

# 투수용 폴리머 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Mechanical Properties of Permeable Polymer Concrete

성            찬            용\*  
Sung,        Chan        Yong

### Summary

This study was performed to evaluate the mechanical properties of permeable polymer concrete using fillers and unsaturated polyester resin. The following conclusions were drawn;

1. The unit weight was in the range of 1,663~1,892kg/m<sup>3</sup>, the weights of those concrete were decreased 18~28% than that of the normal cement concrete.
2. The highest strength was achieved by fly ash filled permeable polymer concrete, it was increased 22% by compressive strength, 190% by tensile strength and 192% by bending strength than that of the normal cement concrete, respectively.
3. The external strength of permeable pipe was in the range of 3,083~3,793kg/m, the external strengths of those concrete were increased 2~26% than that of the normal cement concrete. Accordingly, these permeable polymer concrete pipe can be used to the members and structures which need external strength.
4. The static modulus of elasticity was in the range of  $5.7 \times 10^4 \sim 15.4 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ , which was approximately 35~64% of that of the normal cement concrete. Fly ash filled permeable polymer concrete was showed relatively higher elastic modulus. The poisson's number of permeable polymer concrete was less than that of the normal cement concrete.
5. The dynamic modulus of elasticity was in the range of  $83 \times 10^3 \sim 211 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$ , which was approximately less compared to that of the normal cement concrete. Fly ash filled permeable polymer concrete was showed higher dynamic modulus. The dynamic modulus of elasticity were increased approximately 22~45% than that of the static modulus.
6. The ultrasonic pulse velocity was in the range of 2,584~3,587m/sec, which was

\*충남대학교 농과대학

키워드 : 투수용 폴리머 콘크리트, 충전재, 투수량, 강도, 탄성계수, 포아손비, 외압강도

showed about the same compared to that of the normal cement concrete. Fly ash filled permeable polymer concrete was showed higher pulse velocity.

7. The water permeability was in the range of 0.58~8.88  $\ell/cm^2/hr$ , and it was largely dependent upon the mixing ratio. These concrete can be used to the structures which need water permeability.

## I. 서 론

고분자 재료를 사용한 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 우수한 성능을 가지고 있기 때문에 근년에 이르러 건설분야의 현장타설용이나 공장제품등 신소재로써 각광을 받고 있다. 또한, 이러한 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 접착성, 내구성등이 우수하고 경화속도가 빠르며, 압축강도뿐만 아니라 휨강도가 월등히 큰 것으로 알려져 있다<sup>6)</sup>.

한편, 화력발전소에서 부산물로 생산되는 플라이 애쉬는 전세계적으로 매년 약 2억여톤으로 추산되며, 이중 일부만 콘크리트 제품과 골재 생산 등에 이용되고 있을 뿐 약 80% 이상이 사용되지 못하고 있는 실정이다<sup>9)</sup>. 우리나라에서도 연간 약 200여만톤의 플라이 애쉬가 생산되고 있으나 그중 극히 일부분만 사용되고 있을 뿐 거의 활용되지 못하고 있다. 반면에, 플라이 애쉬를 보통 시멘트 콘크리트뿐만 아니라, 폴리머 콘크리트에 시멘트 대용으로 사용하였을 때 우수한 역학적 성질을 나타내는 것으로도 알려져 있다<sup>1)</sup>.

따라서, 본 연구에서는 이러한 우수한 성질을 가진 고분자 재료인 폴리머와 충전재 및 골재를 사용한 투수용 폴리머 콘크리트의 단위중량, 압축강도, 인장강도, 휨강도, 투수관의 외압강도, 정탄성계수, 포아손비, 포아손수, 종변형율, 횡변형율, 응력-변형율 특성, 동탄성계수, 초음파진동속도 및 투수량 등을 실험적으로 구명코저하며, 보도, 차도, 주차장, 정원, 보도블록, 하천제방용 블록, 제염관 및 투수관 등과 같은 제반 시설 및 제품제조에 투수용

폴리머 콘크리트를 효과적으로 활용하기 위한 기초자료를 수립하는데 그 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 폴리머

폴리머 콘크리트 제조에 이용되는 결합재는 액상 폴리머(polymer)와 모노머(monomer)가 있으며, 이 가운데 폴리머 콘크리트용으로 범용화되어 있는 것은 폴리머계인 열경화성 수지이다. 본 실험에서는 국내에서 생산 시판되고 있고, 폴리머 콘크리트용으로 적당한 물성을 가진 것으로 알려진 올소타입(ortho type)을 사용하였으며, 이들의 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

시판되는 불포화 폴리에스터 수지는 경화촉진제가 첨가되어 있는 경우와 되어 있지 않은 경우가 있는데, 본 실험에서는 촉진제가 첨가되어 있는 것으로서 경화제만 첨가하면 상온에서 경화되는 제품을 사용하였으며, 그 경화제의 일반적 성질은 Table-2와 같다.

#### 다. 골 재

조골재는 충남 금강유역에서 채취된 최대입

**Table-2. General properties of hardner**

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

**Table-3. Physical properties of aggregates**

Classification		Max. size (mm)	Specific gravity (20℃)	Absorption (%)	F.M	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )
Coarse aggregate	Rounded river gravel	10	2.63	2.15	6.00	1,550
Fine aggregate	Korean Standards sand	0.841	2.63	0.07	2.96	1,530

경 10mm이하인 강자갈을, 세골재는 최대입경 0.841mm이하인 표준사를 사용하였다. 또한, 폴리머 콘크리트용 골재의 함수율은 0.1%이하<sup>5)</sup>가 되어야 하므로 세척후 100±5℃로 조절된 건조기에서 24시간 건조시킨 후 상온에서 충분히 냉각시켜 사용하였으며, 사용된 골재의 물리적 성질은 Table-3과 같다.

**라. 충전재**

충전재는 골재입자 사이를 치밀하게 채워주고 비교적 고가인 폴리머의 사용량을 줄여주는 동시에 강도의 증진을 가져오는 효과가 있다. 충전재는 무기질 분말이어야 하며 흡수성이 작고 수분함량이 1%미만<sup>5)</sup>이어야 한다. 본 연구에 사용한 충전재는 보통 포틀랜드 시멘트와 국내산 플라이 애쉬 2가지이며, 그 화학성분과 물리적 성질은 Table-4와 같다.

**2. 공시체 제작**

**가. 콘크리트 배합**

폴리머 콘크리트는 일반적으로 사용가능시간과 강도를 고려하여 배합비를 결정하는 것이 일반적이다. 이와같은 요령에 의하여 결합

**Table-4. Chemical composition and physical properties of fillers**

Item	Portland cement	Fly ash	
Chemical composition (%)	CaO	64.5	—
	SiO <sub>2</sub>	22.3	58.90
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.4	28.00
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.9	4.60
	MgO	1.6	1.70
	SO <sub>3</sub>	1.7	1.40
Ig.loss	0.7	3.84	
Specific gravity (20℃)	3.15	2.16	
Specific surface(Blain) (cm <sup>2</sup> /g)	3,140	3,650	
Bulk density (kg/m <sup>3</sup> )	1,418	1,072	

재를 조제하고, 세골재, 조골재 및 충전재의 배합비를 결정하며, 투수용 폴리머 콘크리트의 재령 7일 압축강도를 200kg/cm<sup>2</sup>이상, 휨강도를 100kg/cm<sup>2</sup>이상, 투수량은 세계 최대 강수량인 300mm/hr이상을 투수할 수 있는 투수용 폴리머 콘크리트와 잔골재와 충전재를 혼입하지 않은 투수용 폴리머 콘크리트의 재령 7일 압축강도가 110kg/cm<sup>2</sup>이상, 휨강도가 40kg/cm<sup>2</sup>이상, 투수량은 50,000mm/hr이상을 투수할 수 있도록 배합설계를 하였던 바, 결합재의 조제와 배합설계는 Table-5 및 Table-6과 같다.

**나. 공시체 제작 및 양생**

투수용 폴리머 콘크리트의 제작은 KS F 2419(폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법)에 준하여 조골재, 세골재 및 충전재를 잘 혼합한 다음 결합재를 투입하는 순서로 하였다. 폴리머 콘크리트는

**Table-5. Formulation of binder**

(Unit : wt. ratio)			
Kind of polymer	Type	Resin	Hardner
Unsaturated polyester resin	Ortho	100	1

**Table-6. Mix design of permeable polymer concrete** (Unit : wt. %)

Type	Binder	Aggregate		Filler		Total
		Fine	Coarse	Cement	Fly ash	
G1	4.8	—	95.2	—	—	100
G2	5.9	15.7	78.4	—	—	100
G3	5.6	14.8	74.0	5.6	—	100
G4	7.8	14.4	72.2	—	5.6	100
G5	7.1	14.6	72.7	2.8	2.8	100

신속히 경화하는 성질을 갖고 있기 때문에 90r.p.m인 고성능 콘크리트 믹서로 혼합하였으며, 몰드에 타설된 투수용 폴리머 콘크리트는 3시간후 탈형하여 온도  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , 습도  $60 \pm 2\%$ 인 실험실에서 소정의 재령까지 기건양생시켰다.

### 3. 시험방법

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

가. 단위중량시험은 경량성을 파악하기 위하여, 각 배합비별로  $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 인 시험체의 기건중량과 체적을 측정하여 산출하였다.

나. 압축강도와 할렬인장강도시험은  $\phi 75 \times 150\text{mm}$ 의 시험체를 제작하여 KS F 2481(폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법) 및 KS F 2480(폴리에스테르 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법), 휨인장강도시험은  $60 \times 60 \times 240\text{mm}$ 의 시험체를 제작하여 KS F 2482(폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도시험방법)에 규정된 방법에 의해 측정하였다.

다. 투수관의 외압강도시험은 외경 200mm, 내경 110mm, 두께 45mm, 길이 1,000mm의 원통형 시험체를 제작하여 KS F 4404(무근 콘크리트관 외압강도 시험방법)에 규정된 방법에 의해 외압강도를 측정하였다.

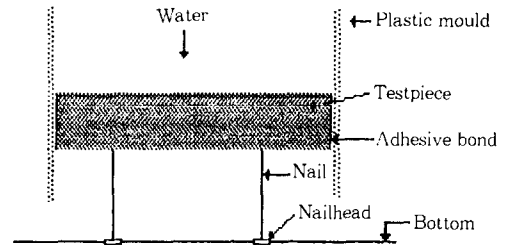
라. 정탄성계수와 포와손비는  $\phi 150 \times 300\text{mm}$

인 시험체에 스트레인 게이지(67mm)를 부착하여 KS F 2438(콘크리트 원주 공시체의 정탄성계수 및 포와손비 시험방법)에 규정된 방법에 따라 극한하중의 40%를 가해 얻은 응력과 종·횡변형률 및 종변형률이 0.00005일때의 응력과 횡변형률을 측정하여 정탄성계수와 포와손비를 구하였다.

마. 동탄성계수는  $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 인 시험체의 길이방향 양면중앙에 종진동에 의한 공명진동측정기를 사용하여 BS 1881(콘크리트의 동탄성계수 측정방법)에 규정된 방법에 따라 측정하였다.

바. 초음파진동속도는  $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 인 시험체 아래와 위의 중앙에 직경 50mm의 변환기를 부착하여 BS 4408(콘크리트의 초음파진동속도 측정방법)에 규정된 방법에 따라 측정하였다.

사. 투수량은  $60 \times 200 \times 200\text{mm}$  시험체를 Fig. 1과 같은 투수시험장치에 부착하여, 투수량 ( $\ell / \text{cm}^2 / \text{hr}$ )을 측정하였다.



**Fig. 1. Schematic drawing of the permeability test apparatus**

## III. 결과 및 고찰

### 1. 단위중량

투수용 폴리머 콘크리트는 투수를 위한 공극때문에 단위중량이 감소하게 되고, 이는 사용골재의 종류와 배합비에 따라 차이가 있으며, 각 배합비에 따른 단위중량 시험결과를

**Table-7. Unit weight of permeable polymer concrete**

Type	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )
G1	1,663
G2	1,830
G3	1,883
G4	1,892
G5	1,890

비교하면 Table-7과 같다.

Table-7에서 보는 바와같이 투수용 폴리머 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트의 단위중량 2,300kg/m<sup>3</sup>의 72~82% 정도로 18~28% 정도 감소되었는데, 이와같은 단위중량 감소의 주요원인중 G1은 충전재와 잔골재를, G2는 충전재를 넣지 않아 공극이 증가되었기 때문이며, 충전재와 골재를 다 사용한 G3, G4 및 G5는 투수를 위한 공극을 인위적으로 조성했기 때문에 단위중량이 감소되었다고 하겠다.

## 2. 강 도

### 가. 압축강도

폴리머 콘크리트의 대표적인 역학적 특성 중의 하나가 압축강도가 높다는 것이다. 압축강도는 배합설계의 기준이 될 뿐만 아니라, 타설시 거푸집의 제거시기를 결정할 수 있는 기준이 된다. 보통 시멘트 콘크리트와 역학적 특성이 다소 다른 투수용 폴리머 콘크리트의 압축강도는 사용골재, 배합비등에 따라 다르며, 배합비에 따른 압축강도 시험결과를 비교하면 Table-8과 같다.

Table-8에서 보는 바와같이 투수용 폴리머 콘크리트의 압축강도는 117~257kg/cm<sup>2</sup>으로써, 배합비에 따라 큰차이가 있음을 알 수 있다.

또한, 투수용 폴리머 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트의 재령 28일 압축강도 210kg/cm<sup>2</sup>에 비해 충전재와 잔골재를 넣지 않은 G1은 55%, 충전재를 넣지 않은 G2는 81%로 각각

**Table-8. Strengths of permeable polymer concrete**

Type	Strength (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Compressive	Tensile	Bending
G1	117	21	48
G2	171	31	73
G3	239	39	102
G4	257	61	123
G5	254	45	106

45%와 19%의 압축강도가 감소되었는데, 이는 G1의 경우는 조골재가 서로 부착되어 있는 상태이고, G2는 조골재와 잔골재가 부착되어 있어 그 사이에 공극이 생겨 강도 저하를 가져온 결과라 하겠다.

한편, 충전재로 시멘트를 넣은 G3은 113%, 플라이 애쉬를 넣은 G4는 122%, 시멘트와 플라이 애쉬를 중량비로 반반 넣은 G5는 120%의 강도를 보임으로써, 보통 시멘트 콘크리트의 강도보다도 13~22%이상 크게 나타났다.

이와같이 보통 시멘트 콘크리트의 압축강도보다 크게 나타난 것은 충전재가 적절히 공극을 채워주고 폴리머가 강도증진에 기여했기 때문이라 하겠다.

한편, 단위중량이 작을수록 대체적으로 압축강도가 작게 나타나는 경향을 보였으며, 단위중량이 작게 나타났다는 것은 공극이 많다는 뜻이며, 공극이 많음으로서 압축강도가 저하하는 결과라 하겠다.

### 나. 인장강도

투수용 폴리머 콘크리트의 인장강도 시험결과를 비교하면 Table-8과 같다.

Table-8에서 보는 바와같이 보통 시멘트 콘크리트의 재령 28일 인장강도 21kg/cm<sup>2</sup>에 비해, G1은 100%, G2는 147%로 G1은 같은 크기의 강도를 나타내었으며, G2는 47%의 인장강도가 증가되었다.

또한, 충전재별로 살펴보면 G3는 185%,

G4는 290%, G5는 214%의 강도를 나타냄으로써, 보통 시멘트 콘크리트의 인장강도보다 모든 배합설계에서 각각 85~190%이상 크게 나타났으며, 압축강도와 마찬가지로 G4가 다른 투수용 폴리머 콘크리트보다 비교적 인장강도가 크게 나타났다.

한편, G1이 상대적으로 인장강도가 작게 나타난 것은 충전재와 세골재를 사용하지 않아 밀도감소와 콘크리트 내부공극의 증가 때문이라 하겠다.

#### 다. 휨강도

투수용 폴리머 콘크리트의 휨강도 시험결과를 비교하면 Table-8과 같이, 휨강도는 모든 배합설계에서 보통 시멘트 콘크리트보다 크게 나타났으며, 압축강도보다는 인장강도와 유사한 경향을 나타내었다.

또한, 보통 시멘트 콘크리트의 재령 28일 휨강도 42kg/cm<sup>2</sup>에 비해, G1은 114%, G2는 173%, G3는 242%, G4는 292%, G5는 252%의 강도를 나타냄으로써, 보통 시멘트 콘크리트의 휨강도 보다 14~192%정도 크게 나타났다. 이와같이 잔골재와 충전재를 넣지 않고도 14%이상의 강도증진 효과를 보임으로써 폴리머를 사용한 투수용 폴리머 콘크리트는 압축강도와 인장강도도 크지만 휨강도가 더욱 크게 나타남을 보여 주는 결과라 하겠다<sup>11)</sup>.

#### 라. 강도비

투수용 폴리머 콘크리트의 압축강도, 인장강도 및 휨강도에 대한 충전재의 종류와 배합비에 따른 강도비를 나타내면 Table-9와 같다.

강도비는 역학적 성질을 구명하는데 필요한 요소 중의 하나이며, 투수용 폴리머 콘크리트의 각 강도비  $\sigma_t/\sigma_c$ 는 0.163~0.237의 범위이고,  $\sigma_b/\sigma_c$ 는 0.410~0.478 범위이며,  $\sigma_t/\sigma_b$ 는 0.382~0.495의 범위으로써, 보통 시멘트 콘크리트

Table-9. Strength ratio of permeable polymer concrete

Type	$\sigma_t/\sigma_c$	$\sigma_b/\sigma_c$	$\sigma_t/\sigma_b$
G1	0.179	0.410	0.437
G2	0.181	0.426	0.424
G3	0.163	0.426	0.382
G4	0.237	0.478	0.495
G5	0.177	0.417	0.424

리트의 강도비( $\sigma_t/\sigma_c=0.076\sim0.1$ ,  $\sigma_t/\sigma_c=0.125\sim0.2$ )보다는 크게 나타났고, 강도비( $\sigma_t/\sigma_c=0.5$ )보다는 작게 나타났는데, 이러한 결과는 폴리머 콘크리트가 압축강도가 높기는 하지만 인장강도와 휨강도가 보통 시멘트 콘크리트의 강도보다 상대적으로 높게 나타났다는 것을 알 수 있다<sup>7)</sup>.

또한, Table-8에 의하면 압축강도는 117~257kg/cm<sup>2</sup>, 인장강도는 21~61kg/cm<sup>2</sup>, 휨강도는 48~123kg/cm<sup>2</sup>으로써 충전재의 종류와 배합설계에 따라 큰 차이를 나타냈으며, 플라이 애쉬를 충전재로 사용한 폴리머 콘크리트가 각 강도에서 제일 큰 값을 나타냈다는 것은 충전재와 배합설계에 매우 중요한 결과라 할 수 있다.

이와같은 원인은 결합재인 폴리머가 갖는 특수한 물성에 기인한 것으로서 투수용 폴리머 콘크리트의 취성이 보통 시멘트 콘크리트보다 크다는 것을 증명해 주는 결과라고 하겠다. 이와같이 투수용 폴리머 콘크리트의 강도는 폴리머 자체에서도 영향을 받으나 충전재의 영향도 있음을 알 수 있었으며, 보통 시멘트 콘크리트에 비해 압축강도의 증가보다도 인장강도와 휨강도의 증가가 더 크게 나타났다. 한편, G4, G5, G3, G2, G1 순으로 압축강도, 인장강도 및 휨강도가 크게 나타나 충전재 선택과 배합비 결정에 중요한 자료가 될 수 있다 하겠다.

### 3. 투수관의 외압강도

외압강도란 콘크리트관을 수평으로 놓고 연직으로 하중을 가하여 시험기에 나타난 최대 하중을 유효길이로 나눈 파괴하중을 말한다. 하수도용이나 관개배수용등으로 사용하는 무근 콘크리트관은 외압에 견딜수 있는 강도를 가져야 한다고 규정되어 있다. 즉, KS F 4404(무근 콘크리트관 외압강도 시험방법)에 의하면 외압강도는 내경 100mm인 경우는 3,000kg/m, 150mm인 경우는 2,500kg/m, 200mm인 경우는 2,200kg/m이상으로 규정되어 있다.

한편, 투수용 폴리머 콘크리트관의 외압강도 시험결과를 나타내면 Table-10과 같이 G1, G2, G3, G4 및 G5 등 모든 투수용 폴리머 콘크리트관은 KS F 4404 규정치를 초과하고 있어 콘크리트관으로서 사용할 수 있는 외압강도를 가지고 있다고 할 수 있다.

또한, 외압강도는 충전재의 종류와 배합설계에 따라 약간의 차이를 보였으며, 플라이애쉬를 충전재로 한 투수용 폴리머 콘크리트관에서 가장 큰 값을 나타냈는데, 이는 보통 시멘트 콘크리트관의 126% 정도의 외압강도를 보여주고 있으며, 이러한 결과는 충전재와 배합설계 선택에 매우 유익한 자료라 할 수 있다.

따라서, 투수용 폴리머 콘크리트관을 외압을 받는 부재에 사용하면 내구성 뿐만 아니라 경제적인 면에서도 매우 유용하게 활용할 수

**Table-10. External strength of permeable polymer concrete**

Type	External strength(kg/m)
G1	3,083
G2	3,172
G3	3,528
G4	3,793
G5	3,649

있을 것이다.

한편, 외압강도는 단위중량, 압축강도, 인장강도 및 휨강도가 클수록 크게 나타났다.

### 4. 정탄성계수와 포아손비

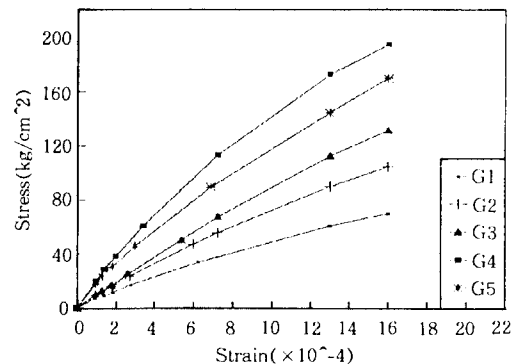
탄성계수는 재료의 역학적 성질을 나타내는 요소의 하나로써 대체적으로 탄성계수가 작으면 재료의 변형성이 크다는 것을 의미한다. 투수용 폴리머 콘크리트의 정탄성계수, 포와손비, 포와손수, 종변형을 및 횡변형을 시험결과를 나타내면 Table-11과 같고, 응력-변형률과의 관계를 도시하면 Fig. 2와 같다.

#### 가. 정탄성계수

이 결과에서 G1과 G2는 다같이 정탄성계수가 매우 작게 나타났다는 것을 알 수 있는

**Table-11. Static modulus of elasticity of permeable polymer concrete**

Type	Static modulus of elasticity ( $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$ )	Poisson's		Strain( $\times 10^{-3}$ )	
		Ratio (1/m)	Number (m)	Longitudinal	Horizontal
G1	57	0.213	4.6	0.625	0.133
G2	79	0.226	4.4	0.600	0.136
G3	97	0.194	5.1	0.537	0.104
G4	154	0.208	4.8	0.725	0.151
G5	134	0.229	4.3	0.687	0.158



**Fig. 2. Stress-strain curves of permeable polymer concretes by type of filler**

데, 이와같은 원인은 충전재나 세골재를 넣지 않아 공극이 증가되었기 때문이라 하겠다.

또한, 충전재와 골재를 넣은 G3, G4 및 G5의 정탄성계수는  $9.7 \times 10^4 \sim 15.4 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ 으로서 보통 시멘트 콘크리트의 탄성계수를 구하는 식  $15,000\sqrt{\sigma_{ck}}$ <sup>3)</sup>에 압축강도의 최저치인  $239 \text{kg/cm}^2$ 과 최고치인  $257 \text{kg/cm}^2$ 을 대입하여 환산한 값인  $2.3 \times 10^5 \sim 2.4 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ 과 비교하면 투수용 폴리머 콘크리트의 정탄성계수는 보통 시멘트 콘크리트의 42~64%수준에 머무르고 있다. 이와같은 결과로부터 투수용 폴리머 콘크리트의 정탄성계수는 보통 시멘트 콘크리트의 것보다 작아 변형성이 비교적 크다는 것을 알 수 있다.

한편, 정탄성계수는 단위중량, 압축강도, 인장강도, 휨강도 및 외압강도가 클수록 크게 나타났다.

#### 나. 포아손비

탄성한도내에서 축방향으로 압축하중이 작용하면 축방향으로 줄어드는 동시에 횡방향에 신장이 일어난다. 종변형율에 대한 횡변형율의 비를 포아손비(Poisson's ratio)라고 하며,  $\nu$  또는  $1/m$ 로 표시하고,  $m$ 을 포아손수라고 부르며, 보통 금속재료의  $m$ 은 3~4, 보통 시멘트 콘크리트는 6~12이다.

한편, Table-11에서 보는 바와같이 투수용 폴리머 콘크리트의 포아손수는 4~5정도로서 보통 시멘트 콘크리트의 포아손수 6~12보다 작게 나타났는데, 이러한 결과는 종변형율과 횡변형율의 시험결과에서 알 수 있는 바와같이 보통 시멘트 콘크리트에 비해 투수용 폴리머 콘크리트는 종변형율에 대한 횡변형율의 비가 크고, 공극이 많아 압축하중을 횡방향으로 가할때가 종방향으로 가할때 보다 공극의 영향을 더 많이 받은 결과라고 할 수 있다.

또한, 투수용 폴리머 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 압축강도도 크지만 휨강도가

월등히 크게 나타난 것도 포아손수가 작게 나타난 원인이라 할 수 있다.

### 5. 동탄성계수

동탄성계수시험은 전혀 하중을 가하지 않고 전파를 공시체의 상대편에서 방사하여 Hz를 측정하여 동탄성계수를 구하여 콘크리트의 성능시험을 하는 방법중의 하나로, 일반적으로 탄성계수가 작으면 재료의 변형량이 크고, 탄성계수가 크면 대체적으로 강도가 크게 나타난다는 것을 의미한다<sup>4,8)</sup>.

투수용 폴리머 콘크리트의 동탄성계수에 대한 시험결과를 비교하면 Table-12와 같다.

이 결과에서 보는 바와같이 동탄성계수는 플라이 애쉬를 충전재로 한 G4를 제외하고는 모든 배합설계에서  $83 \times 10^3 \sim 175 \times 10^3 \text{kg/cm}^2$ 으로 나타났는데, 이것은 보통 시멘트 콘크리트의 재령 28일 동탄성계수  $21 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ 의 40~83% 정도로서 변형량이 크다는 것을 알 수 있다.

또한, 투수용 폴리머 콘크리트중 G3와 G5의 압축강도, 인장강도 및 휨강도는 보통 시멘트 콘크리트의 그것보다 상회하는 결과를 나타냈는데도 불구하고 동탄성계수가 작게 나타난 가장 큰 이유중의 하나는 탄성파가 내부를 통과 할때 많은 공극때문에 전파의 속도가 감쇄됐기 때문이라 하겠다.

한편, 동탄성계수는 G4, G5, G3, G2, G1 순으로 크게 나타났으며, 단위중량, 압축강도, 인장강도, 휨강도, 외압강도, 정탄성계수 및

**Table-12. Dynamic modulus of elasticity of permeable polymer concrete**

Type	Dynamic modulus ( $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$ )
G1	83
G2	108
G3	119
G4	211
G5	175



초음파진동속도가 클수록 크게 나타났다.

Table-13은 정탄성계수에 대한 동탄성계수의 비를 나타낸 것으로 동탄성계수는 각 배합설계에 따라 22~45% 정도 정탄성계수보다 더 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 하겠다.<sup>2)</sup>

**Table-13. The ratio of static and dynamic modulus of elasticity**

Type	Dynamic/Static (%)
G1	145
G2	136
G3	122
G4	137
G5	130

## 6. 초음파진동속도

초음파진동속도시험은 동탄성계수시험과 마찬가지로 비파괴시험방법의 일종으로서, 이 방법은 초음파 종파를 부재나 구조물에 방사해서 그 전파시간으로부터 얻어지는 전파속도에 의해 콘크리트의 성능을 평가하는 방법으로서 수cm에서 수m의 규모에 이르기까지 적용할 수 있다. 또한, 오래된 구조물이나 화재를 입은 구조물의 내구성을 측정할 수도 있으며, 음향기기를 만드는 목재의 재질을 분석하는 데도 사용하는 등 광범위하게 이용할 수 있는 비파괴시험방법이다<sup>10)</sup>.

한편, 투수용 폴리머 콘크리트의 초음파진동속도에 대한 시험결과를 비교하면 Table-14와 같다.

이 결과에서 보는 바와같이 G1은 보통 시멘트 콘크리트의 초음파진동속도 3,000m/sec

**Table-14. Ultrasonic pulse velocity of permeable polymer concrete**

Type	Ultrasonic pulse velocity(m/sec)
G1	2,584
G2	3,030
G3	3,380
G4	3,587
G5	3,511

에 86%로써 14%정도가 감소되었는데, 이는 콘크리트내부에 공극이 많아 초음파의 속도를 저해했기 때문이라 하겠다.

또한, G2, G3, G4 및 G5는 보통 시멘트 콘크리트의 101~119% 정도로 거의 비슷한 값을 나타냈는데, 이는 골재나 충전재로 인하여 콘크리트내부의 공극이 적절히 채워져 초음파속도를 저해하는 요인이 감소되었기 때문이며, 압축강도, 인장강도 및 휨강도가 보통 시멘트 콘크리트보다 더 크게 나타났는데도 불구하고 초음파진동속도가 거의 비슷하게 나타난것은 공극 때문에 초음파진동속도가 감소되는 것을 폴리머와 충전재가 골재사이의 밀도를 증가시켰기 때문이라 하겠다.

한편, 충전재별로는 G4, G5, G3순으로 초음파진동속도가 크게 나타났는데, 이는 충전재 선택에 있어 매우 중요한 결과라 할 수 있다.

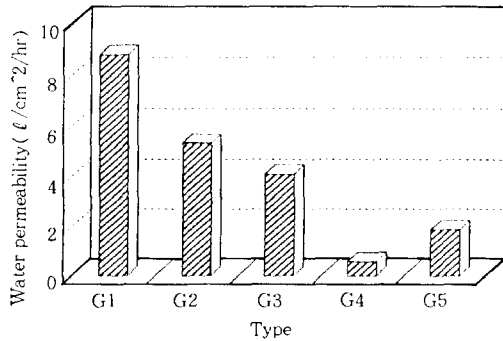
또한, 단위중량, 압축강도, 인장강도, 휨강도, 외압강도, 정탄성계수 및 동탄성계수가 클수록 초음파진동속도가 크게 나타났다.

## 7. 투수량

투수량은 본 연구에서 가장 중요한 항목중의 하나로 시간당 투수량에 주안점을 두고 시험하였다. 투수시험은 특별히 제작된 투수시험장치에 투수용 공시체를 밀착시킨후 8ℓ의 물을 투입해서 물이 모두 투과되었을 때의 시간을 5회 반복 측정된 값을 평균하여 시간당 투수량으로 산출하였으며, 투수용 폴리머 콘크리트의 투수시험결과를 나타내면 Table-15

**Table-15. Water permeability of permeable polymer concrete**

Type	Water permeability( $\ell/cm^2/hr$ )
G1	8.88
G2	5.31
G3	4.09
G4	0.58
G5	1.88



**Fig. 3. Comparison of water permeability by type of filler**

및 Fig. 3과 같다.

여기서 보는 바와같이 투수량은 배합설계에서 0.58~8.88  $\ell/cm^2/hr$ 로 나타났는데, 이것은 기록상 세계 최대 강수량인 300mm/hr와 비교하면 19~296배의 수량을 투수할 수 있는 성능이 매우 우수한 투수용 폴리머 콘크리트라 할 수 있다. 이상과 같은 투수용 폴리머 콘크리트의 물리·역학적특성은 시험결과에서 보는 바와같이 배합설계에 매우 의존된다는 것을 알 수 있으며, 적절한 강도와 투수량을 필요로 하는 시설이나 구조물에 매우 유익하게 사용할 수 있을 것이다.

또한, 단위중량, 압축강도, 인장강도, 휨강도, 외압강도, 정탄성계수, 동탄성계수 및 초음파진동속도가 클수록 투수량은 작게 나타났다.

#### IV. 결 론

이 연구는 폴리머와 충전재로 보통 포틀랜

드 시멘트와 플라이 애쉬를 혼입한 투수용 폴리머 콘크리트의 역학적 특성을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단위중량은 1,663~1,892 $kg/m^3$ 로서 보통 시멘트 콘크리트에 비해 18~28% 정도 낮았다.

2. 강도는 플라이 애쉬를 충전재로 사용한 투수용 폴리머 콘크리트에서 가장 높은 값을 나타냈으며, 보통 시멘트 콘크리트보다 압축강도에서는 22%, 인장강도에서는 190%, 휨강도에서는 192%가 증가되었고, 압축강도에 대한 인장강도와 휨강도비가 보통 시멘트 콘크리트보다 2.1~3.2배이상 크게 나타나 취성이 크다는 것을 알 수 있었다.

3. 투수관의 외압강도는 3,083~3,793 $kg/m$ 로서 보통 시멘트 콘크리트보다 2~26% 정도 증가되었으며, 이러한 투수용 폴리머 콘크리트관은 외압을 받는 부재나 구조물에 사용하면 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

4. 정탄성계수는  $5.7 \times 10^4 \sim 15.4 \times 10^4 kg/cm^2$ 으로 보통 시멘트 콘크리트의 35~64% 정도로서 변형성이 크게 나타났고, 충전재로는 플라이 애쉬를 사용한 투수용 폴리머 콘크리트에서 비교적 높은 값을 보였으며, 포아손수는 보통 시멘트 콘크리트보다 작게 나타났다.

5. 동탄성계수는  $83 \times 10^3 \sim 211 \times 10^3 kg/cm^2$ 로서 보통 시멘트 콘크리트보다 작게 나타났고, 충전재별로는 플라이 애쉬를 사용한 투수용 폴리머 콘크리트에서 비교적 높은 값을 보였으며, 동탄성계수는 정탄성계수보다 22~45% 정도 크게 나타났다.

6. 초음파진동속도는 2,584~3,587 $m/sec$ 로서 보통 시멘트 콘크리트와 거의 비슷하게 나타났다으며, 충전재별로는 플라이 애쉬를 사용한 투수용 폴리머 콘크리트에서 비교적 높은 값을 보였다.

7. 투수량은  $0.58 \sim 8.88 \ell / \text{cm}^2 / \text{hr}$ 로서 배합비에 따라 크게 좌우되었으며, 이러한 투수용 폴리머 콘크리트는 투수를 요하는 구조물이나 제품에 유용하게 이용할 수 있을 것이다.

이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

### 참 고 문 헌

1. Fowler, D. W., 1987, Current status of polymers in concrete, Proceedings 5th International Congress on Polymers in Concrete, Brighton, U. K, September : pp. 3 ~7.
2. Malhotra, V. M. and N. J. Carino., 1991, Handbook on nondestructive testing of concrete, CRC Press.
3. 문환영, 1990, 건설재료학, 동명사 : 99~137.
4. Neville., 1981, Properties of concrete, Pitman Publishing Limited, London : 605~635.
5. Paturoyer, V. V., 1986, Recomendations on polymer concrete mix design, NIZHB, Moscow : 18.
6. Sung, Chan Yong., 1994, Engineering properties of permeable polymer concrete, Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete, Kangwon National University, Korea, May2~3 : pp. 271~281.
7. 성찬용, 1995, 고성능 경량 폴리머 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지, 37(3·4) : 72~81.
8. Sung, Chan Yong., 1995, Mechanical characteristics of permeable polymer concrete, Proceedings of the '95 Japan and Korea Joint Seminar, Tottori University, Japan, October 4~8 : pp. 32~35.
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) : 263~275.
10. 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.
11. 연규석, 김광우, 김기성, 김관호, 1993, 충전재가 폴리머 콘크리트의 배합과 역학적 성질에 미치는 영향, 한국농공학회지, 35(2) : 81~91.

〈접수일자 : 1996년 7월 8일〉