

다발형 폴리아미드섬유 보강 콘크리트의 휨거동에 관한 실험적 연구

A Experimental Study on the Flexural Behavior of Bundle Type Polyamide Fiber Reinforced Concrete

Chan Ki Jeon^{a,1}, Joong Kyu Jeon^{b,*}

^a *Urban and Environmental Engineering Department University of Incheon, 12-1 Songdo-dong Incheon 406-772, Republic of Korea*

^b *R&BD Center, Kolon Global Corp., 199-5 Jeondae-ri, Pogok-eup, Cheoin-gu, Yongin 449-815, Republic of Korea*

ABSTRACT

Synthetic fiber reinforced concrete is applicable to many applications for construction material. In general, synthetic fibers have low tensile strength and elastic modulus, but they have many advantages such as high crack resistance, impact resistance, chemical resistance, flexural behavior and corrosion free in fiber reinforced concrete. Recently, fiber reinforced concrete with macro synthetic fibers has been used to improve performance of structures in tunnel shotcrete, precast segmental lining and bridge slab and precast concrete structures. This study investigated the influence of bundled type polyamide fiber reinforced concrete on the flexural behavior in accordance with ASTM C 1609 and KS F 2566 standards.

KEYWORDS

Synthetic fiber reinforced concrete
Flexural behavior
Chemical resistance
Bundle type polyamide fiber
Load-deflection relationship

일반적으로 건설재료 용도로 많이 사용되고 있는 유기섬유 보강 콘크리트는 섬유 자체의 인장강도 및 탄성계수는 낮지만, 휨거동, 균열에 대한 저항성 및 충격 저항성 등의 특성은 우수하며, 내화특성이 뛰어나고 부식의 우려가 없는 것으로 널리 알려져 있다. 최근 해외에서는 유기섬유 보강재를 터널 숏크리트와 프리캐스트 세그먼트 라이닝, 교량 슬래브 및 PC제품 분야에서 일부 활용되고 있으며, 그 종류 또한 다양하다. 본 연구에서는 다발형 폴리아미드섬유를 혼입한 콘크리트의 휨거동 특성을 ASTM C 1609 및 KS F 2566에 준하여 하중-처짐 관계를 도출하여 유기섬유 보강 콘크리트의 적용 가능성을 검토하였다.

유기섬유 보강 콘크리트
휨거동
내화특성
다발형 폴리아미드섬유
하중-처짐 관계

© 2014 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-31-329-0663. Fax. 82-31-329-0651.

Email. jkjeon31@kolon.com

1 Tel. 82-32-835-8776. Email. johnland@incheon.ac.kr

ARTICLE HISTORY

Received Feb. 24, 2014

Revised Feb. 28, 2014

Accepted Mar. 18, 2014

1. 서론

건설재료로 가장 많이 활용되고 있는 콘크리트는 일반적으로 압축특성 및 내구성이 우수한 반면 인장 및 휨 인성 특성이 취약하고 취성적 거동으로 인하여 국부적인 손상을 일으키기도 한다. 이러한 콘크리트의 단점을 보완하고 균열 발생과 균열 진전의 제어 및 에너지 흡수능력 향상을 위하여 다양한 종류의 단섬유 보강재가 사용되고 있으며, 이에 대한 연구도 활발히 진행되고 있는 실정이다(Soroushian et al., 1992, Mobasher et al., 1990).

콘크리트용 단섬유 보강재는 크게 무기섬유 보강재인 강섬유와 유기섬유 보강재인 합성섬유로 구분할 수 있으며, 1960년대 후반부터 토목 및 건축 재료로 합성섬유에 관한 연구가 진행되어, 폴리아미드(나일론), 폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 폴리에스테르, 레이온 등이 사용되고 있다(Kim et al., 2012). 이처럼 다양한 섬유가 보강된 섬유 보강 콘크리트(FRC, Fiber Reinforced Concrete)는 일반 콘크리트보다 인장, 휨인성 및 균열에 대한 저항성 등 측면에서 우수한 성능을 나타내므로 프리캐스트 콘크리트 제품, 슬래브 콘크리트 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 최근 충격 및 폭발 등의 극한하중 및 극한환경에 노출된 재난정보 분야에서도 활용되고 있다(Lee et al., 2013).

강섬유는 섬유 자체의 높은 인장강도와 이로 인한 강섬유 보강 콘크리트(SFRC, Steel Fiber Reinforced Concrete)의 높은 휨 인성 및 균열 제어 특성으로 FRC 분야에서 가장 많이 연구되고 활용되었다. 하지만, 배합 및 타설시 SFRC 내에 혼입된 강섬유의 뭉침 현상 및 막힘 현상이 시공성 측면에서, 강섬유의 부식이 장기적인 내구성 측면에서 단점으로 지적될 수 있다. 반면에 합성섬유는 섬유 자체의 인장강도는 강섬유보다 낮지만, FRC로 구성할 경우 휨 인성 및 균열 제어 특성이 SFRC와 동등한 성능을 발휘할 뿐만 아니라, 충격저항성 등의 역학적 성능이 우수하고 내화특성이 뛰어나며 부식의 우려가 없고 자체 비중이 낮아 운반의 용이성에 유리하다(Lee et al., 2011). 특히, 국내의 K사에서 개발한 FRC용 다발형 폴리아미드섬유는 콘크리트와의 부착성능 및 분산성이 우수하여 FRC의 품질향상에 기여하는 것으로 평가되고 있다(Jeon et al., 2010).

이에 본 연구에서는 다발형 폴리아미드섬유를 혼입한 FRC(PAFRC, Polyamide Fiber Reinforced Concrete)의 휨 시험을 ASTM C 1609 및 KS F 2566에 따라 수행하고 이에 따른 휨 인성 거동 분석을 통해 PAFRC의 적용 가능성을 검토하고자 한다.

2. 실험 개요

2.1 사용재료 및 콘크리트 배합

본 연구의 PAFRC의 휨 인성 거동 분석을 위한 시험체들의 배합표는 Table 1과 같으며, PAFRC 배합시 사용된 섬유보강재는 국내의 K사에서 개발 및 생산되고 있는 다발형 폴리아미드섬유이며, 다발형 폴리아미드섬유의 물성과 형상은 Table 2 및 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 본 연구에서는 다발형 폴리아미드섬유의 혼입량에 따른 PAFRC의 휨 인성 거동을 분석하기 위해 Table 1에 나타난 바와 같이 다발형 폴리아미드섬유를 7.0~10.0kg/m³로 혼입하여 배합을 수행하고 시험체를 제작하였다.

기존의 FRC에 대한 다양한 연구결과를 참고하여, PAFRC 배합설계시 목표 슬럼프는 120±25mm, 재령 28일 설계 휨강도는 4.0MPa, 목표 등가휨강도는 3.0MPa로 설정하였다. 이상과 같은 작업성 및 설계 강도를 만족하기 위하여 Table 1과 같이 PAFRC의 시멘트 사용량은 482kg/m³, W/C는 43.8%, S/a는 60%로 설정하였으며, 다발형 폴리아미드섬유의 혼입량 증가에 따른 작업성 저하를 방지하기 위하여 혼화제 사용량을 0.8~1.1%로 조절하였다.

본 연구의 PAFRC 시험체 제작에 사용된 시멘트는 밀도 3.15g/cm³의 보통 포틀랜드시멘트(OPC)이며, 굵은 골재는 최대치수 10mm의 골재를 사용하였다. 또한, 최근 국내 건설현장의 골재 수급이 어렵고 환경적인 이유로 부순 잔골재 사용을 권장하고 있으므로, 이러한 상황을 고려하여 PAFRC 시험체의 배합설계 및 제작 시 부순 잔골재를 총 잔골재량 대비 60% 수준으로 설정하였다.

PAFRC 배합시 사용된 다발형 폴리아미드섬유는 마이크로 필라멘트를 Fig. 2와 같이 고압의 공기 압출성형을 통해 다발형 단일개체로 생산한 것이다. 이와 같이 생산한 다발형 폴리아미드섬유는 일반적인 구조용 합성섬유 보강재와 달리 비표면적이 매우 크므로 PAFRC를 구성할 경우 콘크리트와의 부착성능이 매우 우수하다. 또한, 다발형 폴리아미드섬유의 표면을 다가알코올 에스테르 윤활제, 비이온계 계면 활성제, 대전 방지제를 적당한 비율로 혼합한 분산제로 코팅 처리하여 기존의 강섬유 및 합성섬유보다 배합 시 분산성능이 매우 우수하다(Yoon et al., 2012). 다발형 폴리아미드섬유 표면에 코팅된 분산제는 Fig. 3과 같이 친수기와 친유기로 구성되어 있어 배합 시 섬유 간의

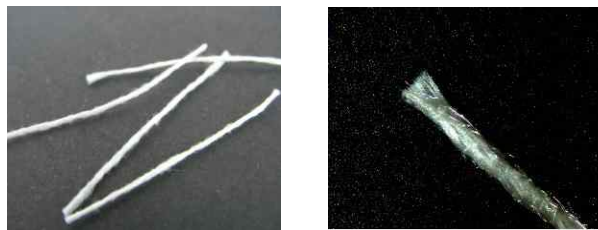
정전기적 반발력으로 분산성을 촉진시켜 섬유의 뭉침 현상을 최소화시킨다(Jeon et al., 2010, Yoon et al., 2012).

Table 1. PAFRC mix proportions

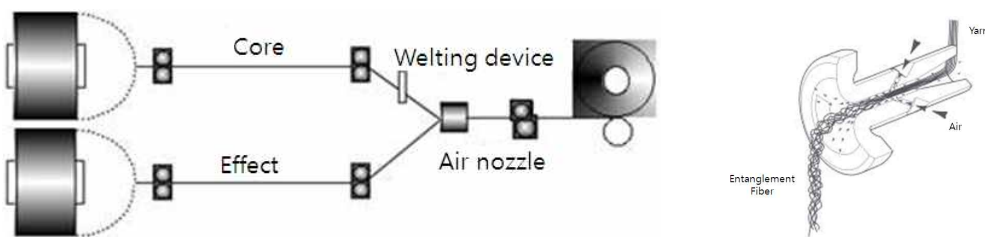
Specimen	G _{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)						AD (C%)
				W	OPC	S	CS	G	Fiber	
PAFRC-7	10	43.8	60.0	211	482	381	576	635	7.0	0.8
PAFRC-8	10	43.8	60.0	211	482	381	576	635	8.0	0.9
PAFRC-9	10	43.8	60.0	211	482	381	576	635	9.0	1.0
PAFRC-10	10	43.8	60.0	211	482	381	576	635	10.0	1.1

Table 2. Material properties of bundle type polyamide fiber reinforcement

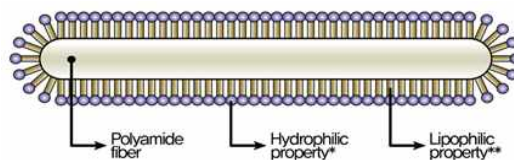
Fiber Type	Density (g/cm ³)	Length (mm)	Diameter (mm)	Elastic modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)
Polyamide	1.14	30	0.47	Min. 3	Min. 620



(a) Single shape (b) Large scale shape
Fig. 1. Shapes of bundle type polyamide fiber reinforcement



(a) Manufacturing system (b) Air extrusion nozzle
Fig. 2. Production process of bundle type polyamide fiber using air textured yarn



* Having a strong affinity for water ** Having a strong affinity for lipids

Fig. 3. Polyamide fiber with dispersant coating

2.2 시험 방법

배합된 PAFRC의 슬럼프 측정은 Fig. 4와 같이 KS F 2402 "콘크리트의 슬럼프 시험 방법"에 준하여 수행하였으며, 재령 28일 PAFRC의 압축강도 측정은 KS F 2405 "콘크리트의 압축강도 시험 방법"에 준하여 $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 시험체를 각 수준별 3개씩 제작하여 Fig. 5와 같이 수행하였다.

PAFRC의 휨 인성 거동 분석을 위한 재령 28일의 휨 시험은 ASTM C 1609 "Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)" 및 KS F 2566 "강섬유 보강 콘크리트의 휨인성 시험방법"에 준하여 $100 \times 100 \times 400$ mm의 각형 시험체를 각 수준별 3개씩 제작하여 Fig. 6과 같이 3등분점 휨 시험의 형태로 수행하였다. 본 시험에 사용된 $100 \times 100 \times 400$ mm의 각형 시험체는 $150 \times 150 \times 550$ mm 각형 시험체 몰드에 타설된 PAFRC를 재령 28일 후 절단기를 사용하여 $100 \times 100 \times 400$ mm의 크기로 절단하여 제작하였다.

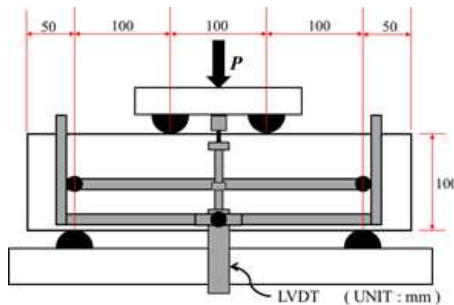
ASTM C 1609 및 KS F 2566에 따라 휨 시험의 지간거리(L)는 300mm로 하였으며, 지점부 경계조건은 시험체의 길이 방향으로 회전 가능한 상하 1조의 롤러를 사용하였다. 또한, 각 시험체의 하중-처짐 곡선을 구하기 위하여 Fig. 6과 같이 시험체 중앙점에 앞, 뒤로 2개의 LVDT를 설치하였다. PAFRC의 휨 시험에 사용된 시험기기는 정밀한 시험 및 계측이 가능한 전자기계식 하중재하 장치인 100kN 용량의 INSTRON 5582이며, L/900 처짐($=0.333$ mm) 이후의 하중은 변위제어 방식으로 0.10mm/min의 속도로 시험체에 재하하였다.



Fig. 4. Slump test of PAFRC



Fig. 5. Compressive strength test of PAFRC



(a) Specimen geometry



(b) Test set-up picture

Fig. 6. Specimen geometry and test set-up for flexural test of PAFRC

3. 시험결과 및 분석

3.1 작업성 및 압축 특성

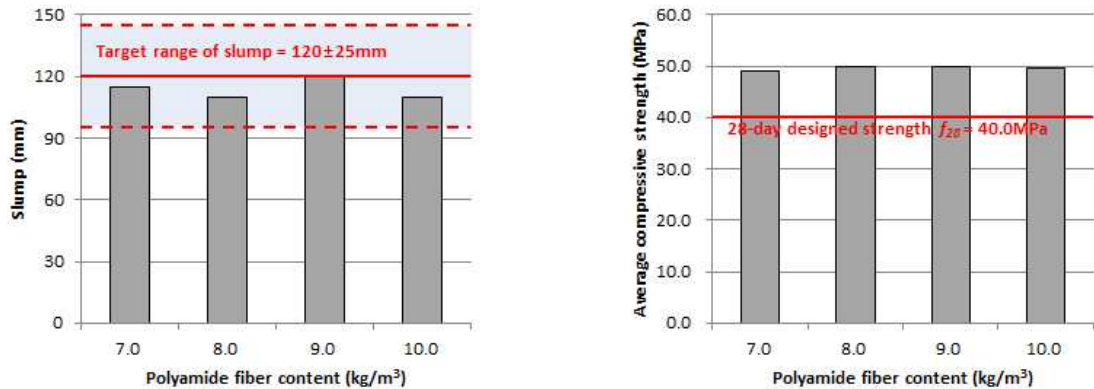
Table 3 및 Fig. 7은 다발형 폴리아미드섬유의 혼입량에 따른 PAFRC의 슬럼프 및 각 수준별 시험체 3개의 재령 28일 평균 압축강도 측정 결과를 나타낸 것이다. Table 3 및 Fig. 7에서 확인할 수 있듯이, 다발형 폴리아미드섬유의

혼입량 증가에 관계없이 PAFRC 모두 목표 슬럼프 120±25mm를 만족하는 유사한 작업성을 나타내며, 재령 28일 압축강도는 약 48~50MPa로 좋은 결과를 나타내었다.

본 연구에서 사용된 콘크리트의 작업성은 섬유 혼입량이 증가할수록 폴리아미드섬유 표면의 친수기 성분에 의한 일정량의 배합수 흡수현상으로 슬럼프 저하가 우려되었으나, 이를 고려하여 각 PAFRC 배합별, 즉 섬유 혼입량이 증가할수록 혼화제 사용량을 0.8~1.1%로 0.1%씩 증가하도록 설정하여, 이상과 같이 섬유 혼입량이 증가하여도 목표 슬럼프를 만족하는 유사한 작업성을 나타내었다. 또한, 콘크리트의 압축 특성은 섬유 혼입량이 증가할수록 섬유 혼입에 따른 시멘트 페이스트간 계면 분리로 압축강도 저하가 우려되었으나, 본 연구에서 사용된 다발형 폴리아미드 섬유 혼입량은 7.0~10.0kg/m³으로 체적 대비 약 0.61~0.88%의 비교적 낮은 섬유 혼입률이 적용되어, 압축강도는 섬유 혼입률과 크게 상관없이 약 48~50MPa 정도를 나타내었다.

Table 3. Slump and compressive strength of PAFRC

Specimen	Target slump (mm)	Slump (mm)	Compressive strength(28-day)		
			Designed strength f_{28} (MPa)	Average strength f_{ck} (MPa)	f_{ck}/f_{28}
PAFRC-7	120±25	115	40.0	48.9	1.22
PAFRC-8		110		49.8	1.25
PAFRC-9		120		50.0	1.25
PAFRC-10		110		49.5	1.24



(a) Slump (b) 28-day compressive strength

Fig. 7. Slump and compressive strength of PAFRC

3.2 휨거동 특성

본 연구에서는 다발형 폴리아미드섬유 7, 8, 9, 10kg/m³의 혼입량에 따른 PAFRC의 휨 시험을 ASTM C 1609 및 KS F 2566에 따라 수행하고 이에 따른 휨거동 분석을 수행하였다. Fig. 8은 ASTM C 1609 및 FRC에 대한 다양한 연구결과를 참고하여 도식화 한 FRC의 전형적인 하중-처짐 관계와 하중저항 및 파괴성상을 나타낸 것이다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 본 연구에서는 휨 시험시 시험체의 초기균열이 발생(Fig. 8의 ⑤)하는 하중-처짐 관계상의 지점을 1차 최대하중(P1, first-peak load) 지점으로 정의하였으며, 휨 시험시 시험체 내에 혼입된 다발형 폴리아미드섬유의 하중저항성능 감소(Fig. 8의 ① 또는 ②)가 발생하기 시작하는 하중-처짐 관계상의 지점을 2차 최대하중(P2, second-peak load) 지점으로 정의하였다.

1차 최대하중 및 2차 최대하중 지점에 해당하는 응력과 처짐을 각각 f_1 , δ_1 및 f_2 , δ_2 로 나타내며, 각 지점의 휨응력 f 는 식(1)에 의해 산출하였다. ASTM C 1609에 정의되어 있듯이, L/600의 처짐(=0.5mm) 및 L/150의 처짐(=2.0mm)에서의 잔류하중과 잔류응력을 각각 PD600, fD600 및 PD150, fD150으로 나타내고, 하중-처짐 곡선의 L/150

처짐까지 면적을 인성(Toughness)으로 정의하고 TD150으로 나타내었다. 또한 ASTM C 1609에 의해 등가휨강도비(Equivalent flexural strength ratio)는 RDT,150으로 나타내었으며, 인성 TD150을 이용하여 식(2)에 의해 산출하였다.

$$f = \frac{PL}{bd^2} \tag{1}$$

$$R_{T,150}^D = \frac{150T_{150}^D}{f_1bd^2} \times 100\% \tag{2}$$

- 여기서, f : 휨응력(MPa)
- P : 시험기가 나타내는 하중(N)
- L : 휨 시험의 지간거리(mm)
- b : 파괴 단면에서 시험체의 폭(mm)
- d : 파괴 단면에서 시험체의 높이(mm)
- $R_{T,150}^D$: 등가휨강도비(%)
- T_{150}^D : 인성, 하중-처짐 곡선의 L/150 처짐까지 면적(N.mm)

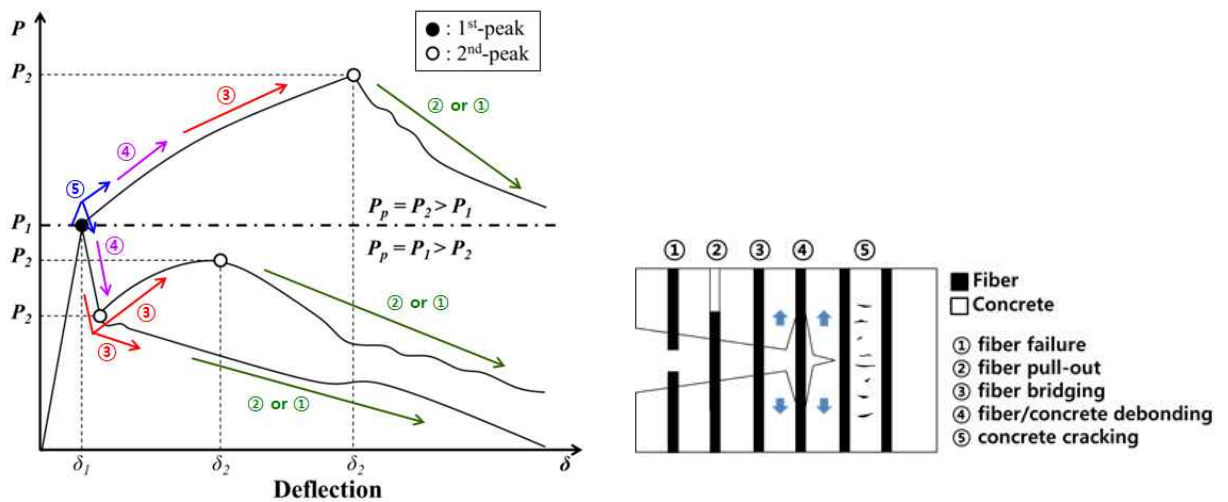


Fig. 8. Typical load-deflection response and failure mode of FRC

현재의 ASTM C 1609는 이상에 기술한 바와 같이 δ_1 , δP (최대하중에서의 처짐), L/600 및 L/150 지점을 분류하고 해당 지점의 휨거동 특성 값들(하중, 응력 및 인성(하중-처짐 곡선의 해당 처짐까지의 면적))을 정의하고 있으나, 본 연구에서는 ASTM C 1018 "Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)"을 참고하여 추가적으로 3 δ_1 , 5.5 δ_1 및 10.5 δ_1 지점의 휨거동 특성 값들을 산출하였다.

3.2.1 휨강도 및 등가휨강도

다발형 폴리이미드섬유 7, 8, 9, 10kg/m³의 혼입량에 따른 각 수준별 PAFRC 시험체 3개의 휨 시험 결과 산출된 평균 휨강도(f_1) 및 평균 등가휨강도(f_e)를 Table 4에 나타내었다. 각 수준별 시험체들의 휨강도 및 등가휨강도는 ASTM C 1609 및 KS F 2566을 참고하여 식(3) 및 식(4)에 의해 산출하였다. 즉, 휨강도 및 등가휨강도는 1차 최대 하중 지점의 강도와 L/150의 처짐까지의 평균 휨강도라 할 수 있다.

Table 4. Flexural strength and equivalent flexural strength of PAFRC

Specimen	Flexural strength			Equivalent flexural strength		
	Designed strength f_{1D} (MPa)	Average strength f_1 (MPa)	f_1/f_{1D}	Target strength f_{eT} (MPa)	Average strength f_e (MPa)	f_e/f_{eT}
PAFRC-7	4.00	4.65	1.16	3.00	3.45	1.15
PAFRC-8		4.28	1.07		3.46	1.15
PAFRC-9		5.10	1.28		4.29	1.43
PAFRC-10		4.97	1.24		5.16	1.72

$$f_1 = \frac{P_1 L}{bd^2} \tag{1}$$

$$f_e = \frac{T_{150}^D L}{\delta_{150} bd^2} \tag{2}$$

여기서, f_1 : 휨강도(MPa)
 δ_{150} : L/150의 처짐(mm)

Table 4에서 확인할 수 있듯이, 다발형 폴리아미드섬유의 혼입량이 증가할수록 평균 휨강도는 뚜렷하게 증가하거나 감소하는 경향을 나타내지는 못했지만, 섬유 혼입량에 관계없이 모든 시험체가 설계 휨강도 4.0MPa를 만족하는 결과를 나타내었다. 이와 같이 PAFRC의 휨강도가 섬유 혼입량과 관계가 없는 양상은 일반적으로 FRC의 휨강도가 압축강도에 영향을 받으며, PAFRC의 압축 특성에 나타난 바와 같이 각 수준별 압축강도가 유사한 결과를 나타내고 이는 동일한 시멘트량과 W/C에 의한 것으로 사료된다.

반면에, 등가휨강도는 모든 시험체가 목표 등가휨강도 3.0MPa를 만족하면서, 다발형 폴리아미드섬유의 혼입량이 증가할수록 향상되는 경향을 나타내었다. 이처럼 모든 시험체가 목표 등가휨강도를 만족할 수 있었던 이유는 PAFRC 매트릭스 내에 혼입된 섬유가 Fig. 8에 나타난 바와 같이 섬유 가교작용(fiber bridging)을 충실하게 이행하였기 때문이라고 판단되며, 섬유의 혼입량이 증가할수록 평균 등가휨강도가 향상되는 경향은 파괴단면 및 균열진전 부위에 섬유 가교작용을 발휘할 수 있는 섬유의 수가 상대적으로 증가하였기 때문이라고 판단된다.

3.2.2 하중-처짐 관계

다발형 폴리아미드섬유 7, 8, 9, 10kg/m³의 혼입량에 따른 각 수준별 PAFRC 시험체 3개의 휨 시험 결과 산출된 하중-처짐(하중-응력) 곡선을 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9에서 확인할 수 있듯이, 섬유 혼입량에 관계없이 모든 시험체는 0.031~0.067mm의 변위까지 탄성영역의 하중저항 성능을 보이며, 1차 최대하중 이후에는 시험체의 중앙부위에 초기균열이 발생하고 하중저항 성능이 감소하는 거동을 보인다. 이후 변위가 증가함에 따라 하중저항 성능이 회복되는 거동을 보이고, 섬유 혼입량이 증가할수록 2차 최대하중이 증가하는 경향을 나타내었다. 2차 최대하중의 1차 최대하중에 대한 비율((P1/P2×100%)은 섬유 혼입량 7kg/m³의 경우 100.4%, 8kg/m³의 경우 111.5%, 9kg/m³의 경우 114.5%, 10kg/m³의 경우 153.3%로, 섬유 혼입량이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다.

이와 같이 1차 최대하중 이후 하중저항 성능이 감소하는 경향은 시험체의 초기 균열 발생부위에 배치된 다발형 폴리아미드 섬유의 연신율에 의한 것이며, 2차 최대하중까지 하중저항 성능이 회복되는 거동은 파괴단면 및 균열진전 부위에 위치한 섬유의 섬유가교 작용에 의한 것으로 판단된다. 또한, 섬유의 혼입량이 증가할수록 2차 최대하중이 증가하는 경향은 등가휨강도 향상 경향과 마찬가지로, 파괴단면 및 균열진전 부위에 위치한 섬유의 수가 상대적으로 증가하였기 때문이라고 사료된다.

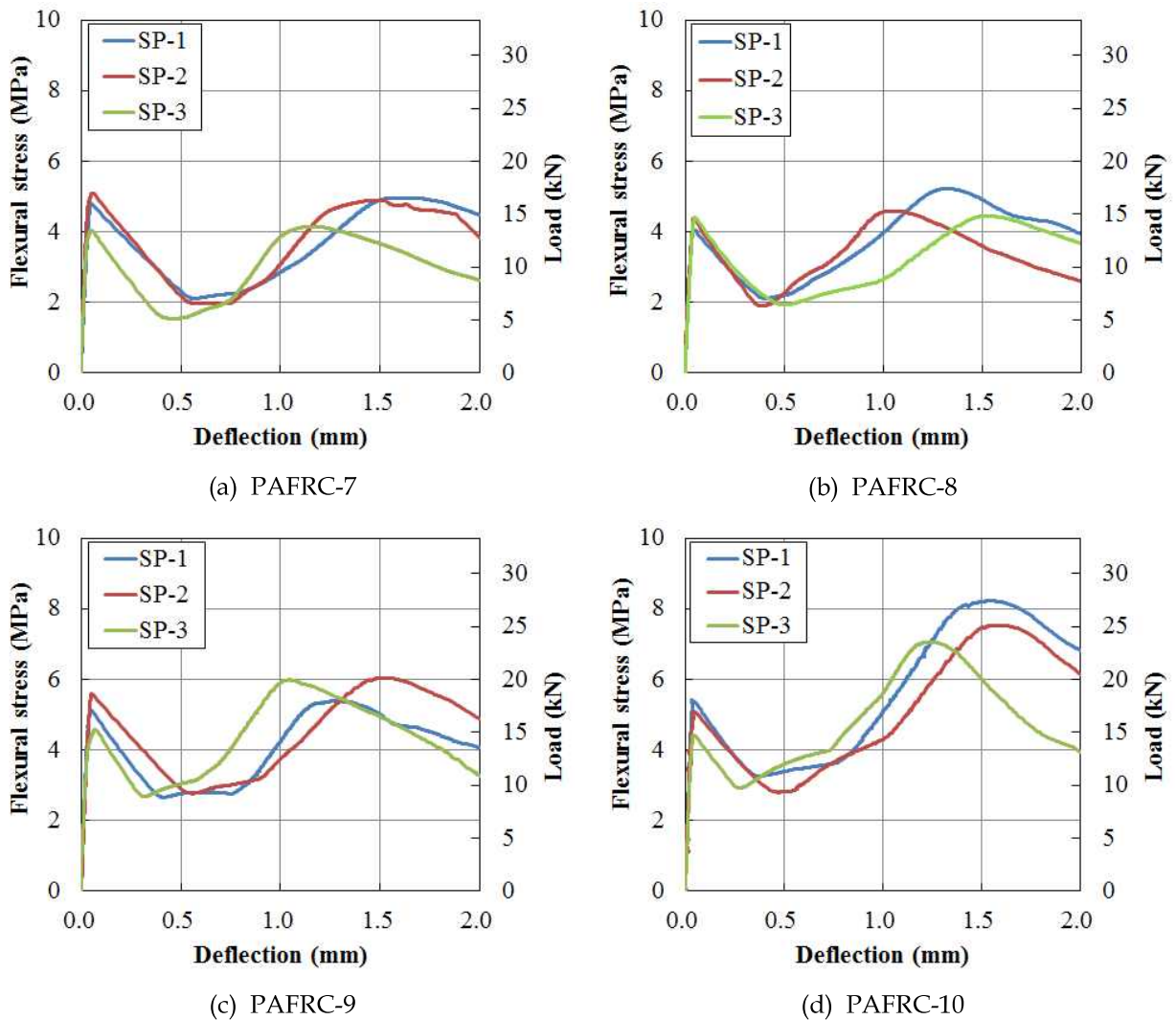


Fig. 9. Load-deflection(stress-deflection) curve of PAFRC

3.2.3 휨거동 분석

다발형 폴리아미드섬유 7, 8, 9, 10kg/m³의 혼입량에 따른 각 수준별 PAFRC 시험체 3개의 휨 시험 결과 및 하중-처짐 곡선으로부터 산출한 δ1, 3δ1, 5.5δ1, 10.5δ1, L/600의 처짐, δ2, L/150의 처짐 지점의 휨거동 특성 값들(하중, 응력 및 인성)의 평균값을 Table 5에 나타내었다. Table 5에서 확인할 수 있듯이, 모든 시험체는 f1~f600 구간에서 휨응력이 감소, f600~f2 구간에서 휨응력이 증가, f2~f150 구간에서 휨응력이 감소하는 경향을 나타내며, 이는 Fig. 9에 나타난 하중-처짐 관계와 일치함을 확인할 수 있다.

Table 5를 통해 다발형 폴리아미드섬유 혼입량의 증가는 2차 최대하중 지점의 휨거동 특성치 향상에 영향을 주었음을 알 수 있었다. 이처럼 다발형 폴리아미드섬유는 PAFRC 내에서 균열 발생 전의 탄성구간 및 1차 최대하중에는 비교적 영향을 주지 않지만, 균열 발생 후 하중저항 성능의 증가, 2차 최대하중의 증가, 등가휨강도의 증가 등의 휨인성 거동 향상에 영향을 주며, 이에 지배적인 인자는 섬유 혼입량을 확인할 수 있다.

Table 5. Flexural characteristic values of PAFRC

Specimen	First-peak				361						
	P1 (N)	δ1 (mm)	f1 (MPa)	T1 (Joule)	P361 (N)	δ361 (mm)	f361 (MPa)	T361 (Joule)			
PAFRC-7	15514	0.052	4.65	0.580	13204	0.156	3.96	2.039			
PAFRC-8	14280	0.044	4.28	0.396	12087	0.132	3.63	1.567			
PAFRC-9	16993	0.057	5.10	0.659	14096	0.170	4.23	2.408			
PAFRC-10	16572	0.042	4.97	0.415	14653	0.126	4.40	1.751			
Specimen	5.561				10.561						
	P5.561 (N)	δ5.561 (mm)	f5.561 (MPa)	T5.561 (Joule)	P10.561 (N)	δ10.561 (mm)	f10.561 (MPa)	T10.561 (Joule)			
PAFRC-7	10257	0.286	3.08	3.634	6405	0.546	1.92	5.666			
PAFRC-8	9498	0.241	2.85	2.785	6686	0.461	2.01	4.420			
PAFRC-9	11402	0.311	3.42	4.138	10263	0.594	3.08	7.085			
PAFRC-10	12351	0.231	3.71	3.081	10781	0.441	3.23	5.395			
Specimen	L/600 (=0.50mm)			Second-peak				L/150 (=2.00mm)			
	P100600 (N)	f100600 (MPa)	T600 (Joule)	P2 (N)	δ2 (mm)	f2 (MPa)	T2 (Joule)	P100150 (N)	f100150 (MPa)	T150 (Joule)	R100T,150 (%)
PAFRC-7	6647	1.99	5.393	15540	1.429	4.66	15.225	12059	3.62	23.019	74.2
PAFRC-8	7094	2.13	4.699	15843	1.298	4.75	13.568	11320	3.40	23.046	81.0
PAFRC-9	9658	2.90	6.833	19333	1.284	5.80	16.695	13554	4.07	28.569	84.5
PAFRC-10	10863	3.26	6.089	25357	1.456	7.61	22.616	18755	5.63	34.401	104.0

4. 결론

본 연구에서는 다발형 폴리아미드섬유를 혼입한 PAFRC의 작업성 및 압축 특성에 대한 시험을 수행하였으며, PAFRC의 휨 시험을 ASTM C 1609 및 KS F 2566에 의하여 수행하고 이에 따른 휨 인성 거동 분석을 통해 PAFRC의 적용 가능성을 검토하였다. 이를 통하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 본 연구에서 사용된 4종류 PAFRC의 작업성은 섬유 혼입량 증가에 따른 작업성 저하를 감안하여, 혼화제 투입량을 증가시켜 목표 슬럼프를 다 만족할 수 있도록 하였으며, 압축강도 특성은 섬유 혼입량 증가와는 크게 상관없이 약 48~50MPa 수준의 양호한 결과를 나타내었다.

(2) 4종류 PAFRC에 대한 휨거동 특성은 ASTM C 1609 및 KS F 2566에 준하여 평가한 결과, 휨강도는 섬유 혼입량에 크게 상관없이 모두 설계 휨강도 4.0MPa를 만족하였으며 PAFRC-9 시험체가 가장 좋은 결과를 나타내었으나, 특히 등가휨강도는 섬유 혼입량이 증가할수록 향상되는 좋은 결과를 나타내었다.

(3) 4종류의 PAFRC에 대한 휨거동 분석을 통하여, 2차 최대하중의 증가 비율은 섬유 혼입량이 증가할수록 크게 증가하는 경향을 보였으며, 섬유 보강 콘크리트에 대한 휨거동 특성은 특정 처짐구간에서 잔류강도(휨강도)에 대한 값도 중요하지만 하중-처짐 곡선상의 휨인성치가 아주 중요한 요소이며, 이는 섬유 혼입량에 지배적인 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 인천대학교 2013년도 자체연구비의 지원을 받아 수행된 연구 결과이며, 이에 감사드립니다.

References

- ASTM C 1609/C 1609M-05. (2006). "Structural Test Method for Flexural Performance of Fiber Reinforced Concrete (using Beam with Third Point Loading).", American Society of Testing and Materials.
- ASTM C 1018-97. (1998). "Structural Test Method for Flexural Toughness and First Crack Strength of Fiber Reinforced Concrete (using Beam with Third Point Loading).", American Society of Testing and Materials.
- Jeon, I.K., Jeon, C.K. (2010). "Manufacture and Construction Technology of Polyamide Fiber Reinforced Shotcrete in Tunnel.", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.14, No.6, pp.41-45.
- Kim, Y.G., Kim, S.C., Kim, M.H. (2012). "A Study on the Dynamic Properties of Cement Mortar with Recycled PET Fiber.", Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol.2, No.4, pp.113-122.
- KS F 2566:2000. (2000). "Test Method for Flexural Toughness of Steel Fiber Reinforced Concrete.", Korean Standards Association.
- Lee, I.C., Kim, H.S., Nam, J.S., Kim, S.B., Kim, G.Y. (2013). "Evaluation of Protective Performance of Fiber Reinforced Concrete T-Wall.", Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol.13, No.5, pp.465-473.
- Lee, I.W., Kim, S.H., Choi, T.J., Hong, B.T., Kim, H.H., Won, J.P. (2011). "Fracture Performance of Structural Synthetic Fiber Reinforced Concrete.", Conference paper on Korea Concrete Institute, Vol.23, No.2, pp.103-104.
- Mobasher, B., Shah, S.P. (1990). "Interaction between fibers and the matrix in glass fiber reinforced concrete, Thin-Section Fiber Reinforced Concrete and Ferrocement", SP 124, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1990, pp.137-156.
- Soroushian, P., Khan, A., Hsu, J.W. (1992). "Mechanical Properties of Concrete Materials Reinforced with Polypropylene or Polyethylene Fibers", ACI Materials Journal, Vol.89, No.2, pp.535-540.
- Yoon, J.H., Jeon, I.K., Jeon, C.K., Lee, S.C. (2012). "Experimental Construction of Polyamide Fiber Reinforced Shotcrete Technology.", Journal of the Korean Recycled Construction Resource Institute, Vol.7, No.2, pp.78-83.