

초경량 폴리머 콘크리트의 공학적 특성

Engineering Properties of Surlightweight Polymer Concrete

성 찬 용* · 김 경 태*
Sung, Chan Yong · Kim, Kyung Tae

Summary

This study was performed to evaluate the engineering properties of surlightweight polymer concrete using synthetic lightweight aggregate. The following conclusions were drawn;

1. The unit weight was in the range of $0.849 \sim 0.969 \text{t/m}^3$, the unit weights of those concrete were decreased by 58~63% than that of the normal cement concrete.
2. The highest strength was achieved by P₁, and compressive strength was increased by 93% and bending strength by 364% than that of the normal cement concrete, respectively.
3. The ultrasonic pulse velocity was in the range of $2,346 \sim 2,702 \text{m/s}$, which was low compared to that of the normal cement concrete.
4. The dynamic modulus of elasticity was in the range of $1.561 \times 10^5 \sim 1.916 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$, which was approximately 52~98% of that of the normal cement concrete.
5. The compressive and bending strength were increased with the increase of unit weight. But, the dynamic modulus of elasticity and ultrasonic pulse velocity were decreased with the increase of unit weight.

I. 서 론

최근 콘크리트 수요의 급격한 증가로 인하여 양질의 콘크리트용 골재 부족현상이 나타나고 있으며, 골재의 질적인 문제와 양적인 문제해결이 건설분야의 큰 당면 문제로 제기

되고 있다. 이에 선진각국에서는 천연골재의 부족현상과 자연보호 측면에서 인공골재를 개발하기 시작하였고, 강도에 비하여 자중이 큰 콘크리트의 결점을 개선하고자 인공경량골재를 개발하였으며, 이를 사용한 경량콘크리트의 연구가 활발히 진행되고 있다.

*충남대학교 농과대학

키워드 : 초경량 폴리머 콘크리트, 인공경량골재, 단위중량, 강도, 동탄성계수, 초음파진동속도

한편, 근래 각종 산업분야에서의 기술향상과 함께 건설기술도 비약적인 발전을 하고 있으며, 특히 건설재료분야는 신소재 개발에 많은 관심을 갖고 있어 특수한 재료가 다양하게 개발되고 있는데, 이 가운데 하나가 고분자 재료를 사용한 폴리머 콘크리트이다. 이것은 1970년대 중반부터 연구개발되기 시작하여 현재 우리나라를 비롯한 세계각국에서 많은 연구자들에 의해 활발한 연구활동이 전개되고 있다.⁷⁾ 이와같은 폴리머 콘크리트는 강도, 접착성, 방수성, 내구성 등이 우수하고 경화속도가 빠르며, 특히 압축강도 뿐만 아니라 휨강도와 같은 공학적 성질이 우수하기 때문에 점차 그 사용이 증가되고 있다.^{5,8)}

또한, 모든분야의 산업은 고도로 발달하고, 콘크리트 구조물은 대형화, 고층화 되어감에 따라 구조물의 기본재료인 콘크리트의 고강도화와 경량화가 요구되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 경량이면서 성능이 우수한 콘크리트를 개발하기 위하여 폴리머와 인공경량 세골재 및 인공경량 조골재를 사용한 초경량 폴리머 콘크리트의 단위중량, 압축강도, 휨강도, 초음파진동속도 및 동탄성계수 등의 공학적 특성을 실험적으로 구명하여 해상부유구조물과 초고층건물등에 활용하기 위한 기초자료를 수립하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 재 료

가. 폴리머

본 실험에 사용한 폴리머는 국내에서 생산되고 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 되어있지 않은 경우가 있는데, 본 시험에서는 촉진제가 첨가되어 있는 것으로서 경화제만 첨가하면 상온에서 경화되는 것을 사용하였으며, 그 일반적 성질은 Table-2와 같다.

Table-2. General properties of hardener

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

다. 골재

본 시험에 사용된 인공경량세골재는 퍼라이트로서, 이것은 제3기 이후의 화산암지대에서 생산되는 진주암과 흑요암등의 암석을 분쇄하여 급속가열팽창시킨 것으로서, 이의 화학적 성분 및 일반적 성질은 Table-3 및 Table-4와 같다. 또한, 인공경량 조골재는 점토를 고온으로 가열하여 팽창·냉각시켜 만든 골재로서 최대입경이 8mm인 것을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table-5와 같다.

한편, 폴리머 콘크리트용 골재의 함수율은 0.1%³⁾ 이하가 되어야 하므로 100°C로 조절된 건조기에서 24시간 건조한 후 상온에서 충분히 냉각시켜 사용하였다.

Table-3. Chemical properties of synthetic lightweight fine aggregate

(unit : %)						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
75.5	15.2	0.9	0.12	0.08	3.5	4.0

Table-4. General properties of synthetic lightweight fine aggregate

Unit weight (t/m ³)	Grain size (mm)	Color	PH	Soundproof (%)
0.08	0.15~1.2	Pure-white	7	90<

Table-5. Physical properties of synthetic lightweight coarse aggregate

Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus	Unit weight (t/m ³)
8 >	0.68	21	5.60	0.386

2. 공시체 제작

가. 콘크리트 배합

폴리머 콘크리트에 대한 배합설계는 대체적으로 사용가능시간 및 강도를 고려해서 배합비를 결정하는 것이 일반적이다. 따라서, 인공경량 조·세골재와 폴리머와의 적절한 배합을 예비실험을 통해 결정한 후 인공경량 세골재만을 사용한 P₁, 인공경량 세골재와 인공경량 조골재를 중량비로 4 : 1로 한 P₂, 3 : 2로 한 P₃, 2 : 3으로 한 P₄, 1 : 4로 한 P₅ 등 5가지 배합으로 하였다. 이와같은 요령에 의하여 결합재를 조제하고 인공경량 세골재와 인공경량 조골재의 배합비를 결정하여 초경량 폴리머 콘크리트의 재령 7일 압축강도를 210kgf/cm² 이상, 단위중량을 1.0t/m³ 이하가 되도록 하였던 바, 결합재의 조제와 배합비를 나타내면 Table-6 및 Table-7과 같다.

나. 공시체 제작 및 양생

폴리머 콘크리트의 제작은 KS F 2419(폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도시험용 공시체 제작방법)에 준하여 인공경량 세골재 및 조골재를 콘크리트 믹서로 건비빔한 후 결합재를 투입하는 순서로 하였다. 몰드에 타설된 폴리머 콘크리트는 3시간후 탈형하여 온도 20±1°C, 습도 60±2%인 실험실에서 소정의 재령

Table-6. Formulation of binder

(Unit : wt. ratio)

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

Table-7. Mix design of surlightweight polymer concrete

(Unit : wt. %)

Type	Binder	Synthetic lightweight aggregate		Total
		Fine	Coarse	
P ₁	77.9	22.1	-	100
P ₂	74.3	20.5	5.2	100
P ₃	70.0	18.0	12.0	100
P ₄	62.3	15.2	22.5	100
P ₅	50.7	9.9	39.4	100

까지 기건양생시켰다.

3. 시험방법

다음과 같은 시험을 KS와 BS에 규정된 방법에 준하여 재령 7일에 실시하였다.

가. 단위중량시험은 $\phi 150 \times 300$ mm인 시험체를 기건상태의 중량과 체적을 구하여 산출하였다.

나. 압축강도시험은 $\phi 150 \times 300$ mm의 시험체를 제작하여 KS F 2481(폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법), 휨강도시험은 60×60×240mm의 시험체를 제작하여 KS F 2482(폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 규정된 방법에 의해 측정하였다.

다. 초음파진동속도시험은 60×60×240mm인 시험체의 아래와 위의 중앙에 50mm의 변환기를 부착하여 BS 4408(콘크리트의 초음파진동속도 측정방법)에 규정된 방법에 준하여 다음식으로 산출하였다.

$$P.V = \frac{L}{(D \times 10^{-6})}$$

여기서, P.V : 초음파진동속도(m/s)

D : 측정치(s)

L : 공시체 길이(m)

라. 동탄성계수측정은 BS 1881(콘크리트의 동탄성계수 측정방법)에 준하여 다음 식으로 동탄성계수를 산출하였다.

$$D.M. = 40.81632n^2l^2\rho \times 10^{-12}$$

여기서, D.M. : 동탄성계수(kgf/cm²)

n : 측정치(Hz)

l : 공시체 길이(mm)

ρ : 공시체 밀도(kg/m³)

III. 결과 및 고찰

1. 단위중량

경량콘크리트의 성질중에서 가장 중요한 것 중의 하나가 단위중량이라고 할 수 있고, 이는 사용골재의 종류와 배합조건에 따라 큰 차이가 있으며, 각 배합방법에 따른 단위중량 시험결과를 나타내면 Table-8과 같다.

Table-8에서 보는 바와같이 각 배합별 단위중량은 0.849~0.969t/m³로 나타났는데, 이는 일반적인 보통 시멘트 콘크리트의 단위중량 2.3t/m³의 37~42%로서 58~63%의 단

위중량이 감소되었다. 이와같이 단위중량이 감소된 주요원인은 세골재와 조골재가 모두 초경량 인공골재이기 때문이라 하겠으며, 이는 일반적인 경량콘크리트 기준치인 2.0t/m³ 이하¹⁾와 비교할 때 초경량 콘크리트라 할 수 있다.

2. 강 도

가. 압축강도

폴리머 콘크리트의 공학적 성질을 나타내는 대표적인 것 중의 하나가 압축강도이다. 압축강도는 배합설계의 기준이 될 뿐만 아니라 인장강도, 휨강도, 탄성계수등을 추정할수 있다. 보통 시멘트 콘크리트와 공학적 특성이 다소 다른 것으로 알려진 경량골재 콘크리트의 압축강도는 사용한 인공경량골재의 강도, 배합조건등에 따라 다르며, 그 배합방법에 따른 압축강도 시험결과를 나타내면 Table-8과 같다.

보통 시멘트 콘크리트중에서 일반적으로 가장 많이 출하되어 사용되는 재령 28일에 압축강도 210kgf/cm²의 레마콘을 100%로 할 경우, Table-8에서 보는 바와같이 가장 많이 증가된 P₁은 193%로 93%의 압축강도가 증가되었는데, 이는 콘크리트내부에 있는 미세립의 골재가 상호간 부착되어 있는 상태이고 폴리머가 치밀성을 증가시켰기 때문이라 하겠다.

또한, P₂는 165%, P₃는 133%, P₄는 107%, P₅는 80%의 강도를 나타냄으로써, P₅를 제외한 모든 배합비에서 각각 7~93%이상 크게 나타났다. 이와같이 경량골재를 사용하였음에도 불구하고 보통 시멘트 콘크리트의 강도보다 크게 나타난 것은 인공경량 세골재가 미세립이고 폴리머가 강도증진 효과를 가져왔기 때문이라 하겠으며, P₅의 경우 보통 시멘트 콘크리트보다 강도가 저하된 이유는 사용된 인공경량 조골재의 강도가 천연 조골재의 강도보다 작을 뿐만아니라 첨가된 양이 많기 때문이라 생각된다.

Table-8. Test results of surlightweight polymer concrete

Type	Unit weight (t/m ³)	Compressive strength (kgf/cm ²)	Bending strength (kgf/cm ²)	Ultrasonic pulse velocity (m/s)	Dynamic modulus of elasticity ($\times 10^5$ kgf/cm ²)
P ₁	0.969	405	195	2,346	1.561
P ₂	0.939	347	179	2,359	1.565
P ₃	0.920	279	140	2,439	1.646
P ₄	0.908	224	127	2,566	1.810
P ₅	0.849	168	93	2,702	1.916

나. 휨강도

인공경량 세골재와 인공경량 조골재를 사용한 초경량 폴리머 콘크리트의 휨강도 시험결과를 나타내면 Table-8과 같다. 이 결과에서 보는 바와같이 모든 초경량 폴리머 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 휨강도가 크게 나타났는데, 이는 사용한 폴리머와 인공경량 세골재가 복합적으로 콘크리트의 치밀성을 증가시켰기 때문이라 생각된다.

또한, 일반적으로 휨강도는 압축강도의 1/5 ~ 1/8이므로, 압축강도 210kgf/cm²의 레미콘의 휨강도는 42kgf/cm²이고, 이를 100%로 할 경우, P₁은 464%, P₂는 426%, P₃는 333%, P₄는 302%, P₅는 221%의 강도를 나타냄으로써, 압축강도의 증가보다 휨강도의 증가가 더 크게 나타났는데, 이는 폴리머 콘크리트가 갖는 특수한 물성에 기인한 결과라 하겠다.⁷⁾

다. 강도비

강도비는 공학적 성질을 구명하는데 필요한 요소중의 하나이며, 초경량 폴리머 콘크리트의 압축 및 휨강도에 대한 배합종류별 강도비를 나타내면 Table-9와 같다.

Table-9에서 보는 바와같이 보통 시멘트 콘크리트의 강도비($\sigma_b/\sigma_c=0.125\sim 0.2$)와 비교해 볼때 0.481~0.567로서 초경량 폴리머 콘크리트의 강도비가 2.8~3.8배이상 크게 나타났는데, 이와같은 원인은 결합재인 폴리머가 갖는 특수한 물성때문이며 취성이 보통 시멘

Table-9. Strength ratio of surlightweight polymer concrete

Type	σ_b/σ_c
P ₁	0.481
P ₂	0.515
P ₃	0.502
P ₄	0.567
P ₅	0.554

트 콘크리트 보다 크다는 것을 나타내는 결과라 하겠다. 또한, 초경량 폴리머 콘크리트는 압축강도보다도 휨강도의 증가가 크게 나타나 휨을 받는 부재나 경량성을 요하는 해상부유 구조물에 사용하면 많은 효과가 있을 것으로 생각된다.

3. 초음파진동속도

초음파진동속도시험은 초음파 종파를 부재나 구조물중에 방사해서 그 전파시간으로부터 얻어지는 전파속도에 의해 콘크리트의 성능을 평가하는 방법으로서, 수 m에서 수 cm의 규모에 이르기까지 적용할 수 있는 비파괴시험 방법이다.⁹⁾

초경량 폴리머 콘크리트의 초음파진동속도에 대한 배합종류별 시험결과를 나타내면 Table-8과 같다.

이 결과에서 보는 바와같이, 인공경량 세골재만을 넣은 P₁은 2,346m/s로 나타났고 인공경량 세골재를 감소하고 인공경량 조골재를 증가시킨 P₂~P₅는 2,359~2,702m/s로 나타났으며, 이는 일반적으로 알려진 보통 시멘트 콘크리트의 초음파진동속도 3,000m/s의 78~90%로써 초경량 폴리머 콘크리트의 초음파진동속도가 작게 나타났는데, 이러한 결과는 콘크리트속에 인공경량골재 자체의 공극이 많아 초음파의 속도를 저해했기 때문이라 하겠다.

또한, 단위중량, 압축강도 및 휨강도가 증가할수록 초음파진동속도는 작게 나타났는데, 이는 사용재료인 인공경량 세골재와 인공경량 조골재의 자체공극 크기에서 퍼라이트의 경우가 더 미세럽이고 전체적인 공극량이 많기 때문에 초음파속도가 저하되었다고 생각된다.

4. 동탄성계수

탄성계수는 재료의 역학적 성질을 나타내는 요소중 하나로서 대체적으로 탄성계수가 작으면 재료의 변형성이 크다는 것을 의미한다.

초경량 폴리머 콘크리트의 각 배합방법에 따른 동탄성계수 시험결과를 나타내면 Table-8과 같다.

이 결과에서 보는 바와같이 모든 초경량 폴리머 콘크리트의 동탄성계수가 보통 시멘트 콘크리트의 그것보다 작게 나타났다는 것을 알 수 있는데, 이와같은 원인은 골재자체에 공극을 함유한 인공경량골재를 사용함으로써 탄성파의 속도를 저해했기 때문이라 하겠다.

또한, 배합별 동탄성계수는 보통 시멘트 콘크리트의 탄성계수를 구하는 식 $15,000\sqrt{\sigma_{ck}}$ ¹⁾에 압축강도의 최저치인 168kgf/cm²과 최고치인 405kgf/cm²를 대입하여 환산한 값인 $1.944 \times 10^5 \sim 3.018 \times 10^5$ kg/cm²과 비교하면 초경량 폴리머 콘크리트의 동탄성계수는 보통 시멘트 콘크리트의 52~98%수준에 머무르고 있다는 것을 알 수 있다. 한편, 배합별 동탄성계수의 변화를 살펴보면 P₅, P₄, P₃, P₂, P₁순으로 크게 나타났고, 인공경량 조골재의 양이 적을수록 작게 나타났는데, 이는 초음파진동속도의 성질과 유사한 결과라 할 수 있다. 이와같은 결과로 부터 초경량 폴리머 콘크리트의 동탄성계수는 보통 시멘트 콘크리트의 것보다 작아 변형성이 비교적 크다는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

이 연구는 폴리머와 인공경량 세골재 및 인공경량 조골재를 사용한 초경량 폴리머 콘크리트의 공학적 특성을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단위중량은 배합비의 종류에 따라 0.849~0.969t/m³로서, 보통 시멘트 콘크리트에 비해 58~63%정도 감소되었다.

2. 강도는 P₁에서 가장 크게 나타났으며, 압축강도 210kgf/cm²의 레미콘보다 압축강도

에서는 93%, 휨강도에서는 364%가 증가되었고, 압축강도에 대한 휨강도비가 보통 시멘트 콘크리트보다 크게 나타나 취성이 크다는 것을 알 수 있었다.

3. 초음파진동속도는 2,346~2,702m/s 범위로 보통 시멘트 콘크리트보다 약간 작게 나타났으며, 인공경량 세골재의 양이 적을수록 크게 나타났다.

4. 동탄성계수는 $1.561 \times 10^5 \sim 1.916 \times 10^5$ kgf/cm²으로 나타났으며, 보통 시멘트 콘크리트의 52~98% 정도로서 변형성이 크게 나타났다.

5. 압축강도와 휨강도는 단위중량이 감소할수록 작게 나타났으며, 초음파진동속도와 동탄성계수는 단위중량이 감소할수록 크게 나타났다.

참 고 문 헌

1. 한국 콘크리트학회, 1995, 최신콘크리트공학, : 631~654.
2. 김성완, 성찬용, 민정기, 정현정, 1995, 경량콘크리트 개발에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지, 37(5) : 90~100.
3. Paturoyer, V. V., 1986, Recommendations on polymer concrete mix design, NIZHB, Moscow : 18.
4. Sung, Chan Yong, 1992, Influence of alkali-silica reaction on the engineering properties of synthetic lightweight concrete, Proceedings of the 3th International Joint Seminar on the Future of Agricultural Science in Korea and Japan, Taejon, Korea, May : 111~121.
5. Sung, Chan Yong, 1994, Engineering properties of permeable polymer concrete, Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete, Chuncheon, Korea, May : 271~281.

초경량 폴리머 콘크리트의 공학적 특성

6. 성찬용, 김성완, 민정기, 1994, 초경량골재를 사용한 경량콘크리트의 공학적 특성, 한국농공학회지, 36(4) : 48~55.
7. 성찬용, 1995, 고성능 경량 폴리머 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지, 37(3·4) : 72~81.
8. 연규석, 1990, 폴리머 모르타를 이용한 강화목재보의 개발, 한국농공학회지, 32(3) : 79~86.
9. 연규석, 김광우, 김기성, 김관호, 1993, 충전재가 폴리머 콘크리트의 배합과 역학적 성질에 미치는 영향, 한국농공학회지, 35(2) : 81~91.

(접수일자 : 1997년 4월 16일)