

골재종류에 따른 고인성 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Mechanical Properties of Ductile Concrete with the Kinds of Aggregate

| | | |
|----------------|---------------|---------------|
| 한 병 찬* | 양 일 승* | 박 완 신** |
| Byung-chan Han | Il-seung Yang | Wan-shin Park |
| 임 승 찬*** | 森 井 直 治*** | 윤 현 도**** |
| Seung-chan Lim | Naoharu Morii | Hyun-do Youn |

ABSTRACT

Concrete is one of the principal materials for the structure and it is widely used all over the world, but it shows extremely brittle failure under bending and tensile load. Recently to improve such a poor property, Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites (DFRCC) have been developed, and it are defined by an ultimate strength higher than their first cracking strength and the formation of multiple cracking during the inelastic deformation process.

This paper is to estimate experimentally the mechanical properties of ductile concrete with the kinds of used fine and coarse aggregate for purpose of development of high ductile concrete mixing coarse aggregate. As the results, ductile concrete mixed coarse aggregate showed the displacement-hardening behavior under bending load similar to DFRCC, and its compressive and bending performance varied according to the kinds of used coarse aggregate.

1. 서 론

지금까지 주로 이용되고 있는 인성부여를 목적으로 한 섬유보강 콘크리트는 일반적으로 휨모멘트 또는 인장력 작용하에 있어서 균열발생 후에 응력이 저하하는 「변형연화특성」을 나타내며, 1개소의 균열에 응력이 집중하여 균열폭이 진전되는 특징을 가지고 있다. 한편, 최근 일본, 미국 등을 중심으로 활발히 연구되고 있는 고인성 시멘트 복합체(DFRCC ; Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites)¹⁾는 매트릭스로 시멘트페이스트 또는 모르타르가 이용되고 있으며, 콘크리트용 굵은골재는 전혀 사용되지 않고 있을 뿐만 아니라 잔골재로서 특수 입경의 규사가 주로 활용되고 있어 특수 용도로만 활용되고 있는 실정이다. 그러나, 기존 섬유보강 콘크리트에 이용되는 재료 및 배합을 활용하여 DFRCC의 성능을 발휘할 수 있다면 멀티플크랙(Multiple crack) 및 변위경화특성 등에 의해 콘크리트분야에 있어서 다양한 부가가치를 가질 수 있는 유용한 재료라 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 DFRCC의 특성을 가진 PVA 섬유보강 콘크리트를 개발할 목적으로 잔골재 및 굵은골재의 종류에 따른 고인성 콘크리트의 압축 및 휨거동 특성에 대하여 실험·실증적으로 검토하여 고인성 콘크리트의 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

* 정회원, (주)에이엠에스엔지니어링, 공학박사

** 정회원, 충남대학교 건축공학과, 박사과정

*** (주)일본 데로스, 공학박사

**** 정회원, 충남대학교 건축공학과, 교수·공학박사

본 연구는 건설교통부 2003년 건설핵심기술연구개발사업 연구비지원(03산학연 A10-01)에 의한 연구의 일부임

표 1. 실험계획 및 콘크리트의 배합

| 기 호 ¹⁾ | 섭 유 | | W/B (wt.) | FA/B (wt.) | S/B (wt.) | G _{vf} ²⁾ (vol.) | 단 위 중 량(kg/m ³) | | | | | | 측 정 항 목 | |
|-------------------|-----|---|--------------|---------------|--------------|---|-----------------------------|-----|-----|------|-----|-----|---------|--|
| | 종류 | 혼입율 V _f ¹⁾ (%) | | | | | W | C | FA | Pol. | S | G | | F |
| SS+CG | PVA | 2.0 | 0.23 | 0.40 | 0.25 | 0.15 | 237 | 600 | 400 | 77 | 254 | 420 | 26 | <ul style="list-style-type: none"> • 압축강도 • 탄성계수 • 압축응력-변형곡선 • 휨강도 • 휨응력-변형곡선 |
| PSS+CG | | | | | | | | | | | 343 | 420 | | |
| PSS+PSG | | | | | | | | | | | 343 | 536 | | |
| PSG | | | | | | | | | | | 0 | 879 | | |
| RS+RG | | | | | | | | | | | 250 | 350 | | |

Note 1) SS ; Silica sand, CG ; Crushed gravel, PSS ; PS ball sand, PSG ; PS ball gravel, RS ; River sand, RG ; River gravel
 2) 콘크리트 총용적에 대한 굵은골재의 체적용적비

표 2. 사용재료의 물리적 성질

| 사용 재료 | 물 리 적 성 질 |
|-------|---|
| 시 멘 트 | • 1종 보통포틀랜드시멘트, 밀도 3.15g/cm ³ , 분말도 3,120g/cm ² |
| 플라이애시 | • 밀도 2.13g/cm ³ , 분말도 3,450g/cm ² , 보령화력발전소 |
| 폴 리 머 | • SBR계, 밀도 1.10g/cm ³ , 액상, 국내 K사 |

표 3. 잔골재 및 굵은골재의 물리적 성질

| 구 분 | | 밀도(g/cm ³) | 입경(mm) | 비 고 |
|---------|-----|------------------------|---------|-------|
| 잔 골 재 | SS | 2.64 | 0.1~0.3 | 특수7호사 |
| | PSS | 3.57 | 1.0~3.0 | 전로슬래그 |
| | RS | 2.60 | 2.5 이하 | 강모래 |
| 굵 은 골 재 | CG | 2.80 | 5.0~8.0 | 부순자갈 |
| | PSG | 3.57 | 5.0~7.0 | 전로슬래그 |
| | RG | 2.55 | 5.0~8.0 | 강자갈 |

잔골재 및 굵은골재의 종류에 따른 고인성 콘크리트의 역학적 특성을 검토하기 위한 실험계획은 표 1에 나타난 바와 같이 잔골재 및 굵은골재의 조합은 SS+CG, PSS+CG, PSS+PSG, PSG, RE+RG의 5수준으로 설정하였으며, PVA 섬유 혼입율은 2.0%, W/B는 0.23, FA/B는 0.40, S/B는 0.25, G_{vf}는 0.15로 고정하였다. 또한, 고인성 콘크리트의 역학적 특성을 평가하기 위해 재령 28일에 압축강도, 탄성계수, 압축응력-변형곡선, 휨강도, 휨응력-변형곡선을 각각 측정하였다.

표 4. PVA 섬유의 기초물성

| 구 분 | 기 초 물 성 |
|--|---------|
| • 길이(L _f) (mm) | 12 |
| • 직경(L _d) (μm) | 40 |
| • 밀도 (g/cm ³) | 1.3 |
| • Aspect ratio (L _f /L _d) | 300 |
| • 인장강도 (MPa) | 1,100 |
| • 인장탄성계수 (GPa) | 120 |

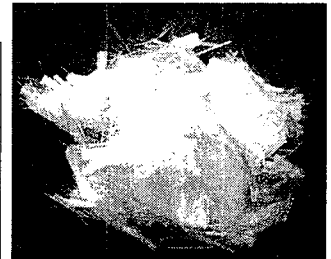


사진 1. PVA 섬유의 외형

2.2 사용재료 및 비빔방법

고인성 콘크리트용 사용재료의 물리적 성질은 표 2에 나타난 바와 같이 시멘트는 밀도 3.15g/cm³의 1종 보통포틀랜드시멘트, 플라이애시는 밀도 2.13g/cm³의 보령산 플라이애시, 폴리머는 국내 K사의 SBR계 액상 폴리머를 사용하였다. 또한, 잔골재는 규사(SS), 전로슬래그(PSS) 및 강모래(RS)를, 굵은골재는 부순자갈(CG), 전로슬래그(PSG) 및 강자갈(RG)을 사용하였고, 각각의 물리적 성질은 표 3에 나타난 바와 같다. 한편, 보강용 섬유는 길이 12mm, 직경 40μm의 폴리비닐알콜(PVA)섬유를 사용하였으며, 섬유의 물리적 성질 및 외형은 표 4 및 사진 1에 나타난 바와 같다.

또한, 고인성 콘크리트의 비빔은 용량 30ℓ의 옴니믹서를 사용하였으며, 모든 사용재료를 일괄 투입한 후 240초간 비빔을 실시하였다. 제조된 고인성 콘크리트는 압축성상을 평가하기 위해 φ100×200mm의 원형 공시체, 휨성상을 평가하기 위해 100×50×400mm의 각형 시험체를 각각 3개씩 제작하였다.

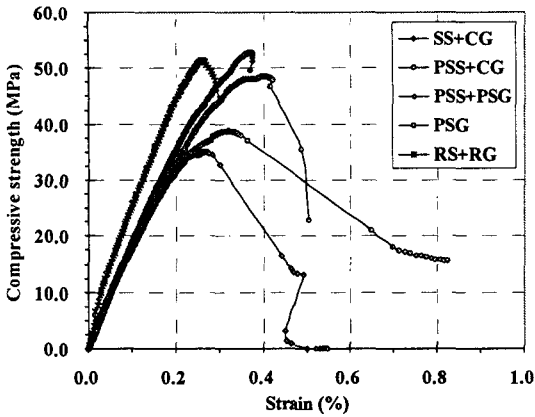


그림 1. 압축응력-변형곡선

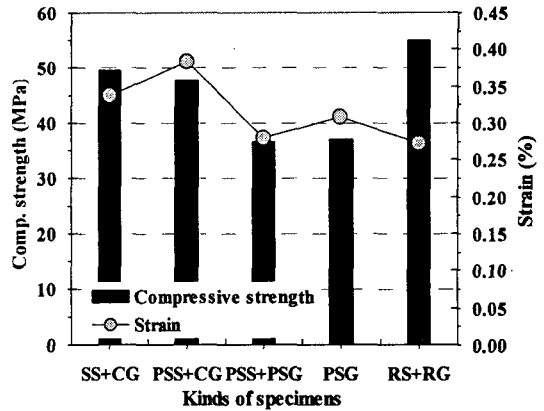


그림 2. 압축강도 및 최대압축응력시의 변형

2.3 양생 및 시험방법

타설된 시험체는 20±3℃, RH 60%의 실내에 24시간 존치한 후 탈형하여 40±5℃의 고온에서 재령 28일간 수중양생을 실시하였다. 또한, 고인성 콘크리트의 압축강도시험은 KS F 2405, 휨강도시험은 KS F 2408에 준하여 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축성상에 대한 검토 및 분석

그림 1은 잔골재 및 굵은골재의 종류에 따른 고인성 콘크리트의 압축응력-변형곡선, 그림 2는 압축강도 및 최대압축응력시 변형량을 나타낸 것으로, 고인성 콘크리트의 압축강도 및 최대압축응력시의 변형량은 동일 배합조건에서 잔골재 및 굵은골재의 종류에 따라 비교적 큰 차이를 보이고 있다. 즉, 강모래 및 강자갈을 사용한 RS+RG의 경우가 가장 높은 압축강도를 발현하고 있는 반면, 잔골재 또는 굵은골재로서 전로슬래그인 PSS 및 PSG를 사용한 경우 천연골재를 사용한 경우에 비해 비교적 크게 저하하는 것으로 나타났다. 이는 PS볼이 천연골재에 비해 자체의 강도가 낮고, 또한 골재의 표면이 소수성이어서 결합재와의 계면부착 능력이 저하하였기 때문인 것으로 판단된다.

그림 3은 잔골재 및 굵은골재의 종류에 따른 고인성 콘크리트의 탄성계수 변화를 나타낸 것으로, 굵은골재로서 강자갈 및 부순자갈을 혼입한 경우(RS+RG 및 SS+CG) 탄성계수는 각각 26.46 및 23.78 GPa로 기존의 고인성 시멘트 복합체(약 15.0~20.0 GPa 이하)에 비하여 매우 높은 수준을 보이고 있으며, 반면 PSS 및 PSG를 사용한 경우에는 16.89 ~ 18.74 GPa로 기존의 고인성 시멘트 복합체와 유사한 수준을 보이고 있다. 이상과 같이 천연굵은골재를 혼입함으로써 고인성 콘크리트의 탄성계수를 크게 향상시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

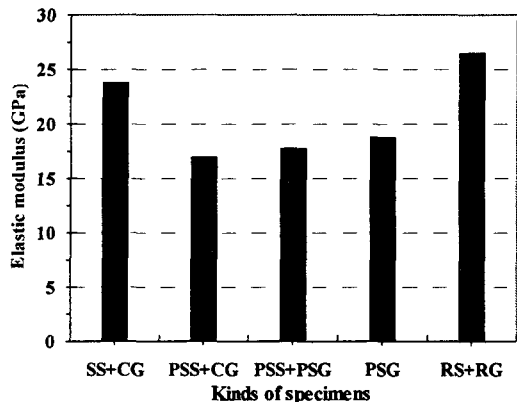


그림 3. 탄성계수의 변화

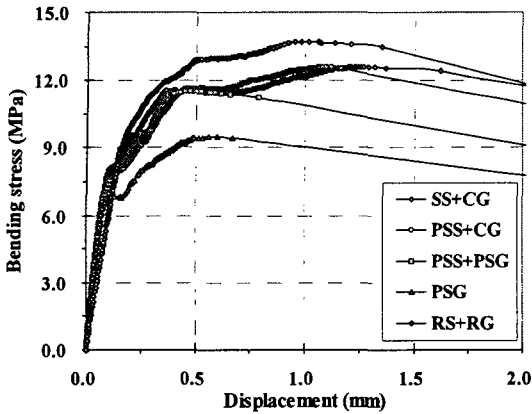


그림 5. 휨응력-변형곡선

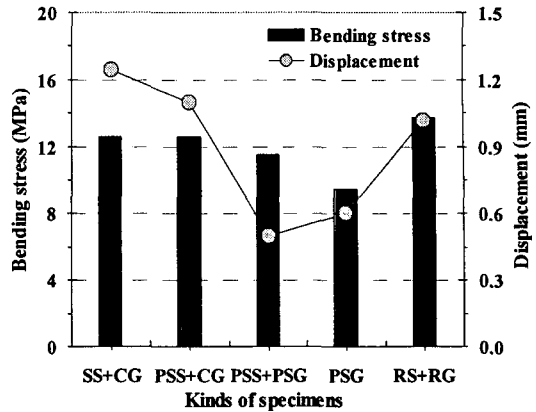


그림 6. 휨강도 및 최대휨응력시 변위량

3.2 휨성상에 대한 검토 및 분석

그림 5 및 6은 잔골재 및 굵은골재의 종류에 따른 고인성 콘크리트의 휨응력-변형곡선, 휨강도 및 최대휨응력시의 변위량을 나타낸 것으로, 굵은골재를 혼입한 고인성 콘크리트도 기존의 고인성 시멘트 복합체와 같이 휨하중 작용하에서 초기균열이 발생한 후에도 변형과 함께 응력이 다시 증가하는 변위경화특성을 보이고 있다. 한편, 고인성 콘크리트의 휨강도 및 최대휨응력시의 변위량은 골재의 종류에 따라 다소 큰 차이를 보이고 있으며, 강모래 및 강자갈을 사용한 경우(RS+RG)가 가장 우수한 휨특성을 발휘하고 있고, PSS 및 PSG를 사용한 경우에는 천연골재를 사용한 경우에 비해 휨성능이 다소 저하하는 것으로 조사되었다. 반면, 기존 고인성 시멘트 복합체와는 달리 굵은골재를 혼입한 고인성 콘크리트는 최대휨응력 이후 1개소에서의 균열폭이 급격히 진전되면서 응력이 급격히 저하하는 다소 불안정한 휨거동을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

잔골재 및 굵은골재의 종류에 따른 고인성 콘크리트의 역학적 특성을 실험·실증적으로 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 고인성 콘크리트는 동일 배합조건에서 사용된 잔골재 및 굵은골재의 종류에 따라 압축 및 휨거동 특성에 큰 차이를 보이고 있으며, 강모래 및 강자갈을 사용한 경우(RS+RG) 가장 우수한 압축 및 휨성능을 발휘하는 것으로 나타났다.
- 2) 기존 고인성 시멘트 복합체와는 달리 굵은골재를 혼입한 고인성 콘크리트에 있어서도 휨하중 작용하에서 변위경화특성을 보이고 있어 콘크리트의 인성능 향상이 가능할 것으로 사료되며, 최대 휨응력 이후 균열폭이 급격하게 진전되는 등 휨거동이 불안정한 것으로 나타나 이의 해결을 위해 향후 매크로 섬유 혼입의 혼합 사용에 관한 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 日本コンクリート工學協會, 高靱性セメント複合材料に関するシンポジウム, 高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員會, 2003.12
- 2) I.Markovic, Development of High Performance Hybrid Fibre Concrete, High Performance Fiber Reinforced Cement Composites(HPRFCC4), Proceedings of the Fourth International RILEM Workshop, pp.277~300, 2003