

재생골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 물리·역학적 특성

성찬용¹ · 백승출²

Physical and Mechanical Properties of Polymer Concrete Using Recycled Aggregate

Sung, Chan-Yong¹ · Back, Seung-Chul²

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the physical and mechanical properties of polymer concrete using unsaturated polyester resin, initiator, heavy calcium carbonate, crushed gravel, recycled coarse aggregate, silica sand and recycled fine aggregate.

The unit weight, compressive strength, flexural strength and dynamic modulus of elasticity were decreased with increasing the content of recycled aggregate.

The unit weight, compressive strength, flexural strength and dynamic modulus of elasticity were showed in 2,127~2,239kg/m³, 80.5~88.3MPa, 19.2~21.5MPa and 254×10²~288×10²MPa at the curing age 7 days, respectively.

Therefore, these recycled aggregate can be used for polymer concrete.

Keywords : polymer concrete, recycled aggregate, unit weight, strengths, dynamic modulus of elasticity

¹ 충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부(Division of Bioresources Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam Nat'l Univ., Daejeon 305-764, Korea)

² 충남대학교 대학원 농업토목공학전공(Department of Agricultural Engineering, Graduate School, Chungnam Nat'l Univ., Daejeon 305-764, Korea)

교신저자 : 성찬용(E-mail : cysung@cnu.ac.kr Tel : 042-821-5798)

I. 서론

구조물 해체시 막대한 양의 건설폐기물이 발생됨에 따라 도시 및 주거 환경 파괴의 주범이 되고 있으며, 사회·경제적인 측면에 큰문제로 제기되고 있다. 또한, 최근 건설수요의 증대 및 건축물의 대형화와 더불어 골재수요가 급격히 증가함에 따라 골재자원의 부족현상이 국내에서도 점차 현실적인 문제로 대두되고 있다.

특히, 미국, 영국, 스페인, 프랑스를 비롯한 외국에서도 발생량이 급증하고 있는 건설폐기물 중에서도 폐콘크리트가 약 90%를 차지하고 있으며, 우리나라에서도 2000년 현재 약 1,500만톤이었던 폐콘크리트 발생량이 2020년에는 약 1억톤 이상으로 급격히 증가할 것으로 예상되기 때문에 날로 심각해지는 환경문제에 대한 대책으로 부가가치가 높은 폐콘크리트의 재자원화 기술개발 및 실용화 방안에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다 (Collins, 1994 ; Henrichsem, 2000 ; Kibert, 1994 ; Sung and Kim, 2003).

한편, 건설기술의 비약적인 발전으로 구조물의 대형화 및 고층화 등 사용환경이 점차 확대됨에 따라 새로운 건설재료에 대한 인식이 대두되고 있다. 특히, 건설재료로서 가장 널리 이용되고 있는 시멘트 콘크리트는 자중이 크고, 낮은 강도로 인한 설계단면의 증가, 장시간의 양생, 인장이나 휨에 대한 저항력이 작아 균열이 발생하기 쉽고, 내약품성에 대한 내구성 저하 등이 문제시 되면서 이를 해결하기 위한 새로운 고기능성의 건설재료로서 고분자재료인 폴리머를 사용한 폴리머 콘크리트에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다 (ACI, 1986).

한편, 폴리머 콘크리트는 일반 시멘트 콘크리트에 비하여 압축강도, 인장강도 및 휨강도가 클

뿐만 아니라 내마모성, 내충격성, 내약품성, 전기 절연성, 방수성, 내동결융해성 등과 같은 물리·역학적 성질이 우수하다(Folwer, 1994).

따라서, 본 연구는 현재 생산되고 있는 재생골재, 재생잔골재와 불포화 폴리에스테르 수지, 개시제, 색소, 규사, 탄산칼슘을 사용한 폴리머 콘크리트의 단위용적중량, 압축강도, 휨강도, 동탄성계수 등의 물리·역학적 특성을 구명하여 재생골재를 폴리머 콘크리트의 재료로 활용하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

2.1 사용재료

가. 불포화 폴리에스테르 수지

본 시험에 사용한 불포화 폴리에스테르 수지는 코발트계 경화촉진제가 첨가되어 있는 올소타임으로서, 그 일반적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. General properties of unsaturated polyester resin (U.P)

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

나. 개시제

불포화 폴리에스테르 수지가 경화하는 데는 경화촉진제와 개시제가 첨가되어야 하며, 촉진제가 첨가된 불포화 폴리에스테르 수지는 개시제만 첨가하면 경화반응이 일어난다. 촉진제로서는 옥탄산 코발트 8%인 mineral turpentine 용액(CoOc)이 주로 이용되며, 개시제로서는 메틸에틸케톤 프록사이드 55%인 DMP용액이 이용되고 있다

(Ohama and Demura, 1979).

본 시험에 사용한 불포화 폴리에스테르 수지는 공장에서 생산될 때 이미 경화 촉진제가 첨가되어 있고, 개시제만 첨가하면 경화반응을 일으키게 되어 있으며, 사용된 개시제의 일반적인 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. General properties of initiator

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

다. 충전제

폴리머 콘크리트 배합시 충전제를 사용하는 주된 목적은 단위체적당 수지의 사용량을 감소시키고 점성을 증가시켜 부착력을 크게 할 목적으로 미립재를 사용한다. 충전제는 무기질 분말이어야 하고 수분함량은 1%미만이어야 하며, 구형의 세립자로 형상이 불규칙하여 비표면적이 큰 것일

수록 유리하다(Sung, 1995).

충전제는 비교적 가격이 저렴하고 구입이 용이한 탄산칼슘을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Physical properties of filler

| Specific gravity(20℃) | Specific surface (cm ² /g) | Grain size (mm) | Color |
|-----------------------|---------------------------------------|-----------------|-------|
| 2.92 | 3,150 | < 0.15 | White |

라. 골재

친수성인 골재가 수분을 흡수하면 폴리머 콘크리트에서는 골재를 둘러싼 결합재층과 골재 표면 사이에 수막이 형성되어 결합재와 골재간의 접착력을 약화시켜 강도가 저하되므로 함수율이 0.1% 이하가 되도록 건조시킬 필요가 있다(Sung, 1995).

굵은골재는 경기도 I사에서 제조된 1종 재생골재와 쇄석을 사용하였고, 잔골재는 경기도 I사에서 제조된 1종 재생잔골재와 규사를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 4,5와 같다.

Table 4. Physical properties of coarse aggregate

| Type | Size (mm) | Unit weight (kg/m ³) | Specific gravity(20℃) | Absorption ratio (%) | Fineness modulus |
|--------------------|-----------|----------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------|
| Crushed gravel | 5~10 | 1,581 | 2.64 | 1.25 | 6.72 |
| | 5~20 | 1,571 | 2.64 | 1.25 | 7.35 |
| Recycled aggregate | 5~10 | 1,562 | 2.62 | 1.87 | 6.49 |
| | 5~20 | 1,543 | 2.62 | 1.87 | 6.78 |

Table 5. Physical properties of fine aggregate

| Item | Size (mm) | Unit weight (kg/m ³) | Specific gravity(20℃) | Absorption ratio (%) | Fineness modulus |
|--------------------|-----------|----------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------|
| Silica sand | <4.75 | 1,675 | 2.62 | 0.87 | 2.66 |
| Recycled aggregate | <4.75 | 1,552 | 2.44 | 3.92 | 3.39 |

2.2 공시체 제작

가. 배합설계

폴리머 콘크리트는 결합재로 사용되는 수지량이 증가함에 따라 폴리머 콘크리트의 강도는 증가하지만 수지량이 중량비 12% 정도 이상이면 재료의 분리와 경화수축량 등이 커지고 작업성이 현저히 떨어지므로 신중히 고려해서 결정하여야 한다.

결합재의 사용량을 최소로 하기 위하여 잔골재에 대한 굵은골재의 비율과 충전재의 사용량을 결정하였으며, 충전재는 재생굵은골재의 치환율 및 재생잔골재의 사용량에 따른 강도 특성을 평가하기 위하여 모든배합에서 동일중량을 사용하였고, 재생굵은골재는 쇄석의 중량비로 각각 0%, 50%, 100% 치환하였으며, 재생잔골재를 규사 대용으로 사용하였다.

한편, 폴리머 콘크리트에 사용한 굵은골재는 재생굵은골재의 활용성을 증대시키기 위하여 입

자 5~10mm와 5~20mm 두 종류의 굵은골재를 사용하였으며, 그 배합설계는 Table 6과 같다.

나. 공시체 제작 및 양생

재생골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 공시체 제작은 KS F 2419(폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 규정된 방법에 준하였으며, 혼합방법은 골재 및 충전재를 잘 혼합한 후 결합재를 투입하였고, 혼합된 재료는 240rpm인 진동기위에 올려놓은 상태로 진동다짐을 주어 제작하였으며, 몰드에 타설된 공시체는 3시간 후 탈형하여 재령 7일까지 기건양생하였다.

2.3 시험방법

시험은 KS와 BS에 규정된 방법에 따라 재령 7일에 실시하였으며, 3회 반복 측정된 것의 평균값을 실험 결과치로 하였다.

Table 6. Mix design of polymer concrete using recycled aggregate

(Unit : kg/m³)

| Series | Aggregate size (mm) | Type | Binder | | | Coarse aggregate | | Fine aggregate | Filler |
|-------------|---------------------|-------|--------|---------|----------|------------------|----------|-------------------|--------|
| | | | U,P | Crushed | Recycled | Silica sand | Recycled | CaCO ₃ | |
| Series I-1 | 5-20 | CPC | 253 | 736 | - | 1,068 | - | 253 | |
| | | RPC1 | 253 | 369 | 369 | 1,066 | - | 253 | |
| | | RPC2 | 253 | - | 738 | 1,066 | - | 253 | |
| | | CRPC | 302 | 800 | - | - | 961 | 247 | |
| Series I-2 | 5-20 | RRPC1 | 302 | 400 | 400 | - | 961 | 247 | |
| | | RRPC2 | 302 | - | 800 | - | 961 | 247 | |
| | | CPC | 253 | 736 | - | 1,068 | - | 253 | |
| Series II-1 | 5-10 | RPC1 | 253 | 369 | 369 | 1,066 | - | 253 | |
| | | RPC2 | 253 | - | 738 | 1,066 | - | 253 | |
| | | CRPC | 302 | 800 | - | - | 961 | 247 | |
| Series II-2 | 5-10 | RRPC1 | 302 | 400 | 400 | - | 961 | 247 | |
| | | RRPC2 | 302 | - | 800 | - | 961 | 247 | |

가. 단위용적중량 시험
단위용적중량은 $\varnothing 75 \times 150 \text{mm}$ 인 공시체를 기건 상태의 중량과 체적을 측정하여 산출하였다.

7일에 BS 1881(콘크리트의 동탄성계수 측정방법)에 준하여 측정한 후 다음 식으로 산출하였다.

$$D \cdot M = 0.098 DWn^2$$

나. 압축강도 시험
압축강도는 $\varnothing 75 \times 150 \text{mm}$ 인 공시체를 KS F 2481(폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 측정하였다.

여기서, $D \cdot M$ = 동탄성계수 (MPa)
 W = 공시체의 중량 (kgf)
 n = 측정치
 $D = 408 \times 10^{-5} L/bt$ (s^2/cm^2)
 L = 공시체의 길이 (cm)
 b, t = 각주 공시체 단면 (cm)

다. 휨강도 시험
휨강도는 $60 \times 60 \times 240 \text{mm}$ 인 공시체를 KS F 2482(폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

라. 동탄성계수 시험
동탄성계수는 $60 \times 60 \times 240 \text{mm}$ 의 공시체의 길이 방향 양면 중앙에 중진동에 의한 공명진동을 측정하는 영국 C.N.S사의 ERUDIT MIKI(resonant frequency test system) 측정기를 사용하여 재령

3.1 단위용적중량

재생굵은골재와 재생잔골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 단위용적중량 시험결과는 Table 7 및 Fig. 1에서 보는 바와 같이 Series I- 1 및 Series I- 2에서 각각 $2,127 \sim 2,145 \text{kg/m}^3$ 및

Table 7. Test results of polymer concrete using recycled aggregate

| Series | Mix type | Unit weight (kg/m^3) | Strength(MPa) | | Dynamic modulus of elasticity ($\times 10^2$ MPa) |
|-------------|----------|---------------------------------|---------------|----------|----------------------------------------------------|
| | | | Compressive | Flexural | |
| Series I-1 | CPC | 2,165 | 84.5 | 20.0 | 267 |
| | RPC1 | 2,145 | 82.6 | 19.7 | 259 |
| | RPC2 | 2,127 | 80.5 | 19.2 | 254 |
| Series I-2 | CRPC | 2,244 | 87.9 | 21.2 | 292 |
| | RRPC1 | 2,217 | 86.5 | 20.8 | 282 |
| | RRPC2 | 2,209 | 85.3 | 20.4 | 275 |
| Series II-1 | CPC | 2,183 | 86.5 | 20.8 | 272 |
| | RPC1 | 2,172 | 85.9 | 20.6 | 268 |
| | RPC2 | 2,167 | 84.9 | 20.2 | 262 |
| Series II-2 | CRPC | 2,282 | 89.2 | 22.4 | 294 |
| | RRPC1 | 2,239 | 88.3 | 21.5 | 288 |
| | RRPC2 | 2,232 | 87.2 | 20.9 | 283 |

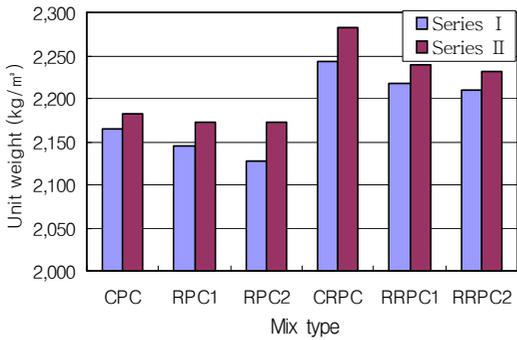


Fig. 1. Unit weight for replacement ratio of recycled coarse aggregate

2,209~2,217kg/m³ 범위로 쇄석을 사용한 폴리머 콘크리트의 단위용적중량 2,165kg/m³ 및 2,244 kg/m³과 거의 유사하게 나타났다.

한편, 재생굵은골재의 사용량에 따른 단위용적중량의 차이는 거의 없었고, 재생잔골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 단위용적중량이 규사를 사용한 경우에 비하여 크게 나타나는 경향을 보였다.

이러한 결과는 재생굵은골재와 재생잔골재의 단위용적중량이 쇄석과 규사보다 작으나 결합재의 양이 20%정도 많기 때문이라 판단된다.

또한, Table 7 및 Fig. 1에서 보는 바와 같이 Series II - 1 및 Series II - 2에서 재생골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 단위용적중량은 각각 2,167~2,172kg/m³ 및 2,232~2,239kg/m³범위이고, 쇄석을 사용한 폴리머 콘크리트의 단위용적중량 2,183kg/m³ 및 2,282kg/m³과 유사하게 나타났다.

이러한 결과는 굵은골재의 크기에 따른 비중의 차이가 아주 작기 때문에 Series I 및 Series II에서 유사한 경향을 나타낸 것으로 판단된다.

3.2 압축강도

재생굵은골재와 재생잔골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 압축강도 시험결과는 Table 7 및 Fig. 2에서 보는 바와 같이 재생굵은골재의 치환율에 따라 Series I-1 및 Series I-2에서 각각 80.5~82.6 MPa와 85.3~86.5 MPa의 범위로써, 쇄석을 사용한 경우의 압축강도 84.5 MPa와 87.9 MPa에 비하여 재생굵은골재의 치환율이 증가할수록 2~5%정도 작게 나타내는 경향을 보였다.

한편, Series II-1 및 Series II-2에서 재생굵은골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 압축강도는 각각 84.9~85.9 MPa와 87.2~88.3 MPa의 범위로써, 쇄석을 사용한 경우의 압축강도 86.5 MPa와 89.2 MPa에 비하여 1~2%정도 작게 나타났다.

이러한 결과는 재생굵은골재의 품질이 생산공정을 거치는 동안 재생골재의 품질 저하의 원인이 되었던 골재 주변의 모르타르를 제거하여, 입자가 둥근 형태로 모가 많이 난 쇄석에 비하여 동일 결합재비에 대한 유동성이 우수하여 원활한 피복이 이루어졌기 때문이라 판단된다.

또한, 규사를 사용한 경우보다 재생잔골재를 사용한 경우의 강도가 약간 증가하는 경향을 나타내었다(Neville, 1995). 이러한 결과는 5~20mm의 재생굵은골재를 사용한 경우에는 입도분포에서 쇄석에 비하여 비교적 입자가 작은 재생굵은골재가 많이 포함되었고, 5~10mm의 재생굵은골재를 사용한 경우에는 입도분포에 따른 입자의 크기가 쇄석과 거의 유사하여 골재의 크기 보다는 골재의 형상에 영향을 더 크게 받은 결과라 생각된다.

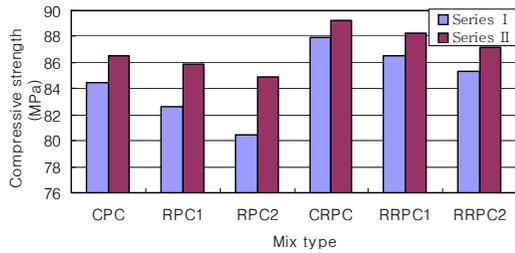


Fig. 4. Compressive strength for replacement ratio of recycled coarse aggregate

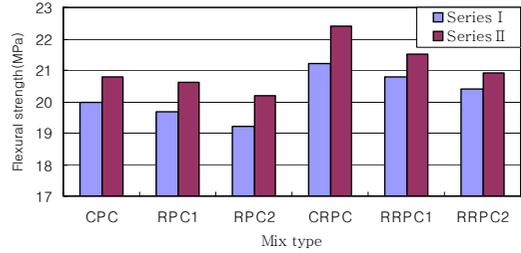


Fig. 5. Flexural strength for replacement ratio of recycled coarse aggregate

3.3 휨강도

재생굵은골재와 재생잔골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 휨강도 시험결과는 Table 7 및 Fig. 3에서 보는 바와 같이 재생골재의 치환율에 따라 Series I-1 및 Series I-2에서 각각 19.2~19.7 MPa와 20.4~20.8 MPa의 범위로서, 쇄석을 사용한 경우의 휨강도 20.0 MPa와 21.2 MPa에 비하여 3~4%정도 작게 나타났다.

한편, Series II-1 및 Series II-2에서 재생골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 휨강도는 각각 20.2~20.6 MPa와 20.9~21.5 MPa의 범위로서, 쇄석을 사용한 경우의 휨강도 20.8 MPa와 22.4 MPa에 비하여 2~6%정도 작게 나타났다.

이러한 결과는 재생굵은골재의 입자가 모가 많이 난 쇄석에 비하여 둥근 형상으로 되어 있어 결합재와 골재와의 부착력이 감소한 때문이라 판단된다.

한편, 동일 결합재비로 재생굵은골재를 100% 사용하여도 슬럼프 저하없이 쇄석을 사용한 콘크리트와 거의 같은 강도를 나타내기 때문에 재생굵은골재를 폴리머 콘크리트에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.4 동탄성계수

동탄성계수시험은 전혀 하중을 가하지 않고 전파를 공시체의 상대편에 방사하여 Hz를 측정하여 동탄성계수를 구하는 방법으로 동결융해저항성을 나타내는 내구성지수의 계산 및 산, 알칼리 등의 화학약품에 대한 저항성, 화재에 의한 콘크리트의 열화 상황 등 콘크리트 성능시험에 사용되어 진다.

한편, 콘크리트는 강도뿐만 아니라 변형성이 중요한 요소인데, 탄성계수에 의해 이러한 재료의 변형성능이 평가되어 지며 일반적으로 탄성계수가 작으면 재료의 변형량이 크고, 탄성계수가 크면 대체적으로 강도가 크다는 것을 의미한다.

재생굵은골재와 재생잔골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 동탄성계수 시험결과는 Table 7 및 Fig. 4에서 보는 바와 같이 재생골재의 치환율에 따라 Series I-1 및 Series I-2에서 각각 $254 \times 10^2 \sim 259 \times 10^2$ MPa 및 $275 \times 10^2 \sim 282 \times 10^2$ MPa의 범위로서, 쇄석을 사용한 경우의 동탄성계수 267×10^2 및 292×10^2 MPa에 비하여 5%정도 작게 나타났으며, 압축강도의 결과와 마찬가지로 재생굵은골재의 치환율이 클수록 동탄성계수는 감소하는 경향을 나타내었다.

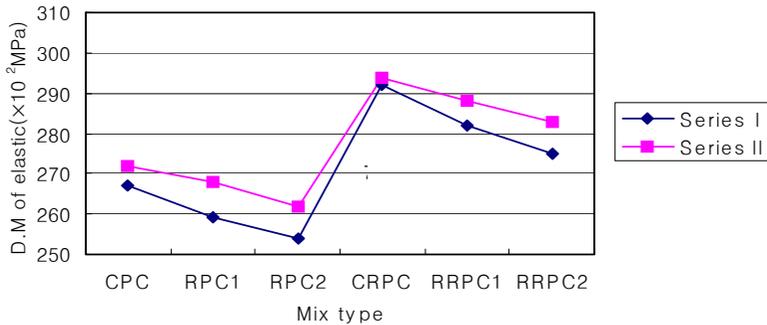


Fig. 9. Dynamic modulus of elasticity for replacement ratio of recycled coarse aggregate

한편, 압축강도 및 휨강도와 마찬가지로 재생잔골재를 사용한 경우가 규사를 사용한 경우에 비하여 동탄성계수가 크게 나타나는 경향을 보였다.

이러한 결과는 Series I-2 배합에서 Series I-1과 동일슬럼프를 나타내기 위하여 결합재인 불포화 폴리에스테르 수지를 증가시킨 결과로 판단된다(Lydon and Lacovou, 1995):

한편, Table 7 및 Fig. 4에서 보는 바와 같이 Series II-1 및 Series II-2에서 재생골재를 사용한 콘크리트의 동탄성계수는 각각 $262 \times 10^2 \sim 268 \times 10^2$ MPa 및 $283 \times 10^2 \sim 288 \times 10^2$ MPa의 범위로서, 쇄석을 사용한 경우의 동탄성계수 272×10^2 및 294×10^2 MPa에 비하여 3%정도 작게 나타났다.

또한, Series I에서와 마찬가지로 재생잔골재를 사용한 폴리머 콘크리트의 동탄성계수가 규사를 사용한 경우에 비하여 크게 나타나는 경향을 보였다.

IV. 적 요

이 연구는 현재 생산되고 있는 재생굼은골재와

재생잔골재를 폴리머 콘크리트 제조에 사용하기 위하여 불포화 폴리에스테르 수지, 개시제, 재생굼은골재, 쇄석, 재생잔골재, 규사, 탄산칼슘을 사용한 폴리머 콘크리트에 대한 물리·역학적 특성을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단위용적중량은 $2,127 \sim 2,239$ kg/m³의 범위로 쇄석을 사용한 폴리머 콘크리트의 단위용적중량 $2,165 \sim 2,282$ kg/m³과 거의 유사하였고, 재생골재의 치환률이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다.
2. 압축강도는 80.5~88.3 MPa의 범위로서, 쇄석을 사용한 폴리머 콘크리트의 압축강도 84.5~89.2 MPa에 비하여 1~2%정도 감소하였으며, 재생잔골재를 사용한 경우가 규사를 사용한 경우에 비하여 압축강도가 크게 나타나는 경향을 보였다.
3. 휨강도는 19.2~21.5 MPa의 범위로서, 쇄석을 사용한 폴리머 콘크리트의 휨강도 20.0~22.4 MPa에 비하여 4%정도 감소하였으며, 재생골재의 사용량이 증가할수록 휨강도는

감소하였다.

4. 동탄성계수는 $254 \times 10^2 \sim 288 \times 10^2$ MPa의 범위로, 쇄석을 사용한 폴리머 콘크리트의 동탄성계수 $267 \times 10^2 \sim 294 \times 10^2$ MPa보다 2~4%정도 감소되었으며, 재생골재의 사용량이 증가할수록 감소하였다.
5. 재생굵은골재와 재생잔골재를 사용한 폴리머 콘크리트를 개발하여 활용할 경우, 건설폐기물의 경제적이고 환경적인 처리가 가능할 것으로 기대되며, 고부가 가치의 환경친화적인 건설재료가 될 것으로 판단된다.

인용문헌

1. ACI. 1986. Guide for the use of polymers in concrete. ACI Journal. 83(5) : 798~829.
2. Collins, R.J. 1994. Reuse of demolition materials in relation to specification in the U.K demolition and reuse of concrete and masonry. F&FN SPON : 49~58
3. Folwer, D.W. 1994. Current uses of polymer concrete in the United States. Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete. Chuncheon, Korea, May 2~3, pp.3~9
4. Henrichsem, A. 2000. Use of recycled aggregates in Europe. International Workshop on Recycled Concrete : 1~8. JSPS 76 Committee on Construction Materials.
5. Kibert, C.J. 1994. Concrete/masonry recycling progress in the USA, demolition and reuse of concrete and masonry. F&FN SPON : 83~91.
6. Lydon, F.D. and M.Lacovou. 1995. Some factors affecting the dynamic modulus of elasticity of high strength concrete. Cement and Concrete Research. 25(6) : 1,246 - 1,256.
7. Neville, A.M. 1995. Properties of concrete, 4rd Ed. Longman Malaysia. London : 666-674
8. Ohama, Y. and K. Demura, 1979. Effect of coarse aggregate on compressive strength of polyester resin concrete. The International Journal of Cement Composites. 1(3) : 111-119
9. Sung, C. Y. 1995. Properties of high performance lightweight polymer concrete. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers. 37 : 72-81.
10. Sung, C. Y. and Y. I. Kim, 2003. Physical and mechanical properties of concrete using recycled aggregate and industrial by-products. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers. 45(6) : 128~135.