

합성섬유보강 콘크리트의 내구특성

Durability of concrete Reinforced by Polypropylene Fibers

박 제 선* 정 영 화* 윤 경 구** 이 주 형***
Park, Je-Sun Jung, Young-Hwa Yun, Kyong Ku Lee, Joo-Hyung

ABSTRACT

Pavement concrete subjected to severe environmental condition may be vulnerable to frost attack practically where de-icing chemicals are used. This study focused on the investigation of durability characteristics of pavement concrete incorporating polypropylene fibers and application feasibility of these into the pavements of local roads and highway. A series of laboratory tests were performed with main experimental variable such as fiber types, fiber contents and type of concrete mix.

The test of compressive strength was executed as primary tests, before the durability tests such as a scaling resistance were performed. De-icing salt resistance test was progressed by recycling freeze and thaw in the presence of a 4% calcium chloride solution. The deteriorated surfaces were rated by visual inspection and the loss weight were measured at every 5 cycles.

1. 서 론

콘크리트 포장에 있어서 이상적인 요구사항은 원래의 성능을 다하면서 목표 사용기간 동안 그 기능을 유지하는 것이다. 그러나 가설되는 순간부터 특수한 물리적, 화학적인 환경조건에 노출된다. 이러한 환경조건은 콘크리트에 직접 또는 간접적인 영향을 주게 되어 포장체는 손상 즉, 콘크리트의 성능저하를 일으키게 된다. 콘크리트의 내구성을 향상시키고 취성을 보완하여, 연성을 확보하고자 현재 국내·외에서는 폴리프로필렌 섬유(Polypropylene fiber)를 사용하고 있다. 또한 폴리프로필렌 섬유는 화학적인 안정성과 내구성이 우수하며 건조수축 균열을 억제시킨다는 장점을 가지고 있어 그 사용추세가 증가하고 있는 실정이다.⁽³⁾

* 정희원, 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 정희원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원, 공학박사

*** 정희원, 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

따라서, 본 연구에서는 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트를 대상으로 폴리프로필렌 섬유의 혼입율 변화에 따라 내구특성 중에서 포장콘크리트에 영향을 가장 크게 미칠 것으로 판단되는 박리저항성을 분석하여 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트의 내구특성을 검토하였다.

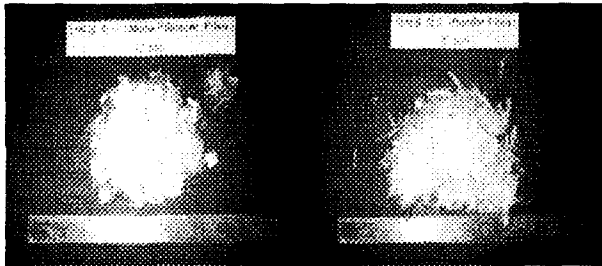
2. 실험

2.1 콘크리트 배합

(1) 사용재료

본 연구에서 사용된 폴리프로필렌 섬유는 국내에서 생산하고 있어 구입이 쉬운 S사의 25mm 망사형(Bundle) 섬유와 덴마크산 J사의 12mm 단사형(Mono-Filament) 섬유를 사용하였으며, 이들 섬유의 물리적 특성은 Table 1과 같다. 망사형 섬유는 콘크리트 속에 넣게 되면 한 개의 섬유가 그물 모양으로 배양되며 권장량(900g/m³)을 혼입하였을 경우 600만개/m³의 섬유가 분포하게 된다.

이 실험에서는 국내 H사 제품으로 비중이 3.12인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 굵은골재는 최대치수 25mm, 32mm인 레미콘용 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 천연 강모래를 사용하였다. 골재의 입도분포는 표준입도곡선 내에 있는 것으로 나타났으며, 국내 S사 제품인 빈줄레진계 AE제를 사용하였다.



(Mono-Filament Fiber) (Bundle Fiber)

Fig. 1 The Structure of Bundle Fiber and Mono-Filament Fiber

Table 1. Physical Properties of Polypropylene Fibers

| | Bundle fiber | Mono-Filament fiber |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Fiber length | 25 mm | 12 mm |
| Density | 0.92 g/cm ³ | 0.91 g/cm ³ |
| Elastic modulus | 46000 kg/cm ² | 50973 kg/cm ² |
| Ultimate stress | 5117 kg/cm ² | 4570 kg/cm ² |
| Ultimate strain | 16.5 % | 18 % |
| Specific surface area | 24 m ² /kg | 255 m ² /kg |

(2) 콘크리트 배합

합성섬유를 혼입한 포장용 콘크리트의 박리 저항특성을 파악하기 위해 본 연구에서는 폴리프로필렌 섬유의 혼입율을 단사형 섬유인 경우는 0.056, 0.075, 0.10%로 혼입하였으며, 망사형 섬유인 경우는 0.075, 0.10, 0.15%로 혼입하였다. 본 연구에서 사용한 배합표는 Table 2와 같다. 각 요인별로 $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 5개 제작하여 28일 압축강도를, $200 \times 250 \times 100$ mm의 직사각형 공시체를 2개씩 제작하여 재령 28일에 박리저항성시험을 실시하였다.

2.2 실험방법

압축강도시험은 재령 28일에 KS F 2405에 따라 실시하였으며, 박리에 대한 저항 시험은 ASTM C 672에 따라 14일 동안 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 수증양생을 시킨후 다시 같은 온도에서 45~55%의 상대습도

의 항온 항습기에서 14일간 양생을 실시하였다. 동결-융해 반복은 $-17 \pm 1.7^\circ\text{C}$ 에서 16~18시간 동안 동결을 시킨 다음 $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ 와 상대습도 45~55%에서 6~8시간 동안 유지하여 융해시키는 것을 1사이클로 하여 총 50사이클 동안 수행하였다. 매 5사이클마다 무게변화를 측정하였고, ASTM 규정에 따라 Table 3의 등급으로 표면박리 정도를 관찰하였으며, 새로운 염화칼슘 용액으로 교체를 하여 용액의 농도를 일정하게 유지하였다.

Table 2. Concrete Mix Designs

| Concrete Type & G_{max} | Fiber Type | Fiber Content (%) | Test Series | Air Content (measurement %) | W/C (%) | Unit Quantity(kg/m ³) | | | |
|-----------------------------|------------|-------------------|-------------|-----------------------------|---------|-----------------------------------|-----------|-------------|--------|
| | | | | | | Cement | Fine Agg. | Coarse Agg. | AE (g) |
| Highway 32 mm | Control | --- | HN-0 | 3.5 | 45 | 336 | 678 | 1162 | 67.2 |
| | | 0.075 | HB-0.075 | 5 | 45 | 336 | 678 | 1162 | 67.2 |
| | | 0.10 | HB-0.10 | 4.8 | 45 | 336 | 678 | 1162 | 67.2 |
| | Bundle | 0.15 | HB-0.15 | 5.5 | 45 | 336 | 678 | 1162 | 67.2 |
| | | 0.056 | HM-0.056 | 5.4 | 45 | 336 | 678 | 1162 | 67.2 |
| | | 0.075 | HM-0.075 | 5.2 | 45 | 336 | 678 | 1162 | 67.2 |
| Local Road 25mm | Control | --- | LN-0 | 5.1 | 53 | 302 | 697 | 1155 | 60.4 |
| | | 0.075 | LB-0.075 | 5.6 | 53 | 302 | 697 | 1155 | 60.4 |
| | | 0.10 | LB-0.10 | 6 | 53 | 302 | 697 | 1155 | 60.4 |
| | Bundle | 0.15 | LB-0.15 | 5.6 | 53 | 302 | 697 | 1155 | 60.4 |
| | | 0.056 | LM-0.056 | 6.6 | 53 | 302 | 697 | 1155 | 60.4 |
| | | 0.075 | LM-0.075 | 6 | 53 | 302 | 697 | 1155 | 60.4 |
| Structural Concrete 25mm | Control | --- | SN-0 | 5.0 | 45 | 392 | 714 | 1072 | 78.4 |
| | | 0.075 | SB-0.075 | 5.4 | 45 | 392 | 714 | 1072 | 78.4 |
| | | 0.10 | SB-0.10 | 5.6 | 45 | 392 | 714 | 1072 | 78.4 |
| | Bundle | 0.15 | SB-0.15 | 5.6 | 45 | 392 | 714 | 1072 | 78.4 |
| | | 0.056 | SM-0.056 | 6 | 45 | 392 | 714 | 1072 | 78.4 |
| | | 0.075 | SM-0.075 | 6 | 45 | 392 | 714 | 1072 | 78.4 |
| Mono-Filament | 0.10 | SM-0.10 | 5.7 | 45 | 392 | 714 | 1072 | 78.4 | |

Table 3. Visual Rating of Scaled Surfaces

| Rating | Condition of surface |
|--------|---|
| 0 | No scaling |
| 1 | Very light scaling (maximum depth of 3mm, no coarse aggregate visible) |
| 2 | Slight to moderate scaling |
| 3 | Moderate scaling (some coarse aggregate visible) |
| 4 | Moderate to severe scaling |
| 5 | Severe scaling (coarse aggregate visible over entire surface) |

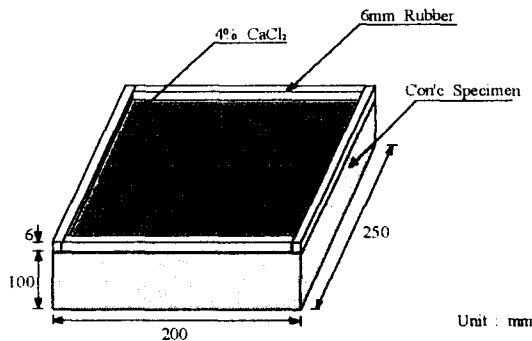


Fig. 2 Concrete Specimen for Deicing Salt Scaling Test.

3. 결과분석 및 고찰

3.1 섬유혼입율과 형상에 따른 강도특성

합성섬유 혼입율과 형상에 따른 콘크리트의 압축강도 변화를 Fig. 3~Fig. 5에 나타냈다. 단사형 섬유인 경우 혼입율이 증가함에 따라 기준공시체에 비해 6.79~14.08% 증가를 하고 있음을 알 수 있다. 섬유형상에 따른 콘크리트의 압축강도 변화는 전체적으로 망사형 섬유보다는 단사형 섬유가 약간 큰 것으로 나타났다. 섬유가 콘크리트에 혼입됨으로써 공기량이 약간 증가하고 콘크리트와 섬유사이의 계면(interface)에서 부착력 약화와 콘크리트의 밀도감소로 인하여 압축강도가 감소될 수 있다. 그러나, 합성섬유가 건조수축 균열을 억제시키고 또한 양생초기에 섬유의 표면을 따라 섬유상 공극이 형성되어 콘크리트내의 수분 이동 통로를 효과적으로 형성함으로써, 초기의 수분 손실을 유발시킴으로써 유효 물-시멘트비를 낮추어졌기 때문에 압축강도가 약간 증가한 것으로 판단된다.

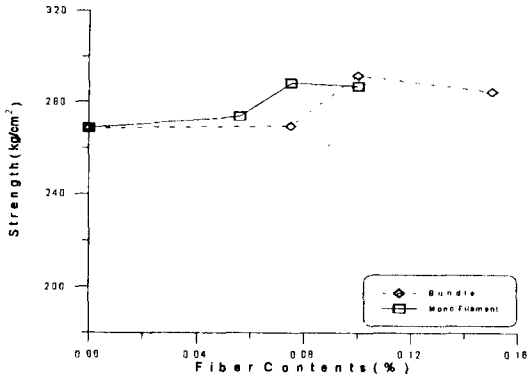


Fig. 3 Compressive Strength versus Fiber Contents (Highway)

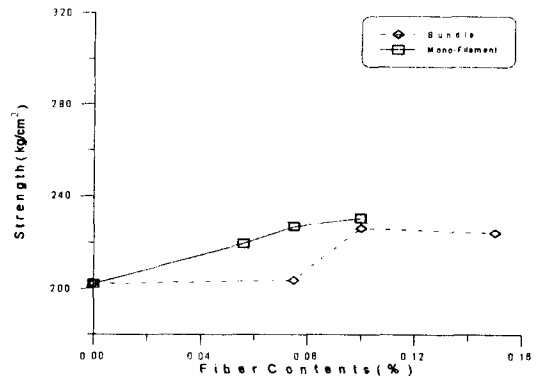


Fig. 4 Compressive Strength versus Fiber Contents (Local Road)

3. 2 표면박리저항(Surface Scaling Resistance) 특성

(1) 결보기 등급

ASTM C 672에 따라 동결-융해 50 사이클을 시행한 후의 표면박리 저항실험 결과 중 표면 결보기 등급에 의한 결과를 Table 5에 나타냈다. 콘크리트시험편의 표면 결보기 등급은 기준시험편이 4~3 등급이었으나, 단사형 섬유와 망사형 섬유의 최대 섬유혼입율에서 결보기 등급이 0~1 등급으로 나타나 섬유혼입율이 증가할수록 콘크리트의 표면 손상이 줄어드는 것으로 나타났다. 망사형 섬유보다는 단사형 섬유가 결보기 등급이 더 낮게 나타나 표면 손상이 적은 것으로 나타났다. 따라서, 콘크리트에 합성섬유의 혼입은 표면박리를 감소시키는 것을 알 수 있다

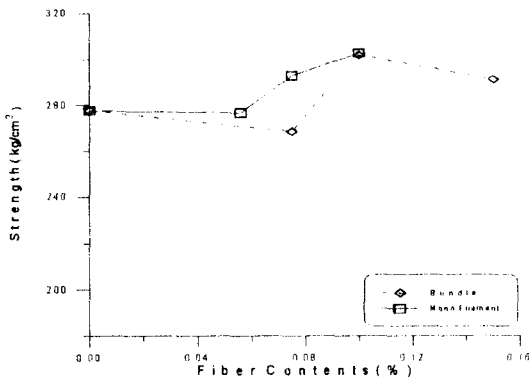


Fig. 5 Compressive Strength versus Fiber Contents (Structural Concrete)

(2) 무게변화.

각 사이클에 대한 무게변화는 모든 배합에서 모두 혼입율이 증가할수록 무게 손실량이 각 배합의 Control 시편을 100%로 보았을 경우 1.85~27.5%로 감소하는 것으로 나타났다. 특히 일반콘크리트용 배합인 경우는 섬유 혼입율에 따른 무게 손실량이 1.85~17.73%로 뚜렷하게 감소됨을 알 수 있었다. 이것은 섬유를 혼입하였을 경우 섬유가 동결-융해 작용으로 발생하는 인장응력을 섬유가 받아주어 박리저항성이 증진되는 것으로 판단된다.

| Concrete Type | Fiber Contents | Bundle fiber (Visual Rating) | Mono-Filament fiber (Visual Rating) |
|---------------------|----------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Highway | 0.0 | 3 | 3 |
| | 0.056 | — | 1 |
| | 0.075 | 2 | 1 |
| | 0.1 | 2 | 1 |
| | 0.15 | 1 | — |
| Local Road | 0.0 | 4 | 4 |
| | 0.056 | — | 1 |
| | 0.075 | 3 | 1 |
| | 0.1 | 2 | 1 |
| Structural Concrete | 0.15 | 2 | — |
| | 0.0 | 3 | 3 |
| | 0.056 | — | 1 |
| | 0.075 | 2 | 0 |
| | 0.1 | 2 | 0 |
| | 0.15 | 1 | — |

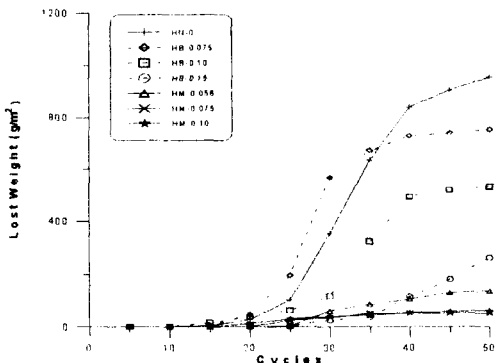


Fig. 6 Losses of Weight with Fiber Contents at Highway Pavement Concrete

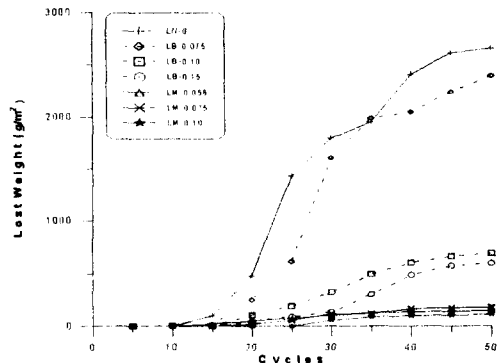


Fig. 7 Losses of Weight with Fiber Contents at Local Road Pavement Concrete

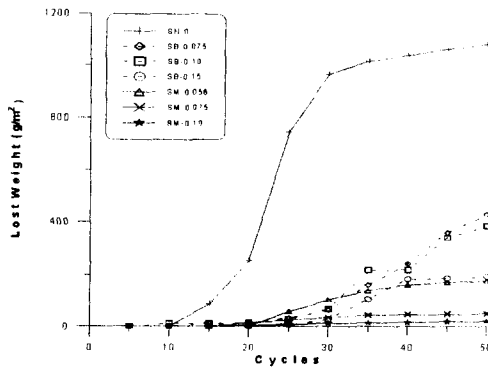


Fig. 8 Losses of Weight with Fiber Contents at Structural Concrete

4. 결론

합성섬유를 혼입한 포장용 콘크리트의 내구특성 파악을 위해, 섬유의 형상, 섬유혼입율을 주요 변수로 하여 고속도로용, 농로용, 일반강도용 배합에 대해 박리저항 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 섬유형상에 따른 압축강도는 망사형 섬유보다는 단사형 섬유의 상대강도가 더 크게 나타나 단사형 섬유가 망사형 섬유보다 분산효과가 뛰어나함을 확인할 수 있었다.
- 2) 박리저항시험에 의한 겉보기 등급은 Control 시편 4~3 등급이었으나 단사형 섬유와 망사형 섬유 모두 최대 섬유혼입율에서 겉보기 등급이 0~1 등급으로 나타나 섬유혼입율이 증가할수록 콘크리트의 표면 손상이 줄어드는 것으로 나타났다.
- 3) 박리저항시험에 의한 무게변화는 섬유혼입율이 증가할수록 무게 손실량이 각 배합의 Control 시편을 100%로 보았을 경우 1.85~27.5%로 감소하는 것으로 나타나 박리저항성이 섬유혼입율이 증가할수록 매우 증가하는 것으로 나타났다.
- 4) 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트의 강도특성과 박리저항 특성을 분석한 결과 두섬유 모두 0.10%의 섬유 혼입율에서 강도와 박리저항성 증진효과가 가장 우수한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국과학기술재단지정 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음

참 고 문 헌

1. ASTM C 672-91, "Standard Test Methods for Scaling Resistance of Concrete Surface Exposed to Deicing Chemicals", Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02, 1991.
2. Geoff Mays, "Durability of Concrete Structures", E&FN SPON, 1992
3. Actin, Pierre-Calude et al, "The Use of Fiber Reinforced Concrete for Highway Rehabilitation", Etude #231, IGM85-305-231, Industrial Materials Research Institute, National Research Council of Canada, 1985.
4. 한만엽, "PPF 섬유의 첨가가 콘크리트 공극구조에 미치는 영향", 대한토목학회논문집, 1994.9, pp.1081-1089.
5. 용석용, "합성섬유를 혼입한 포장용 콘크리트의 내구특성", 강원대학교, 1999. 2.