

## -shotcrete용 폴리프로필렌 섬유의 개발

하태욱<sup>1)\*</sup>, 양형식<sup>2)</sup>

### Development of Polypropylene Fiber for Shotcrete

Tae-Wook Ha and Hyung-Sik Yang

**Abstract** In this study, new polypropylene fiber was developed for shotcrete and concrete reinforcement, by treating the surface of the polypropylene by maleic anhydride grafted polypropylene(mPP). Dispersiveness of the fiber was tested. Mechanical properties of fiber reinforced shotcrete was tested.

**KeyWords** Fiber reinforced shotcrete, Polypropylene fiber, Dispersiveness

**초 록** 본 연구에서는 shotcrete 보강용으로 폴리프로필렌 섬유의 표면을 무수말레인산이 그래프트된 폴리프로필렌(mPP)으로 표면 개질 처리한 새로운 폴리프로필렌 섬유를 개발하고, 개발된 섬유의 분산성을 조사하였다. 이 보강섬유가 혼입된 shotcrete의 강도 특성을 조사하였다.

**핵심어** 섬유보강 shotcrete, 폴리프로필렌 섬유, 분산성

## 1. 서 론

현재 터널의 대부분은 NATM개념으로 시공되고 있다. NATM의 가장 큰 특징은 지보재로서 록볼트, shotcrete를 사용함으로써 지반의 이완을 억제하여 원지반의 지보능력을 최대한 활용한다는 점이다.

최근 shotcrete의 취성 보강을 위해 강섬유를 혼입하고 있다. 그러나 강섬유는 생산단가가 높고, 자체 비중이 높으며, 재질에 의한 장비 및 인적 손상 정도의 피해 사례가 발생하여, 강섬유와 비슷한 인장강도를 발휘하면서 단가가 저렴하고 화학적 안정성이 뛰어난 폴리프로필렌(PP)을 사용하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Malhotra et al., 1994, Lamontagne and Pigeon, 1994, Morgan, 1996, Nemkumar et al., 1999).

보강 섬유가 콘크리트 혼화 재료에 혼입되면 각 혼화 재료들의 물리적 작용과 물에 의한 화학적 반응에 따라 배합이 된다. 하지만 PP 자체의 비중이 낮고 강한 소수성을 띠고 있는 특성 때문에 혼화 재료 안에서 적절한 배합 분산이 이루어지지 않고 섬유끼리 뭉침 현상(fiber

ball)이 발생하므로, PP를 이용하여 보강을 하는 경우에는 특수한 투입장치를 사용해야 한다.

본 연구에서는 PP의 분산성 향상을 위하여 상용화제인 mPP(maleic anhydride grafted PP)를 섬유 표면에 흡착시켜 소수성을 친수성으로 개질하고, 이를 이용했을 때 혼화 재료 안에서의 분산정도를 파악하였다.

## 2. 친수화 실험

폴리프로필렌의 친수화 처리방법은 화학적 처리법, 화염 및 열처리법, 플라즈마 처리법, 광조사 처리법, 표면 grafting법, 코로나 방전 처리법, blending법 등이 있다. 이러한 방법 중 현재 가장 많이 사용되고 있는 방법들로는 화학적 처리법, 플라즈마 처리법, 표면 grafting법, blending법이다.

이러한 친수화 방법 중 가장 높은 친수화 효과를 보이는 방법은 플라즈마 처리법으로 고분자 표면에 비활성 기체에 의한 플라즈마 처리를 하여 고분자 표면이 극성을 띠게 함으로써 친수화를 높이는 방안이나 공정이 까다롭고 처리 비용이 고가이며, 다량의 친수화 처리가 힘든 단점이 있어 대량생산을 해야 하는 체계에는 매우 불합리한 방법이다. 또한 나머지 처리법들은 grafting법에 비해 친수화 효과가 떨어지며 섬유자체의 물성 변화를 초래하거나 배합 원료 및 배합비 규정이

<sup>1)</sup> 정회원, 전남대학교 대학원 박사과정

<sup>2)</sup> 정회원, 전남대학교 건설지구환경공학과 교수

\*교신저자(Corresponding Author): htw8646@basis.co.kr

접수일: 2004년 4월 26일

심사 완료일: 2004년 7월 20일

힘들다는 단점이 있다(이재원 외, 2000, Nariaki Murakami, 2001, 정재훈, 1997).

Grafting법은 친수화 물질을 용해시켜 표면에 coating을 시키는 방법으로 비교적 뛰어난 친수화 효과와 물성의 변화가 없으며 단시간에 다량 처리 가능하나 각 물질에 쉽게 접착될 수 있는 코팅제 개발의 어려움 등의 특징이 있다.

본 연구에서는 폴리프로필렌과 분자구조는 동일하면서 분자량이 적은 무수말레인산이 그래프트된 폴리프로필렌(Maleic anhydride grafted PP, mPP)를 이용하여 grafting법에 의한 친수화 처리방안을 사용하였다.

## 2.1 실험방법

PP 섬유는 현재 보강 숏크리트용으로 생산이 되고 있는 H사의 17 mm 단사형과 망사형 PP 섬유를 사용하였다. Table 1은 본 연구에 사용된 PP 섬유의 물성이다. PP의 친수화 개질에 사용된 mPP는 H석유화학에서 생산되고 있는 PH-200제품을 이용하였다.

mPP를 이용한 PP의 친수화 실험은 mPP 농도, 반응 섬유량, 반응시간을 실험변수로 설정하여 실험을 실시하였다. mPP 농도는 6, 8, 10%, 반응섬유량은 5, 10, 20g, 반응시간은 30, 60, 90분을 수준으로 설정하여 총 27회의 실험을 실시하였다.

먼저 mPP의 농도를 변화시키면서 증탕기를 이용하여 80℃를 유지하며 톨루엔을 용매로 1시간동안 신포반하여 mPP를 완전 용해시켰다. 그 후 섬유의 량을 달리 하며 mPP 용액에 침전, 각각 서로 다른 반응시간동안 침전시켰다. 그 후 70℃에서 24시간 동안 톨루엔을 완전 건조 후 증류수로 세척하면서 필터링을 하고, 다시 50℃ 상압에서 24시간 동안 수분을 완전 건조시킨 후 질량의 변화에 따른 mPP의 흡착율을 판단하였다.

## 2.2 실험 결과

기존의 연구 문헌에서는 PP에 mPP를 graft 중합을 시킨 결과, 2.5~2.8 wt%에서 기계적 물성 증가와 젖음성이 증가하는 결과를 나타냈다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구 결과를 기준으로 흡착율 2.5%를 기준으로 최적의 조건을 찾고자 하였다(문혁수, 1994).

Fig. 1은 각 반응시간에서의 mPP 농도에 따른 흡착율을, Fig. 2는 각 섬유량에서의 mPP 농도에 따른 흡착율을, Fig. 3은 각 mPP 농도에서 섬유량에 따른 흡착율을 나타낸 것이다. 실험 결과 흡착율 기준인 2.5%를 만족하면서 가장 경제적인 조건은 mPP 농도 8%에서 PP 10g을 60분간 침전 반응시킨 결과가 가장 적정임이 판명되었다.

Table 1. Properties of polypropylene fiber

Material	Homopolymer Polypropylene
Spicicpic Gravity	0.91
Tensile Strenght (kg/cm <sup>2</sup> )	about 2,600
Elastic Modulus (kgf/cm <sup>2</sup> )	about 3.5 × 10 <sup>4</sup>
Melting Point (°C)	about 162
Absorptivity	0

## 3. 강도평가

### 3.1 실험방법

친수화 표면 처리된 PP섬유가 콘크리트 모재 안에 혼입되었을 때 처리되지 않은 섬유가 혼입된 경우보다 분산성의 향상정도를 파악하기 위해 배합 실험을 실시하였다. 배합설계는 한국도로공사의 고속도로 터널설계 실무자료집을 기준으로 재령 28일 강도가 210kg/cm<sup>2</sup>을 설계강도로 하였다(한국도로공사, 1995). Table 2는 배합실험에 사용된 콘크리트 모재의 배합 설계표이다. 각각의 섬유가 교반 시간에 따라 분산되는 정도를 파악하기 위하여 교반 시간은 10, 20, 30분으로 선정하였다. 그 후 각 시간대별로 교반 중에 시료를 무작위 채취하여 교반 시의 분산도와 압축 물드를 통해 시편을 만듦으로써 섬유의 분산정도를 비교하였다. 섬유의 첨가량은 시방서에서 제시한 대로 900g/m<sup>3</sup>을 혼입하였다.

섬유의 분산정도가 강도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 압축강도 및 휨강도 실험을 실시하였다. 공시체 시편 제작은 전라남도 장성군에 위치한 H건설회사의 고속도로 터널 현장에서 배치플랜트를 이용하여 각 실험별로 1m<sup>3</sup>분의 콘크리트를 배합하였고 KS F 2403 “콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법” 규정을 준수하여 압축강도 시편을 제작하였으며, 휨강도 시편은 숏크리트 타설기를 이용하여 제작하였다. Table 3은 시편 제작에 이용된 시방배합설계표이다. 폴리프로필렌 섬유는 시방서에서 권고한 대로 1m<sup>3</sup>당 900g을 혼입하였다. 시편은 Ø15×30cm 압축강도용 공시체 몰드와 15×15×55cm의 휨강도용 공시체 몰드를 이용하여 제작하였다. 실험은 총 6 가지로 섬유를 혼입하지 않는 경우(1-1)와 번들형 강섬유가 혼입된 경우(1-2), 표면 개질 처리되지 않은 단사형(1-3)과 망사형이 혼입된 경우(1-4), 표면 개질 처리된 단사형(1-5)과 망사형을 혼입한 경우(1-6)로 총 6 단계로 실시하였으며 각각 5 개의 시편을 제작하여 최대값 및 최소값을 제외한 나머지 3

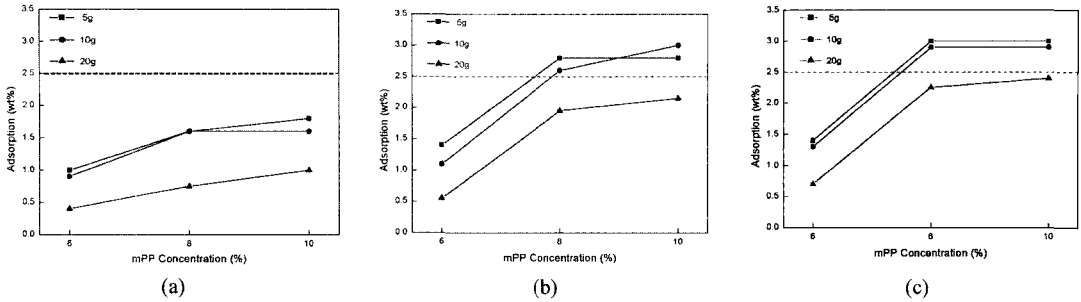


Fig. 1. Variation of adsorption ratio according to the amount of fiber vs mPP concentration at each reaction time. (a) is in 30 minutes, (b) is in 60 minutes and (c) is in 90 minutes

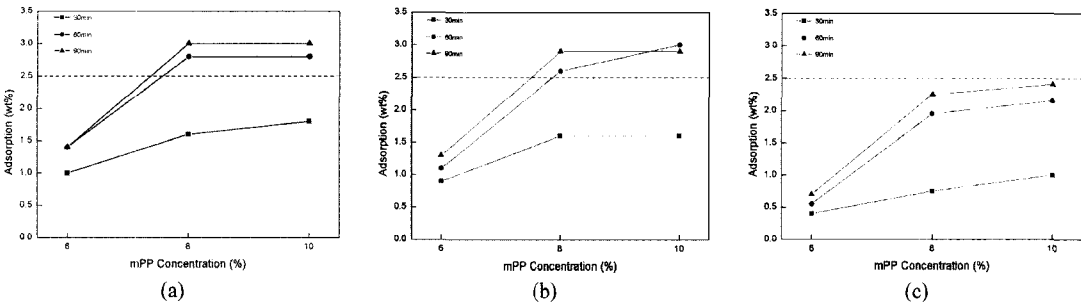


Fig. 2. Variation of adsorption ratio according to the reaction time vs mPP concentration at each amount. (a) is in 5g , (b) is in 10g and (c) is in 20g

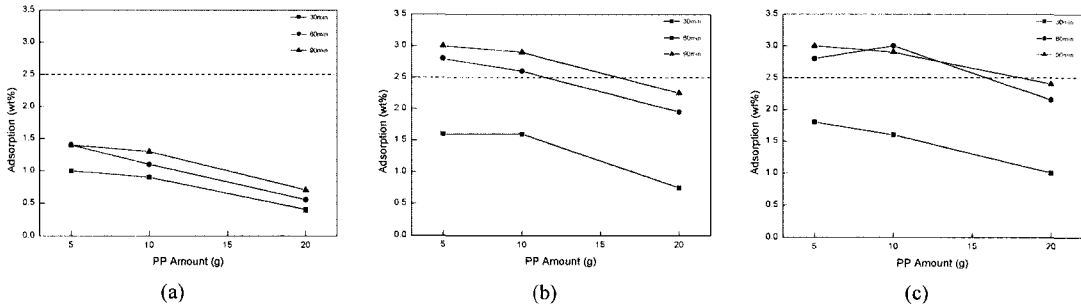


Fig. 3. Variation of adsorption ratio according to reaction time vs fiber amount at each mpp concentration. (a) is in 6 wt%, (b) is 8 wt% and (c) is 10 wt%

Table 2. Specified mix table (target strength 210kgf/cm<sup>2</sup>) for mixing test in laboratory

Unit Quantity of Cement (C, kg)	450
Water-Cement ratio (W/C, %)	45
Unit Quantity of Water (W, kg)	202.2
Sand Percentage (S/a, %)	60
Unit Quantity of Fine Aggregate (S, kg)	1059.8
Unit Quantity of Course Aggregate (G, kg)	706.5
Unit Quantity of Water Reduction Agent (kg)	4.5

개의 실험 결과로 압축강도 및 휨 강도를 평가하였다. 압축강도 실험은 KS F 2405 “콘크리트의 압축 강도 시험 방법” 규정을, 휨 강도 실험은 KS F 2408 “콘크리트의 휨 강도 시험 방법”을 준수하여 실시하였다.

### 3.2 실험결과

mPP 표면처리 실험 결과의 최적조건으로 처리된 PP 섬유를 콘크리트 모재 안에 혼입하여 분산도를 평가한 결과 교반 시간이 10분이 지나면 처리하지 않은 섬유와 처리한 섬유의 모재 안에서의 분산 양상이 크게 차이가

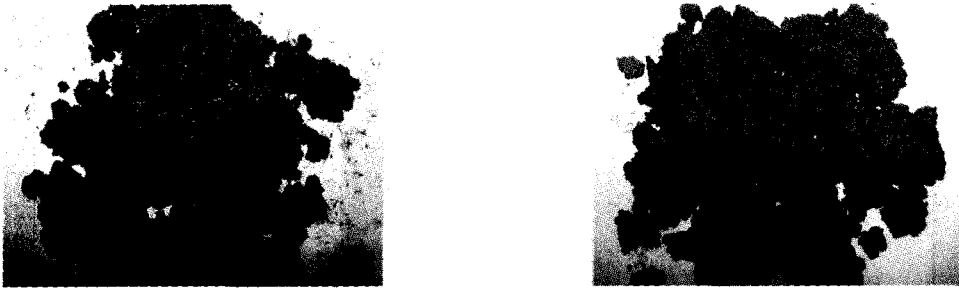


Fig. 4. Picture of mortar after mixing about 30 minutes (Monofilament type). Left one include fibers before being treated hydrophilic process and right one include fibers after process

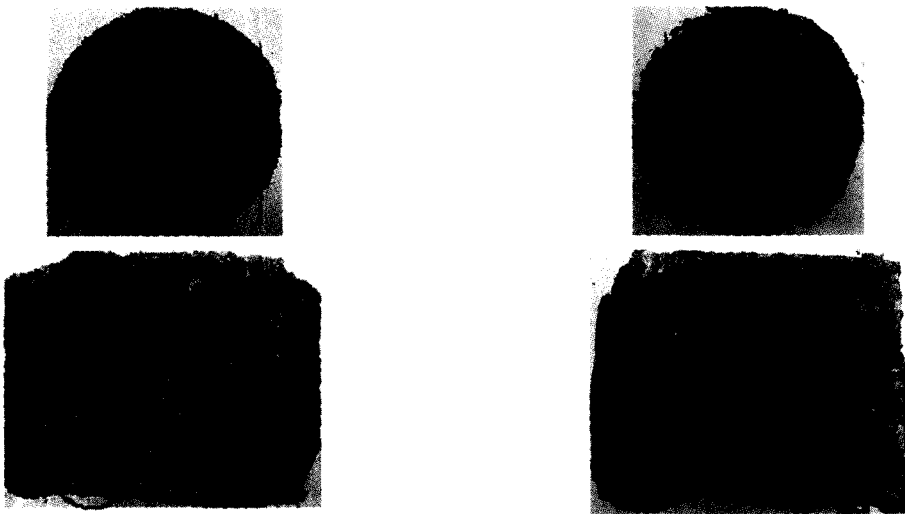


Fig. 5. Picture of specimen after mix about 10 minutes (Monofilament type)

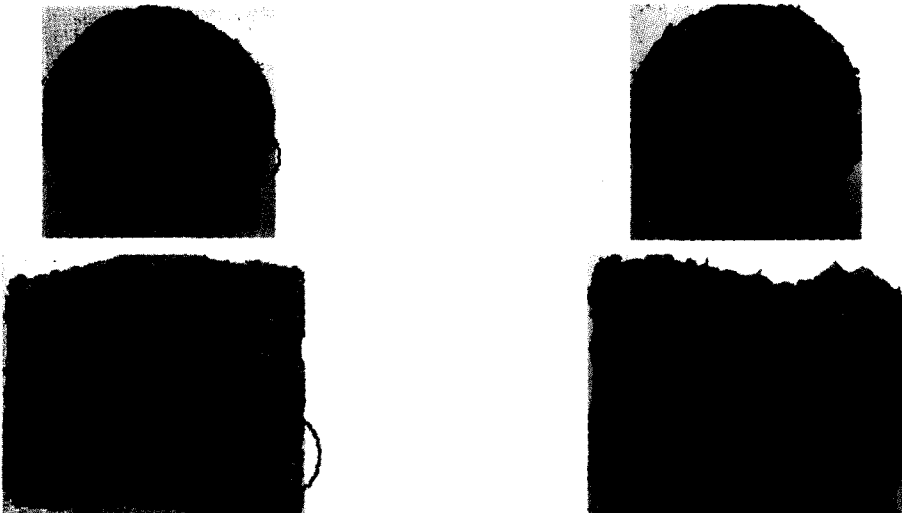


Fig. 6. Picture of specimen after mix about 30 minutes (Monofilament type)

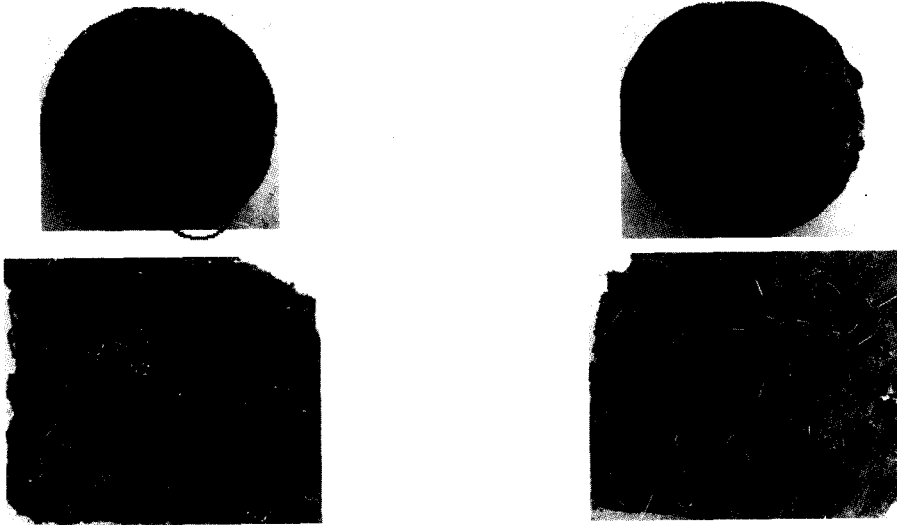


Fig. 7. Picture of specimen after mix about 30 minutes (Fibermesh type)

Table 3. Specified mix table for batch test

Design Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	45
Max Size (mm)	13
Slump (cm)	12
Air (%)	1.5
W/C (%)	44.0
S/A (%)	68
W (kg/m <sup>3</sup> )	206
C (kg/m <sup>3</sup> )	468
S (kg/m <sup>3</sup> )	1103
G (kg/m <sup>3</sup> )	538
Steel Fiber (kg/m <sup>3</sup> )	45
Water Reduction Agent (kg/m <sup>3</sup> )	2.34

났다. Fig. 4부터 Fig. 7까지는 처리하지 않은 섬유와 처리한 섬유를 혼입하였을 경우 모재 안에서 분산되는 차이를 나타내었다.

Fig. 4는 단사형 섬유를 혼입하였을 경우 교반 30분이 지난 후 모재 안에서의 섬유의 분산정도를 나타낸 그림이다. 왼쪽의 처리하지 않은 섬유를 혼입한 경우는 표시한 영역에서 섬유의 뭉침 현상이 발견되었으며, 우측의 처리한 섬유가 혼입된 경우에 비해 섬유의 혼재가 되지 않는 영역이 나타나기도 하였다.

Fig. 5는 단사형 섬유를 혼입하여 10분간 교반한 후 제작한 시편의 횡단면과 종단면을 나타낸 그림이다. 교반 시간 10분이 지나면 섬유의 분산의 양호함정도가 뚜렷이 구분이 가능하였다. 좌측의 처리되지 않은 섬유가 혼입된 경우는 표시한 부분에서 섬유의 부분적 뭉침 현상이 발견되었으며, 종단면의 좌상부는 섬유의 혼재가 되지 않는 영역이 나타났다. Fig. 6은 단사형 섬유를 혼입하고 30분간 교반 후 제작한 시편의 사진이다. 교반 시간 30분이 지나도 처리하지 않은 섬유를 혼입한 경우에는 우측의 처리된 섬유가 혼입된 시편에 비해 섬유의 뭉침 현상이 다소 발견됨을 알 수 있다. 이는 Fig. 7의

Table 4. Result of flexural strength by reinforced fiber

No.	Fiber Type	Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Increment than no fiber (%)	Increment than steel fiber (%)	Increment than each type (%)
1-1	No fiber	30.3	-	-	-
1-2	Steel fiber	31.4	3.7	-	-
1-3	Monofilament type (No process)	30.2	-0.1	-3.8	-
1-4	Fibermesh type (No process)	27.6	-9.0	-12.2	-
1-5	Monofilament type (process)	32.6	7.8	3.9	8.0
1-6	Fibermesh type (process)	35.3	16.8	12.5	28.2

Table 5. Result of unconfined compression strength by reinforced fiber

No.	Fiber Type	Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Increment than no fiber (%)	Increment than steel fiber (%)	Increment than each type (%)
1-1	No fiber	220	-	-	-
1-2	Steel fiber	238	8.3	-	-
1-3	Monofilament type (No process)	229	4.2	-3.8	-
1-4	Fibermesh type (No process)	221	0.9	-6.8	-
1-5	Monofilament type (process)	241	9.8	1.4	5.4
1-6	Fibermesh type (process)	259	18.0	8.9	16.9

망사형 섬유가 혼입된 경우에도 마찬가지로의 현상이 발견되었다.

이를 통해서 친수화 표면 개질 처리가 된 폴리프로필렌은 처리되지 않은 섬유에 비해 상대적으로 수분이 많은 콘크리트 모재 안에서 양호한 분산을 이뤄짐을 알 수 있었다.

재령 7일 강도를 통해 섬유의 분산도 향상이 모재의 강도 증가에 미치는 영향을 살펴보고자 일축압축 실험 및 휨강도 실험을 실시한 결과 처리한 섬유를 혼입한 시편의 강도는 처리하지 않은 섬유 결과보다 높은 결과를 나타내었으며, 강섬유에 비해서도 약간의 증가폭을 나타내었다.

Table 4는 각 실험별 평균 압축강도와 강도 증가폭을 나타낸 것이다. 압축강도의 경우에 있어서 표면 처리가 된 폴리프로필렌 섬유의 경우는 섬유를 혼입하지 않은 경우에 비해 단사 및 망사형 각각 9.8%, 18.0%의 강도 증가를 나타내었으며, 강섬유 혼입에 비해 각각 1.4, 8.9%의 강도 증가를 나타내었다. 또한 처리되지 않은 경우에 비해 각각 5.4, 16.9%로 분산도가 향상된 폴리프로필렌섬유의 경우 고른 분산으로 인한 압축강도의 증가 폭이 향상된 것이라 사료된다.

또한 재령 7일 휨 강도에 있어서도 압축강도와 유사한 경향을 나타내었다.

Table 5는 각 실험별 평균 휨강도와 강도 증가폭을 나타낸 표로서, 표면개질 처리된 폴리프로필렌 섬유의 휨강도가 무근 시료에 비해 각각 7.8, 16.7%, 강섬유가 혼입된 경우에 비해 각각 3.9, 12.5%, 동일 종류의 처리되지 않은 섬유들에 비해 각각 8.0, 28.2%의 강도 증가폭을 가져옴을 볼 수 있다. 이로써 표면 개질 처리된 섬유는 양호한 분산을 유발하여 비교적 높은 강도를 발현함을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 강한 소수성을 가진 폴리프로필렌을

친수화 처리하여 수분 내에서 쉽게 분산이 이루어질 수 있도록 하기 위하여 mPP를 표면 흡착시켜 숏크리트 보강섬유로 사용하였다. 이러한 연구를 통해 알 수 있는 결과는 다음과 같다.

- 1) 표면에너지의 증가와 기계적 물성을 증가시키는 mPP의 흡착농도 2.5~2.8 wt%를 만족하는 반응조건은 mPP 농도 8%, 반응 PP 섬유량 10 g, 반응시간은 60분이었다.
- 2) 최적의 조건으로 처리한 섬유를 콘크리트 모재 내에 혼입한 결과 단사형과 망사형 모두 교반 10분이 지나면 표면 처리한 섬유가 처리하지 않은 섬유에 비해 뭉침 현상이 현저하게 감소하여 양호한 분산이 이뤄지고 있음을 알 수 있었다.
- 3) 재령 7일의 압축 강도와 휨 강도를 통해 표면 개질 처리된 폴리프로필렌 섬유의 강도 증가 경향을 평가한 결과, 표면 개질 처리된 섬유는 양호한 분산을 유발하여 비교적 높은 강도를 발현하였다. 압축강도는 친수화 처리 전에 비해 최대 16.9%, 휨강도는 28.2% 증가함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 문혁수, 1994, 무수말레인산이 그래프트된 폴리프로필렌이 폴리프로필렌/나ylon 블렌드의 미세구조에 미치는 영향, 한국과학기술원 석사학위 논문.
2. 한국도로공사, 1995, 고속도로 터널설계 실무자료집, 한국도로공사, 218-227.
3. 정재훈, 손태원, 임상규, 문병화, 김삼수, 1997, 폴리프로필렌의 친수화 개질(I)-후염성 PP-PHE Blend Fiber, 한국 섬유공학회지, 34.1, 16-21.
4. 이재원 외, 2000, 고분자합성과 물리화학, 녹문당, 348-379.
5. Lamontagne, A., and M. Pigeon, 1994, The influence of polypropylene fiber and Aggregate grading on the dry-mix shotcrete, cement and concrete Research, 25.2, 293-298.
6. Malhotra, V. M., G. G. Carrete and A. Bilodeau, 1994, mechanical properties and durability of polypropylene

- fiber reinforced high-volume fly ash concrete for shotcrete applications, *ACI Materials Journal*, 5.91, 478-486.
7. Morgan, D. R., 1996. Freeze thaw durability of steel and polypropylene reinforced shotcretes : A Review (SP-126) American Concrete Institute, 11.13.
  8. Nemkumar, B., P. Gupta, C. Yan and D. R. Morgan, 1999, How tough is fiber reinforced shotcrete? Part 1. Beam Test, *Concrete International*, 21.6
  9. Nemkumar, B., P. Gupta, C. Yan and D. R. Morgan, 1999, How tough is fiber reinforced shotcrete? Part 2. Plate Test, *Concrete International*, 21.8.
  10. Nariaki Murakami, Katsutoshi Tanaka, Satoshi Sugimoto, Masato Kiuchi, Seiichi Goto, 2001, Analysis of hydrophile process of a polymer surface with an inverter plasma, *Surface and Coating Technology*, Vol. 136, 265-268.

---

### 하 태 옥

2000년 전남대학교 학사  
2002년 전남대학교 석사



Tel: 02-571-8718  
E-mail: htw8646@basis.co.kr  
현재 전남대학교 대학원 박사과정,  
(주)베이스소프트 대리

---

### 양 형 식

1979년 서울대학교 자원공학과 학사  
1981년 서울대학교 자원공학과 석사  
1981년 서울대학교 자원공학과 박사



Tel: 062-530-1724  
E-mail: hsyang@jnu.ac.kr  
현재 전남대학교 건설지구환경공학부  
교수

---