

단섬유로 보강된 전경량 콘크리트의 인장연화거동

Tensile behavior of an all-lightweight concrete reinforced with short fibers

최지선* · 최국권** · 지광습***

Choi, Jisun · Choi, Gukgwon · Zi, Goangseup

1. 서론

최근, 콘크리트 구조물의 자중절감, 단면 및 시공의 간소화의 필요성이 높아져, 개선방법의 하나로 경량콘크리트의 적용이 검토되고 있다(Smadi M, Migdaddy E. 1991; Gesoglu M et al., 2004). 전경량 콘크리트(All lightweight aggregate concrete: ALC)는 굵은 골재와 잔골재 모두를 인공경량골재로 대체한 콘크리트(ACI 213R-03, 2003)로 구조물 적용 시 종래의 일반 콘크리트(Normal concrete: NC)와 비교하여 30% 정도 경량화시킬 수 있고, 하부 구조물의 부담을 저감할 수 있다. 그러나 인공경량골재는 골재자체(특히, 굵은 골재)의 강도가 낮아, 인장강도 및 전단강도가 일반콘크리트의 70%정도이며, 취성적인 파괴를 하는 것으로 보고되고 있어, 지금까지 콘크리트 구조물에 적용되기에는 문제가 있었다(太平洋セメント株式会社, 2004; Sim, J.I et al., 2013). 이러한 특성을 개선하기 위한 방법의 하나로 단섬유를 이용하여 보강하는 방법이 있다(Hassanpour et al., 2012). 단섬유의 가교효과(Bridge Effect)에 의해 균열발생 후에도 단섬유가 인장력을 부담하여 균열의 성장을 억제하고 인장강도, 전단강도의 증가 및 연성향상의 효과를 기대할 수 있다(崔 智宣, 2012). 그러나 단섬유의 종류, 혼입율에 따라서 섬유 분산형상 및 발생한 균열의 위치관계가 다르기 때문에 섬유 보강시 그 가교효과를 정량적으로 예측하기 곤란하며, 설계시 적용이 불가능하다(강수태 et al., 2008). 이것들을 얻기 위해 인장연화곡선을 명확히 파악해야 하고, 특히, 섬유보강의 효과를 파악하기 위해 최대강도 도달 이후의 거동 파악이 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 단섬유로서 비닐론 섬유, 폴리에틸렌 섬유를 대상으로 한 일반 콘크리트와 전경량 콘크리트의 3점 휨 실험을 통해 얻은 인장연화거동에 대해 검토하였다.

2. Notch를 가진 보의 3점 휨실험

콘크리트의 사용재료는 표 1과 같다. 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 일반콘크리트의 골재는 자갈과 모래를, 전경량 콘크리트는 골재 모두에 인공경량골재를 사용했다. 단섬유는 합성섬유인 비닐론, 폴리에틸렌 섬유를 사용하였다. 각섬유의 섬유길이는 30mm로 하였고 각각의 특성은 표 2에 나타내었다. 시험체는 100×100×400mm의 각주 시험체의 중앙부에 폭 3.2mm, 깊이 30mm의 notch를 가진 보의 3점

*정회원 고려대학교 초고층초장대기술연구소 연구교수 · 공학박사 · E-mail: jisunchoi@korea.ac.kr - 발표자

**고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정 · E-mail: fullframe@korea.ac.kr

*** 정회원 고려대학교 건축사회환경공학과 정교수 · 공학박사 · E-mail: g-zi@korea.ac.kr

휨실험을 JCI-S-001-2003, JCI-S-002-2003 (日本コンクリート協会基準·指針, 2003) 에 준하여 실시하였다.

표 1. 사용재료

Material Type	Code	Property
Ordinary portland cement	C	Density:3.16g/cm ³
Normal fine aggregate	Normal S	Surface-dry density:2.58g/cm ³ , Water-absorbing ratio:1.79%, fineness modulus:2.71
Normal coarse aggregate	Normal G	Surface-dry density:2.88g/cm ³ , Water-absorbing ratio:1.92%, Gmax:20mm
Artificial lightweight fine aggregate	Light S	Density:1.68g/cm ³ , Water-absorbing ratio:10.0%
Artificial lightweight coarse aggregate	Light G	Density:1.27g/cm ³ , Water-absorbing ratio:10.3%, Gmax:15mm
High-performance AE water-reducing admixture	SP	Density:1.05~1.09g/cm ³
AE auxiliaries	AE	Density:1.06~1.10g/cm ³

표 2. 단섬유

Fiber type	Density	Length	Diameter	Tensile strength	Elastic modulus
	(g/cm ³)	(mm)	(μ m)	(MPa)	(kN/mm ²)
Vinylon fiber (V)	1.30	30	660	900	23
Polyethylene fiber (PE)	0.97	30	68	1870	43

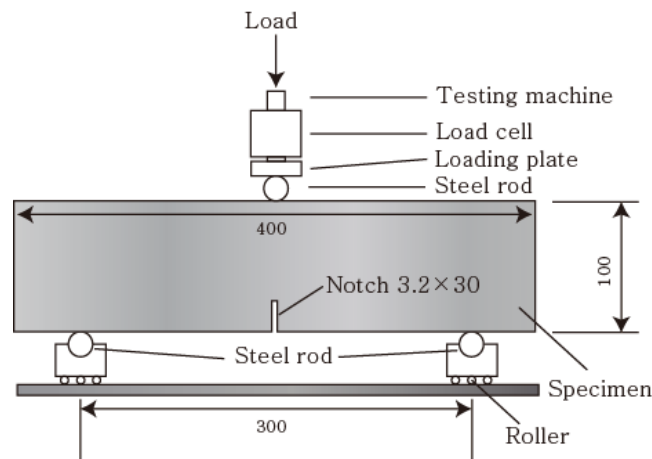


그림 1. 시험체 개요도 (mm)

실험장치는 만능시험기를 사용하고 그림 1과 같이 수평방향의 구속을 억제하기 위해 양 지점을 롤러를 사용하여 가동구조로 하였다. 균열개구변위(이하 CMOD)는 4mm까지 계측하였고, 재하 속도는 CMOD의 변화율 0.2mm/min로 하였다.

시험체는 콘크리트 종류(일반 콘크리트, 전경량 콘크리트), 단섬유 종류(비닐론 섬유, 폴리에틸렌 섬유) 및 단섬유 혼입율을 실험변수로 하였고, 각 시험체는 4개 이상 제작하였다. 비닐론 섬유의 혼입율은 0, 0.5, 1.0, 1.5%로, 폴리에틸렌 섬유의 혼입율은 0, 0.5, 1.0%로 하였다.

3. 실험 결과 및 토의

그림 2, 3에 단섬유로 보강된 일반 콘크리트 및 전경량 콘크리트의 3점 휨실험 결과로서 하중-CMOD 관계를 나타내었다. 그림은 각 4개 이상의 시험체의 평균치를 나타내고 있다. 평균치는 같은 CMOD에 대한 각

하중을 평균한 것이다. 각 시험체명 중, NC는 일반 콘크리트, ALC는 전경량 콘크리트, V는 비닐론 섬유, PE는 폴리에틸렌 섬유, 그 다음에 나오는 숫자는 섬유 혼입율(%)을 나타낸다.

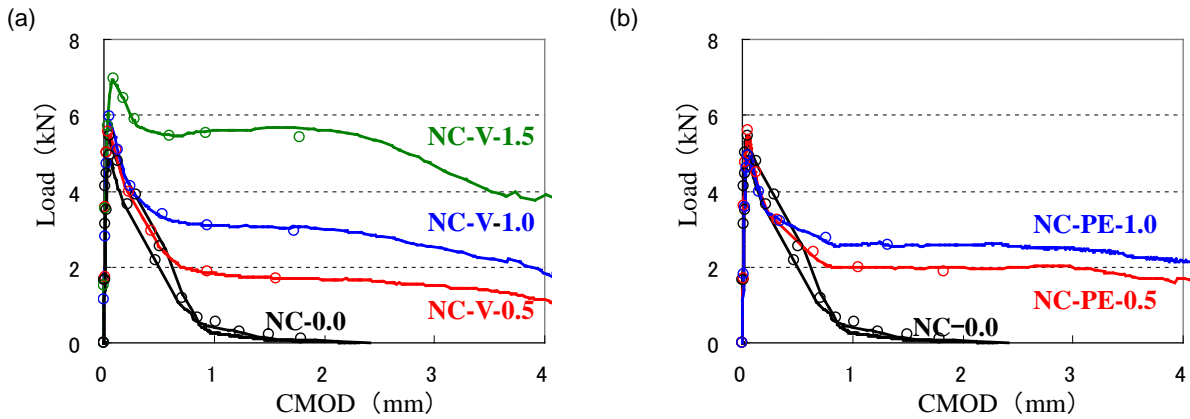


그림 2. 일반 콘크리트의 하중-CMOD관계: (a) 비닐론 섬유; (b) 폴리에틸렌 섬유

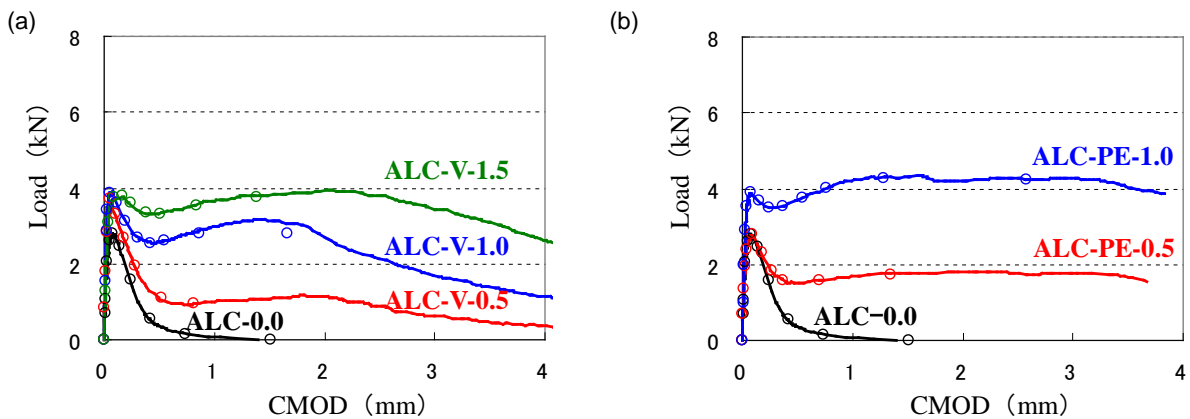


그림 3. 전경량 콘크리트의 하중-CMOD관계: (a) 비닐론 섬유; (b) 폴리에틸렌 섬유

섬유 보강을 하지 않은 일반 콘크리트 및 전경량 콘크리트는 최대하중과 동시에 균열이 발생하고 하중이 급격히 저하하였다. 일반 콘크리트와 전경량 콘크리트 모두 압축강도는 약 40MPa 내외였으나 그림 2, 3의 시험에서 전경량 콘크리트의 최대 하중은 일반 콘크리트의 60%정도였다. 콘크리트 종류에 관계 없이 단섬유 보강에 의해 초기 최대하중의 증가 효과는 보이지 않았다. 또한 섬유 보강에 의해 최대 하중 도달 후에 하중이 급격히 저하하는 경향은 보이지 않았고 연성이 증가하는 경향을 보였다. 일반 콘크리트에 비닐론, 폴리에틸렌 섬유를 보강했을 경우, 초기 최대하중 발현 후 일정한 수준의 하중으로 감소되어 CMOD만 증가하는 경향을 보였다. 전경량 콘크리트에 비닐론, 폴리에틸렌 섬유를 0.5% 이하 보강했을 경우도 같은 경향을 알 수 있었다. 반면, 전경량 콘크리트에 1.0% 이상의 섬유를 보강했을 경우, 균열발생 후 하중이 약간 저하했지만, 다시 하중이 증가하였다. 그 하중은 초기 하중보다 큰 하중으로 섬유 보강에 의한 최대 하중 증가도 확인 할 수 있었다.

향후 이 결과를 정량화 하기 위해 파괴에너지의 검토 및 인장연화곡선의 정식화를 수행 할 계획이다.

4. 결 론

본 연구에서는 비닐론 섬유 및 폴리에틸렌 섬유와 같은 합성 단섬유로 보강한 전경량 콘크리트의 인장연화 거동을 파악하기 위해 Notch를 가진 보의 3점 휨실험을 실시하였다. 하중-CMOD 관계로부터 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 단섬유를 보강하지 않은 콘크리트는 균열 발생 후 동시에 하중이 급격히 감소하는 것으로 확인되었고, 그 때의 전경량 콘크리트의 초기 최대하중은 일반 콘크리트의 60%에 불과했다. 콘크리트 종류에 관계 없이 단섬유 보강에 의해 초기 최대하중의 증가 효과는 보이지 않았다.
2. 단섬유를 보강한 일반 콘크리트 및 전경량 콘크리트는 하중의 급격한 저하가 보이지 않았다. 일반 콘크리트에 비닐론, 폴리에틸렌 섬유를 보강했을 경우, 초기 최대하중 발현 후 일정한 수준의 하중으로 감소되어 CMOD만 증가하는 경향을 보였다.
3. 전경량 콘크리트에 1.0% 이상의 섬유를 보강했을 경우에는 하중이 다시 증가하는 경향성이 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2013년 국토해양부 산하 한국해양과학기술진흥원의 첨단항만건설기술개발사업 연구비 지원 (과제명: 해상풍력 지지구조 설계기준 및 콘크리트 지지구조물 기술 개발/20120093)과 한국도로공사 도로교통연구원의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Smadi M, Migdaddy E. (1991) "Properties of high strength tuff lightweight aggregate concrete", Cement and Concrete Composites 13.2, 129-135.
2. Gesoglu M, Ozturan T, Guneyisi. E. (2004) "Shrinkage cracking of lightweight concrete made with cold-bonded fly ash aggregates", Cement and Concrete Research 37.4, 1121-1130.
3. ACI 213R-03. (2003) Guide for structural lightweight aggregate concrete, ACI Committee. USA, American Concrete Institute.
4. 太平洋セメント株式会社. (2004) 構造用人工軽量骨材,太平洋アサノライト 技術資料.
5. Sim J.I, Yang K.H, Jeon J.K. (2013) "Influence of aggregate size on the compressive size effect

- according to different concrete types” , Construction and Building Materials, 44, 716-725
6. Hassanpour M, Shafigh P and Mahmud H.B. (2012) “Lightweight aggregate concrete fiber reinforcement – A review” , Construction and Building Materials, 37, 452-461
 7. 崔 智宣. (2012) “短纖維補強輕量2種콘크리트를を用いた構造部材の耐力評価に関する研究” , 博士論文, 九州大学.
 8. 강수태, 김운용, 이방연, 김진근. (2008) “섬유의 방향성이 강섬유 보강 초고강도 콘크리트의 휨거동 특성에 미치는 영향” , Journal of the Korea Concrete Institute, 20(6), 731-739.
 9. 日本コンクリート協会基準・指針. (2003) JCI-S-001-2003 “切り欠きはりをを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法” , Japan Concrete Institute Standard.
 10. 日本コンクリート協会基準・指針. (2003) JCI-S-002-2003 “切り欠きはりをを用いた繊維補強コンクリートの荷重-変位曲線試験方法” , Japan Concrete Institute Standard.