

양생방법 변화에 따른 섬유보강콘크리트의 역학적 특성

김춘호¹, 김남욱^{2*}

Mechanical Property of Fiber Reinforced Concrete according to the Change of Curing Method

Chun-Ho Kim¹, Nam-Wook Kim^{2*}

Abstract: When assessing crack initiation of fiber reinforced concrete, usually tensile strength or flexural strength is becomes indicator, but also depend on the curing effect take place during the production of specimen. In general, after conducting concrete specimen is cured by water at temperature $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ in laboratory, and accomplished the assessment of strength, but most of concrete structure is kept in drying condition after moist curing through the prescribed period. However, unlike these trends that technological advances have been made, influence of the difference of curing method on crack strength is not yet clear. Therefore, in this study, it is examined on the effect of curing methods affecting the mechanical property of fiber reinforced concrete, especially crack strength.

Keywords: Crack strength, Curing method, Fiber, Fiber reinforced concrete, Mechanical property

1. 서 론

일반적인 콘크리트는 사용 재료의 구성이 특별하지 않으므로 적용 시 강도 등의 품질의 조정이 용이한 장점을 가지고 있다. 또한 경제적이며 부재 형상에 특별한 제약을 받지 않으며 다른 재료들에 비해 내구성 및 내화성도 풍부하다.

그러나 무근 콘크리트는 압축강도에 비해 인장강도가 지나치게 낮은 단점이 지적된다. 보통 강도 범위의 콘크리트는 인장이나 휨 하중이 작용 시 취성적인 파괴형태를 나타내는데 최근 들어 구조물에 많이 적용되고 있는 고강도콘크리트는 압축파괴 또한 취성적으로 발생하는 것으로 알려져 있다 (ACI, 1992). 따라서 콘크리트 자체의 인장 특성을 개선하는 다양한 방법이 적용되고 있는데 그 중에서 섬유보강콘크리트 (Fiber reinforced concrete : FRC)가 효과적으로 알려져 있다 (Jang et al., 1991).

FRC에 이용되는 섬유는 일반적으로 통상 60 mm 이하의 섬유가 대부분으로 이러한 섬유를 콘크리트나 모르타르 등의 시멘트계 재료에 균일하게 분산시킴으로써 균열의 억제, 인성이나 내충격성의 향상, 인장강도, 휨강도 및 전단강도의 개

선을 유도하는 것이 가능하다.

섬유보강콘크리트를 포함한 섬유보강시멘트복합재료(Fiber reinforced cementitious composites : FRCC)는 현재 다양한 형태로 개발되어지고 있는데, 최근 들어 전 세계적으로 보다 고성능의 섬유보강시멘트 복합재료로서 초고강도섬유보강콘크리트(Ultra high strength fiber reinforced concrete : UFC)나 복수미세균열형 섬유보강시멘트복합재료(High performance fiber reinforced cement composites : HPRCC) 등이 개발되어져 이를 활용한 실구조물에의 적용도 현재 진행중이다. UFC는 압축강도가 150 MPa 이상을 나타내는 섬유보강시멘트 복합재료로서 초고강도, 고인성 및 고내구성을 나타내며 주로 강섬유 등이 이용된다.

HPRCC는 일축직접인장응력 작용 시 폭 0.2 mm 이하의 복수의 미세균열이 발생하는 복수균열거동과 변형경화특성을 갖는 재료이며 일반적으로 보강용 섬유로서 섬유 길이가 10~40 μm 정도, 섬유길이 10 mm 정도의 고강도 PVA(Polyvinyl alcohol), 혹은 비닐론 섬유나 고강도 PE(Polyethylene) 섬유 등의 합성섬유가 이용되고 있다.

FRC는 주로 균열발생 후 거동을 개선하여 높은 인성을 발휘하는 재료이다. 이와 같은 섬유보강콘크리트를 이용한 구조물에 높은 내구성을 발휘시켜 장기적으로 사용하기 위해서는 먼저 섬유를 사용하지 않은 콘크리트와 마찬가지로 소정의 균열발생강도를 확보하는 것이 중요하다(Kang et al., 2010(a);

¹정회원, 중부대학교 토목공학과 교수

²정회원, 전북대학교 토목공학과 부교수, 교신저자

*Corresponding author: asahi00@jbnu.ac.kr

•본 논문에 대한 토의를 2016년 4월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 5월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Choi et al., 2015(b)).

한편, FRC의 균열발생 평가는 보통 인장강도나 휨강도가 지표가 되지만 시험체 제작 과정 시에 이루어지는 양생의 영향도 크게 좌우된다. 일반적으로 콘크리트 시험체는 20±3°C의 온도에서 수증양생을 실시한 후 강도 평가를 수행하나 실 구조물은 습윤양생을 소정의 기간 동안 실시한 후 건조 상태로 된다. 또한, 공장제품에는 습윤양생을 실시하지 않고 강도 발현을 촉진하기 위하여 증기양생이 이루어지나 증기양생의 조건은 공장이나 부재에 따라 다양한 실정이다. 급열양생이나 단열양생 같이 일반적인 증기양생방법 보다도 높은 습도 조건을 부여하여 상당히 높은 강도를 발현시키는 콘크리트도 실용화가 진행되어 양생방법이 보다 다양해지고 있다(Kurita et al., 2006). 그러나 이러한 기술적인 향상이 비해 양생방법의 차이가 균열발생 강도에 미치는 영향은 선행 연구가 부족한 실정이며 또한 아직 명확하지 않다. 따라서 본 연구에서는 FRC의 역학적 특성, 특히 균열발생강도 등에 미치는 양생방법의 영향에 대해서 검토하고자 한다.

2. 시 험

2.1 사용 재료

본 연구에서 사용한 주요 재료인 섬유 종류 및 물성은 Table 1에 나타냈는데 사용한 섬유는 강섬유, 합성섬유 및 기타섬유 등의 3 타입으로, 강섬유는 일반 강섬유(SFN), 고강도 강섬유(SFH), 마이크로 강섬유(SFM)의 3종류로 부착 효과를 위하여 양단에 후크가 가공되어 있는 제품을 사용하였다. 한편, 합성섬유는 여러 종류가 있지만 현재 대표적으로 이용되는 폴리프로피렌 섬유(PP) 및 폴리비닐알콜 섬유(PVA)의 2 종류를 사용하였으며, 기타 섬유로는 목재 상분의 셀룰로오스 섬유(CEL) 등 총 6 종류의 섬유를 이용하였다.

한편 본 연구에서는 또한 섬유의 혼입률을 달리하여 사용하였는데 현장에서 이용되는 일반적인 사용 범위 및 기존 연

Table 1 Kinds and properties of used fibers

Kinds	Notation	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)
Normal steel fiber	SFN	1,000	200
High strength steel fiber	SFH	2,500	200
Micro steel fiber	SFM	2,000	200
Polypropylene fiber	PP	300	30
PVA fiber	PVA	900	25
Cellulose fiber	CEL	50	60

구에서의 적정 사용량 등을 고려하여 0.5%, 1.0%를 사용하였으며, PP섬유의 경우는 현재 현장 적용 시 적정 사용량이 0.9% 이므로 이를 이용하였다(Kim, 2009).

2.2 콘크리트 배합

본 연구에서 콘크리트 제작에 이용된 섬유 이외의 각종 재료 및 시험체의 설명을 Table 2 및 3에 나타냈다. 배합은 설계 기준강도 40 MPa 정도 콘크리트 제작을 목표로 물시멘트비는 40%, 목표 슬럼프는 80±20 mm, 목표 공기량은 4.5±1.0%이며 고성능AE감수제를 사용하여 조정하였다.

2.3 시험방법

시험으로는 재령 1일에서 탈형한 후 소정의 양생을 실시한 다음 압축강도시험, 할렬인장강도시험 및 휨강도시험을 실시하였다. 압축강도시험, 할렬인장강도시험은 φ100×200 mm의 원주형 시험체를, 휨강도시험은 100×100×400 mm의 각 주형 시험체를 이용하였다.

일반적으로 콘크리트의 강도를 평가하는 경우에는 표준수 증양생을 실시한 시험체에 의해 측정되어지나 실제의 구조물

Table 2 Used materials

Material	Property
Cement	OPC(Density : 3.15)
Fine aggregate	Sea sand(Density : 2.63, Absorption : 1.5%)
Coarse aggregate	Crushed stone(Density : 2.65, Absorption : 0.6%) G _{max} : 20 mm
Admixture	Superplasticizer(SP) AE agent

Table 3 Notation of concrete

Specimen	Fiber	V _f (%)	SP(OPC×%)
NFC	Plain	0	0.8
SFN05	Normal steel fiber	0.5	1.1
SFN10		1.0	1.3
SFH05	High strength steel fiber	0.5	1.1
SFH10		1.0	1.3
SFM05	Micro steel fiber	0.5	1.2
SFM10		1.0	1.5
PP05	PP fiber	0.5	1.2
PP09		0.9	1.6
PVA05	PVA fiber	0.5	1.2
PVA10		1.0	1.6
CEL05	Cellulose fiber	0.5	1.2
CEL10		1.0	1.6

에서는 재령 28일까지 이러한 조건에서 양생이 이루어지는 경우가 드문 실정이다. 즉, 콘크리트 부재의 표층부분은 소정의 양생종료 후 바로 건조 환경에 접한다. 따라서 양생방법으로서 일반적인 평가에 이용되어지는 표준수중양생 이외에 기중양생에 의한 건조의 영향을 확인하는 과정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 시험체 제작 후 표준수중양생과 기중양생을 실시하였는데 기중양생은 재령 7일까지는 표준수중양생을 실시한 후 실온 $20 \pm 3^\circ\text{C}$, 습도 $60 \pm 5\%$ 의 항온항습조에 거치시켜 실시하였으며 각각의 양생을 실시한 후 시험은 재령 28일에 실시하였다. 한편, FRC의 경우 인성(Toughness)의 평가가 중요하므로 휨강도 시험체를 이용하여 이를 평가하였다.

Photo 1에 기중양생, Photo 2에 휨강도 시험 및 Photo 3에 활렬인장시험 전경을 나타냈다.



Photo 1 View of air curing condition



Photo 2 View of flexural test



Photo 3 View of split tensile test

3. 시험결과 및 고찰

3.1 압축강도

본 연구에서 실시한 표준수중양생 및 기중양생에 의한 압축강도 시험 결과의 비교를 Fig. 1에 나타내었다. 결과로부터, 섬유 혼입여부, 종류 및 혼입률에 관계없이 기중양생의 압축강도는 표준수중양생보다 증가한 결과를 나타내고 있으며 강도비는 대략 7%~13% 정도로 평균 10% 정도 기중양생에서 증가하는 결과를 나타내고 있다. 이와 같은 기중양생, 즉 건조의 영향에 의해 압축강도가 증가하는 현상은 기존의 연구와 같은 경향이며 수분의 발산에 의하여 표면에너지가 증가하기 때문으로 설명된다(Li, 1997). 한편, 섬유보강은 압축강도의 증진에는 기존의 경향과 유사하게 큰 효과는 없는 것으로 나타났다.

3.2 응력-변형곡선

Fig. 2에 대표적인 활렬인장강도시험에 의한 응력-변형률

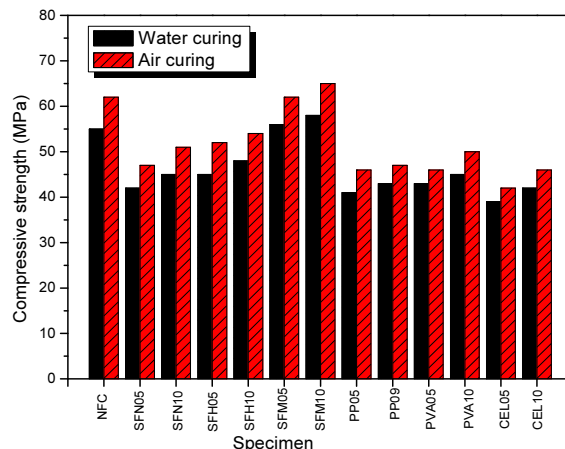


Fig. 1 Results of compressive strength according to curing method

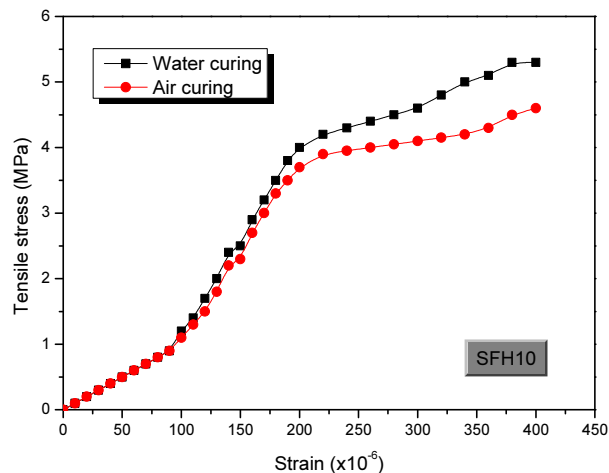


Fig. 2 Results of stress-strain curve according to split tensile test

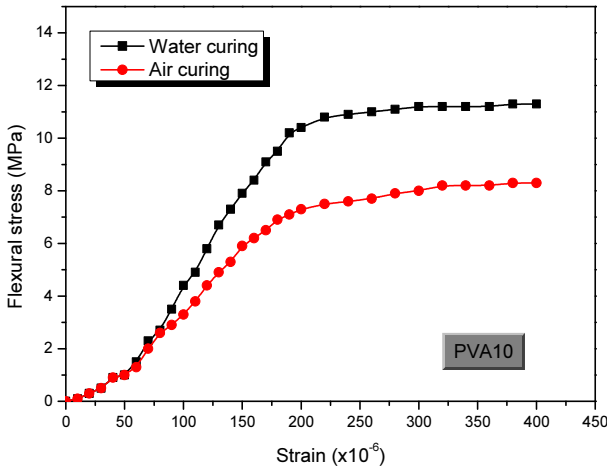


Fig. 3 Results of stress-strain curve according to flexural test

곡선을 나타내었다. 시험체는 SFH10이며 결과로부터 알 수 있듯이, 응력-변형곡선은 재하초기에는 직선관계를 나타내고 있으나 균열의 발생 이후에는 시험체의 강성이 저하하므로 기울기가 크게 나타났다. 양생방법의 차이를 검토하면 표준수중양생에 비하여 기중양생을 실시한 시험체에서는 강성의 변화가 생겨 완만히 진행되는 경향이 나타났다(Banthia, 1995). Fig. 3은 휨강도시험에 의한 응력-변형곡선이며 시험체는 PVA10이다. 전체적으로 Fig. 2의 활렬인장강도시험 경향과 유사하나 표준수중양생과 기중양생의 차는 좀 더 발생하였다.

표준수중양생의 경우와 비교하여 기중양생에서는 강성이 저하하는 응력이 작고 균열 발생 이전부터 강성의 차이가 생기는 것으로 보였다. 이러한 현상의 원인으로서 시험체 표면에 건조수축에 의한 인장응력이 발생한 것으로 판단된다.

따라서 휨강도시험에서는 건조면이 재하 시 인장연단이 되어 외력에 의한 휨인장응력에 가산되어지기 때문에 보다 현저한 영향이 나타난 것으로 판단된다. 더욱이 기중양생이 실시된 경우는 응력-변형곡선의 기울기의 변화가 보다 완만해진 결과로 건조의 영향이 수축에 의한 인장응력 뿐만 아니라 수화반응이 방해되어진 것에 의해 시험체 표면의 매트릭스 조직이 거칠게 되는 것이나 건조에 의해 미세한 균열이 발생되고 있는 것으로 판단되며 이러한 결과로부터 강성의 저하가 발생된 것으로 판단된다(Li, 1997).

3.3 휨인성 평가

FRC의 경우 인성(Toughness)의 평가가 중요하므로 휨강도시험체를 이용하여 이를 평가하였다. 인성의 평가는 일반적으로 인공균열 즉, 노치가 있는 보의 휨시험에서 얻어진 하중-CMOD(Crack mouth opening displacement : CMOD, 균열개구변위) 결과를 이용하며 균열개구에 따르지 않고 소비되어진 파괴에너지를 측정하기 위하여 행해지는 시험으로 얻어진

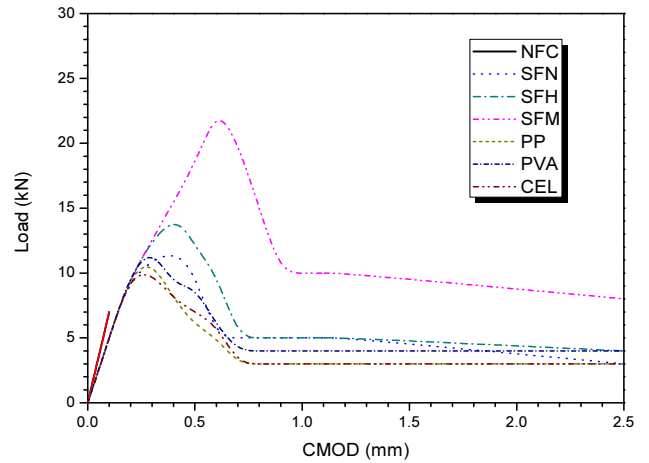


Fig. 4 Results of Load-CMOD curves

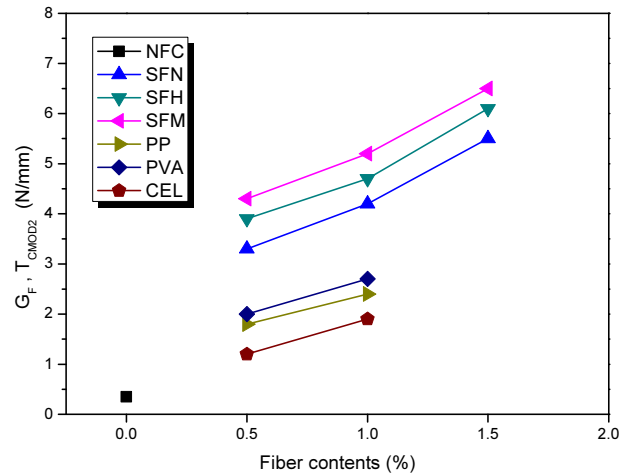


Fig. 5 Results of GF and TCMOD2 according to fiber contents

결과를 Fig. 4에 나타냈다. 한편, Fig. 5에 섬유 혼입률(V_f)과 파괴에너지(G_F) 또는 $CMOD = 2\text{ mm}$ 까지의 인성(T_{CMOD2})의 관계를 나타냈다. 인성의 산출을 $CMOD = 2\text{ mm}$ 까지 측정 데이터로 한 이유는 ASCE 기준에 따른 정의이며, 원래 파괴에너지의 측정은 시험체가 완전히 파단 될 때 까지 시험을 실시하는데, 섬유의 종류 및 혼입률에 따라서는 시험체가 파단 되지는 않았지만 하중에 대한 저항성이 없이 변위만 커지는 경우를 고려하여 2mm까지 변위로 제한하고 있다. 또한 본 연구에서는 섬유를 사용하지 않은 NFC 시험체는 G_F 로, 섬유 보강 시험체에서는 T_{CMOD2} 로 나타냈다. G_F 및 T_{CMOD2} 는 Fig. 4에 나타난 하중-CMOD곡선으로부터 시험체가 파단 할 때까지 곡선 아래의 면적으로부터 구해지나 섬유를 이용하는 경우에는 전술한 바와 같이 2mm까지의 CMOD의 면적을 이용하였다. Fig. 5에 나타난 것과 같이 NFC 시험체의 G_F 는 0.35 N/mm 정도 인데 비하여 섬유를 혼입한 경우에는 최소치의 경우에도 1 N/mm를 초과하고 있으며 섬유 혼입률의 증가

에 따라 인성도 크게 증가하였다.

파괴인성은 FRC에서 가장 중요한 인자 중 하나이며 인성의 크기는 결국 측정된 곡선의 면적이므로 최대하중의 크기 보다는 최대하중 이후의 거동이 더욱 중요하다. 일반적으로 섬유 무보강의 플레인 콘크리트에 비해 섬유보강콘크리트의 경우 섬유의 가교응력 등에 의해 주균열 이후, 즉 포스트 크랙 (post crack) 이후의 저항 능력이 뛰어나 인성적인 재료로 인식되고 있다.

결과로부터, 기존의 일반적인 경향과 유사하게 섬유의 보강을 통하여 파괴인성의 대폭적인 증진이 이루어 졌으며 섬유의 종류로는 강섬유가 합성섬유나 천연섬유에 비해서 높아 역학적 측면에서의 효과를 알 수 있었다.

3.4 균열발생강도

ACI에서는 시험체 선단에 변형 게이지를 붙여 계측되어진 변형의 변화가 불연속이 된 점을 균열발생강도로 평가하도록 제시하고 있으며 본 연구에서도 이러한 내용에 준하여 ACI에서 제시하고 있는 균열발생강도 판정방법을 이용하고자 하였다(ACI, 1992).

따라서 본 연구에서는 이러한 내용을 참고로 하여 응력-변형 곡선에 나타난 변곡점에 대한 응력을 균열발생강도로 하였다. 따라서 이런 과정을 통하여 균열 발생으로 판정한 점을 도시한 응력-변형 곡선의 대표적인 결과를 Fig. 6에, 구해진 균열발생강도를 Fig. 7 및 Fig. 8에 나타냈다. 시험 결과, 할렬 균열발생강도 및 휨 균열발생강도는 압축강도의 결과와는 달리 기중양생방법이 표준수중양생보다 저하되었는데 할렬 균열발생강도에서의 차이는 대략 10% 정도이며 휨균열발생강도의 경우는 대략 30% 전후의 저하가 나타났다. 이러한 결과는 전술한 바와 같이 시험체 표면의 건조수축에 의한 인장응력의 영향에 의해 발생한 것으로 판단된다.

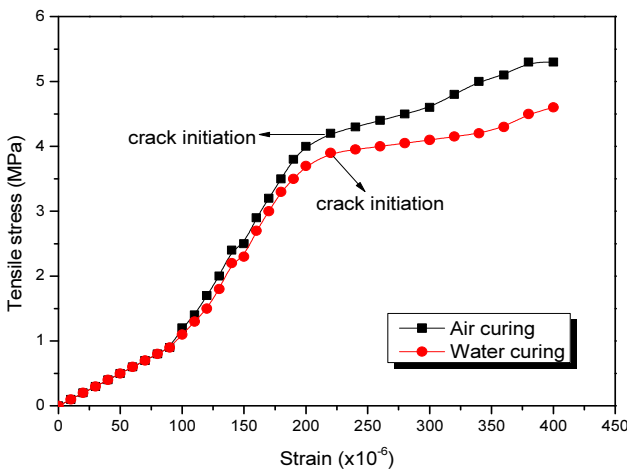


Fig. 6 Crack initiation of stress-strain curve

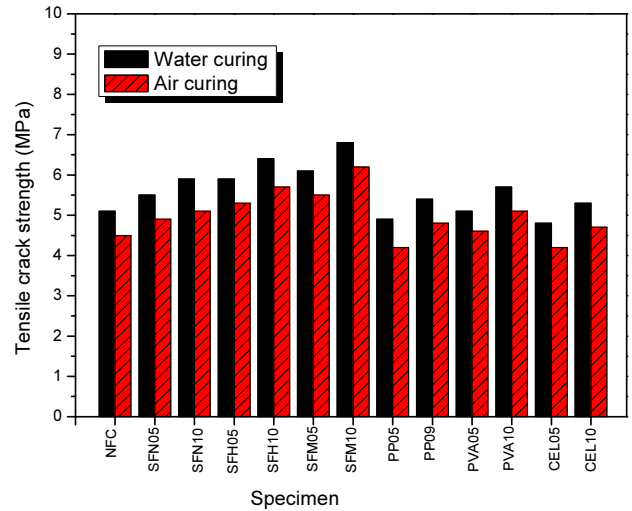


Fig. 7 Results of tensile crack strength according to curing method

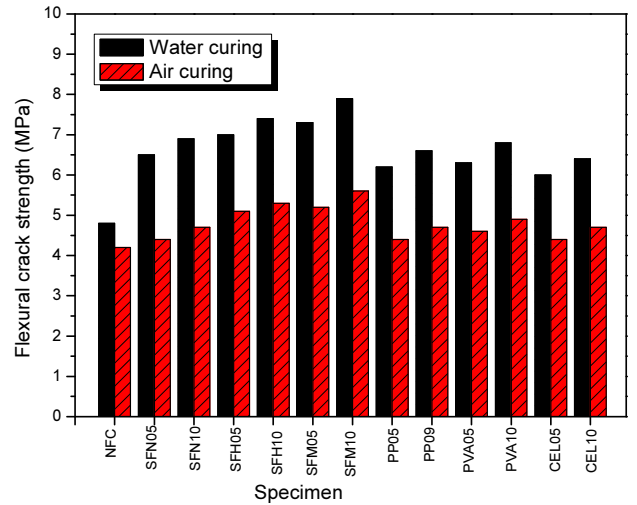


Fig. 8 Results of flexural crack strength according to curing method

할렬인장강도시험에서는 시험체 단면에 일률적으로 응력이 발생하기 때문에 시험체 표면의 영향이 작지만 휨시험에서는 인장연단인 시험체 표면에 최대의 휨인장응력이 발생한다. 이로부터 양생방법의 영향은 할렬 균열발생강도에 비하여 휨 균열발생강도에서 더 크게 작용하는 것으로 판단된다.

3.5 섬유의 영향

Fig. 9 및 Fig. 10에 FRC에 대한 섬유 혼입률 및 균열발생강도의 관계를 나타냈다. 균열발생강도는 표준수중양생에서의 균열발생강도를 1로 하여 기중양생을 수행한 경우의 균열발생강도의 비율로 나타냈다.

양생방법에 의한 균열발생강도는 섬유의 종류에 따라 달라져 강섬유보강이 합성섬유나 기타 섬유보강보다 효과적 이었으며 섬유 혼입률의 증가에 따라 증가하는 것으로 나타났다.

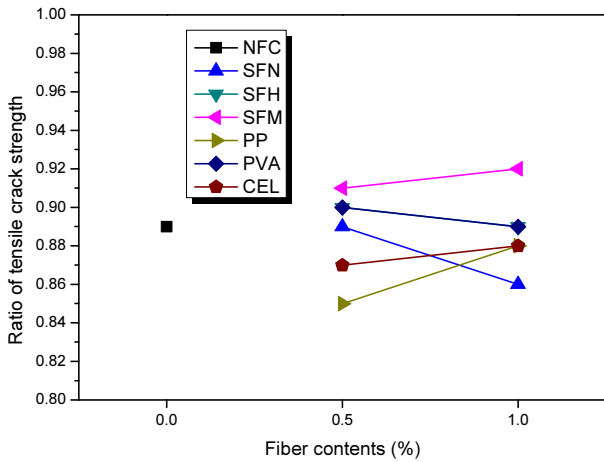


Fig. 9 Ratio of flexural crack strength according to curing method

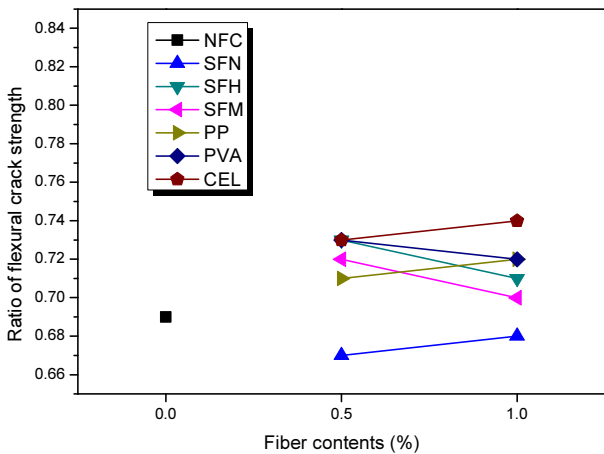


Fig. 10 Ratio of flexural crack strength according to curing method

한편, 균열발생강도에 가장 효과적인 강섬유는 마이크로 강섬유를 사용한 경우로 나타났는데 다른 강섬유에 비해 미세한 섬유의 특성이 콘크리트의 미세 균열 등을 효과적으로 제어하여 강도에 증진에 기여한 것으로 판단된다.

한편, 휨 균열발생강도는 전반적으로 기중양생의 영향에 의해 저하하는 경향이 더 크며 특히 섬유를 보강하지 않은 NFC의 경우보다 섬유를 보강한 경우에서 그 차이가 더욱 두드러진 것을 알 수 있었다. 따라서 섬유보강의 경우 플레인 콘크리트에 비해 양생방법에 의한 영향을 더욱 받을 수 있기 때문에 실구조물의 적용 시 이를 고려한 적용이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 양생방법의 차이가 섬유보강콘크리트의 역

학적 특성에 미치는 영향을 검토하고자 다양한 시험을 수행한 결과 다음과 결론을 얻었다.

- 1) 섬유의 혼입여부, 종류 및 혼입률에 관계없이 기중양생의 압축강도는 표준수중양생보다 증가한 결과를 나타냈다. 기중양생에 의해 압축강도가 증가하는 현상은 건조의 영향에 의해 수분의 발산에 의한 표면에너지가 증가하기 때문으로 판단된다.
- 2) 할렬균열발생강도 및 휨균열발생강도는 기중양생방법이 표준수중양생보다 저하되었다. 특히 휨균열발생강도의 차이가 컸는데 이러한 결과는 시험체 표면의 건조수축에 의한 인장응력의 영향에 의한 것으로 판단되며 휨시험에서는 인장연단인 시험체 표면에 최대의 휨인장응력이 발생하기 때문으로 판단된다.
- 3) 양생방법에 의한 균열발생강도는 섬유의 종류에 따라 달라져 대체적으로 강섬유보강이 합성섬유나 기타 섬유보강보다 효과적 이었으며 또한 섬유 혼입률의 증가에 따라 증가하는 것으로 나타났다.
- 4) 균열발생강도에 가장 효과적인 섬유는 마이크로 강섬유를 사용한 경우로 나타났는데 이는 다른 섬유에 비해 미세한 섬유의 특성이 콘크리트의 미세 균열 등을 효과적으로 제어하여 강도에 증진에 기여한 것으로 판단된다.
- 5) 휨균열발생강도는 섬유를 보강하지 않은 경우보다 섬유를 보강한 경우에서 그 차이가 더욱 두드러진 것을 알 수 있었다. 따라서 섬유보강의 경우 플레인 콘크리트에 비해 양생방법에 의한 영향을 더욱 받을 수 있기 때문에 실구조물의 적용 시 이를 고려한 적용이 필요할 것으로 판단된다.

References

1. ACI (1992), *ACI Manual of Concrete Inspection*, ACI Committee, pp.356-378.
2. Banthia, N. (1995), Uniaxial Tensile Response of Micro Fiber Reinforced Cement Composites, *Materials and Structure of RILEM*, 25(1), 507-517.
3. Choi, J. I., Ko, K. T., and Lee, B. Y. (2015), Tensile Behavior of Ultra-High Performance Concrete According to Combination of Fibers, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection*, 19(4), 49-56.
4. Jang, D. I., Chae, W. K., Jung, W. W., and Son, Y. H. (1991), An Experimental Study on the Fracture Energy of Steel Fiber Reinforced Concrete Structures by the Effects of Fiber Contents, *Journal of Korea Concrete Institute*, 3(4), 79-88.
5. Kang, S. T., Kim, S. W., Park, J. J., and Ko, K. T. (2008), The Effect of Steel Fiber on the Compressive Strength of the High Strength Steel Fiber Reinforced Cementitious Composites, *Journal of the*

- Korea Institute for Structural Maintenance Inspection*, 12(3), 101-109.
6. Kang, S. T., Park, J. J., Ryu, K. S., and Kim, S. W. (2010), The Effect of Steel-Fiber Reinforcement on the Compressive Strength of Ultra High Performance Cementitious Composites(UHPCC), *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection*, 14(5), 110-118.
 7. Kim, Y. W. (2009), Flexural and Impact Resisting Performance of HPRFRCs Using Hybrid PVA Fibers, *Journal of Korea Concrete Institute*, 21(6), 705-712.
 8. Kurita, M. and Rokugo, K. (2006), Recent Progress on HPRFRC in Japan, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 4(1), 19-33.
 9. Li, V. C. (1997), Effects of Transition Zone Densification on Fiber/Cement paste Bond Strength Improvement, *Journal of Advanced Cement Based Materials*, 45(1), 8-17.
 10. Yang, I. H., Kim, K. C., and Cho, C. B. (2015), Flexural Strength of Hybrid Steel Fiber Reinforced Ultra High Strength Concrete Beams, *Journal of Korea Concrete Institute*, 27(3), 280-287.

Received : 12/02/2015

Revised : 01/20/2016

Accepted : 02/04/2016

요 지 : 섬유보강콘크리트의 균열발생 평가는 보통 인장강도나 휨강도가 지표가 되지만 시험체 제작 과정 시에 이루어지는 양생의 영향도 좌우된다. 일반적으로 콘크리트 시험체는 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 수중양생을 실시한 후 강도 평가를 수행하나 실구조물은 습윤양생을 소정의 기간 동안 실시한 후 건조 상태로 된다. 이러한 기술적인 진보가 이루어지고 있는 경향과는 달리 양생방법의 차이가 균열발생 강도에 미치는 영향은 아직 명확하지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 섬유보강콘크리트의 역학적 특성, 특히 균열발생강도에 미치는 양생방법의 영향에 대해서 검토하였다.

핵심용어 : 균열발생강도, 양생방법, 섬유, 섬유보강콘크리트, 역학적 특성
