

# 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트의 건조수축특성

## Shrinkage Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete

이 주 형\*                      윤 경 구\*\*                      안 태 송\*\*\*                      박 제 선\*\*\*\*  
Lee, Joo-Hyung                      Yun, Kyong Ku                      Ahn, Tae-Song                      Park, Je-Seon

### ABSTRACT

Tensile behavior of polypropylene fiber reinforced concrete due to restrained shrinkage has been investigated experimentally by ring and beam tests. Parameters include types of concrete, water-cement ratio, volume fraction of fiber and steel ratio.

Results show that little influence of the addition of polypropylene ( $V_f=0.1\%$ ) has been observed as expected and results from other researches.

### 1. 서론

콘크리트의 건조수축은 많은 변수들에 의해 영향을 받는데, 특히, 사용재료의 특성, 주위환경의 상대습도와 온도, 구조물의 크기, 재령 등에 많은 영향을 받는다. 콘크리트의 건조수축으로 인해 내적 또는 외적 구속에 의한 인장응력이 발생하고, 이것이 인장강도를 상회하면 콘크리트에 균열이 발생하게 된다. 건조수축 균열은 콘크리트 벽체, 슬래브, 포장 등 표면적이 큰 구조물에서 수분의 빠른 유출로 발생하는 경우가 많다. 콘크리트 건조수축균열의 발생을 억제시키기 위한 여러 방법이 시도되고 있다.

최근에는 콘크리트에 간편하게 섬유를 불규칙하게 혼입하여, 이들에 의한 연결작용(bridging effect)에 의해 건조수축에 대한 저항성을 증대시키는 방법이 보편화 되고있다. 폴리프로필렌 합성섬유는 경제성을 유지하면서도 손쉽게 사용할 수 있으며, 그 사용효과도 우수하여 콘크리트의 건조수축을 감소시키기 위해서 많이 사용되고 있다(Sarigaphuti, shah, and Vinson, 1993). 구속으로 인한 콘크리트 건조수축을 타당한 시험방법으로 균열과 변형에 대한 저항특성을 저절하게 평가하는 것이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트의 구속 건조특성을 고찰하고 평가하기 위하여, 콘크리트종류, 섬유보강 여부, 물-시멘트비, 구속여부를 주요 실험변수로 하여 건조수축실험과 강도실험을 수행하여 분석하였다. 구속된 건조수축특성은 링 테스트방법과 1축 구속실험을 수행하여 분석하였다.

\* 정희원, 강원대학교 토목공학과 박사과정

\*\* 정희원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

\*\*\* 정희원, 한국도로공사 도로연구소 수석연구원

\*\*\*\* 정희원, 강원대학교 토목공학과 교수

## 2. 실험

### 2.1 콘크리트 배합

#### (1) 사용재료

본 연구에서 사용된 폴리프로필렌 섬유는 덴마크산 J사의 12mm 단사형(Mono-Filament) 섬유를 사용하였으며, 물리적 특성은 Table 1과 같다. 1종 시멘트는 국내 H사 제품의 OPC 사용하였고, 초속경 시멘트는 T사 제품의 초속경 시멘트(RSC : rapid set cement)를 사용하였다. 1종 시멘트와 초속경 시멘트의 물리적 특성은 Table 2와 같다. 골재는 최대치수 25mm인 레미콘용 쇄석(비중 2.65, FM 7.00) 과 강모래(비중 2.61, FM 2.52)를 사용하였다. 또한 비중  $1.025 \pm 0.0005$ 의 국내 S사 빈출레진계 AE제를 시멘트 단위중량에 일정비율 첨가하여 작업성을 확보하였다.

Table 1. Physical Properties of Polypropylene Fibers

|                       | Mono-Filament fiber      |
|-----------------------|--------------------------|
| Fiber length          | 12 mm                    |
| Density               | 0.91 g/cm <sup>3</sup>   |
| Elastic modulus       | 50973 kg/cm <sup>2</sup> |
| Ultimate stress       | 4570 kg/cm <sup>2</sup>  |
| Ultimate strain       | 18 %                     |
| Specific surface area | 255 m <sup>2</sup> /kg   |

Table 2. Properties of OPC and RSC

| Type | Chemical Composition(%) |                                |                                |      |     |                 |         | Blaine (cm <sup>2</sup> /g) | Specific Gravity |
|------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|-----------------|---------|-----------------------------|------------------|
|      | SiO <sub>2</sub>        | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO | SO <sub>3</sub> | Ig.loss |                             |                  |
| OPC  | 20.8                    | 6.3                            | 3.2                            | 61.2 | 3.3 | 2.3             | 1.56    | 3,200                       | 3.12             |
| RSC  | 15.4                    | 9.1                            | 2.1                            | 58.9 | 0.6 | 9.5             | 2.2     | 5,000                       | 3.02             |

#### (2) 콘크리트 배합

콘크리트의 건조수축특성을 평가하기 위해 세 종류의 콘크리트 (OPC, RSC, OPC+CaCl<sub>2</sub>), 두 수준의 물-시멘트비(35%, 45%), 구속여부(철근량 : 0%, 1.5%)와 섬유혼입율(0%, 0.1%)을 주요실험변수로 하여 콘크리트 배합을 하였다. 각 경우의 콘크리트에 있어서 공기량을 3~5%의 수준이 되게 하여 콘크리트의 내구성을 고려하였다.

Table 3. Concrete Mix Proportion of Test Series

| Cement                          | PP Content(%) | W/C(%) | Steel Ratio (%) | Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      |
|---------------------------------|---------------|--------|-----------------|---------------------------------|-----|-----|------|
|                                 |               |        |                 | W                               | C   | S   | G    |
| OPC, RSC, OPC+CaCl <sub>2</sub> | 0, 0.1        | 35, 45 | 0, 1.5          | 140                             | 400 | 621 | 1209 |

### 2.2 실험방법

콘크리트의 강도발현특성 검토를 위해 압축강도 실험을 수행하였으며, 1축 구속된 건조수축특성을 고찰하기 위해 안태송(1995)에 의해 제안되고 타당성이 검증된 무근콘크리트와 철근콘크리트 실험부재(150x305x1270mm)를 제작하였다. 구속용 철근은 공칭직경 16mm의 이형철근을 사용하였다. 시험체는 건조환경 즉, 온도 23℃±2℃, 상대습도 35%±2%에 노출하여 적절한 간격으로 건조수축량을 측정하였으며 재령 80일에서 종료하였다. 링 시험체에 의한 구속 건조수축실험을 위해 고정강판 위에 내부강관으로 구속시킨 후 콘크리트를 타설 하여 시편을 만들었다. 건조상태는 오직 원주표면의 주변을 둘러싸는 것만으로 모호화하여 외부표면으로부터의 일정한 건조수축을 유도하였다. 이때, 시험편의 폭(140mm)은 시편의 두께(35mm)의 4배에 해당한다.

## 3. 결과분석 및 고찰

### 3.1 콘크리트 강도발현 특성

콘크리트의 강도발현 특성을 고찰하기 위해 재령에 따른 압축강도 변화를 Fig. 2와 3에 나타내었다. 그림에서와 같이 초속경 콘크리트는 이미 재령 6시간에서 보통 콘크리트의 약 3일 강도에 해당하는 강도를 발현하고 있어 도로보수와 같이 긴급을 요하는 공사에 적절한 보수재료임을 확인하였다. 염

화갈슘을 혼입한 콘크리트의 경우 시멘트 매트릭스의 경화를 촉진시키며 만족할만한 결과를 나타냈으나 구조물에서 철근의 부식을 유발시킬 수 있으므로 특수한 목적으로 사용할 경우 세심한 주의가 필요하다.

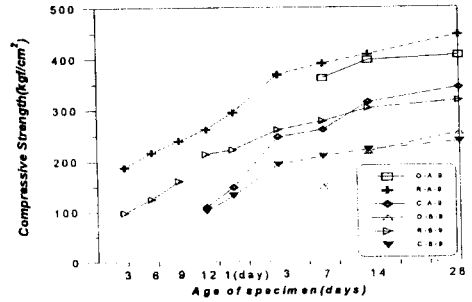
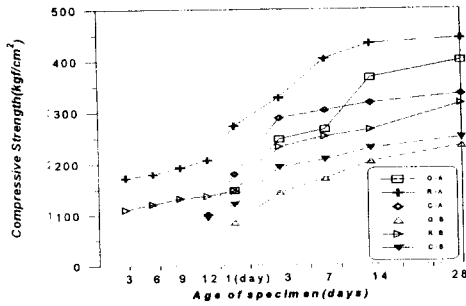


Figure 1. Compressive Strength by Age ( $V_f=0.0\%$ ) Figure 2. Compressive Strength by Age ( $V_f=0.1\%$ )

### 3.2 링시험체의 구속된 건조수축 특성

Fig. 3과 4에 섬유혼입으로 인한 균열특성의 결과를 나타내었다. 콘크리트에 보강된 섬유는 수분 증사로 생기는 수분이동에서의 구속효과를 가지며 건조수축으로 인하여 발생하게 되는 수축응력에 저항하여 균열의 발생을 억제할 수 있게된다. 콘크리트 링안에서 섬유는 콘크리트에 존재하는 자유수의 이동경로를 차단하는 내부구속의 역할과 함께 구속시 건조수축으로 인하여 유발되는 수축응력을 감소시키는 기능을 갖는 것으로 판단된다. 섬유보강 콘크리트링의 경우 다수균열을 형성하는 경향을 띄고 있는데, 이러한 다수균열의 형성은 최대 균열폭을 감소시키며 콘크리트의 투수성과 내구성에 유리한 효과를 기대할 수 있다.

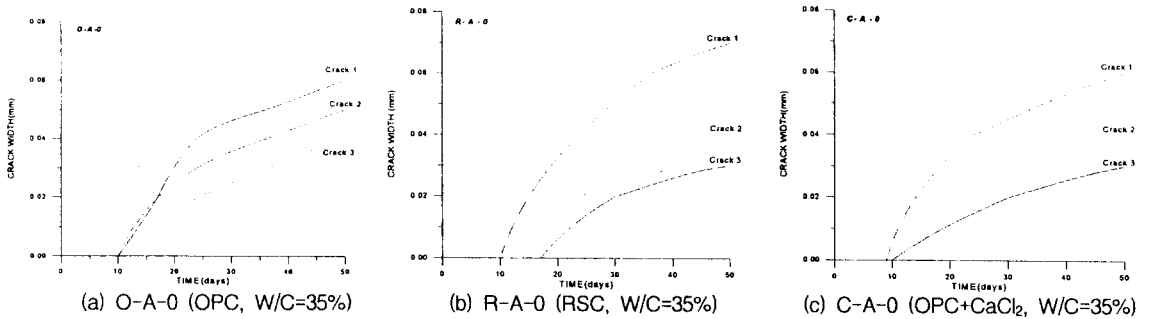


Figure 3. Crack-width Development by Ring Constraint for Plain Concrete

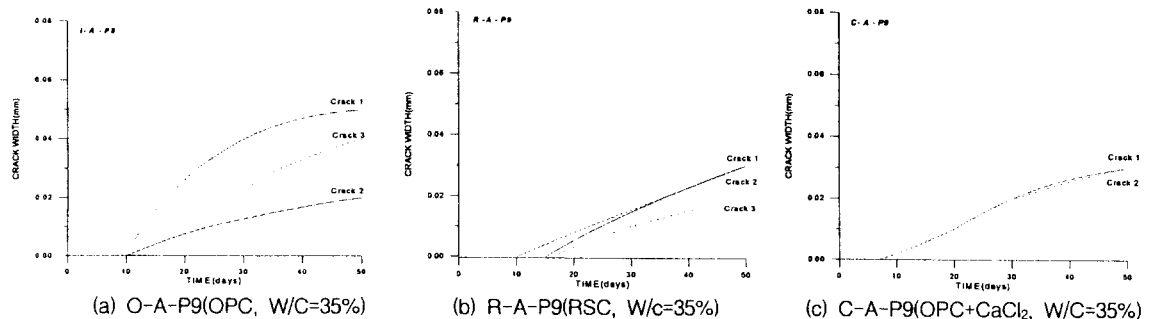


Figure 4. Crack-width Development by Ring constraint for Polypropylene FRC with 0.1%

### 3.3 보시험체의 1축 구속된 건조수축 특성

#### (1) 섬유혼입에 따른 건조수축

섬유의 혼입에 따른 구속건조수축의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 콘크리트에서 자유건조수축 특성은 섬유를 첨가하여도 크게 변화하지는 않았다. 그러나 섬유콘크리트가 온도, 양생방법, 습도조건에 의해 더욱 크게 유발 될 수 있는 건조수축에 의한 인장응력에 대해 저항효과를 증대시켜 균열제어에 따른 수축에는 큰 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

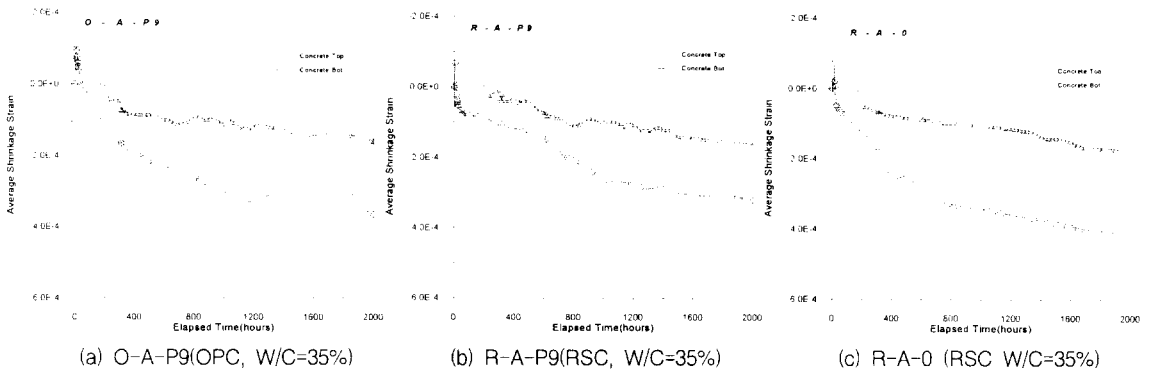


Figure 5. Shrinkage Properties for Polypropylene FRC with 0.1%

#### (2) 구속에 따른 건조수축

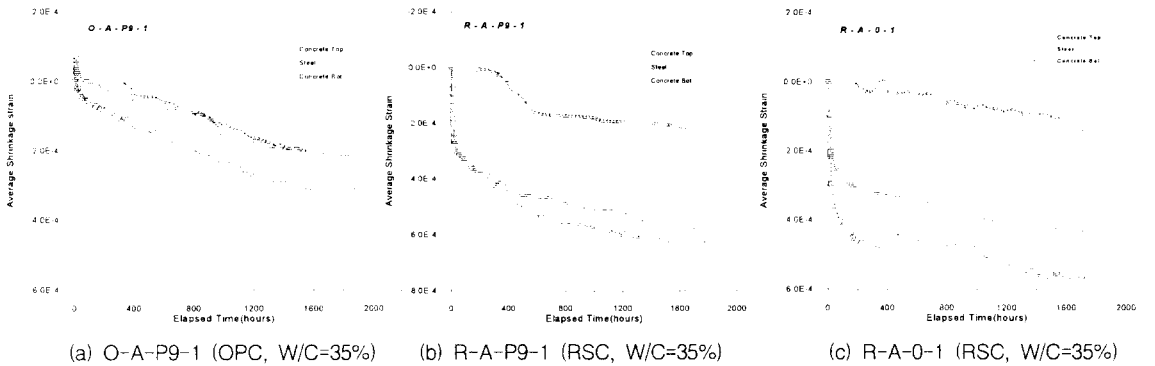


Figure 6. Restrained Shrinkage Properties for Polypropylene FRC with 0.1%

### 4. 결론

본 연구에서는 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트의 건조수축특성을 파악하기 위해 실험하고 분석하였다. 그 결과 섬유보강 콘크리트에서 섬유의 구속효과는 일반콘크리트의 건조수축과는 다르게 섬유의 내부구속효과와 연결작용으로 인해 인장응력에 대한 저항효과가 유발되어 콘크리트의 건조수축 저항성을 증진시키는 것으로 판단된다. 이러한 경향은 초속경 콘크리트에서도 뚜렷하였다.

#### 참고문헌

- 1) Ahn, T. S., "Tension Stiffening in Reinforced Concrete Membranes", University of Missouri-columbia, 1995
- 2) Kaal, P. P., "A Proposed Test to Determine the Cracking Potential due to Drying Shrinkage of Concrete", Concrete Construction, pp.775-778, 1985.