으로 분석된다. 그 이유는 폴리머 혼화재는 물을 대체하여 사용되었으며, 혼화재의 혼입에 따른 시멘트량의 변화가 없었기 때문이다.

단위용적중량의 결과값은 전체적으로 혼화재의 혼입전보다 혼입후 약간 감소하는 추세를 보이고 있으나 경량콘크리트 단위용적중량값을 상회하는 값을 보이고 있어 다른 역학적인 성능에 큰 영향은 없을 것으로 사료된다.

3.2 압축강도

현재 적용되고 있는 투수콘크리트의 압축강도는 일반적으로 130 kg/m^3 이상으로써 저속교통 및 경교통량의 도로, 자전거 도로, 공원보도 포장, 광장, 생활도로 등을 대상으로 하고 있다. 실험결과 투수콘크리트의 압축강도 범위는 $132 \sim 221 \text{ kg/m}^3$ 로 나타났다.

혼화재 혼입에 따른 효과를 살펴보면, 무기질 혼화재의 경우 단위결합재량 380 kg/m^3 에서 혼화재 혼입에 의한 강도 증진 효과가 크게 나타났다. 단위결합재량 340 kg/m^3 의 투수콘크리트는 혼화재 혼입에 따른 강도 증진 효과가 거의 없는 것을 Fig. 4에서 볼 수 있는데, 이는 혼화재 혼입에 따라 단위시멘트량이 감소하기 때문인 것으로 보인다. 다만, 단위결합재량 380 kg/m^3 의 투수콘크리트는 혼화재 혼입에 따른 강도 증진효과가 혼화재 혼입을 15%일 경우 뚜렷하게 나타났는데, 단위시멘트량이 감소함에도 불구하고 이러한 현상을 보이는 것은 공극이 많은 투수콘크리트의 특성상 혼화재의 혼입의 효과를 얻기 위해서는 15% 이상 혼입되어야 되기 때문인 것으로 판단된다.

폴리머 혼화재 혼입의 경우 폴리머의 혼입에 따라 전체적으로 압축강도 값이 상승을 하고 있다. 이는 골재의 결합을 위한 단위시멘트량이 충분한 상태에서 폴리머 결합효과가 확실하게 작용하기 때문에 휨강도나 인장강도의 개선에 똑같은 효과가 있는 것으로 판단된다. Fig. 5의 폴리머 혼화재에 의한 압축강도의 증진효과는 폴리머의, 강도개선 효과를 잘 반영하고 있고, 투수콘크리트의 강도개선에는 긍정적인 역할을 하고 있어 혼화재의 현장적용시 높은 강도개선 효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다.

3.3 휨강도

Fig. 6과 7에서 보듯이 휨강도의 시험값은 $35 \sim 54 \text{ kgf/cm}^2$

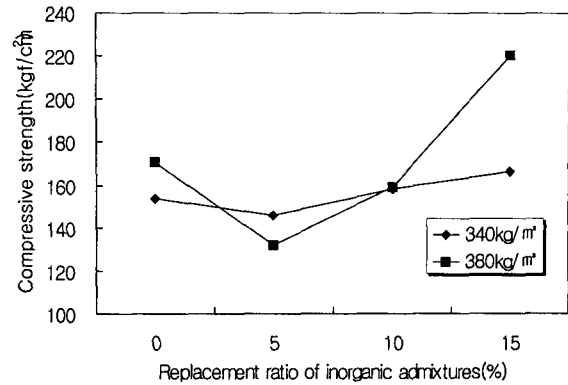


Fig. 4 Compressive strength by replacement ratio of inorganic admixtures

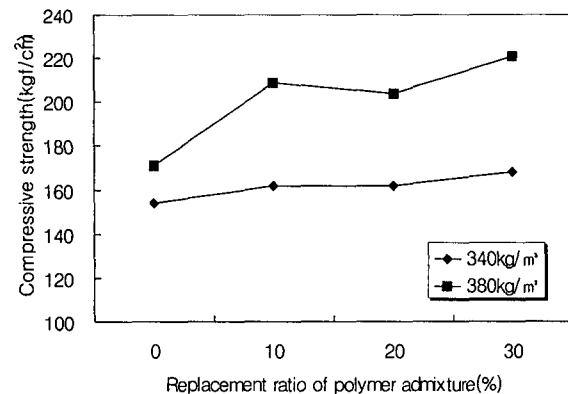


Fig. 5 Compressive strength by replacement ratio of polymer admixtures

의 분포를 보이고 있다. 도로포장용 투수콘크리트의 설계에 사용되는 콘크리트의 강도는 보통콘크리트포장에 사용되는 휨강도로 45 kgf/cm^2 를 기준으로 하며 설계시는 압축강도로 환산하여 설계한다⁷⁾. 보통콘크리트에 있어서 휨강도는 압축강도의 약 1/5~1/7수준의 경향을 보인다. 본 실험에서의 휨강도/압축강도는 최대 1/4수준까지 발현되는 것으로 나타났다.

혼화재의 혼입에 따른 휨강도 값의 변화는 압축강도에서와 동일한 양상을 보이고 있다. 즉, 무기질혼화재의 경우 휨강도의 개선효과가 거의 없지만, 폴리머 혼화재의 경우 휨강도의 개선은 기준시료에 대해 최대 76%의 성능이 증진됨을 확인할 수 있었다. 이에 도로용 포장으로의 투수 콘크리트의 적용을 위해서는 폴리머 혼화재를 이용하는 방법이 가장 바람직한 것으로 판단된다.

다만, 설계에 적용되는 45 kgf/cm^2 의 휨강도 값을 만족하는 배합은 단위결합재량 380 kgf/cm^2 에서 폴리머혼화재를 혼입한 경우로 나머지의 배합은 휨강도가 모두 미달하는 것으로 나타났다.

3.4 인장강도

일반 콘크리트에 있어서 압축강도와 인장강도의 비는

1/10~1/13으로 나타나며, 본 실험결과 인장강도/압축강도 비는 최대 1/8로 나타났다. 본 실험 결과 단입도 투수콘크리트의 인장강도 범위는 Fig 8과 Fig.9에서 보듯이 15~25 kgf/cm²이고 기준되는 투수콘크리트의 인장강도는 19 kgf/cm²으로 나타났다.

혼화재 혼입에 따른 인장강도의 변화는 압축강도와 휨강도에서 보여지는 경향을 그대로 보여주고 있다. 즉, 무기질 혼화재에서는 강도개선 효과가 거의 없지만 폴리머 혼화재에서의 강도 개선효과는 휨강도의 비율만큼이나 뚜렷하게 보여주고 있다. 인장강도는 투수콘크리트의 포장 설계시 크게 중요한 인자가 아니나 압축강도나 휨강도의 특성을 반영한다는 측면에서 고려가 필요하다.

3.5 투수계수

본 실험 결과 투수콘크리트의 투수계수 범위는 Fig. 10과 Fig. 11에서 보듯이 $1.05 \times 10^{-1} \sim 9.20 \times 10^{-2}$ cm/sec이며, 기준되는 투수콘크리트 시험체의 투수계수 범위는 1.31×10^{-1} cm/sec로 나타났다. 이러한 결과는 현장에서 적용되는 기준이나 일본 동경시의 기준을 대체적으로 만족하는 것으로 나타났으나 일부 시험체에서 업계가 자체적으로 제공하는 1.0×10^{-2} cm/sec의 기준을 미달하고 있는 것으로 나타났다. 단위시멘트량 380kg/m³의 경우 무기질 혼화재의 혼입률 15%에서 갑작스런 투수계수의 증가를 보이는데, 이는 무기질 혼화재나 단위시멘트량의 영향이라기 보다는, 투수콘크리트 제조시 공극의 불연속적인 분포에 기인한 것이라고 사료된다.

기준을 미달하는 투수계수를 보이는 투수콘크리트는 Fig. 11에서 보듯이 폴리머 혼화재를 혼입한 콘크리트인데 이는 무기질 혼화재를 혼입한 투수콘크리트는 혼화재 혼입량 증가에 따라 시멘트량이 감소한 반면, 폴리머 혼화재를 혼입한 투수콘크리트는 혼화재 혼입량 변화에 따른 시멘트량의 변화가 없었기 때문이다. 투수콘크리트의 강도 증가가 조적이 좀 더 밀실해 짐에 있다는 것을 고려하면 투수계수가 강도 발현과 반대 결과를 보이는 것은 타당하다. 다만, 강도의 발현과 투수계수의 증가를 동시에 얻을 수 있는 배합의 도출이 중요한데 본 실험에서는 목표 투수계수를 보이는 배합은 단위결합재량이 340 kg/m³인 것으로 나타났다.

3.6 공극률

본 실험에서 투수콘크리트의 공극률은 8.23~13.98%로 나타났다. 혼화재의 혼입에 따른 공극률의 변화는 전체적으로 공극률이 감소하는 것으로 나타났으며 공극률의 변화는 투수계수의 감소경향과 일치하고 있다. 단위결합재량 380 kg/m³에서 공극률의 감소경향이 뚜렷한데 이는 폴리머 혼화재가 공극을 밀실하게 하기 때문으로 강도 증가 경향과는 반대의 현상이라고 할 수 있다.

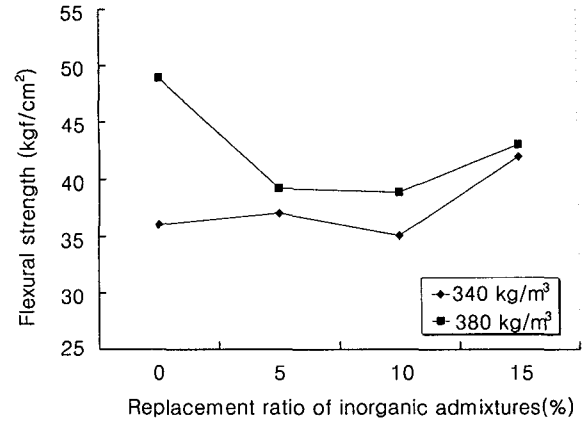


Fig. 6 Flexural strength by replacement ratio of inorganic admixtures

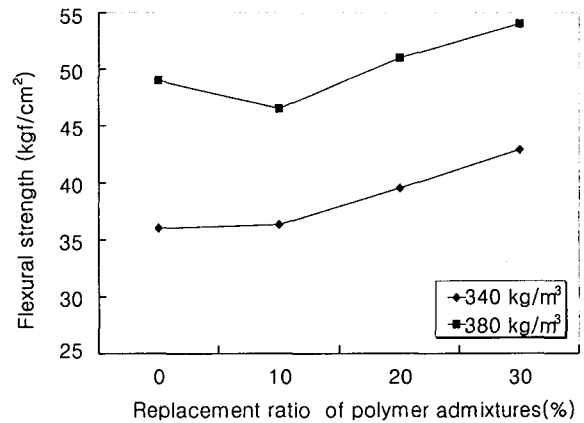


Fig. 7 Flexural strength by replacement ratio of polymer admixtures

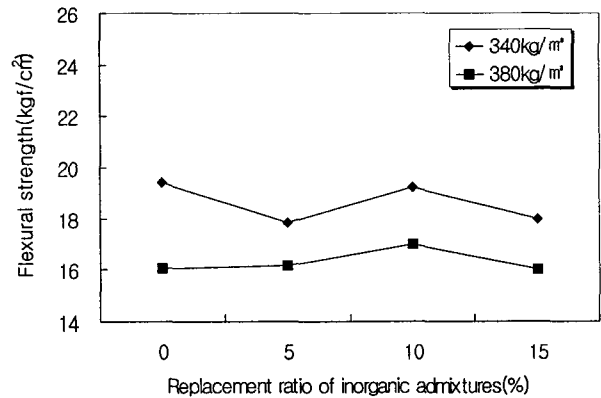


Fig. 8 Tensile strength by replacement ratio of inorganic admixtures

Fig. 12와 Fig. 13에서 보듯이 표준 투수콘크리트 공시체에 대하여 공극률의 감소는 폴리머 혼화재에서 더 큰 것을 알 수 있다. 실험의 난이도로 인하여 공극률 결과값이 그림 13의 단위시멘트량 380 kg/m³의 경우에서와 같이 일정하지 못한 경향을 보이고 있는데, 이는 투수콘크리트 내부의 연

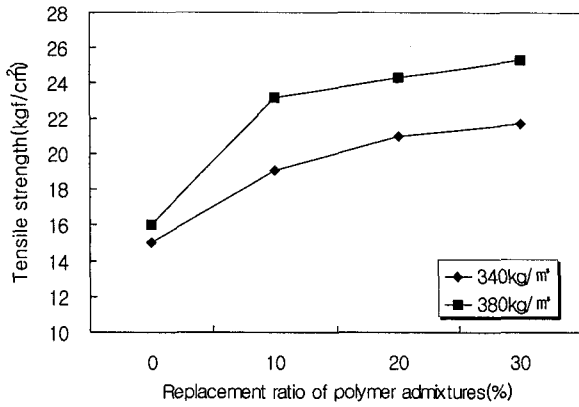


Fig. 9 Tensile strength by replacement ratio of polymer admixtures

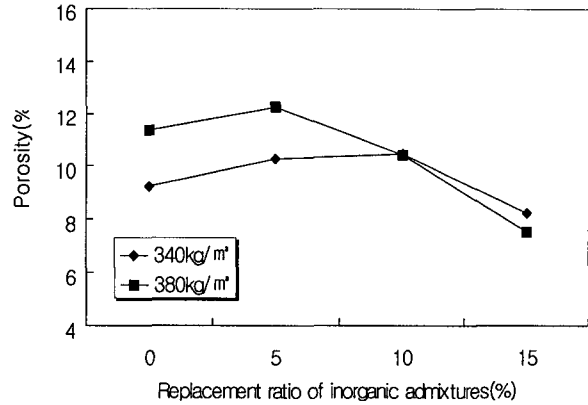


Fig. 12 Porosity by replacement ratio of inorganic admixtures

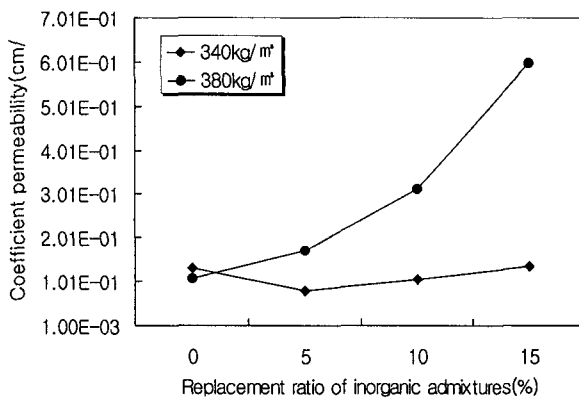


Fig. 10 Coefficient permeability by replacement ratio of inorganic admixtures

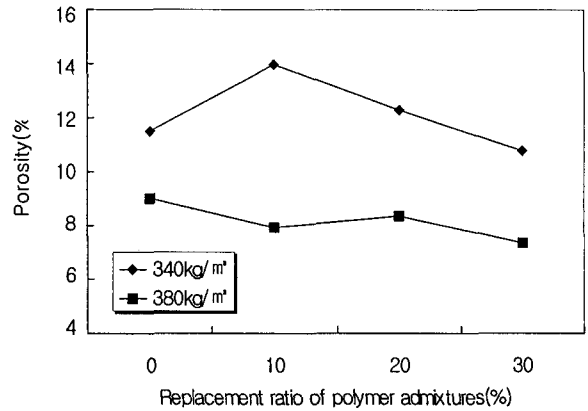


Fig. 13 Porosity by replacement ratio of polymer admixtures

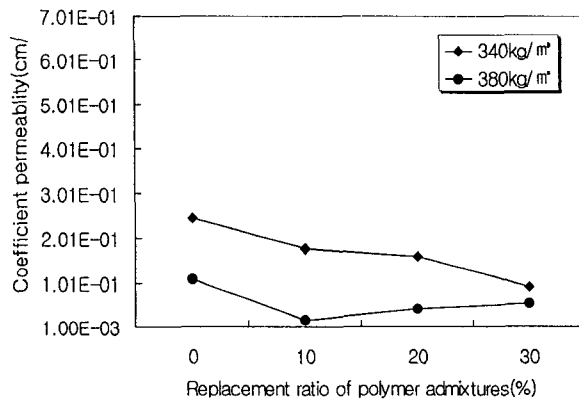


Fig. 11 Coefficient permeability by replacement ratio of polymer admixtures

속공극과 폐쇄공극의 분포 상황이 일정하지 않기 때문인 것으로 사료된다.

3.7 동결융해저항성

외국의 문헌에^{1,4,8,9)} 의하면 투수콘크리트의 동결융해

저항성은 매우 낮은 것으로 보고되고 있다. 이에 실험 전 동결융해 사이클을 보통 콘크리트에 대비하여 크게 낮은 수준인 20, 40, 60사이클을 선정하여 실험을 실시하였다.

일반적으로 보통콘크리트에 있어서 동결융해 저항성은 200~250 cycle에서 동탄성계수가 60% 이하로 되며, 공기연행제를 첨가하였을 경우에는 300~350 cycle까지 발현되는 것으로 알려져 있다¹⁰⁾.

투수콘크리트에 대한 동결융해저항성 시험은 시료의 특성상 동탄성계수의 측정이 난이하여 압축강도의 발현정도를 가지고 실험을 실시하였다. 실험결과 20 cycle에서 투수콘크리트의 압축강도는 88~170 kgf/cm²로 나타났으며, 이때 일반 양생된 투수콘크리트는 104~171 kgf/cm²로 나타나 동결융해저항성이 어느 정도 확보되고 있는 것으로 나타났다. 40 cycle에서는 투수콘크리트 압축강도는 109~199 kgf/cm²이며, 60 cycle에서는 투수콘크리트 압축강도범위가 119~200 kgf/cm²로 나타났다.

Fig. 14~Fig. 17을 살펴보면 동결융해에 의한 압축강도의 감소는 혼화재의 변화량이나 단위결합재량의 변화에 관계없이 일정하게 감소하는 경향을 나타내고 있으나 Fig. 15

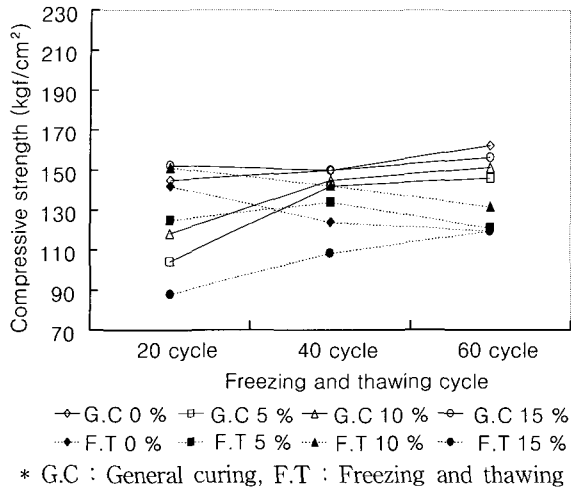


Fig. 14 Freeze-thaw resistance by replacement ratio of inorganic admixtures (Unit cement 340 kg/m³)

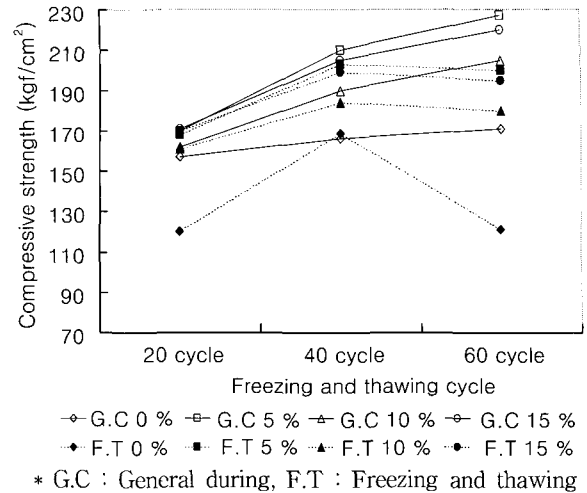


Fig. 17 Freeze-thaw resistance by replacement ratio of polymer admixtures (Unit cement 380 kg/m³)

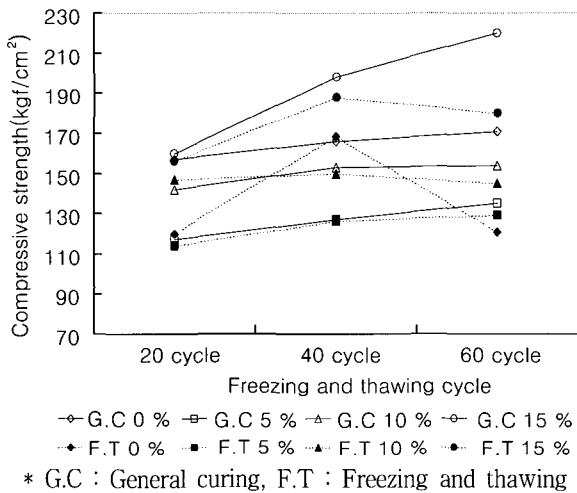


Fig. 15 Freeze-thaw resistance by replacement ratio of inorganic admixtures (Unit cement 380 kg/m³)

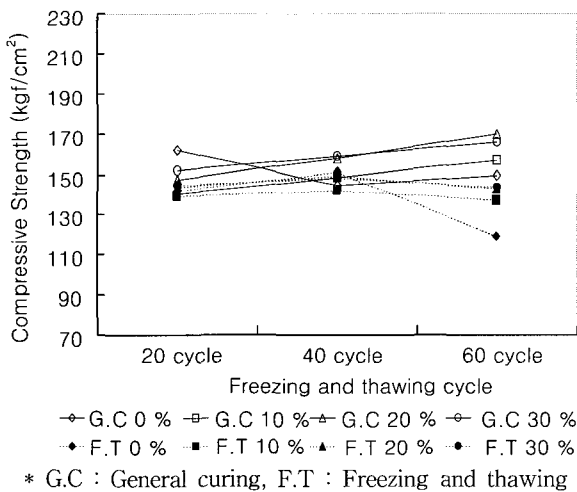


Fig. 16 Freeze-thaw resistance by replacement ratio of polymer admixtures (Unit cement 340 kg/m³)

단위결합재량 380 kg/cm³의 무기질 혼화재를 혼입한 배합에서는 그 저하 폭이 다른 배합에 비하여 크게 나타나고 있다. 혼화재의 특성에 따른 압축강도의 감소는 폴리머 혼화재가 혼입된 투수콘크리트의 경우 무기질 혼화재에 비하여 상대적으로 적은 강도저하를 나타내고 있어 현장 적용을 위해서는 폴리머 혼화재를 사용하는 것이 적합할 것으로 나타났다.

4. 결 론

성능개선을 위한 혼화재를 혼입한 고성능 보차도용 투수 콘크리트의 배합실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 투수콘크리트의 성능개선을 위한 혼화재의 사용은 어느 정도의 강도개선을 할 수 있었으나 상대적으로 투수계수가 저하하는 문제점을 노출하였다. 또한, 강도개선 정도에 있어서도 본 연구의 목표인 270 kgf/cm²의 압축강도를 만족시키기에는 한계가 있는 것으로 실험결과가 도출되었다. 따라서 투수콘크리트의 강도개선과 투수성을 모두 고성능화하기에는 문제가 있는 것으로 분석되었다.

2) 콘크리트의 강도시험결과 압축강도의 범위는 132~221 kgf/cm², 휨강도 범위는 36~54 kgf/cm², 인장강도 범위는 15~25 kgf/cm²로 나타나 연구목표인 압축강도 270 kgf/cm²에 도달하지 못하였다.

3) 투수계수는 1.05×10⁻¹~9.20×10⁻² cm/sec로 연구의 목표를 부분적으로 만족시키고 있다. 다만, 현재 업계에서 사용되는 시방기준이 다소 높다는 점을 감안하면 투수성에는 문제가 없는 것으로 사료된다.

4) 동결융해저항성에 대한 시험결과 본 실험에서의 투수 콘크리트는 어느 정도의 동결융해저항성을 확보하고 있는

것으로 분석되었다. 다만, 사이클수를 너무 작게 하여 실험을 하였고 기건동결 수증용해의 시험방법을 채택하였기 때문에 향후 수증동결 수증용해의 시험이 실시되어야 할 것으로 판단된다.

5) 압축강도를 향상시키는 방법은 단위시멘트량의 증가, 결합재의 개선과 골재의 입도조정을 생각할 수 있다. 대체로 단위시멘트량을 증가시키기에 따라 압축강도를 증가시킬 수는 있으나 현장에 투입하기에는 경제적인 면에서 이용가치가 없다고 사료되며, 결합재의 개선은 시멘트 대신 폴리머를 사용하거나 다른 재료를 적용하는 방안을 고려하여 볼 수 있으나 적용시 현장적용성과 경제성평가 등이 필요하며, 아울러 골재의 입도조정에 따른 연구도 수반되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 菅原賢司, 田中耕作, 排水性舗装の耐久性向上の一例, 建設圖書(株), 1995.
2. 高橋知生 外, “透水性コンクリートの開発,” 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 14, 1992, pp.351~356.
3. 安崎 裕 外, “透水性コンクリート舗装の適用性に關する實驗,” 道路建設, 1988, pp.52~56.
4. Charles J. Kohornen, “Porous Portland Cement Concrete as an Airport Runway Overlay,” USACERL, 1989.
5. 大友武臣外, “透水性コンクリートの開發に關する研究,” 第45回セメント技術大會 講演集, 1991, pp.750~755.
6. 出村克宜 外, “ポリマー混入透水コンクリートの開發,” セメント・コンクリート 論文集, No. 47, 1993, pp.226~231.
7. 한국건설자재시험연구원, 투수콘크리트의 성능평가, 1996.
8. 松尾伸二 外, “透水コンクリートの透水・透濕・吸音特性,” 콘크리트工學年次論文 報告集, Vol. 15, 1993, pp.525~530.
9. 松尾伸二 外, “起泡劑を用いた透水性コンクリートの特性,” 第46回セメント技術大會 講演集, 1992, pp.948~953.
10. 한국콘크리트학회, 최신 콘크리트공학, 1994.

요 약

투수콘크리트는 보통 10~20%의 공극으로 인하여 비교적 높은 투수성을 가진 건축재료로 국내에는 1980년대 초에 알려졌으나 정형화된 배합의 부재, 낮은 강도와 내구성 등의 문제로 아직까지는 널리 사용되지 못하는 실정이다. 따라서 본 연구는 투수콘크리트의 물리적 특성을 만족시키면서 건설현장에 적용가능한 고성능 투수콘크리트를 제조함과 아울러 일정한 수준이상의 품질을 확보하는데 그 목적이 있다.

혼화재를 혼합한 투수콘크리트의 물리적 특성에 관한 본 연구의 결과로, 압축강도 범위는 132~221 kgf/cm², 인장강도 범위는 15~25 kgf/cm², 휨강도 범위는 36~54 kgf/cm², 투수계수 범위는 1.05×10⁻¹~9.20×10⁻² cm/sec로 나타났다.

향후, 최대골재크기의 변화 또는 기타 혼화재의 사용 등 배합인자에 대한 다양한 검토를 통하여 지속적인 고성능 투수콘크리트의 개발이 요구되어진다.

핵심용어 : 투수콘크리트, 투수계수, 강도, 내구성