

재생굵은골재를 이용한 라텍스 개질 콘크리트의 특성에 관한 연구

A Study on the Properties of Latex Modified Concrete
using Recycled Coarse Aggregate

유 덕 룡*
Yoo, Deok-Ryong

고 성 석**
Go, Seong-Seok

Abstract

This study is purposed to improve the performance of concrete made of recycled coarse aggregate. For this, recycled aggregate concrete was produced with SBR latex, and fluidity, dynamic performance and drying shrinkage were examined. According to the result, with mixing 6% of SBR latex, fluidity having resistance against segregation can be insured and compressive and flexural strength was increased. Especially the increment in terms of flexures was remarkable. In addition to, with above mixing ratio, drying shrinkage was reduced. Therefore there is a strong inference that superior recycled aggregate concrete can be produced with using 6% of SBR latex.

요 지

본 연구는 재생굵은골재를 이용한 콘크리트의 성능을 개선하기 위하여 SBR 라텍스를 활용하여 재생골재 콘크리트를 제조하고, 유동성과 역학적 성능 및 건조수축에 대하여 검토하였다. 실험결과 SBR 라텍스를 6%정도 혼입하면 재료분리에 저항하는 유동성을 확보할 수 있고, 압축강도 증진 및 휨강도 개선에 큰 효과가 있는 것을 알 수 있었다. 또한 건조수축의 감소에 우수한 재생골재 콘크리트를 제조할 수 있을 것으로 판단된다.

Keywords : Recycled Coarse Aggregate, SBR Latex, Recycled Aggregate Concrete, Latex Modified Concrete, Performance Improvement

핵심 용어 : 재생굵은골재, SBR 라텍스, 재생골재 콘크리트, 라텍스 개질 콘크리트, 성능개선

* 정희원, 전남대학교 건축공학과 박사과정수료
** 정희원, 전남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

E-mail : ydr8659@kicm.re.kr 019-609-8659

•본 논문에 대한 토의를 2006년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 2007년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근 건설공사의 필수 자재인 레미콘용 골재가 각종 환경 규제에 인하여 수급 불안정이 심화되고 있고, 골재 부존자원의 점진적인 고갈로 향후 심각한 수급난이 우려되고 있다. 그러나 우리나라의 2006년도 레미콘 예상 출하량은 1억 2,480만^m에 대한 골재수요량은 1억 5,600만^m로 추정하고 있으며, 현재의 건설 활동 추세에 감안할 때, 앞으로도 골재 수요가 증가할 것으로 전망된다.

재생골재는 재개발, 재건축 등을 통해 발생된 폐콘크리트를 가공하여 생산되는 것으로 적절한 생산 및 활용기술 개발여부에 따라 환경오염과 부족한 골재자원 해소 등 높은 부가가치 창출도 가능한 자원이다.⁽¹⁾

그러나 폐콘크리트의 이용실태를 살펴보면 도로보조기층용이나 노반재에 국한되어 있어 막대한 발생량을 효과적으로 처리하기가 곤란하며 재생미분말이나 재생골재의 경우 품질상의 문제로 제대로 이용되지 못하고 있어 폐콘크리트의 다각적인 활용방안과 기술개발이 필요한 실정이다.⁽⁴⁾

현재 국내 교량에 교면포장공법으로 라텍스 개질 콘크리트(Latex Modified Concrete : 이하 LMC)의 적용이 늘러나고 있는 추세이다. 이는 LMC는 보통콘크리트에 비해 유동성이 증가하며 시멘트페이스트를 골재에 부착시켜 점착력이 증가하고 휨강도는 보통콘크리트에 비해 매우 크다. 또한 라텍스가 콘크리트 내부의 미세공극을 충전시켜 보통콘크리트에 비해 LMC는 투수저항성이 매우 크다.⁽⁵⁾⁻⁽⁶⁾

따라서 본 연구는 LMC의 특성을 파악하여 재생골은골재를 이용한 콘크리트의 성능을 개선하기 위하여 SBR 라텍스를 혼입하여 재생골재 콘크리트를 제조하고, 유동성과 역학적 성능 및 건조수축에 대하여 검토함으로써 재생골은골재 콘크리트의 성능을 개선하고 재생골재를 효과적으로 재활용할 수 있는 레미콘용 골재로써 활용 가능성을 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

Table 1은 본 연구의 실험계획, Table 2는 배합사항을 나타낸 것이다.

먼저, 배합사항으로 시리즈 I에서는 W/C를 35, 45 및 55%의 3수준에서 재생골재 2종을 50% 치환하는 것으로 한다. 그리고 시리즈 II에서는 쇄석골재와 재생골재 1종, 2종 및 3종의 4수준에서 각 종류별로 50%를 치환하고, 시리즈 III에서는 재생골재 2종 치환율을 0, 25, 50, 75 및 100%의 5수준으로 변화를 준다. 시리즈 IV에서는 재생골재 2종을 50% 치환하고, 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션으로 스티렌-부타디엔 고무(SBR : Styrene-Butadiene Rubber) 라텍스 혼입율을 시멘트에 대한 SBR 라텍스가 함유하고 있는 전고형분의 질량비(P/C)로서⁽²⁾ 0, 3, 6, 9 및 12%의 5수준으로 변화를 주고, 본 실험의 물시멘트비(W/C)에서 단위수량(W) 계산은 SBR라텍스 중의 수분과 가해지는 물(w)의 양을 합한 것으로 한다.

Table 1 실험계획

| 시리즈 | 배합사항 | | | 실험 사항 | | |
|-----|------------|-----------------------------|--------------|----------------|---------------------------------|---|
| | W/C (%) | 굵은골재 종류 | 굵은 골재 치환율(%) | 라 텍 스 혼입율(%) | 균지 않은 콘크리트 | 경화 콘크리트 |
| I | 35, 45, 55 | 재생 2종 | 50 | 0 | · 슬럼프, 슬럼프 플로우 (0, 30, 60, 90분) | · 압축강도 (3, 7, 28, 56, 91일) · 인장 및 휨강도 (28일) · 휨강도 (28일) · 건조수축 (1, 3, 7, 14, 21, 28, 56, 91, 120, 150, 180일) |
| II | 45 | 쇄 석 재생 1종 재생 2종 재생 3종 | | | | |
| III | | 재생 2종 | 50 | 0, 3, 6, 9, 12 | | |
| IV | | | | | | |

Table 2 배합사항

| 시리즈 | W/C (%) | w (kg/m ³) | P/C (%) | Latex (kg/m ³) | S/A (%) | SP/C (%) | AE/C (%) | 질량배합(kg/m ³) | | | | | | 용적배합(ℓ/m ³) | | | | | |
|-----|---------|------------------------|---------|----------------------------|---------|----------|----------|--------------------------|-----|------|--------|-----|----|-------------------------|-----|------|--------|-----|----|
| | | | | | | | | 시멘트 | 강모래 | 쇄석골재 | 재생굵은골재 | | | 시멘트 | 강모래 | 쇄석골재 | 재생굵은골재 | | |
| | | | | | | | | | | | 1종 | 2종 | 3종 | | | | 1종 | 2종 | 3종 |
| I | 35 | 172 | 0 | 0 | 41 | 0.5 | 0.01 | 491 | 640 | 450 | - | 450 | - | 156 | 251 | 172 | - | 189 | - |
| | 382 | | | | | | | 709 | 459 | 121 | | | | 278 | 176 | | | | |
| | 313 | | | | | | | 768 | 458 | 99 | | | | 301 | 176 | | | | |
| II | 45 | 172 | 0 | 0 | 43 | 0.5 | 0.01 | 382 | 709 | 966 | 476 | - | - | 121 | 278 | 369 | 187 | - | - |
| | | | | | | | | 382 | 709 | 476 | | | | 121 | 278 | 182 | | | |
| | | | | | | | | 382 | 709 | 459 | | | | 121 | 278 | 176 | | | |
| | | | | | | | | 382 | 709 | 461 | | | | 121 | 278 | 176 | | | |
| III | 45 | 172 | 0 | 0 | 43 | 0.5 | 0.01 | 382 | 709 | 966 | - | 236 | - | 121 | 278 | 369 | - | 99 | - |
| | | | | | | | | 382 | 709 | 708 | | | | 121 | 278 | 270 | | | |
| | | | | | | | | 382 | 709 | 459 | | | | 121 | 278 | 176 | | | |
| | | | | | | | | 382 | 709 | 225 | | | | 121 | 278 | 85 | | | |
| | | | | | | | | 382 | 709 | - | | | | 121 | 278 | 369 | | | |
| IV | 45 | 172 | 0 | 0 | 43 | 0.5 | 0.01 | 382 | 709 | 459 | - | 459 | - | 121 | 278 | 176 | - | 193 | - |
| | | 160 | 3 | 23 | | | | 382 | 697 | 452 | | | | 121 | 273 | 173 | | | |
| | | 147 | 6 | 48 | | | | 382 | 684 | 443 | | | | 121 | 268 | 170 | | | |
| | | 134 | 9 | 72 | | | | 382 | 672 | 435 | | | | 121 | 264 | 166 | | | |
| | | 121 | 12 | 97 | | | | 382 | 659 | 427 | | | | 121 | 258 | 164 | | | |

고성능 감수제 및 AE제 등 콘크리트용 화학혼화제의 사용은 W/C 45% 및 재생골재 2종 치환율 50%를 기준배합으로 하여 목표 슬럼프 18±1cm, 목표 공기량 5~7%를 만족하는 배합을 예비실험을 통하여 최적치를 결정하고, 기타의 변수에 동일하게 적용하여 품질변화를 분석한다.

또한, 실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서 슬럼프 및 슬럼프 플로우와 공기량 및 단위용적질량에 대한 경시변화를 측정하고, 경화 콘크리트에서는 강도특성으로 압축, 인장 및 휨강도와 건조수축에 의한 건조수축율을 계획된 재령에서 측정한다.

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로서 시멘트는 국내 D사 제품의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하는데, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다. 라텍스는 국내 K사 제품의 Styrene과 Butadiene을 주원료로 하여 유화공중합에 의하여 제조되는 합성고무라텍스로서 물을 용매로 사용하므로 물에 대한 분산성이 탁월하며, 시멘트에 대한 안정한 비이온성이고 그 물리적인 성질은 Table 4와 같으며 전체 질량에 대한 화학조성은 Table 5와 같다.

Table 3 시멘트의 물리적 성질

| 비중 | 분말도 (cm ² /g) | 안정도 (%) | 용결시간(분) | | 압축강도(MPa) | | |
|------|--------------------------|---------|---------|-----|-----------|------|------|
| | | | 초결 | 종결 | 3일 | 7일 | 28일 |
| 3.15 | 3,231 | 0.08 | 250 | 380 | 20.5 | 31.4 | 39.9 |

Table 4 SBR 라텍스의 물리적 성질

| 외관 | 고형분 (%TSC) | 비중 (20℃) | 입자경 (μm) | PH (25℃) | 점도 (25℃, cP) | 표면장력 (dyne/cm) |
|---------|------------|----------|----------|----------|--------------|----------------|
| 유백색 현탁액 | 47.5 | 1.01 | 0.20 | 10.3 | 70 | 35 |

Table 5 SBR 라텍스의 화학 조성(%)

| 스틸렌 | 부타디엔 | 비이온 계면활성제 | 음이온 계면활성제 | 폴리 실록산 | 과산화 칼륨 |
|------|------|-----------|-----------|--------|--------|
| 58.3 | 35 | 6 | 0.2 | 0.3 | 0.2 |

골재로서 잔골재는 광주광역시 황룡강 강모래를, 굵은골재는 전남 장성군 황룡면 통안리의 쇄석골재를, 재생골재는 전남 화순군 한천면 오음리에 소재한 N사에서 생산된 재생골재를 사용한다. 그 물리적 성질은 Table 6과 같다.

Table 6 골재의 물리적 성질

| 골재종류 | 조립률 | 절건밀도 (g/cm ³) | 표건밀도 (g/cm ³) | 흡수율 (%) | 마모율 (%) | |
|------|------|---------------------------|---------------------------|---------|---------|------|
| 강모래 | 2.70 | 2.51 | 2.55 | 1.86 | | |
| 쇄석골재 | 6.89 | 2.61 | 2.62 | 0.65 | 13.8 | |
| 재생골재 | 1종 | 7.24 | 2.48 | 2.54 | 2.34 | 28.3 |
| | 2종 | 6.78 | 2.28 | 2.38 | 4.20 | 27.6 |
| | 3종 | 7.01 | 2.25 | 2.39 | 6.20 | 26.0 |

Table 7 고성능감수제의 물리적 성질

| 주 성분 | 형태 | 색상 | 비중(20℃) | PH(20℃) |
|-------|----|-----|---------|---------|
| 나프탈렌계 | 액체 | 암갈색 | 1.20 | 10.3 |

Table 8 AE제의 물리적 성질

| 주 성분 | 형태 | 색상 | 비중(20℃) |
|--------------------|----|----|---------|
| synthetic tensides | 액체 | 무색 | 1.02 |

유동성을 확보하기 위해 사용한 고성능 감수제는 국내 E사의 나프탈렌계를, AE제는 동일회사의 음이온계를 사용하며, 이에 대한 물리적 성질은 Table 7 및 Table 8과 같다. 물은 광주시 상수도를 사용한다.

2.3 실험방법

굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 슬럼프 플로우시험은 KS F 2402 및 KS F 2594규정에 따라 실시하고, 비빔직후를 기준으로 90분까지 매 30분마다 경시변화도 측정한다.

공기량은 KS F 2421(압력법)규정을 따르며, 단위용적질량 시험은 KS F 2409(질량법)규정을 따라 공기량시험용기를 이용하여 질량을 측정함으로써 구한다.

압축, 인장 및 휨강도 측정용 공시체의 제작은 KS F 2403의 강도시험용 공시체 제작방법에 따라 실시하고, 건조수축에 의한 길이변화 측정용 공시체는 7.5×7.5×40cm 몰드의 양끝에 길이 측정용 게이지를 설치 고정할 수 있도록 특별히 제작한 몰드를 사용하여 제작한다.

경화 콘크리트의 압축강도 시험은 계획된 재령에서 KS F 2405의 방법에 따라 실시하고 인장 및 휨강도는 재령 28일에서만 KS F 2423(조각 인장강도) 및 KS F 2408(3등분점 재하법)의 방법에 의거 실시한다. 건조수축에 의한 길이변화는 KS F 2424(다이얼게이지 방법)의 방법에 따라 소정의 재령에서 측정한다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

(1) 슬럼프 및 슬럼프 플로우

Fig. 1과 2는 경과시간에 따른 슬럼프와 슬럼프 플로우의 변화를 각 시리즈 별로 나타낸 것이다.

먼저, 시리즈 I에서 슬럼프는 W/C 55%에서 45% 및 35%로 작아짐에 따라 점성의 증가로 인하여 비빔직후 값부터 21 > 18 > 10cm로 감소하는 경향으로 나타났다.

시리즈 II에서 쇄석골재와 재생골재 1종, 2종 및 3종을 이용한 콘크리트의 비빔직후의 슬럼프는 값은 17~18cm로 측정되고 시간이 경과함에 따라 재생골재 3종을 제외하고는 비슷한 경향으로 감소하였다. 재생골재 3종을 이용한 콘크리트의 이러한 현상은 골재의 표면에 부착된 많은 모르타의 영향으로 흡수율이 비교적 크기 때문에 비빔직후의 17cm에서 30분 이후부터 10 > 5.5 > 4cm의 순으로 급격하게 저하는 것으로 사료된다.

시리즈 III에서 슬럼프는 재생골재 2종 치환율이 0%에서 25, 50, 75 및 100%로 증가함에 따라 비빔직후의 값은 17~18cm로 비슷하게 측정되었으나 비빔 30분부터는 16 > 14.5 > 14 > 10 > 6cm 순으로 측정이 되어 치환율이 증가함에 따라 비례적으로 슬럼프 손실도 증가되었다. 특히 치환율 75 및 100%에서는 골재 표면에 부착된 모르타의 양이 상대적으로 증가함에 따라 슬럼프 손실도 타 치환율에 비해 크게 나타났다.

시리즈 IV에서 비빔직후부터 30, 60, 90분으로 시간이 경과함에 따른 슬럼프는 SBR 라텍스 혼입율 0%에서는 18 > 14 > 11 > 8cm로 측정이 되고, 혼입율 3%에서는 18.5 > 10 > 7.5 > 4cm로 측정이 되는데

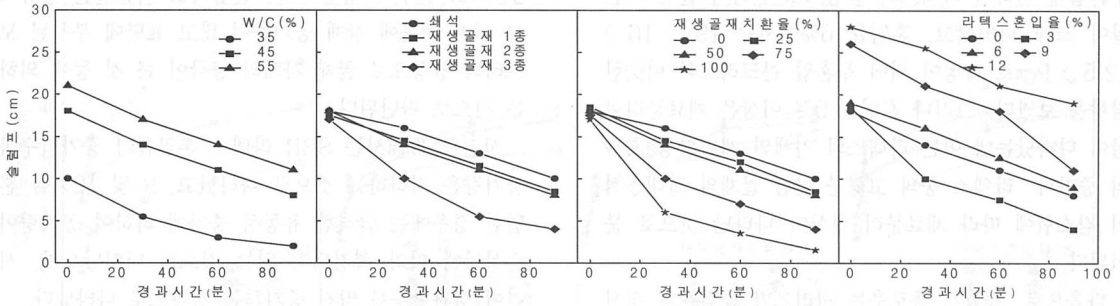


Fig. 1 시리즈별 슬럼프의 경시변화

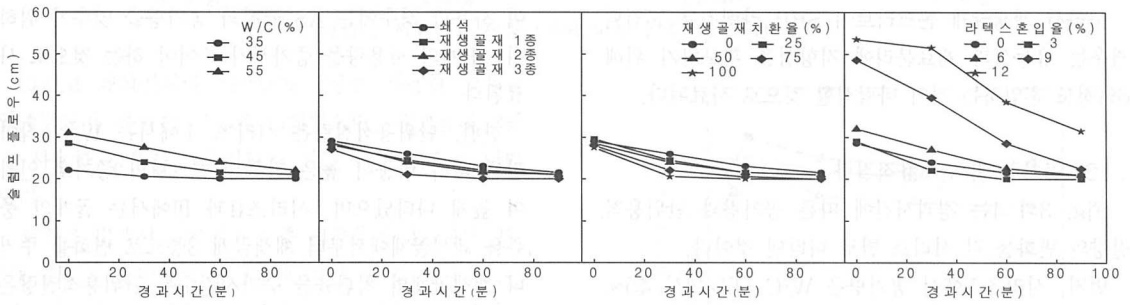


Fig. 2 시리즈별 슬럼프 플로우의 경시변화

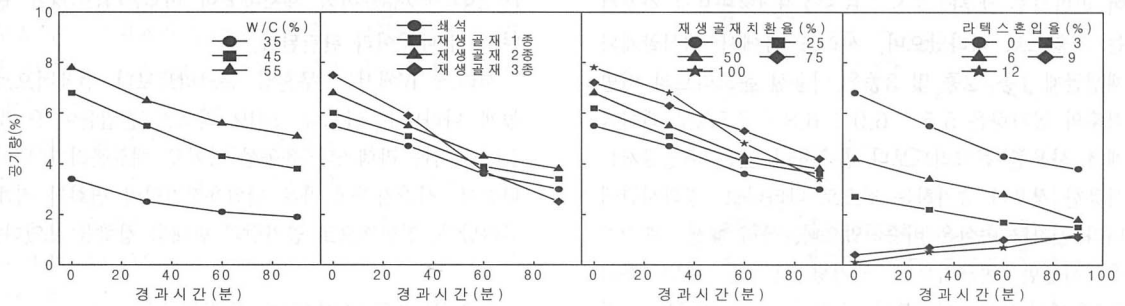


Fig. 3 시리즈별 공기량의 경시변화

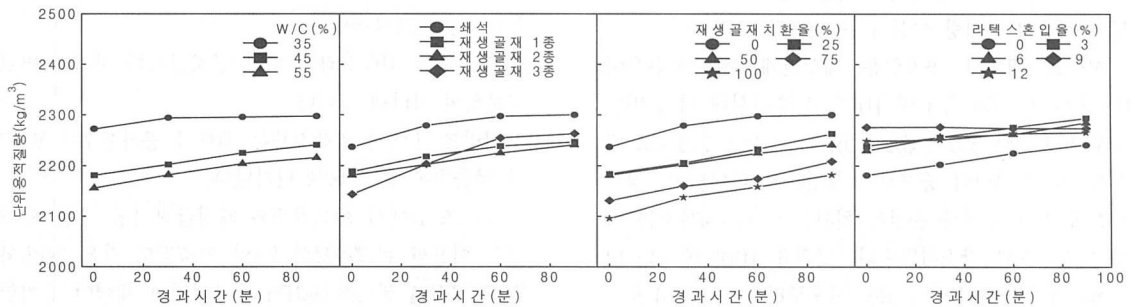


Fig. 4 시리즈별 단위용적질량의 경시변화

무혼입에 비하여 라텍스의 점성으로 인하여 슬럼프 손실이 크게 나타났고, 혼입율 6%에서는 $19 > 16 > 12.5 > 9\text{cm}$ 로 측정이 되어 무혼입 콘크리트와 비슷한 경향을 보였다. 그러나 혼입율 9% 이상은 재료분리현상이 나타났는데 이는 라텍스의 자체의 계면활성 효과의 증가와 라텍스 중의 고흡분 만큼 골재의 절대용적이 감소함에 따라 재료분리 현상이 나타난 것으로 분석된다.

다음으로, 슬럼프 플로우는 시리즈별 슬럼프의 경시 변화와 유사한 경향으로 나타났다.

따라서 재생골재 콘크리트에 SBR 라텍스를 혼입할 경우는 유동성과 재료분리에 저항성을 확보하기 위해 6%정도 혼입하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

(2) 공기량 및 단위용적질량

Fig. 3과 4는 경과시간에 따른 공기량과 단위용적질량의 변화를 각 시리즈 별로 나타낸 것이다.

먼저, 시리즈 I에서 공기량은 W/C 55%에서 45% 및 35%로 작아짐에 따라 시멘트의 분체량이 증가하여 비빔직후 값부터 $7.8 > 6.8 > 3.4\%$ 순으로 감소하는 경향으로 나타났으며, 시리즈 II에서 쇄석골재와 재생골재 1종, 2종 및 3종을 이용한 콘크리트의 비빔직후의 공기량은 $5.5 < 6.0 < 6.8 < 7.5\%$ 로 쇄석골재를 사용한 콘크리트보다 흡수율이 높은 재생골재를 사용한 경우가 증가하는 것으로 나타나고, 경과시간에 따라 공기량 손실은 비슷하였으나, 특히 재생골재 3종을 사용한 콘크리트의 공기량 손실은 비빔직후의 7.5%에서 30분 이후부터 $5.9 > 3.7 > 2.5\%$ 로 감소되어 다른 어떤 종류의 재생골재를 사용한 경우보다도 현저하게 공기량 손실이 큰 것으로 나타났다.

시리즈 III에서 공기량은 재생골재 2종 치환율이 0%에서 25, 50, 75 및 100%로 증가함에 따라 비빔직후의 값부터 $5.5 < 6.2 < 6.8 < 7.2 < 7.8\%$ 로 비례적으로 공기량이 증가하는 경향으로 나타났고, 경과시간에 따라 공기량 손실은 치환율 0~75%까지는 비슷한 경향으로 감소하였으나, 치환율 100%에서는 비빔직후의 7.8%에서 30분 이후부터 $6.8 > 4.8 > 3.4\%$ 로 급격하게 감소하는 경향으로 나타났다.

이 원인으로서는 쇄석골재보다도 재생골재 1종에서

3종으로 갈수록 입형이 더 불량하고 이물질을 함유하고 있기 때문에 잠재 공기량이 많고 표면에 부착된 모르타의 영향으로 골재 자체의 공극이 큰 것 등에 의한 것으로 판단된다.

시리즈 IV에서는 SBR 라텍스 혼입율이 증가할수록 공기량은 저하하는 것으로 나타났고, 9 및 12%를 혼입한 경우에는 급격한 유동성 증가에 의하여 공기량이 손실됨에 따라 측정되지 않는 것으로 나타났으며, 시간이 경과할수록 약간 증가하는 경향으로 나타났다.

따라서 SBR 라텍스를 재생골재 콘크리트에 혼입하여 사용할 경우에는 KS 규정의 공기량을 맞추기 위하여 AE제의 사용량을 증가시켜 주어야 하는 것으로 사료된다.

한편, 단위용적질량은 시리즈 I에서는 W/C 작아짐에 따라 비중이 높은 단위 시멘트량의 증가로 인하여 높게 나타났으며, 시리즈II과 III에서는 골재의 종류를 쇄석골재에서부터 재생골재 3종으로 변화를 주거나 재생골재의 치환율을 증가시킬수록 단위용적질량은 감소하는 경향으로 나타났다. 이는 재생골재의 밀도 ($2.48\sim 2.25\text{g/cm}^3$)가 쇄석골재의 밀도(2.61g/cm^3) 보다 낮기 때문이라 판단된다.

시리즈 IV에서는 무혼입 콘크리트보다 전체적으로 높게 나타나고 있으나, SBR 라텍스 혼입율이 9 및 12%에서는 라텍스의 유동성 증가로 재료분리가 나타나면서, 시간경과에 따른 단위용적질량의 변화가 작게 나타났다. 전반적으로 공기량과 반대의 경향을 보였다.

3.2 경화콘크리트의 특성

3.2.1 강도 특성

Fig. 5는 재령경과에 따른 압축강도를 시리즈 별로 구분하여 나타낸 것이다.

시리즈 I에서 압축강도는 재령이 증가할수록 W/C가 낮을수록 큰 것으로 나타났다.

시리즈 II에서 쇄석골재와 재생골재 1종, 2종 및 3종을 이용한 콘크리트의 28일 압축강도 값은 30.5와 31.5, 33.4 및 28.0MPa로 측정되고 재령이 증가함에 따라 비슷한 경향으로 강도발현을 보였으며, 그 중 재생골재 2종의 경우가 가장 큰 것으로 나타났다.

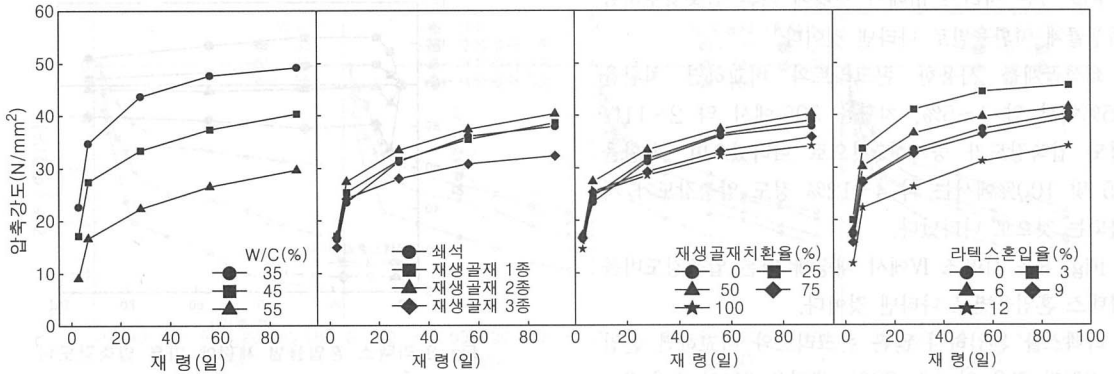


Fig. 5 시리즈별 재령경과에 따른 압축강도의 변화

그리고 쇄석골재와 재생골재 1종을 사용한 경우는 압축강도가 유사한 것으로 나타났으며, 재생골재 3종을 사용한 경우가 압축강도가 가장 작은 것으로 나타났다.

시리즈 III에서 재생골재 2종 치환율이 0%에서 25, 50, 75 및 100%로 증가함에 따라 28일 압축강도는 $31.2 < 31.8 < 33.4 > 29.2 > 28.5$ MPa로 측정되고 재령이 증가함에 따라 비슷한 경향으로 강도발현을 보였으며, 치환율이 50%이하에서는 치환하지 않은 경우 보다 크게 나타났으나, 50%이상 치환한 경우는 저하되는 것으로 나타났다.

시리즈 IV에서 라텍스 혼입율에 따른 압축강도는 3% > 6% > 0% > 9% > 12%의 혼입율 순으로 강도가 발현되었으며, 라텍스를 혼입하지 않은 콘크리트와 비교하면 혼입율 6%까지는 증가하였고, 9%를 혼입할 경우는 유사하였으며, 12%를 혼입할 경우에는 재료분리현상으로 인하여 크게 저하되었다.

따라서 압축강도 측면에서 라텍스를 재생골재 콘크리트에 혼입할 경우에는 3~6%정도가 가장 적정한 것으로 분석된다.

Fig. 6은 시리즈 II에서 재령에 따른 압축강도비를 쇄석골재를 사용한 콘크리트와 비교하여 재생골재 종류별로 나타낸 것이다.

전반적으로 압축강도비는 재생골재 1, 2종의 경우 초기재령이 크게 나타났고, 후기재령으로 갈수록 유사해지는 것으로 나타났으며, 쇄석골재의 압축강도에 비하여 약 1~17%정도 큰 것으로 나타났다. 재생골재

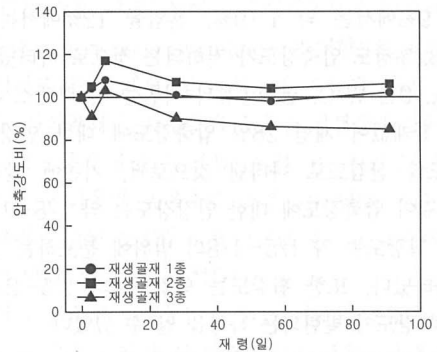


Fig. 6 골재의 종류별 재령 따른 압축강도비

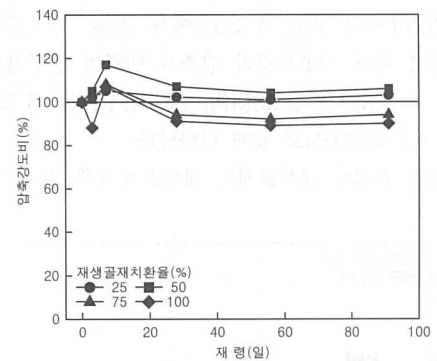


Fig. 7 재생골재 치환율별 재령에 따른 압축강도비

3종의 경우에는 쇄석골재에 비하여 9~15% 정도 저하되는 것으로 나타났는데, 이는 재생골재 3종의 경우 골재 표면에 부착된 모르타르의 양이 다른 재생골재보다 많아 시멘트 부착력이 감소된 영향으로 사료된다.

Fig. 7은 시리즈 III에서 재령에 따른 압축강도비를 재생골재 치환율별로 나타낸 것이다.

쇄석골재를 사용한 콘크리트와 비교하면 치환율 25%에서 약 1~5%, 치환율 50%에서 약 2~11% 정도 압축강도가 증가한 것으로 나타났으며, 치환율 75 및 100%에서는 약 4~12% 정도 압축강도가 저하되는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 시리즈 IV에서 재령에 따른 압축강도비를 라텍스 혼입율별로 나타낸 것이다.

라텍스를 혼입하지 않은 콘크리트와 비교하면 혼입율 3%의 경우 약 16~23%, 혼입율 6%의 경우 3~10% 정도 압축강도가 증가한 것으로 나타났으며, 혼입율 9%에서는 약 1~9%, 혼입율 12%에서는 약 12~32% 정도 압축강도가 저하되는 것으로 나타났다.

Fig. 9는 W/C, 골재종류와 치환율 및 라텍스 혼입율과 관계없이 재령 28일 압축강도에 대한 인장 및 휨강도를 산점도로 나타낸 것으로써, 기존에 알려진 바와 같이 압축강도에 대한 인장강도는 약 1/8~1/13 이고, 휨강도는 약 1/5~1/8의 범위에 분포하는 것으로 나타났다. 또한 휨강도는 인장강도의 1.5~2.0배 정도의 강도가 발현되는 특성을 알 수 있었다.

Fig. 10은 시리즈별 재령 28일 인장 및 휨강도를 나타낸 것이다.

시리즈 I에서 W/C가 35%에서 45% 및 55%로 높을수록 단위 시멘트량의 감소로 인하여 인장강도는 3.52 > 3.32 > 2.03MPa이고 휨강도는 6.30 > 5.24 > 4.43 MPa로 낮게 나타났다.

시리즈 II에서 쇄석골재와 재생골재 1종, 2종 및 3

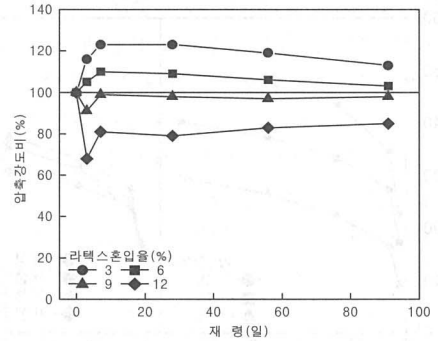


Fig. 8 라텍스 혼입율별 재령에 따른 압축강도비

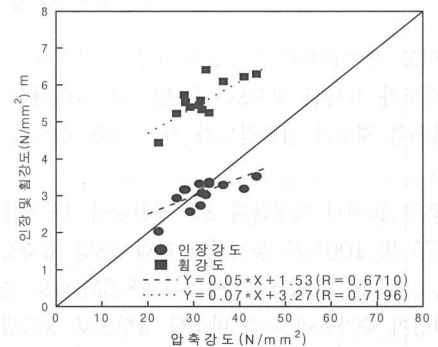


Fig. 9 압축강도에 대한 인장 및 휨강도

종을 이용한 콘크리트의 인장강도는 2.74와 2.73, 3.32 및 3.16MPa로 측정되고, 휨강도는 5.45와 5.58, 5.24 및 5.73MPa로 측정되고 있었다. 인장강도는 쇄석골재와 재생골재 1종이 거의 비슷하고 재생골재 2종이 가장 크게 나타났으며, 휨강도는 재생골재 3종이 가장 크게 나타났다.

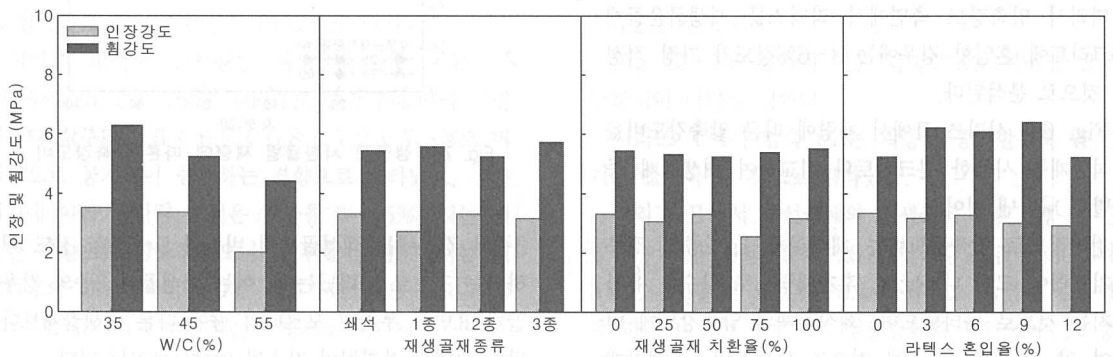


Fig. 10 시리즈별 인장 및 휨강도

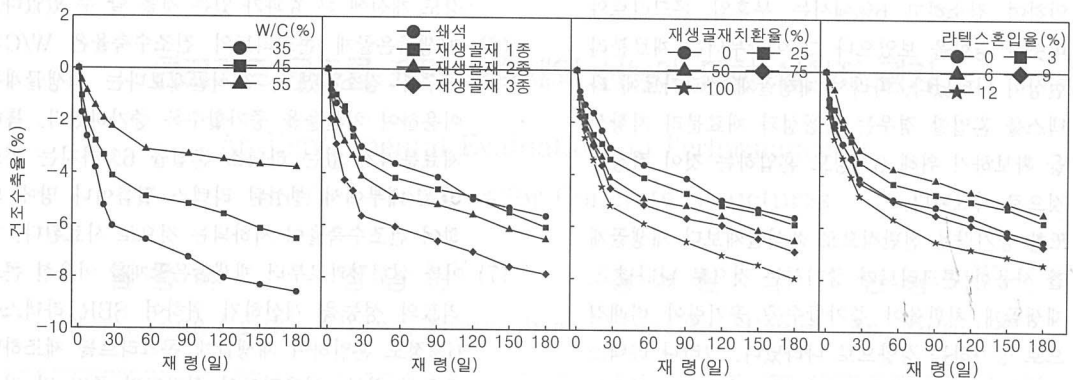


Fig. 11 재령경과에 따른 시리즈별 건조수축률

시리즈 III에서 재생골재 치환율에 따른 인장강도는 특별한 상관을 찾을 수는 없었고 치환율 50%에서 3.32MPa로 가장 크게 났다. 그리고 휨강도는 치환율 100%에서 가장 크게 나타났으나 치환율별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

시리즈 IV의 경우 라텍스 혼입율이 0%에서 3, 6, 9 및 12%로 증가함에 따라 인장강도는 각각 3.32, 3.18, 3.29, 3.02 및 2.93MPa로 측정되고, 휨강도는 각각 5.24, 6.22, 6.09, 6.41 및 5.22MPa로 측정되고 있었다. 라텍스를 혼입하지 않은 콘크리트에 비해 라텍스 혼입율이 증가할수록 인장강도는 모두 낮아지는 경향을 보이고, 휨강도는 혼입율 12%를 제외하고는 거의 높게 나타나는 양상이었다. 특히 라텍스 혼입율 9%에서 가장 큰 휨강도를 발현하였다. 그 이유로는 라텍스 혼입으로 인한 시멘트 입자의 분산성을 향상시키고 경화 후 라텍스 입자가 서로 결합하여 연속적인 필름형성으로 인해 매트릭스가 고강도화 되었기 때문인 것으로 분석된다. 따라서 라텍스를 이용한 재생골재 콘크리트는 휨강도 개선에 큰 효과가 있는 것으로 판단된다.

3.2.2 건조수축 특성

Fig. 11은 경과시간에 따른 건조수축율을 시리즈별로 구분하여 나타낸 것이다.

시리즈 I의 W/C에 따른 건조수축율은 W/C가 55%에서 45% 및 35%로 작을수록 크게 나타났는데, 이는 상대적으로 많은 양의 시멘트를 함유하고 있는

W/C가 작은 콘크리트에서 수화작용으로 발생하는 자기수축(Autogenous Shrinkage)의 영향으로 분석된다.

시리즈 II의 쇄석 및 재생골재 종류에 따른 건조수축은 쇄석골재 > 재생골재 1종 > 재생골재 2종 > 재생골재 3종의 순으로 크게 나타나고, 시리즈 III은 재생골재 치환율이 높을수록 크게 나타났다. 이는 골재 표면에 부착된 모르타르의 영향으로 흡수율 차이에 기인하여 나타난 것으로 분석된다.

시리즈 IV의 재료분리가 없는 라텍스 혼입율 6%까지는 라텍스 입자가 서로 결합하여 연속적인 필름이나 망을 형성하여, 그 필름이나 망이 시멘트 수화물과 함께 결합하여 급격한 인여수 증발을 방지함에 따라 건조수축율이 라텍스를 혼입하지 않은 콘크리트에 비하여 저감되는 것으로 분석된다.

4. 결 론

재생골재를 이용한 콘크리트의 성능을 개선하기 위하여 SBR 라텍스를 혼입한 콘크리트의 제반실험을 실시한 결과는 다음과 같이 요약된다.

- (1) 굳지 않은 콘크리트 특성으로 슬럼프 및 슬럼프 플로우에 쇄석골재와 재생골재 1종 및 재생골재 2종의 치환율이 50%까지는 비슷한 경향으로 나타났고, 재생골재 3종이나 재생골재 2종의 치환율이 50%이상인 경우는 비빔직후의 값은 비슷하나 30분 이후부터는 큰 폭으로 감소하였다. 그리고 라텍스 혼입율 3%에서는 라텍스의 점성으로

인하여 감소하고 6%에서는 무혼입 콘크리트와 비슷한 경향을 보였으나 그 이상부터는 재료분리 현상이 나타났다. 따라서 재생골재 콘크리트에 라텍스를 혼입할 경우는 유동성과 재료분리 저항성을 확보하기 위해 6%정도 혼입하는 것이 적정할 것으로 사료된다.

- (2) 또한 공기량은 전반적으로 쇄석골재보다 재생골재를 사용한 콘크리트가 증가하는 것으로 나타났고, 재생골재 치환율이 증가할수록 공기량이 비례적으로 증가하는 경향으로 나타났다. 그러나 라텍스 혼입율이 증가할수록 공기량은 저하되는 것으로 나타났다. 따라서 라텍스를 재생골재 콘크리트에 혼입할 경우에는 KS규정의 공기량을 맞추기 위하여 AE제의 사용량을 증가시켜야 할 것이다.
- (3) 한편, 단위용적질량은 골재의 종류를 쇄석골재에서부터 재생골재 1종, 2종 및 3종의 순으로 변화를 주거나 재생골재의 치환율을 증가시킬수록 단위용적질량은 감소하는 경향으로 나타났으며, 전반적으로 공기량과 반비례의 현상을 보였다. 이는 재생골재의 밀도가 쇄석골재의 밀도 보다 낮기 때문에 발생된 것으로 판단된다.
- (4) 경화콘크리트의 압축강도특성으로 재생골재 2종이 가장 크게 나타났다. 또한 재생골재 2종의 치환율 50%까지는 압축강도가 증가하였으나 그 이상에서는 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 라텍스 혼입율 6%까지는 압축강도가 증가하였으나 그 이상에서는 감소하는 경향이었다. 따라서 라텍스 혼입율 6%이상의 과다한 혼입은 압축강도 개선에 그다지 효과가 없는 것으로 확인되었다.
- (5) 또한 인장강도는 쇄석골재와 재생골재 1종이 거의 비슷하고 재생골재 2종이 가장 크게 나타났으나 치환율에 따른 인장강도는 큰 차이는 없었다. 또한 휨강도는 재생골재 3종이 가장 크게 나타났으나 치환율별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 라텍스를 혼입하지 않은 콘크리트에 비해 라텍스 혼입율이 증가할수록 인장강도는 전반적으로 낮아지는 경향을 보이고, 휨강도는 전체적으로 높게 나타나는 양상을 보이고 있었다. 따라서 라텍스를 이용한 재생골재 콘크리트는 휨

강도 개선에 큰 효과가 있는 것을 알 수 있었다.

- (6) 재생골재 콘크리트의 건조수축율은 W/C가 클수록 감소하였고, 쇄석골재보다는 재생골재를 이용하여 치환율을 증가할수록 증가하였다. 특히 재료분리가 없는 라텍스 혼입율 6%까지는 콘크리트 내부에서 형성된 라텍스 필름이나 망에 의하여 건조수축율이 저하되는 것으로 사료된다.
- (7) 이들 실험결과로부터 재생골재를 이용한 콘크리트의 성능을 개선하기 위하여 SBR 라텍스를 6%정도 혼입하여 재생골재 콘크리트를 제조하면 유동성 확보, 압축강도와 휨강도의 증진 및 건조수축의 감소에 우수한 재생골재 콘크리트를 제조할 수 있을 뿐만 아니라 재생골재를 효과적으로 재활용할 수 있는 레미콘용 골재로써 활용 가능성이 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2005년 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업(바이오하우징연구사업단)의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 깊은 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 재생골재 및 재생골재콘크리트 정책 및 세미나, 2004 콘크리트학회 재생콘크리트위원회 세미나, pp.III-24~44, 2004.
2. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, pp.642~665, 1999.
3. 이세현, 서치호 ; 피복 재생골재 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 구조계 18권6호, pp.85~92, 2002.
4. 河野 廣陸, 再生骨材, セメント・コンクリト, No. 618, pp.64~69, 1998.
5. Ohama, Y.: Principal of latex modification and some typical properties of LMC, ACI Journal, Vol.84, No.6, pp.511~518, 1987.
6. ACI Committee 548 : Standard Specification for Latex-Modified Concrete Overlays, ACI 548, 4~93, 1996.

금함 (접수일자 : 2006년 5월 23일)