

## 폴리프로필렌 섬유보강 고유동 콘크리트의 유동 특성

### Flow Properties of Polypropylene Fiber Reinforced High Flow Concrete

성 찬 용\* · 노 경 희\*\*

Sung, Chan Yong · Noh, Kyung Hee

#### Abstract

This study was performed to evaluate flow properties of polypropylene fiber reinforced high flow concrete. Test results were showed that the slump, slump flow and L-type compacting were decreased with increasing the content of polypropylene fiber. But, the Box-type passing and air content were increased with increasing the content of polypropylene fiber.

The slump was 25.5~27.5cm, the slump flow was 60~65cm, the Box-type passing was 2~6cm, the L-type compacting was excellent and air content was 2.7~3.2% by the polypropylene fiber content 0.2%, respectively.

This concrete can be used for high flow concrete.

*Keywords : High flow concrete, Polypropylene fiber, Slump, Slump flow, Box-type passing, L-type compacting, Air content*

#### I. 서 론

일반적으로 좋은 콘크리트란 강도와 내구성 등 품질의 우수성과 더불어 좋은 시공성이 확보되어야 한다. 세계적으로 모든 산업 분야의 기술개발이 나날이 발전하고 있는 가운데 콘크리트 분야에서도 성능을 극대화시킨 고성능 콘크리트(high performance concrete)가 1980년대 후반 일본에서 개

발된 이래 차세대 건설재료로 크게 각광받고 있다.<sup>1),4)</sup> 고성능 콘크리트는 당초에 콘크리트 구조물의 신뢰성 향상, 3D 현상에 따른 노동력 부족 때문에 연구가 되었지만, 그 후 에너지 절약과 소음 방지 등의 필요성까지 확대됨에 따라 급속하게 연구가 진행되었고, 국내에서도 고성능 콘크리트 개발 및 실용화 연구가 1994년부터 활발히 진행되고 있다. 고성능 콘크리트는 굵은 골재량이 적고 결합재량이 많은 부배합의 특성으로 인하여, 일반 시멘트 콘크리트보다 건조수축과 수화열 등의 큰 결함을 지니고 있다. 이에 강섬유나 폴리프로필렌 섬유를 혼입하여 건조수축에 의한 균열 저항성을 증대시키고 콘크리트의 내구성 및 인성 증대를 통하여

\* 충남대학교 농업생명과학대학

\*\* 충남대학교 대학원

\* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5798

Fax: +82-42-823-8050

E-mail address: cysung@cnu.ac.kr

콘크리트의 단점인 취성거동(brittle behavior)을 연성거동(ductile behavior)으로 유도할 수 있다.<sup>2),3),6)</sup> 또한, 산업부산물인 플라이 애시를 건설산업에 활용함으로써 에너지 절감은 물론 자원 재활용과 이에 따른 환경보존 등의 효과도 기대할 수 있다.<sup>5)</sup>

따라서, 본 연구는 폴리프로필렌 섬유와 플라이 애시를 사용한 고유동 콘크리트의 유동 특성을 규명하기 위하여 슬럼프 시험, 슬럼프-플로우 시험, 간극통과성 Box형 충전성 시험, L형 충전성 시험, 공시량 시험을 실시하고, 이에 따른 유동 특성을 비교 분석하여 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 고유동 콘크리트의 활용에 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 시멘트

시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 물리적 성질과 화학성분은 Table 1, 2와 같다.

Table 1 Physical properties of normal portland cement

Specific gravity (20°C)	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Setting time (h-min)		Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		
		Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	3,240	5-7	7-20	194	216	323

Table 2 Chemical composition of normal portland cement (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

#### 나. 골재

잔골재는 금강유역에서 채취한 천연모래를 사용하였고, 굵은골재는 충북 인근 석산에서 생산되는 쇄석을 사용하였으며, 이들의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3 Physical properties of aggregates

Classification		Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	F.M	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )
Course aggregate	Crushed stone	4.75 ~20	2.62	2.62	6.02	1,449
Fine aggregate	Natural sand	0.595 ~4.75	2.61	2.34	2.32	1,476

#### 다. 플라이 애시

플라이 애시는 보령화력발전소에서 부산되는 입경이 0.15 mm 이하의 것을 사용하였으며, 그 물리적 성질 및 화학성분은 Table 4와 같다.

Table 4 Physical properties and chemical composition of fly ash

Physical properties			Chemical composition (%)			
Specific gravity (20°C)	Specific surface (cm <sup>2</sup> /g)	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ig.loss	Other
2.39	3,152	1,072	59.9	25.2	3.84	11.06

#### 라. 고성능감수제

콘크리트의 유동성 증진을 위하여 음이온 계면활성제인 나프탈렌 설폰산염을 주성분으로 한 고성능감수제를 사용하였으며, 이의 일반적인 성질은 Table 5와 같다.

Table 5 General properties of superplasticizer

Specific gravity (20°C)	pH	Color	Freezing point (°C)	Principal ingredient	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )
1.20	9±1	Dark brown liquid	-2	Naphthalene sulfonate	1,190

Table 6 Physical properties of polypropylene fiber

Length (mm)	Absorption ratio(%)	Specific gravity (20℃)	Melt point (℃)	Tensile strength (kgf/cm)	Young's modulus (kgf/cm)	Acid and alkali resistance
19	0	0.91	162℃ over	3,500~7,700	35×10 <sup>3</sup> over	Very high (inactivity)

마. 폴리프로필렌 섬유

건조수축에 의한 균열 저항성과 휨 강도를 증대시키기 위하여 사용된 망사형 폴리프로필렌 섬유의 물리적 성질은 Table 6과 같다.

2. 콘크리트 배합

가. 배합설계

콘크리트 배합은 콘크리트의 부피에 대한 결합재의 부피인 분체비를 18%, 19%, 20% 등 3가지로 각각의 분체비에 대해 폴리프로필렌섬유의 혼입률을 결합재량의 0.2%, 0.4%, 0.6%로 하여 Table

7과 같이 배합설계를 하였다. 과도한 섬유의 혼입은 유동성 및 작업성의 저하와 섬유 뭉침현상 (fiber ball)에 의하여 강도저하의 원인이 되며, 고 유동 콘크리트는 부배합의 특성으로 인해 일반콘크리트에 비해 상대적으로 섬유의 혼입량이 1.5~1.8 배 증가됨을 고려하여 폴리프로필렌 섬유의 혼입률을 결정하였다.

플라이 애시의 치환율은 예비실험을 통해 슬럼프 플로우 치가 60±5 cm 이상, 간극 통과성 Box시험 장치의 충전높이 차가 6 cm 이하, L형 충전성 시험을 만족한 배합 중에서 유동성과 재령별 강도수준을 고려하여 적정수준인 결합재 중량의 20%로

Table 7 Mix design of polypropylene fiber reinforced high flow concrete

Mix type	Water (kgf/m <sup>3</sup> )	Binder (kgf/m <sup>3</sup> )		Aggregate (kgf/m <sup>3</sup> )		Binder volume ratio (%)	Fiber (kgf/m <sup>3</sup> )	Super plasticizer (%)	S/a (%)	W/B (%)
		Cement	Fly-ash	Fine	Corase					
FRH1-0	183	418	104	845	811	18	0	1.2	51	35
FRH1-1							1.044			
FRH1-2							2.088			
FRH1-3							3.132			
FRH2-0	193	441	110	819	785	19	0	1.2	51	35
FRH2-1							1.102			
FRH2-2							2.204			
FRH2-3							3.306			
FRH3-0	203	464	116	806	772	20	0	1.2	51	35
FRH3-1							1.16			
FRH3-2							2.32			
FRH3-3							3.48			

\*FRH : Polypropylene fiber reinforced high flow concrete

하였으며, 물-결합재비는 모든 배합에서 35%로 하였다. 또한, 잔골재율이 감소할수록 점성이 증대되어 유동성이 저하되고, 잔골재율이 증가할수록 점성이 저하되어 골재 입자간의 마찰 및 맞물림 저항의 증대로 충전성 및 간극 통과성에 나쁜 영향을 미치므로 고유동 콘크리트의 요구성능을 확보하기 위해 잔골재율을 51%로 하였으며, 고성능 감수제 첨가율은 재료분리가 발생하지 않고 적정 유동성을 확보할 수 있도록 결합재 중량의 1.2%를 사용하였다.

### 3. 시험방법

#### 가. 유동성 시험

현재 콘크리트의 유동성을 측정할 수 있는 시험장치 및 방법은 일본 토목학회 고유동 콘크리트 시공지침(안)에 규정되어 있으며 이를 일반적으로 따르고 있다.

고유동 콘크리트의 유동성은 재료의 변형 특성을 나타내는 재료의 변형 저항성의 의미로 사용되며, 유동성 시험은 주로 항복값의 영향을 받는 슬럼프, 슬럼프-플로우 시험으로 유동성을 평가하였다.

슬럼프 시험과 슬럼프-플로우 시험은 거의 같은 방법으로 진행되지만, 슬럼프 시험은 시료가 완전히 변형이 일어난 후의 높이를 측정하는 방법이고 슬럼프-플로우 시험은 변형 후 밑면의 지름을 측정하는 방법이다.

#### 나. 충전성 시험

고유동 콘크리트의 충전성 시험은 간극 통과성을 동시에 평가하는 방법으로 선정하는 것이 바람직하다. 따라서 철근 또는 장애물을 설치한 시험장치에 콘크리트를 타설하였을 때, 충전 및 간극통과 성능을 평가할 수 있는 시험장치가 필요하며, 본 연구에서는 간극 통과성 Box 시험장치와 L형 충전성 시험장치를 통해 충전성을 평가하였다.

간극 통과성 Box 시험은 Fig. 1과 같은 시험장치

에서 왼쪽의 Box에 시료를 채우고 왼쪽과 오른쪽 Box를 연결하는 판을 들어올리면 왼쪽 Box에서 오른쪽 Box로 시료가 이동한다. 시료가 왼쪽 Box에서 오른쪽 Box로 이동하기 위해서는 5cm 간격으로 D13철근이 배치되어 있는 중앙부분을 통과해야 하며, 충전성은 왼쪽 Box와 오른쪽 Box의 높이 차이를 측정하여 평가하였다.

또한, L형 과밀 배근 충전성시험은 Fig. 2와 같은 시험장치의 시료 투입구에 시료를 넣고 충전속도 및 최종충전 상태를 기준으로 충전성능을 육안

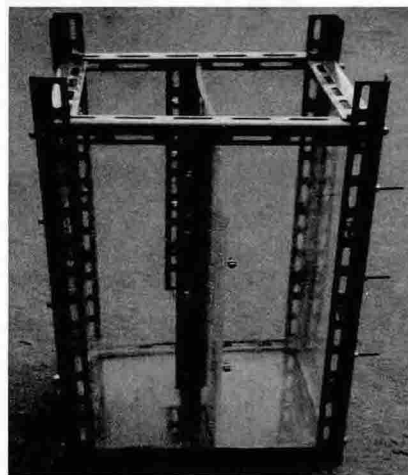
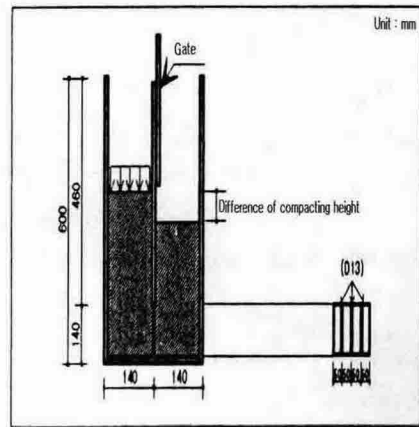


Fig. 1 Box type passing test apparatus

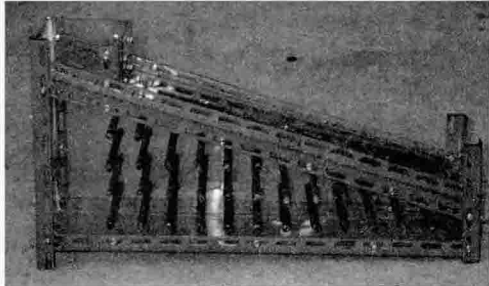
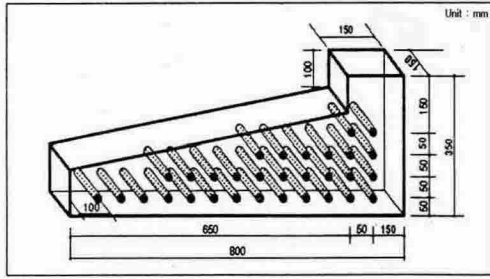


Fig. 2 L type compacting test apparatus

으로 판단하여, 시료가 하단에 도달하여 상단을 가득 채우면 우수(excellent), 시료가 하단에 도달하였으나 상단의 중앙부분까지 채우면 양호(good),

시료가 하단에 도달하지 못하고 상단의 중앙부분을 채우면 보통(average), 시료가 하단의 절반에 도달하지 못하면 불량(bad) 등 4가지로 평가하였다.

#### 다. 공기량 시험

공기량 시험은 KS F 2421 (굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법)에 준하여 실시하였으며, 워싱턴 에어 미터(Washington type air meter)를 사용하여 공기량을 측정하였다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

섬유 혼입량 및 분체비에 따른 굳지 않은 콘크리트의 시험결과는 Table 8과 같다.

#### 1. 유동성

Table 8에서 보는 바와 같이 유동성은 섬유 혼입량에 따라 큰 차이를 보이고 있으며, 섬유 혼입량 0.6%의 각 분체비에서 20%이상의 슬럼프 감소를 보였고, 슬럼프는 섬유의 혼입량이 증가함에

Table 8 Test result of polypropylene fiber reinforced high flow fresh concrete

Mix type	Item	Slump (cm)	Slump flow (cm)	Box-type passing (height : cm)	L-type compacting	Air content (%)
FRH 1-0		26.0	63	3	Excellent	2.9
FRH 1-1		25.5	60	6	Excellent	3.2
FRH 1-2		24.0	52	13	Good	4.0
FRH 1-3		20.0	42	27	Bad	5.1
FRH 2-0		28.0	66	3	Excellent	2.7
FRH 2-1		27.0	62	4	Excellent	3.0
FRH 2-2		25.0	54	9	Good	3.8
FRH 2-3		21.5	45	18	Bad	4.7
FRH 3-0		28.0	70	1	Excellent	2.4
FRH 3-1		27.5	65	2	Excellent	2.7
FRH 3-2		25.5	60	5	Excellent	3.4
FRH 3-3		23.0	50	14	Good	4.0

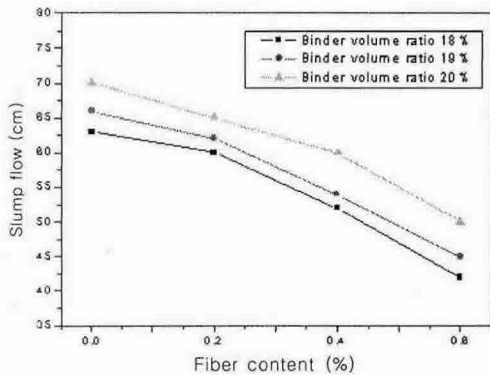


Fig. 3 Slump-flow versus fiber content

따라 급격히 저하하였다. Fig. 3은 섬유 혼입량에 따른 슬럼프-플로우의 변화를 나타낸 것으로 섬유를 혼입하지 않은 경우, 슬럼프-플로우가 분체비 18%에서는 63 cm, 분체비 19%에서는 66 cm, 분체비 20%에서는 70 cm로 나타났고, 섬유 혼입량이 0.2%인 경우 분체비 18%에서는 60 cm, 19%에서는 62 cm, 20%에서는 65 cm로 목표 슬럼프 플로우인 60±5 cm의 수준을 만족하였다. 또한, 분체비가 증가할수록 유동성은 증가하였으며, 섬유 혼입량이 증가할수록 슬럼프와 슬럼프-플로우의 급격한 저하를 나타냈는데, 이는 섬유 혼입량의 증가에 따른 섬유와 골재간의 마찰저항에 기인한 것으로 판단된다.<sup>7)</sup>

## 2. 충전성

### 가. Box형 충전성

섬유 혼입량과 분체비에 따른 Box형 충전성 시험결과는 Table 8과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 각 분체비에서 섬유 혼입량이 증가함에 따라 각각 6~27 cm, 4~18 cm, 2~14 cm로 나타났으며, 섬유 혼입량이 0.4% 이상에서는 콘크리트의 자중에 의한 자기 충전능력이 골재와 골재, 섬유와 골재, 섬유와 철근사이의 마찰저항에 의해 현저히 저하됨을 알 수 있었다.

한편, 섬유의 혼입량이 동일한 배합에서는 분체

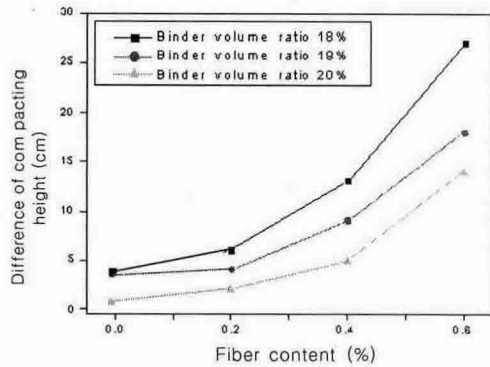


Fig. 4 Difference of compacting height versus fiber content

비가 증가할수록 충전능력이 현저히 증가하였으며, 분체비 18%에 비해 분체비 20%일 때 두 배 이상의 증가를 보였는데, 이는 콘크리트 체적에서 차지하는 분체량의 증가와 마찰저항을 일으키는 골재량의 상대적인 감소에 기인한 것이라 생각된다.<sup>4)</sup>

### 나. L형 충전성

Table 8에서 보는 바와 같이 L형 충전성 시험결과 섬유 혼입량이 0.2%일 때까지는 모든 분체비에서 Excellent(우수)로 평가되었고, 섬유 혼입량이 0.4%일 때는 분체비 18%와 19%에서는 Good(양호)으로 평가되었으며, 분체비 20%에서는 Excellent(우수)로 평가되었다. 또한, 분체비 20%의 섬유 혼입량 0.6%에서도 Good(양호)으로 평가되었는데, 이는 분체비가 증가할수록 콘크리트를 차지하는 굵은 골재의 부피가 상대적으로 적어지기 때문이라 판단된다. 그러나 섬유 혼입률 0.6%일 때 분체비 18%와 19%의 배합은 시료가 투입구를 빠져나가지 못하여 불량으로 평가되었다.

## 3. 공기량

공기량은 단위 시멘트량이 많을수록, 분말도가 높을수록, 콘크리트의 온도가 높을수록 감소하는 경향이 있으며, 각 분체비에 따른 섬유 혼입량 0%,

0.2%, 0.4%, 0.6%에 대한 공기량은 각각 2.9%, 3.2%, 4.0%, 5.1%와 2.7%, 3.0%, 3.8%, 4.7% 및 2.4%, 2.7%, 3.4%, 4.0%로서 섬유 혼입량이 증가할수록 공기량은 증가하였다.

또한, 섬유를 혼입하지 않은 분체비가 18%, 19%, 20%의 공기량은 2.9%, 2.7%, 2.4%로서 분체비의 증가에 따라 공기량이 감소하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 분체비가 증가함에 따라 전체 미립분이 증가하여 콘크리트를 치밀하게 한 결과라 판단된다.

#### IV. 결 론

이 연구는 산업부산물인 플라이 애시를 시멘트량의 20%를 치환하고, 분체비를 18%, 19%, 20%, 폴리프로필렌 섬유를 0%, 0.2%, 0.4%, 0.6% 혼입한 고유동 콘크리트의 유동 특성을 규명하였으며, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 슬럼프와 슬럼프-플로우는 섬유의 혼입량이 증가함에 따라 급격히 감소하는 경향을 보였으며, 분체비가 증가함에 따라 슬럼프와 슬럼프-플로우도 증가하였고, 각 분체비와 섬유 혼입량 0.2%에서 목표 슬럼프  $60 \pm 5$  cm를 만족하였다.

2. L형 충전성은 모든 분체비에서 섬유 혼입량 0.2%까지는 우수하게 나타났으나, 섬유 혼입량 0.6%에서 분체비 18%와 19%에서는 불량으로 나타났다, 분체비 20%에서는 양호로 나타났다.

3. Box형 충전성은 섬유의 혼입량이 증가함에 따라 박스를 통과한 시료와의 높이 차이가 증가하였고, 섬유 혼입량이 0.6%일 때 모든 배합에서 10 cm 이상의 높이 차이가 발생하여 요구성능을 만족하지 못하였으나, 분체비 20%일 때는 분체비 18%보다 충전 높이 차이가 2배 이상 감소하였다.

4. 공기량은 섬유 혼입량이 증가할수록 증가하였으며, 분체비가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다.

5. 폴리프로필렌 섬유를 0.2% 혼입할 경우, 각 분체비에서 유동성과 충전성이 우수하게 나타나 고유동 콘크리트 제조에 활용이 가능할 것으로 생각된다.

본 논문은 2002년도 농림기술개발사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부임.

#### References

1. Carino, N. J and J. R. Clifton., 1991, High performance concrete, *Concrete International*, 13(9) : 70-76.
2. Gopalaratnam, V. S and S. P. Shah., 1986, Properties of steel fiber reinforced concrete subject to impact loading, *Journal of the ACI*, 83(1) : 117-126.
3. Mobasher, B., H. Stang and S. P. Shah., 1990, Microcrack in fiber reinforced concrete, *Cement and Concrete Research*, 20 : 665-675
4. Okamura, H., 1995, Self-compacting high performance concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 7(5) : 33-41.
5. Sung. C. Y., S. H. Lee and C. S. Song., 2000, Experimental study on physical and mechanical properties of concrete with fly ash, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 42(5) : 107-113. (in Korean)
6. Sung. C. Y., S. H. Lee and C. S. Song., 2001, Physical and mechanical properties of Eco-concrete with polypropylene fiber, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 43(1) : 116-121. (in Korean)
7. Zain, M. F. M and K. M. Y. Safiuddin., 1999, A study on the properties of freshly mixed high performance concrete, *Cement and Concrete Research*, 29(9) : 1,427-1,432.