

석분과 플라이 애쉬를 혼입한 투수용 폴리머 콘크리트의 공학적 성질

Engineering Properties of Permeable Polymer Concrete With Stone Dust and Fly Ash

성 찬 용* · 정 현 정*
Sung, Chan Yong · Jung, Hyun Jung

Summary

This study was performed to evaluate the engineering properties of permeable polymer concrete with stone dust and fly ash and unsaturated polyester resin.

The following conclusions were drawn.

1. The highest strength was achieved by stone dust filled permeable polymer concrete, it was increased 17% by compressive strength, 188% by bending strength than that of the normal cement concrete, respectively.

2. The water permeability was in the range of $3.076 \sim 4.152 \ell / \text{cm}^2 / \text{h}$, and it was largely dependent upon the mix design. These concrete can be used to the structures which need water permeability.

3. The static modulus of elasticity was in the range of $1.15 \times 10^5 \sim 1.32 \times 10^5 \text{kg} / \text{cm}^2$, which was approximately 53~56% of that of the normal cement concrete.

4. The poisson's number of permeable polymer concrete was in the range of 5.106 ~ 5.833, which was less than that of the normal cement concrete.

5. The dynamic modulus of elasticity was in the range of $1.29 \times 10^5 \sim 1.5 \times 10^5 \text{kg} / \text{cm}^2$, which was approximately less compared to that of the normal cement concrete. Stone dust filled permeable polymer concrete was showed higher dynamic modulus. The dynamic modulus of elasticity were increased approximately 7~13% than that of the static modulus.

6. The compressive strength, bending strength, elastic modulus, poisson's ratio, longitudinal strain and horizontal strain were decreased with the increase of poisson's number and water permeability at those concrete.

*충남대학교 농과대학

키워드 : 투수용 폴리머 콘크리트, 충전재, 강도, 투수량, 탄성계수, 응력-변형률

I. 서 론

근래 건설기술향상과 더불어 특수재료를 사용한 콘크리트에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있으며, 그 결과 시멘트 콘크리트의 결점을 개선하고 성능이 우수한 고분자 재료를 사용한 새로운 폴리머 콘크리트가 등장하였다.

최근에 이르러 국내외적으로 폴리머 콘크리트에 대한 연구가 활발히 추진되고 있으나 그 중 투수용 폴리머 콘크리트에 관한 것은 성⁸⁾의 연구 외에는 거의 찾아 볼 수 없는 실정이다.

폴리머 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 접착성, 방수성, 내구성 등이 우수하고 경화속도가 빠르며, 특히, 압축강도 뿐만 아니라 휨강도가 월등히 큰 것으로 알려져 있다⁹⁾.

이와같이 우수한 특성이 있는 폴리머를 사용하여 투수를 요하는 개소의 구조물에 활용하기 위해서 결합재로 시멘트가 아닌 불포화 폴리에스테르 수지를 사용하여 공극을 형성하여 투수가 될 수 있는 콘크리트인 투수용 폴리머 콘크리트를 만들고자하며, 이러한 투수용 폴리머 콘크리트는 차도, 보도, 주차장, 차도블록, 보도블록, 정원, 웅벽 등의 시설물에 사용할 수 있을 뿐만 아니라 배수와 염분제거를 위한 배수관, 집수관 및 제염관등에 이용함으로써 많은 효과를 얻을 수 있을 것이다.

한편, 화력발전소에서 부산물로 생산되는 플라이 애쉬는 전세계적으로 매년 약 2억여톤으로 추산되고, 이중 일부만 활용되고 있을 뿐 거의 사용되지 못하고 있는 실정이며⁷⁾, 쇄석골재를 만들 때 부산물로 석분이 많이 생산되는데 이 석분을 투수용 폴리머 콘크리트의 충전재로 사용하면 자원 재활용이란 차원에서 효율적인 이용이라 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 석분과 플라이 애쉬를 혼입한 투수용 폴리머 콘크리트의 압축강도, 휨강도, 투수량, 정탄성계수, 포아손수, 포

와손비, 종변형율, 횡변형율, 응력-변형을 특성 및 동탄성계수등의 공학적 성질을 실험적으로 구명하여 제반 투수용 시설 및 구조물에 활용하기 위한 기초자료를 마련하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 폴리머

국내에서 생산 시판되고 있고, 콘크리트용으로 적당한 물성을 가진 불포화폴리에스테르 수지를 사용하였으며, 이의 일반적 성질은 Table-1과 같다.

Table-1. General properties of unsaturated polyester resin

Type	Specific gravity	Viscosity (25°C, ps)	Styrene content(%)	Acid value
Ortho	1.12	3.5	37.2	26.5

나. 경화제

본 실험에서는 경화제에 경화촉진제가 첨가되어 있는 것으로서 경화제만 첨가하면 상온에서 경화되는 제품을 사용하였으며, 그 경화제의 일반적 성질은 Table-2와 같다.

Table-2. General properties of hardner

Component	Specific gravity (25°C)	Active oxygen (%)
MEKPO 55% DMP 45%	1.13	10.0

다. 골재

투수용 폴리머 콘크리트에 사용된 골재는 금강유역에서 채취한 것을 사용하였다. 또한, 폴리머 콘크리트용 골재의 함수율은 0.1%이하⁵⁾가 되어야 하므로 세척후 100±5°C로 조절된 건조기에서 24시간 건조시킨 후 상온에

서 충분히 냉각시켜 사용하였으며, 사용된 골재의 물리적 성질은 Table-3과 같다.

Table-3. Physical properties of aggregates

Classification	Size (mm)	Specific gravity (20℃)	Absorption ratio(%)	F. M	Unit weight (t/m ³)
Coarse aggregate	4.75~10	2.63	2.15	6.00	1.55
Fine aggregate	0.595~4.75	2.63	0.07	2.96	1.53

라. 충전재

충전재는 무기질 분말이어야 하며 흡수성이 작고 수분함량이 1% 미만⁵⁾이어야 한다.

본 실험에 사용한 충전재는 입경이 0.297mm 이하의 플라이 애쉬와 입경이 0.595mm 이하의 편마암 석분을 사용하였으며, 이의 물리적 성질과 화학적 성분은 Table-4와 같다.

Table-4. Chemical composition and physical properties of fillers

Item	Stone Dust	Fly Ash
	SiO ₂	73.40
Al ₂ O ₃	11.30	28.00
K ₂ O	4.77	—
Fe ₂ O ₃	3.00	4.60
Na ₂ O	3.63	—
MgO	0.25	1.70
CaO	0.98	—
Ig.loss	0.61	3.84
Bulk density(t/m ³)	1.682	1.072
Specific gravity(20℃)	2.66	2.6
Specific surface(Blain)(cm ² /g)	3.054	3,650

2. 공시체 제작

가. 콘크리트 배합

충전재로서 플라이 애쉬만을 혼입한 S1, 플라이 애쉬와 석분을 사용하되 중량비로 플라이 애쉬 75% 석분 25%를 혼입한 S2, 석분과 플라이 애쉬를 각각 50% 혼입한 S3, 플라

이 애쉬 25% 석분 75%를 혼입한 S4, 충전재로서 석분만을 혼입한 S5등 5가지 배합비로 하였으며, 투수용 폴리머 콘크리트의 재령 7일 압축강도를 200kg/cm²이상, 휨강도는 90kg/cm²이상, 투수량은 시간당 세계 최대 강수량인 300mm 이상을 투수 할 수 있도록 배합설계를 하였던 바, 결합재의 조제와 배합설계는 각각 Table-5 및 Table-6과 같다.

Table-5. Formulation of binder

(Unit : wt. ratio)

Kind of polymer	Type	Resin	Hardner
Unsaturated polyester resin	Ortho	100	2

Table-6. Mix design of permeable polymer concrete

(Unit:wt.%)

Type	Binder	Aggregate		Filler		Total
		Fine	Coarse	Stone Dust	Fly Ash	
S1	7.29	16.17	68.30	—	8.24	100
S2	7.38	16.14	68.28	2.05	6.15	100
S3	7.53	16.11	68.26	4.05	4.05	100
S4	7.60	16.05	68.25	6.08	2.02	100
S5	7.79	16.00	68.21	8.00	—	100

나. 공시체 제작 및 양생

공시체는 KS F 2419(폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법)에 규정된 방법에 의해 제작하였으며, 몰드에 타설된 공시체는 3시간 후 탈형하여 실험실(온도 20±1℃, 습도 60±2%)에서 소정의 재령까지 기건양생시켰다.

3. 시험방법

시험방법은 재령 7일에 KS와 BS에 규정된 방법에 준하여 실시하였으며, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 시험결과치로 하였다.

가. 압축강도시험

압축강도시험은 $\phi 75 \times 150\text{mm}$ 의 공시체를 제작하여 KS F 2481(폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 규정된 방법에 의해 측정하였다.

나. 휨강도시험

휨강도시험은 $60 \times 60 \times 240\text{mm}$ 의 공시체를 제작하여 KS F 2482(폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 규정된 방법에 의해 측정하였다.

다. 투수량 시험

투수량 시험은 $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 70\text{mm}$ 의 공시체에 Fig. 1과 같은 투수시험장치에 의하여 5회 측정된 값을 평균하여 시간당 투수량으로 산출하였다.

라. 정탄성계수와 포와손비

정탄성계수와 포와손비는 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 인 공시체에 컴프레소 미터(compresso meter)와 엑스텐소 미터(extenso meter)를 부착하여 KS F 2438(콘크리트 원주공시체의 정탄성계수 및 포와손비 시험방법)에 규정된 방법에 따라 극한 하중의 40%를 가해 얻은 응력과 종·횡변형률 및 종변형률이 0.00005일때의 응력과 횡변형률을 측정하여 정탄성 계수, 포와손비, 포와손수, 종변형률 및 횡변형률을 구하였다.

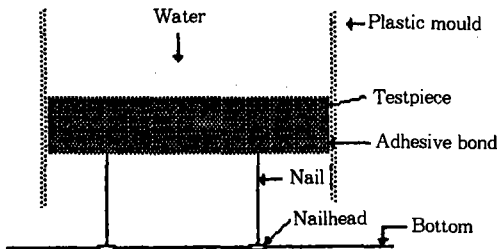


Fig. 1. Schematic drawing of the permeability test apparatus

마. 동탄성계수

동탄성계수는 비파괴시험방법으로서 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 인 공시체의 길이방향 양면 중앙에 종진동에 의한 공명진동 측정기를 사용하여 BS 1881²⁾(콘크리트의 동탄성계수 측정방법)에 규정된 방법에 따라 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 압축강도

압축강도는 배합설계의 기준이 될 뿐만 아니라 인장강도, 휨강도 및 탄성계수 등의 값을 추정할 수 있고, 타설시 거푸집의 제거 시기를 결정할 수 있는 기준이 된다¹⁾. 보통 시멘트 콘크리트와 역학적 성질이 다소 다른 투수용 폴리머 콘크리트의 배합설계에 따른 압축강도 시험결과를 나타내면 Table-7과 같다.

Table-7에서 보는 바와 같이 투수용 폴리머 콘크리트의 압축강도는 배합설계에 따라 $204 \sim 246\text{kg/cm}^2$ 로, 이는 보통 시멘트 콘크리트의 재령 28일 압축강도 210kg/cm^2 에 비해 S1은 97%, S2는 101%, S3은 105%, S4는 110%, S5는 117%의 강도를 나타냄으로써, S1을 제외한 모든 투수용 폴리머 콘크리트에서 보통 시멘트 콘크리트의 강도보다 1~17% 크게 나타났다.

또한, 충전재로 사용된 석분의 양이 증가하면 증가할수록 강도가 크게 나타났는데, 이는

Table-7. Test results of compressive strength and bending strength

Type	Compressive strength (kg/cm ²)	Bending strength (kg/cm ²)
S1	204	98
S2	214	104
S3	221	112
S4	231	114
S5	246	121

석분이 플라이 애쉬보다 단위중량이 크고, 콘크리트 제조시 수지가 많이 소요되었기 때문에 강도의 증가를 가져온 것으로 판단된다.

2. 휨강도

투수용 폴리머 콘크리트에 대한 휨강도 시험결과는 Table-7과 같이 98~121kg/cm² 정도로 보통 시멘트 콘크리트의 재령 28일 휨강도 42kg/cm²에 비해, S1은 233%, S2는 247%, S3은 266%, S4는 271%, S5는 288%의 강도를 나타냄으로써 보통 시멘트 콘크리트의 강도보다 133~188% 크게 나타났다. 이와같은 결과는 투수용 폴리머 콘크리트의 결합재인 수지의 특성에 기인한 것으로서 투수를 요하고 특히 휨을 많이 받는 구조물에 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

이와같이 폴리머 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트에 비해 압축강도도 크지만 휨강도가 더욱 크게 나타난다는 것을 알 수 있다¹⁰⁾.

3. 투수량

투수량은 본 실험에서 가장 중요한 항목중의 하나로써 단위시간당 투수량에 주안점을 두고 실험하였다. 투수시험은 특별히 제작된 투수시험장치에 투수용 폴리머 콘크리트 시험체를 밀착시킨 후 8ℓ의 물을 투입하여 물이 모두 투과되었을 때의 시간을 평균하여 단위면적에 대한 시간당 투수량으로 산출하였으며, 투수용 폴리머 콘크리트의 투수시험결과를 나타내면 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 보는 바와같이 투수량은 전배합 설계에서 3.076~4.152 ℓ/cm²/h로 나타났는데, 이 결과는 기록상 시간당 세계에서 가장 많은 강수량인 300mm와 비교할 때 102~138배의 수량을 투수할 수 있는 성능이 우수한 투수용 폴리머 콘크리트라 할 수 있다.

한편, 압축강도와 투수량과의 상관관계식을 나타내면 Fig. 3과 같이 $Y = 37.48X + 362$ 이

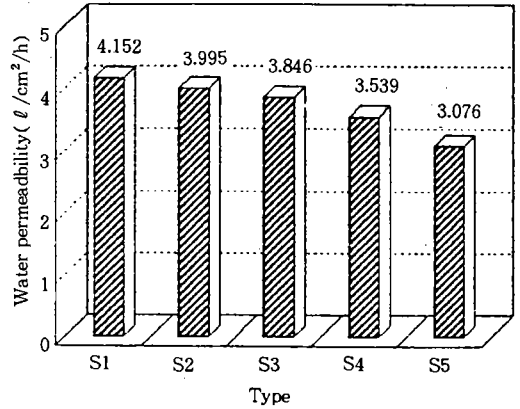


Fig. 2. Comparison of water permeability by type of filler

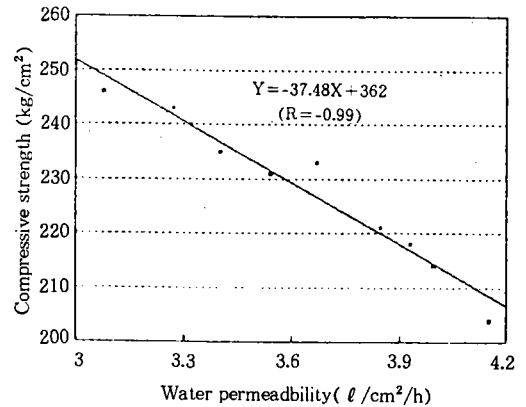


Fig. 3. Correlation between water permeability and compressive strength

고 상관계수는 $R = -0.99$ 로 이들 상호간에는 고도의 부의 상관관계가 있었으며, 압축강도가 증가할수록 투수량은 감소하였고, 투수량이 증가할수록 압축강도는 감소하였다.

4. 정탄성계수

탄성계수는 강도뿐만 아니라 재료의 역학적 성질을 나타내는 요소의 하나로서 대체적으로 탄성계수가 작으면 재료의 변형성이 크다는 것을 의미한다. 콘크리트의 탄성계수는 콘크리트의 압축강도가 클수록 크며, 재령이 길수록, 공기량이 적을수록 탄성계수는 커진다³⁾.

Table-8. Test results of static modulus of elasticity, poisson's and strain of permeable polymer concrete

Type	Static modulus of elasticity ($\times 10^3 \text{kg/cm}^2$)	Dynamic modulus ($\times 10^3 \text{kg/cm}^2$)	Dynamic Static	Poisson's		Strain ($\times 10^{-3}$)	
				Ratio (1/m)	Number (m)	Longitudinal	Horizontal
S1	115	129	112	0.171	5.833	0.595	0.102
S2	122	134	109	0.173	5.787	0.625	0.108
S3	123	135	109	0.175	5.715	0.663	0.116
S4	128	138	107	0.177	5.651	0.712	0.126
S5	132	150	113	0.196	5.106	0.725	0.142

투수용 폴리머 콘크리트의 정탄성계수 시험결과를 나타내면 Table-8와 같이 $1.15 \times 10^5 \sim 1.32 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ 으로서 보통 시멘트 콘크리트의 정탄성계수를 구하는 식 $15,000\sqrt{\sigma k}$ 에 압축강도의 최저치인 204kg/cm^2 와 최고치인 246kg/cm^2 를 대입하여 환산한 값인 $2.14 \times 10^5 \sim 2.35 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ 와 비교하면 투수용 폴리머 콘크리트의 정탄성 계수는 보통 시멘트 콘크리트의 53~56%수준에 머무르고 있다. 이와 같이 투수용 폴리머 콘크리트가 보통 시멘트 콘크리트의 강도 수준에 있으면서도 탄성계수가 작은 원인은 투수증대를 위한 공극의 증가로 인한 결과라 하겠다.

또한, 정탄성 계수는 석분의 혼입량이 많을수록, 압축강도가 클수록 크게 나타났고, 투수량이 많을수록 작게 나타났다.

5. 포아손수

탄성체에 외력이 작용하면, 그 외력이 작용하는 방향인 종방향 뿐만 아니라 횡방향에도 변형이 생기는데 종변형율에 대한 횡변형율의 비를 포아손비(Poisson's ratio)라고 하며, ν 또는 1/m로 표시한다. m은 포아손수라고 부르며, 보통금속재료의 m은 3~4, 보통 시멘트 콘크리트는 6~12정도이다⁴⁾. 투수용 폴리머 콘크리트의 포아손수 시험결과를 나타내면 Table-8와 같이 5.106~5.833으로 보통 시멘트 콘크리트의 포아손수 6~12보다 작게 나타났다는데, 이러한 결과는 보통 시멘트 콘크리

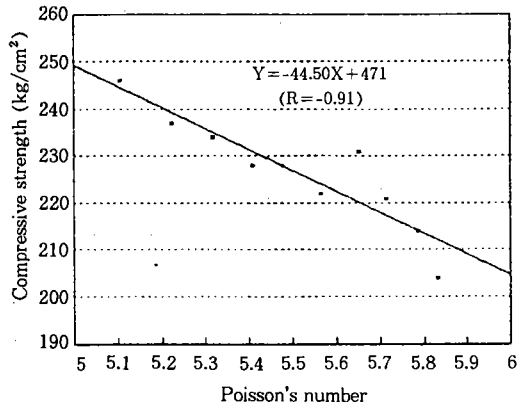


Fig. 4. Correlation between poisson's number and compressive strength

트에 비하여 투수용 폴리머 콘크리트는 투수를 위한 공극의 증가로 하중이 종방향으로 가할 때 보다 횡방향으로 가할 때가 더 많은 영향을 받은 결과라 할 수 있다.

또한, 포아손수는 석분의 양이 증가할수록 작게 나타났다.

한편, 압축강도와 포아손수와의 상관관계를 그림으로 나타내면 Fig. 4와 같이 $Y = -44.50X + 471$ 이고 상관관계는 $R = -0.91$ 로써 이들 상호간에는 부의 상관관계를 나타내었다.

6. 응력-변형율

재료는 외력을 받으면 변형하여 형상과 치수가 변한다. 변형량과 변형전 치수와의 비를 변형율이라 하며, 투수용 폴리머 콘크리트의 응력-변형율 시험결과를 나타내면 Table-8 및

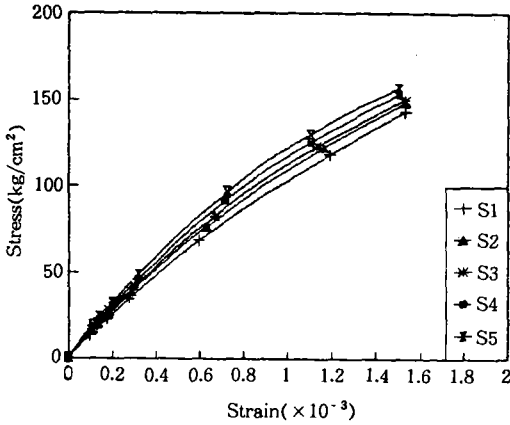


Fig. 5. Stress-strain curves of permeable polymer concrete

Fig. 5와 같이, 응력-변형을 곡선은 극한강도의 40%까지 거의 직선적으로 나타났으며, 변형율은 강도가 클 수록, 석분의 혼입량이 많을수록 크게 나타났고, 플라이 애쉬의 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다.

또한, 종변형율과 횡변형율도 석분의 혼입량이 증가할수록 크게 나타났다.

7. 동탄성계수

동탄성계수시험은 비과파시험방법의 일종으로서, 이 방법은 전혀 하중을 가하지 않고 전파를 공시체의 상대편에서 발사하여 읽은 Hz를 측정해서 이것으로 동탄성계수를 구하여 콘크리트의 성능시험을 하는 방법중의 하나로, 일반적으로 탄성계수가 작으면 재료의 변형량이 크고, 탄성계수가 크면 대체적으로 강도가 크게 나타난다는 것을 의미한다^{6,9)}.

투수용 폴리머 콘크리트의 동탄성계수에 대한 시험결과를 비교하면 Table-8과 같다.

이 결과에서 보는 바와같이 동탄성계수는 모든 배합설계에서 $1.29 \times 10^5 \sim 1.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 으로 나타났는데, 이것은 보통 시멘트 콘크리트의 재령 28일 동탄성계수 $2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 의 61~71% 정도로서 변형량이 크다는 것

을 알 수 있다.

또한, 투수용 폴리머 콘크리트중 S2, S3, S4 및 S5의 압축강도 및 휨강도는 보통 시멘트 콘크리트의 그것보다 상회하는 결과를 나타냈는데도 불구하고 동탄성계수가 작게 나타난 가장 큰 이유중의 하나는 탄성파가 내부를 통과할때 많은 공극 때문에 전파의 속도가 감쇄됐기 때문이며, 동탄성계수는 압축강도, 휨강도 및 정탄성계수가 클수록 크게 나타났다. Table-8은 정탄성계수에 대한 동탄성계수의 비를 나타낸 것으로 동탄성계수는 각 배합설계에 따라 7~13% 정도 정탄성 계수보다 크게 나타났는데, 이는 보통 시멘트 콘크리트의 동탄성계수는 정탄성계수에 비하여 약 20~40% 정도 크며, 재령이 증가하면 정탄성계수에 대한 동탄성계수의 비는 증가하고, 정탄성계수가 커질수록 정탄성계수와 동탄성계수의 값이 거의 동일하게 된다는 연구와 유사한 결과라 하겠다²⁾.

IV. 결 론

이 연구는 석분과 플라이 애쉬를 혼입한 투수용 폴리머 콘크리트의 공학적 성질을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 강도는 석분을 충전재로 사용한 투수용 폴리머 콘크리트에서 가장 높은 값을 나타냈으며, 보통 시멘트 콘크리트 보다 압축강도에서는 17%, 휨강도에서는 188%가 증가되었다.

2. 투수량은 $3.076 \sim 4.152 \text{ l/cm}^2/\text{h}$ 로서 배합설계에 따라 크게 좌우되었으며, 이러한 투수용 폴리머 콘크리트는 투수를 요하는 구조물에 효과적으로 이용할 수 있을 것이다.

3. 정탄성계수는 $1.15 \times 10^5 \sim 1.32 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 으로 보통 시멘트 콘크리트의 53~56% 정도로서 변형성이 크게 나타났고, 충전재로

는 석분을 사용한 투수용 폴리머 콘크리트에서 비교적 높은 값을 보였다.

4. 포아손수는 5.106~5.833으로써 보통 시멘트 콘크리트보다 작게 나타났으며, 보통 시멘트 콘크리트보다 투수용 폴리머 콘크리트의 횡변형율이 크게 나타났다.

5. 동탄성계수는 $1.29 \times 10^5 \sim 1.5 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ 로서 보통 시멘트 콘크리트보다 작게 나타났고, 충전재로는 석분을 100% 사용한 투수용 폴리머 콘크리트에서 비교적 높은 값을 보였으며, 동탄성계수는 정탄성계수보다 7~13% 정도 크게 나타났다.

6. 압축강도, 휨강도, 탄성계수, 포아손비, 종변형율 및 횡변형율이 증가할수록 포아손수 및 투수량은 감소하였다.

참 고 문 헌

1. 구봉근 외 2인, 1995, 토목재료학, 대웅출판사 : P99-100.
2. Malhotra, V. M. and N. J. Carino., 1991, Handbook on nondestructive testing of concrete, CRC Press.
3. Mehta, Pkmehta Kumar., 1986, Concrete : structure, properties and materials, Prentice-hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics, Englewood Cliffs, New Jersey 07632 : 4(2) : 84-85.
4. Neville., 1981, Properties of concrete, Pitman Publishing Limited, London : 370-371.
5. Paturoyer, V. V., 1986, Recommendations on polymer concrete mix design, NIZHB, Moscow : 18.
6. Swamy, R. N. and G. Righy., 1971, Dynamic properties of hardened paste, mortar and concrete. RILEM, 4(19) : 13~40.
7. Swamy, R. N. and G. H. Lambert., 1983, Mix design and properties of concrete made from PFA coarse aggregates and sand, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 5(4) : 263~275.
8. Sung, Chan Yong., 1994, Engineering properties of permeable polymer concrete, Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete, Chuncheon, Korea, May 2-3 : 271~281.
9. Sung, Chan Yong., 1995, Mechanical characteristics of permeable polymer concrete, The '95 Japan and Korea Joint Seminar, Current Topics of Agricultural Sciences in Japan and Korea, Tottori, Japan, Oct 4-8 : 32~35.
10. 연구석, 김광우, 김기성, 김관호, 1993, 충전재가 폴리머 콘크리트의 배합과 역학적 성질에 미치는 영향, 한국농공학회지, 35(2) : 81~91

(접수일자 : 1996년 5월 25일)