

플라이 애시와 탄산칼슘을 혼입한 투수성 폴리머 콘크리트의 물리·역학적 특성

Physical and Mechanical Properties of Permeable Polymer Concrete with Fly Ash and CaCO₃

성 찬 용* · 한 영 규**
Sung, Chan Yong · Han, Young Kyu

Abstract

This study was performed to evaluate the properties of permeable polymer concrete with fly ash and CaCO₃.

The following conclusions are drawn.

The static modulus of elasticity is in the range of $1.19 \times 10^5 \sim 1.49 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$, which is approximately 53~56% of that of the normal cement concrete. The poisson's number of permeable polymer concrete is in the range of 3.95~6.53, which is less than that of the normal cement concrete. The dynamic modulus of elasticity is in the range of $1.29 \times 10^5 \sim 1.59 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$, which is approximately less compared to that of the normal cement concrete. The dynamic modulus of elasticity is increased approximately 3~30% than that of the static modulus. Fly ash 50% and CaCO₃ 50% filled permeable polymer concrete has showed higher dynamic modulus. The water permeability is in the range of 3.971~4.393 l/cm²/h, and it is largely dependent upon the mix design. These concrete can be used to the structures which need water permeability.

I. 서 론

건설기술의 향상과 더불어 콘크리트의 성질을 개선하기 위해 신소재 개발에 대한 연구가 활발히 진행중이며, 특히 고분자 재료인 폴리머를 사용한 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 우수한 성능을 가지고 있기 때문에 건설분야에서 신소재로

각광을 받고 있다.

폴리머 콘크리트는 1970년대 후반부터 본격적으로 이용되기 시작하여 미국에서는 1971년 3월에 ACI 584 위원회 「Polymers in concrete」가 설립되어 많은 연구성과를 나타내었고 일본에서는 1970년대부터 콘크리트 재료로 사용되어, 압축강도 1,200kgf/cm² 정도를 갖는 폴리머 콘크리트를 개발

*충남대학교 농과대학

**충남대학교 대학원

키워드 : 투수성 폴리머 콘크리트, 충전재, 투수량
탄성계수, 응력-변형률

한 바 있으며, 또 초고층 빌딩이나 매우 깊은 지하공간 및 해양구조물 등과 같은 새로운 구조산업 분야에서도 주목받고 있다.

이와 같이 폴리머 콘크리트에 대한 연구가 국내 외적으로 활발히 추진되고 있으나 투수성 폴리머 콘크리트에 관한 것은 성¹⁾의 연구 외에는 거의 찾아 볼 수 없는 실정이다. 이러한 투수성 폴리머 콘크리트는 차도, 보도, 주차장, 차도블록, 보도블록, 정원 등의 시설물에 사용하여 기존의 포장재가 갖는 도시 하천의 범람 요인을 없애고 지중에 미생물을 서식하지 못하게 하여 토양이 사막화되는 문제점을 개선하는데 도움이 되며, 배수와 염분제거를 위한 투수관, 배수관, 집수관 및 제염관 등에 사용함으로써 많은 효과를 얻을 수 있다.³⁾

한편, 화력발전소에서 부산물로 생산되는 플라이 애시는 전세계적으로 매년 약 2억여톤으로 이중 약 20% 정도가 콘크리트 제품과 골재 생산 등에 이용되고 있으며, 우리나라에서도 연간 약 200여만톤의 플라이 애시가 생산되고 있으나 극히 일부만이 사용되고 있을뿐 거의 사용되지 않고 있다.⁹⁾

따라서, 본 연구는 불포화 폴리에스터 수지에 산업부산물인 플라이 애시와 탄산칼슘을 충전재로 사용하여 폴리머 콘크리트를 제조하고 정탄성계수, 푸아송비, 푸아송수, 응력-변형률 특성, 동탄성계수, 투수량 등의 물리·역학적 특성을 실험적으로 구명하여 제반 투수성 시설 및 구조물에 사용하기 위한 기초자료를 얻는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 폴리머

국내에서 생산 시판되고 있는 적당한 불포화 폴리에스터 수지를 사용하였으며, 일반적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. General properties of unsaturated polyester resin

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

Table 2. General properties of hardner

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

나. 경화제

경화제는 촉진제가 첨가되어 있는 제품을 사용하였으며, 일반적 성질은 Table 2와 같다.

다. 골재

사용된 세골재와 조골재는 금강유역에서 채취한 자연산 골재이다. 골재의 함수율은 0.1%이하^{2,10)}가 되어야 하므로 세척후 100±5°C로 조절된 건조기에서 24시간이상 건조시킨 후 상온에서 충분히 냉각시켜 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Physical properties of aggregates

Classification		Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption (%)	Fineness modulus	Unit weight (kgf/m ³)
Coarse aggregate	Natural gravel	4.75 ~10	2.64	2.62	7.28	1,449
	Natural sand	0.595 ~4.75	2.62	2.35	2.35	1,471

라. 충전재

충전재는 무기질 분말이어야 하며 흡수성이 작고 수분함량이 1%미만이어야 한다.⁸⁾

본 실험에 사용한 충전재는 플라이 애시와 탄산칼슘으로써, 이의 화학성분과 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 4. Chemical composition and physical properties of fillers

Item		Fly ash	CaCO ₃
Chemical composition (%)	SiO ₂	58.90	-
	Al ₂ O ₃	28.0	-
	K ₂ O	-	-
	Fe ₂ O ₃	4.60	-
	Na ₂ O	-	-
	MgO	1.70	-
	CaCO ₃	-	100
	Ig. loss	3.84	-
Bulk density(kgf/m ³)		1.072	620
Specific gravity(20°C)		2.60	2.20
Specific surface(Blain)(cm ² /g)		3,650	3,126

2. 공시체 제작

가. 배합비 결정

투수성 폴리머 콘크리트는 결합재량이 많으면 폴리머가 공극을 메워 투수가 되지 않거나 결합재와 충전재가 아래로 흘러 투수의 효과가 줄어드는 경향이 있고, 반대로 결합재량이 적으면 골재와 골재, 골재와 충전재가 잘 부착되지 않아 투수성 폴리머 콘크리트의 물리적 성질이 악화되며, 내구성이 떨어져 제기능을 발휘 할 수 없기 때문에 이와 같은 사항을 충분히 고려해서 배합설계를 하여야 한다.

이와 같은 방법에 의하여 결합재를 조제하고, 세골재, 조골재 및 충전재의 배합비를 결정하였으며, 충전재로 플라이 애시만을 넣은 것을 P1, 중량비로 플라이 애시 75%와 탄산칼슘 25%를 넣은 P2, 플라이 애시와 탄산칼슘을 각각 50% 넣은 P3, 플라이 애시 25%와 탄산칼슘 75%를 넣은 P4, 탄산칼슘만을 넣은 P5 등 5가지 종류의 배합비로 하였으며, 투수성 폴리머 콘크리트의 재령 7일 압축강도를 200kgf/cm²이상, 투수량은 시간당 세계 최대 강수량인 300mm 이상을 투수 할 수 있도록 배합설계를 하였던 바, 그 결과는 Table 5 및 Table 6과 같다.

Table 5. Mix proportion of permeable polymer concrete

(Unit : wt.%)

Type	Binder	Aggregate		Filler		Total
		Fine	Coarse	Fly Ash	CaCO ₃	
P1	7.39	16.18	68.30	8.13	-	100
P2	7.92	16.09	67.91	6.06	2.02	100
P3	8.23	16.03	67.68	4.03	4.03	100
P4	8.84	15.93	67.23	2.00	6.00	100
P5	9.24	15.86	66.93	-	7.97	100

Table 6. Formulation of binder

Kind of polymer	Type	Resin	Hardener
Unsaturated polyester resin	Ortho	100	1

나. 제작 및 양생

투수성 폴리머 콘크리트의 공시체는 KS F 2419 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 규정된 방법에 준하였으며, 혼합 방법은 세골재, 조골재 및 충전재를 잘 혼합한 후 결합재를 투입하는 순서로 하였고, 90 r.p.m인 콘크리트 믹서로 배합후 몰드에 타설하여 몰드를 진동기 위에 올려놓은 상태에서 진동을 가하며 제작하였다. 몰드에 타설된 공시체는 3시간 후 탈형하여 온도 20±1°C, 습도 60±2%인 실험실에서 소정의 재령까지 기건양생시켰다.

3. 시험방법

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

가. 정탄성계수와 푸아송비는 $\phi 150 \times 300$ mm인 공시체에 컴프레소 미터(Compresso meter)와 엑스텐소 미터(Extensio meter)를 부착하여 KS F 2438(콘크리트 원주공시체의 정탄성계수 및 푸아송비 측정방법)에 규정된 방법에 따라 극한하중의 40%를 가해 얻은 응력과 종횡변형률 및 종변형률이 0.00005일 때의 응력과 변형률을 측정하여 정

탄성계수, 푸아송비, 푸아송수, 종변형률 및 횡변형률을 구하였다.

나. 응력-변형률시험은 공시체의 횡방향과 종방향에 비선형성이 0.06%이고, Hysteresis가 0.09%인 게이지를 부착하여, 하중재하에 따른 공시체의 변형량을 측정하여 응력과 변형률과의 관계를 구명하였다.

다. 동탄성계수는 $\phi 150 \times 300 \text{mm}$ 인 공시체를 ERUDIT MIKI(Resonant frequency test system) 측정기를 사용하여 BS 1881 (콘크리트의 동탄성계수 측정방법)에 준하여 측정하였으며, 그 값은 다음 식으로 산출하였다.

$$D.M = DWn^2$$

여기서, D.M : 동탄성계수 (kgf/cm²)

W : 공시체 중량 (kgf)

n : 측정치

D : $519.4 \times 10^{-5} L/d^2$ (s²/cm²)

L : 공시체 길이 (cm)

d : 공시체 직경 (cm)

라. 투수량시험은 $200 \times 200 \times 70 \text{mm}$ 의 공시체를 Fig. 1과 같이 제작된 투수용 시험장치에 의하여 5회 측정된 값을 평균하여 시간당 투수량으로 산

출하였다.

III. 결과 및 고찰

투수성 폴리머 콘크리트의 시험결과를 나타내면 Table 7과 같다.

콘크리트의 탄성계수는 콘크리트의 압축강도가 클수록 크며, 압축강도가 같으면 굵은 골재의 양이 많을수록, 공기량이 작을수록 탄성계수는 커진다.⁷⁾ 투수성 폴리머 콘크리트의 정탄성계수와 푸아송비의 시험결과를 나타내면 Table 7과 같고, 응력-변형률과의 관계를 도시하면 Fig. 2와 같다.

1. 정탄성계수와 푸아송비

가. 정탄성계수

탄성계수는 재료의 역학적 성질을 나타내는 요소의 하나로서 대체적으로 탄성계수가 작으면 재료의 변형성이 크다는 것을 의미한다.⁶⁾

Table 7에서 보는 바와 같이 정탄성계수는 $1.19 \times 10^5 \sim 1.49 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 으로 보통 시멘트 콘크리트의 탄성계수를 구하는 식 $15,000 \times \sqrt{\sigma_{ck}}$ 에 압축강도의 최저치인 205kgf/cm^2 과 최고치인 263kgf/cm^2 을 대입하여 환산한 값인 $2.15 \times 10^5 \sim 2.43 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 과 비교하면 투수성 폴리머 콘크리트의 정탄성계수는 보통 시멘트 콘크리트의 55~61% 수준에 머무르고 있다. 이와 같이 압축강도가 보통 시멘트 콘크리트 수준의 강도를 나타냈으면서도 탄성계수가 작은 원인은 투수량 증대를 위해 공극을 증가시켰기 때문이라 할 수 있다.

나. 푸아송비

탄성체의 구성요소를 일방향으로 하중을 가하면 그 방향으로 수축성을 나타내는 동시에 그 방향의 직각방향으로 신장성을 나타내는 횡변형이 생기게 된다.

또한, 종변형률에 대한 횡변형률의 비를 푸아송비(Poisson's ratio)라고 하며 ν 또는 $1/m$ 로 표시하고, m을 푸아송수라고 하며, 보통금속재료의 m

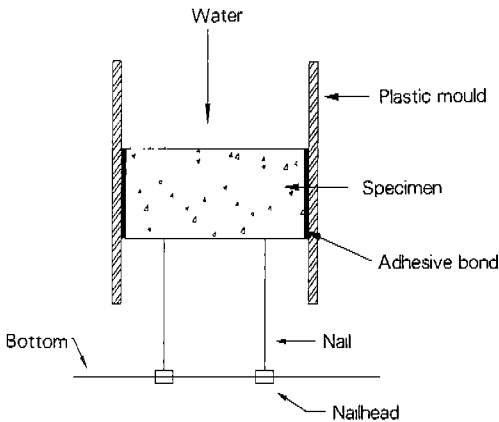


Fig. 1. Schematic drawing of permeability test apparatus

Table 7. Test results of permeable polymer concrete

Type	Dynamic modulus of elasticity ($\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$)	Static modulus of elasticity ($\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$)	Poisson's		strain ($\times 10^{-3}$)	
			Ratio	Number	Longitudinal	Horizontal
P1	129	119	0.27	3.95	0.609	0.154
P2	134	127	0.15	6.53	0.767	0.117
P3	159	149	0.21	4.60	0.783	0.169
P4	149	134	0.25	3.95	0.680	0.172
P5	144	122	0.21	4.58	0.633	0.160

은 3~4, 보통 시멘트 콘크리트는 6~12이다.

투수성 폴리머 콘크리트의 푸아송수 시험결과를 나타내면 Table 7과 같다. Table 7에서 보는 바와 같이 투수성 폴리머 콘크리트의 푸아송수는 3.95~6.53정도로서 보통 시멘트 콘크리트의 푸아송수 6~12보다 작게 나타났는데, 이러한 결과는 종변형률과 횡변형률의 실험결과에서 알 수 있는 바와 같이 보통 시멘트 콘크리트에 비해 투수성 폴리머 콘크리트는 종변형률에 대한 횡변형률의 비가 크기 때문이며, 투수성 폴리머 콘크리트는 공극이 많아 압축하중을 종방향으로 가할 때보다 횡방향으로 가할 때가 공극의 영향을 상대적으로 더 많이 받은 결과라고 할 수 있다.

또한, 투수성 폴리머 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 압축강도도 크지만 휨강도가 월등히 크게 나타난 것도 푸아송수가 작게 나타난 원인이라 할 수 있다.

2. 응력과 종변형률과의 관계

응력과 종변형률과의 관계는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 투수성 폴리머 콘크리트의 강도가 높을수록 변형률이 작게 나타났으며, 투수성 폴리머 콘크리트의 강도가 커질수록 응력-종변형률 곡선의 기울기는 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 고강도 시멘트 콘크리트의 경우, 응력-변형률 곡선의 경사가 급하고, 직선적으로 상승한다는 연구결과와 유사한 결과라 하겠다.

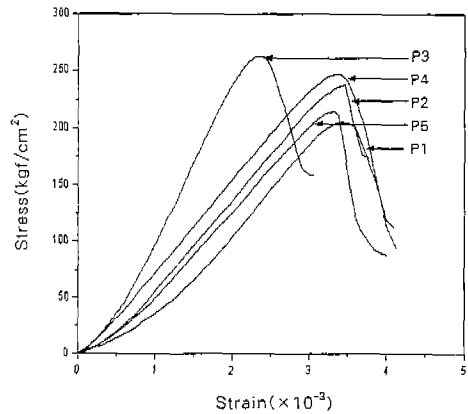


Fig. 2. Stress-strain curves of permeable polymer concrete

3. 동탄성계수

동탄성계수시험은 전혀 하중을 가하지 않고 전파를 공시체의 상대편에서 방사하여 Hz를 측정하여 동탄성계수를 구하며 콘크리트의 성능을 시험하는 비파괴시험 방법중의 하나이다.

또한, 콘크리트는 강도뿐만 아니라 변형성이 중요한 요소인데 탄성계수에 의해 이러한 재료의 변형능이 평가되어지며 일반적으로 탄성계수가 작으면 재료의 변형량이 크고, 탄성계수가 크면 대체적으로 강도가 크다는 것을 의미한다.⁵⁾

한편, 투수성 폴리머 콘크리트의 동탄성계수에 대한 시험결과를 비교하면 Table 7과 같이 $1.29 \times 10^5 \sim 1.59 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 으로 나타났는데, 이는 재령

28일 보통 시멘트 콘크리트의 동탄성계수 $2.10 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 의 61~74%정도로써 변형량이 크다는 것을 알 수 있다.

또한, 동탄성계수는 단위중량, 압축강도, 휨강도, 정탄성계수 및 초음파진동속도가 클수록 크게 나타났으며, 정탄성계수에 대한 동탄성계수의 비를 나타내면 Table 8과 같다.

Table 8. Ratio of static and dynamic modulus

Type	Dynamic/Static(%)
P1	130
P2	109
P3	103
P4	114
P5	130

여기서 보는 바와 같이 동탄성계수는 각 배합조건에 따라 3~30%정도 정탄성계수보다 더 크게 나타났는데, 이는 동탄성계수는 정탄성계수에 비해 크며, 재량이 증가하면 정탄성계수에 대한 동탄성계수의 비는 증가하고, 정탄성계수가 커질수록 정탄성계수와 동탄성계수의 값이 거의 동일하게 된다는 연구와 유사한 결과라 하겠다.⁴⁾

4. 투수량

투수성은 본 실험에서 가장 중요한 항목 중의 하나로서 시간당 투수량에 주안점을 두고 시험하였다. 투수시험은 특별히 제작된 투수시험장치에 투수성 공시체를 밀착시킨 후 10ℓ의 물을 투입하여 물이 모두 투과되었을 때의 시간을 5회 반복하여 측정된 값을 평균하여 시간당 투수량으로 산출하였으며, 투수시험결과를 나타내면 Table 9와 같다.

Table 9에서 보는 바와 같이 투수량은 전배합에서 3.971~4.393 ℓ/cm/h로 나타났는데, 이것은 기록상 시간당 세계에서 가장 많은 강수량인 300mm와 비교할 때 132~146배의 수량을 투수할 수 있는 성능이 우수한 투수성 폴리머 콘크리트를 개발

Table 9. Water permeability of permeable polymer concrete

Type	Water permeability (ℓ/cm/h)
P1	4.393
P2	4.316
P3	3.971
P4	3.992
P5	4.014

하였다고 할 수 있다.

따라서, 이러한 투수성 폴리머 콘크리트는 적절한 강도와 투수성을 필요로 하는 시설이나 구조물에 유익하게 사용할 수 있을 것이다.

IV. 결 론

이 연구는 폴리머와 충전재를 혼입한 투수성 폴리머 콘크리트의 물리·역학적 특성을 실험적으로 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 정탄성계수는 $1.19 \times 10^5 \sim 1.49 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 으로 보통 시멘트 콘크리트의 55~61% 정도로 변형성이 크게 나타났고, 충전재로는 플라이 애시와 탄산칼슘을 같은 양으로 혼입한 투수성 폴리머 콘크리트에서 비교적 큰 값을 나타냈다.
2. 투수성 폴리머 콘크리트의 피아송수는 3.95~6.53의 범위로 보통 시멘트 콘크리트의 피아송수보다 작게 나타났다.
3. 동탄성계수는 $1.29 \times 10^5 \sim 1.59 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 로 보통 시멘트 콘크리트보다 작게 나타났고, 충전재 별로는 플라이 애시와 탄산칼슘을 같은 양으로 혼입한 투수성 폴리머 콘크리트에서 비교적 큰 값을 보였으며, 동탄성계수는 정탄성계수보다 3~30% 정도 크게 나타났다.
4. 투수량은 3.971~4.393 ℓ/cm/h로써 배합설계에 따라 크게 좌우되었으며, 이러한 콘크리트는 투수를 요하는 구조물에 유용하게 이용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 성찬용, 1995, "고성능 경량 폴리머 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구", 한국농공학회지, 37(3·4), pp. 72-81.
2. 이봉학, 김광우, 연규석, 1991, "폴리에스터 폴리머 콘크리트의 워커빌리티 특성", 한국콘크리트학회 논문집, 3(1), pp. 87-92.
3. 문한영, 김성수, 정호섭, 1998, "투수성 콘크리트 포장의 실용화를 위한 실험적 연구", 콘크리트학회지, 10, pp. 165-173.
4. Fowler D. W., 1984, "Static and cyclic behaviour of ploymer concrete beams", Proceedings of the Fourth ICPC, pp.159-164.
5. Sakai K., Banthia N. and Gjorv O. E., 1995, "Concrete under severe conditions (environment and loading)", E & FN Spon, 2, pp. 1,675-1,683.
6. Mark Fintel., 1985, "Handbook of concrete engineering", 2nd Ed, Van Nostrand Reinhold Comp, pp. 45-94.
7. Mohamed S. H., 1978, "Experimental study of mechanical properties and structural applications of polymer concrete", Rice University, pp. 29-39.
8. Paturoyer, V. V., 1986, "Recommendations on polymer concrete mix design", NIZHB, Moscow, pp.18.
9. 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), pp. 263-275.
10. Vipulanandan, C., 1990, "Aggregates, fibers and coupling agent in polyester PC, Proceeding of the First Materials Engineering Congress", ASCE, Denver, Colorado, pp. 785-794.