

EP 나일론섬유를 혼입한 자기충전콘크리트(SCC)에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Self-Consolidating Concrete with EP Nylon Fiber

류 재 석^{1)*}

Ryou, Jae Suk

이 용 수²⁾

Lee, Yong Soo

전 중 규³⁾

Jeon, Joong Kyu

전 찬 기⁴⁾

Jeon, Chan Ki

Abstract

In this study, we find out the feasibility of self-consolidating concrete with EP nylon fiber. Three kinds of method were used; when length of nylon fiber is differed for the experiment to investigate usability of nylon fiber with enhanced performance by dispersing-agent coating in self-consolidating concrete, when mixing in other organic fibers (polypropylene, cellulose) and in case of Binary Blended and Ternary Blended concrete mixed with different types of mineral admixtures (blast-furnace slag and fly ash). Based on the results of the experiment described above, comparison was made on the basic properties and dynamic characteristics of general fiber reinforced concrete mixed with enhanced performance nylon fiber and SCC mixed with enhanced performance nylon fiber as a Mock-up test prior to the experiment of application to the actual structure. Considering characteristics and durability of the fresh and hardened self-compacting concrete, dynamic characteristics and durability were found to be more outstanding when using nylon fiber for the mineral admixtures used, dynamic characteristics and durability were found to be more outstanding when using blast-furnace slag.

Keywords : Dispersing-agent coating, Self-consolidating concrete, EP nylon fiber, Mineral admixture, Mock-up test

1. 서 론

최근 건설 산업이 고도화되고 건축물이 고층화 및 기능화 되면서 건설재료에 요구되는 성질도 복잡하고 다양하게 발전되어 가고 있는 것을 쉽게 볼 수 있다. 이와 같이 초대형과 복잡한 구조물로 인하여 고강도이면서 자기충전 및 유동성을 가진 자기충전 콘크리트(SCC)가 필요한 실정이며, 국내 및 국외에서 이에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다. 이러한 장점을 가진 것과는 반대로 고강도 콘크리트는 인장과 휨강도, 균열, 폭열 등의 단점을 지니고 있다(오병완, 1996).

기존 연구에서는 섬유를 혼입한 자기충전 콘크리트(SCC)에 대하여 다양하게 진행되어 왔고, 이러한 연구들을 통해서 인장과 휨강도 및 균열의 문제점을 해결하고, 폭열의 문제점도 해결되는 등 많은 성과들을 나타내었다. 하지만 일반 섬유의 문제점인 뭉침 현상, 부분적인 강도

저하 현상 그리고 콘크리트 균열시 시멘트 결합체와 부착되어 있던 섬유들의 이탈현상 등과 같은 문제점 등이 있었다(홍건호, 2004).

따라서 본 연구에서는 기존 섬유의 문제점인 뭉침 현상, 부분강도저하 현상 그리고 섬유이탈 현상 등을 개선한 나일론 섬유를 이용하였다. 즉, 분산제 코팅을 통해 성능 개선된 나일론 섬유(이하 EP Nylon Fiber 또는 EP 나일론 섬유라 약함)를 고성능의 자기충전 콘크리트(SCC)에 혼입하여 나일론 섬유의 길이 및 다른 유기계 섬유(폴리프로필렌, 셀룰로오스)와 비교하였으며, 광물질 혼화재(고로슬래그 미분말, 플라이애쉬)를 달리하여 2성분계 및 3성분계 에서의 특성을 검토하고자 했다(전중규 등, 2007). 또한 이러한 실험 결과의 검토를 토대로 하여 EP 나일론 섬유를 혼입한 자기충전 콘크리트(SCC)의 Mock-up Test를 수행함으로써 EP 나일론 섬유를 혼입한 자기충전 콘크리트(SCC)의 실 구조물 적용을 위한 기

1) 정희원, 한양대학교 건설환경공학과 부교수
2) 정희원, 한양대학교 토목공학과 석사과정
3) 정희원, 코오롱건설 기술연구소 선임연구원
4) 정희원, 인천대학교 도시건설공학과 교수

* Corresponding author : jsryou@hanyang.ac.kr 02-2220-0323

• 본 논문에 대한 토의를 2011년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2011년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 Physical Properties of Fiber

| Types | Shape | Dosage (kg/m ³) | Length (mm) | Density | Dia. (μm) | Tensile Strength (MPa) | Elastic Modulus (GPa) |
|---------------|--------|-----------------------------|-------------|---------|-----------|------------------------|-----------------------|
| Nylon | mono | 0.6 | 6, 13 | 1.16 | 23 | 919 | 5.30 |
| Polypropylene | mono | 0.9 | 12 | 0.91 | 40 | 450 | 5.1 |
| Cellulose | melret | 1.2 | ≈2.92 | 1.50 | 15 | 510 | 6.1 |

초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험 개요

2.1 사용 재료

2.1.1 시멘트 및 골재

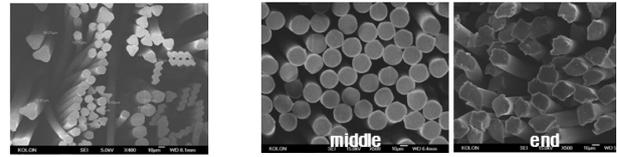
본 연구에 사용된 시멘트는 KS L 5201 규정에 적합한 1종 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC라 약함)로 밀도는 3.15g/cm³이고, 분말도는 3,200cm²/g이다. 골재는 경기도 양주지역에서 생산된 부순 굵은 골재와 인천 용진군에서 채취한 해사를 잔골재로 사용하였다. 또한, 광물질 혼화제로는 밀도 2.22g/cm³, 분말도 3,317cm²/g인 플라이애쉬(이하 FA라 약함)와 밀도 2.90g/cm³, 분말도 4,450인 고로슬래그 미분말(이하 BFS라 약함)을 사용하였다. 그리고, 작업 환경 확보 및 워커빌리티 조절을 위하여 폴리 카르보산계인 고성능 감수제(이하 SP라 약함)를 사용하였고, 재료분리 저항성을 위하여 증점제(이하 AD라 약함)를 검용하였다.

2.1.2 섬유

본 연구에서 사용된 섬유는 유기계열의 섬유(나일론, 폴리프로필렌, 셀룰로오스)로 국내에서 제작된 섬유들이다. EP 나일론 섬유의 경우는 섬유 표면에 다가알코올 에스테르 윤활제, 비이온계 계면활성제, 대전방지제를 혼합한 분산제를 코팅하였으며, 기존 섬유와는 다르게 단일형상과 섬유 끝부분에 Anchor를 형성하여 부착력을 향상시켰다(전중규 등, 2007). Table 1은 세 가지 섬유의 물리적 성질을 보여주고 있으며, Fig. 1은 기존 나일론 섬유와 EP 나일론 섬유의 형상을 보여주고 있다.

2.2 배합 계획

예비 배합을 통해 섬유와 혼화제 혼입에 따른 자기충전 콘크리트(SCC)의 요구성능을 만족하는 W/B=34%,



(a) Existing fiber (b) Enhanced performance fiber

Fig. 1 Shape of Nylon Fiber

Table 2 Mix Proportions

| Types | W/B (%) | S/a (%) | Unit Weight (kg/m ³) | | | | | | | | |
|---------------------|---------|---------|----------------------------------|--------|----|-----|-----|---|------|-----|-------|
| | | | W | Binder | | | S | G | SP | AD | Fiber |
| | | | | C | FA | BFS | | | | | |
| Control | | | | | | | | | 6.48 | - | |
| EP Nylon (6, 13mm) | | | | | 54 | - | | | 6.75 | 0.6 | |
| Polypropylene | | | 486 | | | | | | 7.29 | 0.9 | |
| Cellulose | 34 | 45 | 184 | | | 723 | 891 | | 0.92 | 1.2 | |
| EP Nylon (6, 13 mm) | | | | | - | | | | 6.75 | 0.6 | |
| EP Nylon (6, 13 mm) | | | 432 | 54 | 54 | | | | | 0.6 | |

S/a=45%인 기준배합을 결정하였다. 이 배합을 통하여 EP 나일론 섬유의 길이, 섬유의 종류 그리고 광물질 혼화제 혼입(FA 10%, BFS 10%, FA 10% BFS 10%)을 변화시켰으며, 각각의 섬유는 콘크리트 시방서상의 용적의 1%이내의 현재 국내에서 적용되는 표준 사용량을 사용하였다(홍건호 등, 2004). 굳지 않은 자기충전 콘크리트(SCC)와 경화한 자기충전 콘크리트(SCC)의 물리, 역학적 및 내구특성을 검토하였다. 실험에 사용된 배합표는 Table 2와 같다.

2.3 실험 방법

2.3.1 자기충전 콘크리트(SCC)의 유동성 평가

자기충전 콘크리트(SCC)의 유동성 평가실험은 JSCE에 분류된 SCC의 시험방법 성능 기준표 중 적용 시공조건을 고려하여 2등급에 따라 유동성, 재료분리 저항성 및 충전성을 평가하였으며, 슬럼프 플로우 시험은 KS F 2594에 제시된 방법에 의해 수행되었다(이희근 등, 2006). JSCE에 분류된 SCC의 성능 기준표는 Table 3과 같으며, VSI(Visual Stability Index)에 의한 안정성 평가 방법은 Table 4와 같다(JSCE, 2002).

2.3.2 자기충전 콘크리트(SCC)의 역학적 특성 평가

압축강도, 쪼갬 인장강도 및 휨강도에 대한 역학적 특

Table 3 Performance Standard Criterion by JSCE

| Rank Items | | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------|------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| Construction condition | minimum gap between reinforcement (mm) | 35-60 | 60-200 | ≥200 |
| | Amount of reinforcement | ≥350 | 100-350 | ≤100 |
| Flowability | Slump flow (mm) | 600-700 | 600-700 | 500-650 |
| Segregation resistance | Time required to flow through V-funnel (s) | 9-20 | 7-13 | 4-11 |
| | Time required to reach 500mm of slump flow (s) | 5-20 | 3-15 | 3-15 |
| Filling height of U-box (mm) | | ≥300 | ≥300 | ≥300 |

Table 4 VSI(Visual Stability Index)(Rooney, 2002)

| Rating | No. | Criteria |
|-----------------|-----|--------------------------------------------------------------------|
| Highly Stable | 0 | No evidence of slump segregation |
| Stable | 1 | No mortar halo, No aggregate pile-up, Slight bleed and air popping |
| Unstable | 2 | Slight mortar halo, Slight aggregate pile-up, Noticeable bleed |
| Highly Unstable | 3 | Large mortar halo greater than 10mm |

성을 평가하기 위하여 KS F 2403에 제시된 방법에 따라 강도시험별 각 재령에 대한 3개의 공시체를 제작하였다.

압축강도 및 쪼갬 인장강도는 Ø100×200mm의 원주형 공시체를 제작하였으며, 20±2℃의 수중 양생을 실시한 후 압축강도는 KS F 2405에 제시된 방법에 따라 재령 7일, 28일 및 91일 압축강도 시험을 실시하였으며, 쪼갬 인장강도는 KS F 2423에서 제시된 방법에 따라서 압축강도와 동일한 재령에서 시험을 실시하였다.

휨강도 공시체 역시 KS F 2403에 제시된 방법에 따라 100×100×400mm의 정방형 공시체를 제작하고, 시험 재령까지 20±2℃의 수중 양생을 실시한 후 KS F 2408에 제시된 방법에 따라 휨강도 시험을 실시하였다.

2.3.3 자기충전 콘크리트(SCC)의 내구특성 평가

KS F 2403에 제시된 콘크리트의 강도 시험용인 Ø100×200mm의 원주형 공시체를 각 재령별 3개씩 제작하여 탄산화 깊이 측정을 위해 재령일 동안 20±2℃의 수중 양생을 실시한 후 KS F 2596에 명시된 방법에 따라 탄산화 깊이 측정 시험을 실시하였다. KS M 8238에 따라서 탄산화 깊이 측정에 사용되어지는 시약인 페놀프탈레인 용액을 제작 하였으며, 제작 방법은 95% 에탄올 90mL에 페놀프탈레인 분말 1g을 녹여 물을 첨가시켜 100mL로 하였다. 탄산화 시험기 설정으로는 상대 습도

Table 5 Chloride Diffusion Test Method

| Types | Electrolytic solution | | voltage (V) | Time (hour) | thickness (mm) | measure ment |
|-------------------------|-----------------------|---------------|-------------|-------------|----------------|--------------|
| | Negative cell | Positive cell | | | | |
| KS F 2711 (ASTM C 1202) | 3% NaCl | 0.3M NaOH | 60 | 6 | 50 | clulombs |



Fig. 2 View of Chloride Diffusion Test

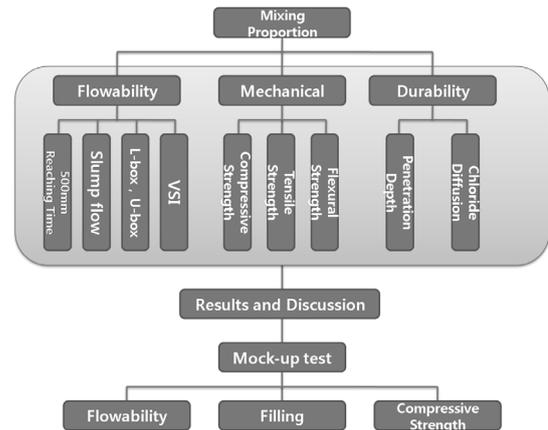


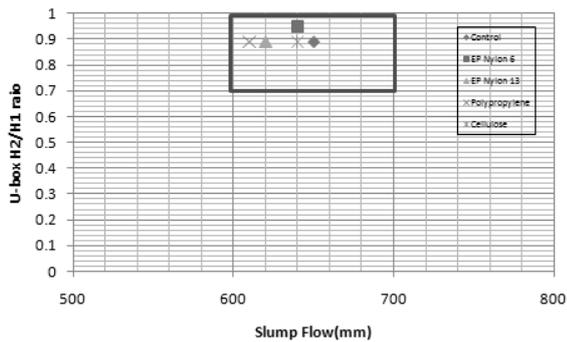
Fig. 3 Experimental flowchart

60%, 온도 20℃ 및 CO2 농도 5%를 각각 제원으로 한다.

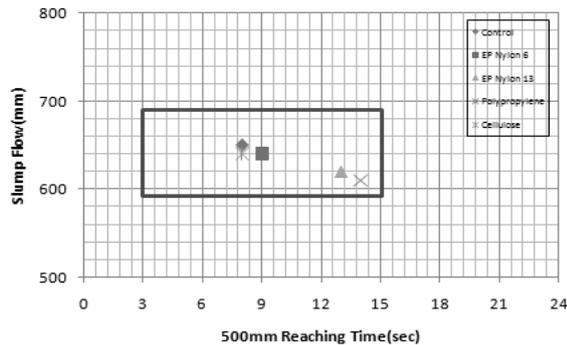
염소이온 침투 저항성 시험은 KS F 2403에 제시된 콘크리트의 강도 시험용 공시체 3개를 사용하여 소정의 수중양생을 실시한 후 다이아몬드 커터를 사용해 두께 50mm로 절단한 시험체를 사용한다. 그 시험체의 옆면을 속경성과 전기 절연성을 가진 도막제(coating)로 도막한 후 KS F 2711(전기 전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투저항성 시험 방법) 또는 ASTM C 1202(Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride ions Penetration)에 규정된 시험방법에 따라 염소이온 침투 저항성 시험을 실시하였다. Table 5는 염소이온 침투 저항성 시험방법을 나타내

Table 6 Results of Fresh SCC with Different Fibers

| 구분 | Slump flow | | U-Box | | | VSI |
|---------------|--------------------|-------------|---------------|---------------|-----------|-----|
| | T_{500} (sec) | D (mm) | H_1 (mm) | H_2 (mm) | H_2/H_1 | |
| Control | 8 | 650 | 380 | 340 | 0.89 | 0 |
| EP Nylon 6 | 9 | 640 | 370 | 350 | 0.95 | 0 |
| EP Nylon 13 | 13 | 620 | 380 | 340 | 0.89 | 0 |
| Polypropylene | 14 | 610 | 380 | 340 | 0.89 | 0 |
| Cellulose | 8 | 640 | 380 | 340 | 0.89 | 0 |



(a) Relationship of Slump Flow and 500mm Reaching Time



(b) Relationship of Slump Flow and U-box

Fig. 4 Properties of Fresh SCC for Fiber

며, Fig. 2는 시험 전경을 나타낸다.

또한, 위에서 언급된 다양한 실험수행에 대한 실험 순서도를 Fig. 3으로 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 자기충전 콘크리트(SCC)의 유동성

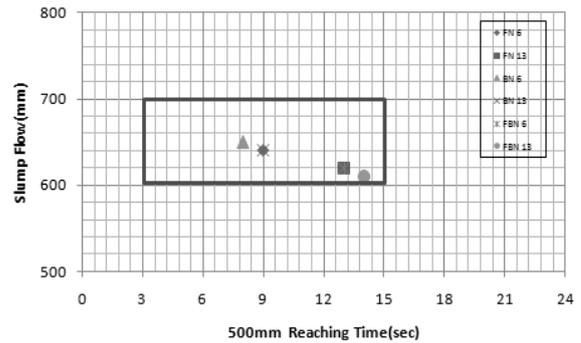
3.1.1 섬유 비교

섬유에 따른 슬럼프 플로우의 유동성, U-box의 충전성 및 VSI를 측정된 결과는 Tabel 6과 같으며, 여기서 U-Box 실험결과를 높이를 통한 수치보다 H_2/H_1 비로

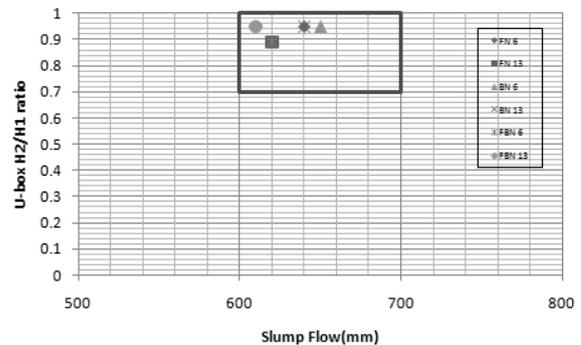
Table 7 Results of Fresh SCC with Different Mineral Admixtures

| Types | Slump flow | | U-Box | | | VSI |
|--------|--------------------|-------------|---------------|---------------|-----------|-----|
| | T_{500} (sec) | D (mm) | H_1 (mm) | H_2 (mm) | H_2/H_1 | |
| FN 6 | 9 | 640 | 370 | 350 | 0.95 | 0 |
| FN 13 | 13 | 620 | 380 | 340 | 0.89 | 0 |
| BN 6 | 8 | 650 | 370 | 350 | 0.95 | 0 |
| BN 13 | 9 | 640 | 370 | 350 | 0.95 | 0 |
| FBN 6 | 13 | 620 | 380 | 340 | 0.89 | 0 |
| FBN 13 | 14 | 610 | 370 | 350 | 0.95 | 0 |

(where, F: FA, B : BFS, N : EP Nylon Fiber)



(a) Relationship of Slump Flow and 500mm Reaching Time



(b) Relationship of Slump Flow and U-box

Fig. 5 Properties of Fresh SCC for Mineral Admixture

나타내어 1.0에 가까울수록 충전성이 우수함을 표현하였다(송일현, 2009). 슬럼프 플로우(D)와 500mm 도달시간(T_{500})의 상관성을 비교하여 도출해낸 그래프가 Fig.4(a)이며, 슬럼프 플로우와 U-box의 상관성을 비교하여 도출해낸 그래프는 Fig. 4(b)이다. JSCE 2등급기준에 맞추어서 슬럼프 플로우 값과 500mm 도달시간 U-Box를 박스로 나타냈으며, 그래프를 통하여 일본토목학회(JSCE)의 SCC 2등급 기준에 모든 시험체가 기준 범위안에 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 EP Nylon 6mm 경우는 Control과 유사한 유동성을 보여주었다.

Table 8 Strength Results for Fiber(MPa)

| Types | Compressive Strength | | | Tensile Strength | | | Flexural Strength |
|---------------|----------------------|---------|---------|------------------|---------|---------|-------------------|
| | 7 days | 28 days | 91 days | 7 days | 28 days | 91 days | 28 days |
| Control | 36 | 53 | 58 | 2.7 | 2.8 | 3.2 | 5.5 |
| EP Nylon 6 | 35 | 50 | 56 | 2.7 | 3.3 | 3.6 | 6.9 |
| EP Nylon 13 | 26 | 48 | 54 | 2.7 | 3.2 | 3.5 | 5.7 |
| Polypropylene | 32 | 45 | 57 | 3.0 | 3.1 | 3.3 | 5.8 |
| Cellulose | 29 | 44 | 52 | 2.8 | 3.0 | 3.5 | 6.8 |

3.1.2 혼화재 비교

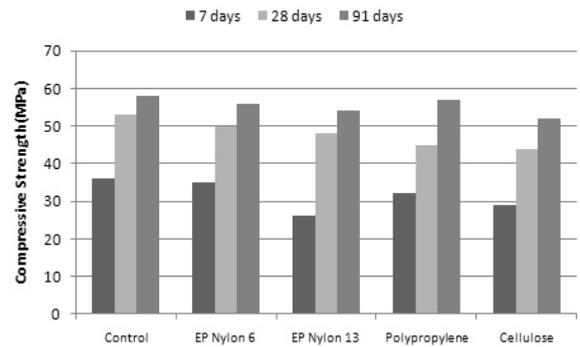
혼화재에 따른 슬럼프 플로우의 유동성, U-box의 충전성 및 VSI를 측정한 결과는 Table 7과 같으며, 슬럼프 플로우와 500mm 도달시간, U-box와의 상관성을 비교하여 도출해낸 그래프는 Fig. 5(a) 와 Fig. 5(b)이다. 그래프를 통하여 JSCE의 SCC 2등급 기준에 모든 시험체가 기준 범위안에 들어옴을 확인할 수 있었고, 이 중에서 BN 6mm가 다른 배합에 비하여 유동성이 우수한 것을 보여주었다.

3.2 자기충전 콘크리트(SCC)의 역학적 특성

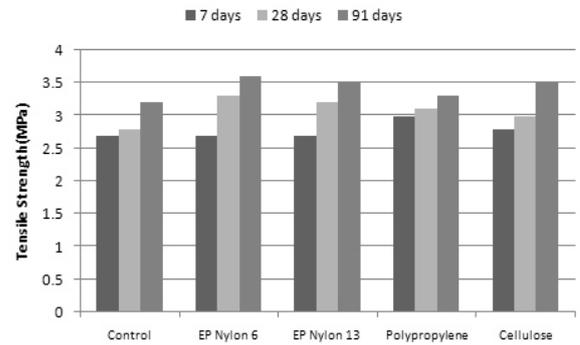
3.2.1 섬유 비교

섬유에 따른 재령별 압축강도와 쪼갬 인장강도 및 휨강도의 결과를 나타낸 것이 Table 8과 같고 그에 대한 그래프는 Fig. 6와 같다. 압축강도 측정 결과 섬유가 혼입되어진 것보다 섬유가 혼입 되지 않은 Control이 다소 높은 강도 발현을 보였으며, EP 나일론 섬유와 다른 섬유들은 유사한 압축강도 값을 보였다. 이는 EP 나일론 섬유가 다른 섬유에 비해 사용량에 대한 강도 저하 현상이 감제되는 것으로 보인다.

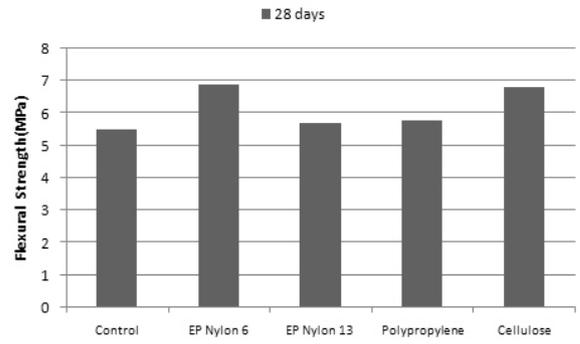
쪼갬 인장강도에서는 EP 나일론과 셀룰로오스 섬유가 다른 섬유에 비해 우수한 것으로 나타났으며, EP 나일론 6mm와 EP 나일론 13mm의 비교에서는 6mm가 우수하게 나타났다. 휨 강도에서도 인장강도와 유사한 결과를 보여주고 있다. 일반 콘크리트에 섬유를 혼입한 경우에는 같은 섬유일 때 길이가 긴 섬유를 혼입한 시험체가 길이가 짧은 섬유를 혼입한 시험체 보다 인장 및 휨 강도가 크게 나온다. 하지만 본 실험에서는 그와 반대에 결과가 나왔는데 이는 본 실험에서 사용되어진 13mm 굵은 골재에 동일한 길이의 13mm 섬유가 분산이 적절하게 이루어지지 않고 골재에 딸리는 현상을 보이기 때문으로 보인다.



(a) Compressive Strength



(b) Tensile Strength



(c) Flexural Strength

Fig. 6 Comparison of Strength with Different Fibers

3.2.2 혼화재 비교

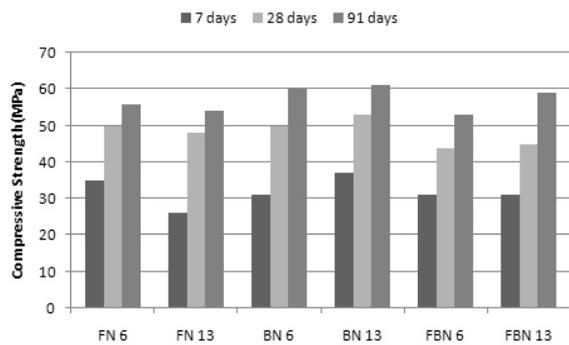
혼화재에 따른 재령별 압축강도와 쪼갬 인장강도 및 휨강도의 결과를 나타낸 것이 Table 9과 같고 그에 대한 그래프는 Fig. 7과 같다.

압축강도는 모든 재령에서 BN이 가장 우수했으며 재령 28일에서는 FBN보다 FN이 재령 91일에서는 FN보다 FBN이 높은 강도를 보여주고 있다. EP 나일론 섬유의 길이는 6mm보다 13mm가 대체적으로 높게 나왔다. 이는 BFS가 FA보다 시멘트 및 EP 나일론 섬유와의 결합 및 부착능력이 더 좋은 것으로 보인다.

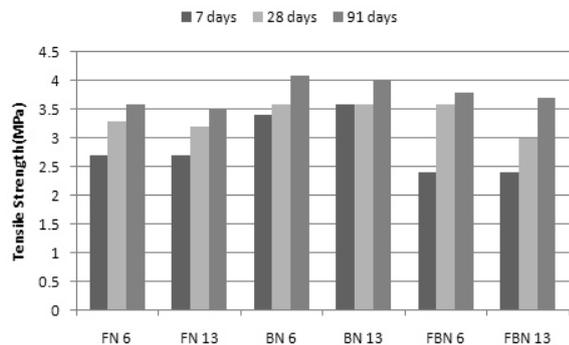
인장강도와 휨 강도에서도 압축강도와 유사한 결과를

Table 9 Strength Results for Mineral Admixture(MPa)

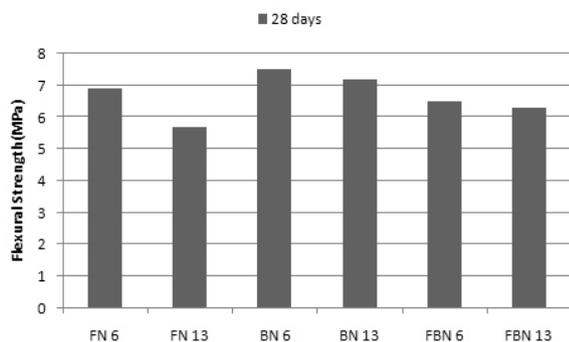
| Types | Compressive Strength | | | Tensile Strength | | | Flexural Strength |
|--------|----------------------|---------|---------|------------------|---------|---------|-------------------|
| | 7 days | 28 days | 91 days | 7 days | 28 days | 91 days | 28 days |
| FN 6 | 35 | 50 | 56 | 2.7 | 3.3 | 3.6 | 6.9 |
| FN 13 | 26 | 48 | 54 | 2.7 | 3.2 | 3.5 | 5.7 |
| BN 6 | 31 | 50 | 60 | 3.4 | 3.6 | 4.1 | 7.5 |
| BN 13 | 37 | 53 | 61 | 3.6 | 3.6 | 4.0 | 7.2 |
| FBN 6 | 31 | 44 | 53 | 2.4 | 3.6 | 3.8 | 6.5 |
| FBN 13 | 31 | 45 | 59 | 2.4 | 3.0 | 3.7 | 6.3 |



(a) Compressive Strength



(b) Tensile Strength



(c) Flexural Strength

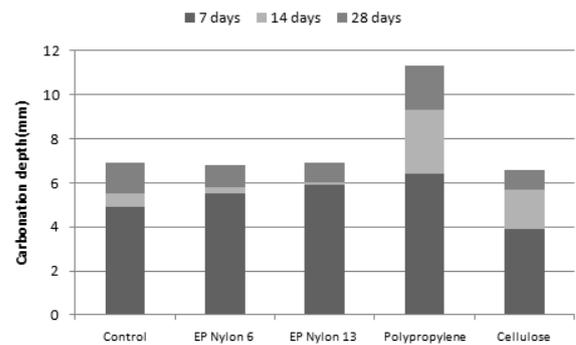
Fig. 7 Comparison of Strength with Different Mineral Admixtures

보여주고 있다.

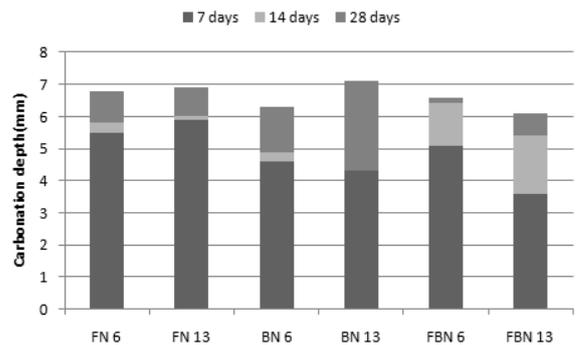
Table 10 Carbonation depth(mm)

| (a) Fiber | | | |
|---------------|--------|---------|---------|
| Types | 7 days | 14 days | 28 days |
| Control | 4.9 | 5.5 | 6.9 |
| EP Nylon 6 | 5.5 | 5.8 | 6.8 |
| EP Nylon 13 | 5.9 | 6.0 | 6.9 |
| Polypropylene | 6.4 | 9.3 | 11.3 |
| Cellulose | 3.9 | 5.7 | 6.6 |

| (b) Mineral Admixture | | | |
|-----------------------|--------|---------|---------|
| Types | 7 days | 14 days | 28 days |
| FN 6 | 5.5 | 5.8 | 6.8 |
| FN 13 | 5.9 | 6.0 | 6.9 |
| BN 6 | 4.6 | 4.9 | 6.3 |
| BN 13 | 4.3 | 4.3 | 7.1 |
| FBN 6 | 5.1 | 6.4 | 6.6 |
| FBN 13 | 3.6 | 5.4 | 6.1 |



(a) Fiber



(b) Mineral Admixture

Fig. 8 Carbonation depth

3.3 자기충전 콘크리트(SCC)의 내구특성

3.3.1 탄산화 깊이 측정 평가

섬유와 혼화제에 따른 이산화탄소의 7, 14, 28일 침투 깊이를 나타낸 것이 Table 10이고, 재령별 탄산화 깊이

Table 11 Results of Chloride Diffusion Test

| (a) Fiber | | | |
|---------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Types | Coulombs | Cl ⁻ diffusion coefficient ($\times 10^{-12}$, m ² /s) | Penetration Depth(mm) |
| Control | 5171 | 13.56 | 25.3 |
| EP Nylon 6 | 4289 | 11.59 | 24.9 |
| EP Nylon 13 | 4464 | 11.98 | 24.5 |
| Polypropylene | 5337 | 13.92 | 25 |
| Cellulose | 4100 | 11.16 | 22.9 |

| (b) Mineral Admixture | | | |
|-----------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Types | Coulombs | Cl ⁻ diffusion coefficient ($\times 10^{-12}$, m ² /s) | Penetration Depth (mm) |
| FN 6 | 4289 | 11.59 | 24.9 |
| FN 13 | 4464 | 11.98 | 24.5 |
| BN 6 | 4352 | 11.73 | 17.0 |
| BN 13 | 4536 | 12.15 | 15.1 |
| FBN 6 | 2736 | 7.94 | 14.1 |
| FBN 13 | 3083 | 8.78 | 14.3 |

를 그래프로 도식화하여 나타낸 것이 Fig. 8이다.

Fig. 8을 통하여 폴리프로필렌을 제외한 모든 배합에서 비슷한 결과를 나타내고 있음을 보여주고 있으며, 폴리프로필렌 섬유 함유의 경우 fiber ball 현상으로 인해 폴리프로필렌 섬유 사이에 시멘트 수화물이 제대로 형성되지 못함으로서 탄산화의 침투가 용이하게 되어진 것으로 보인다(한천구 등, 2002). 혼화재에 따른 시험체들은 모두 탄산화에 대한 저항성이 높게 나타났다.

3.3.2 염소이온 침투 저항성 평가

섬유와 혼화재에 따른 시험체별 염화물이온의 통과전하량, 확산계수 및 침투깊이 결과는 Table 11에 나타내었으며, Fig. 9는 그래프로 그려서 나타낸 것이다. 여기서 확산계수는 Fick's 제1확산 법칙을 역산해서 도출하였다(쌍용양회 기술팀, 2008). 섬유에서의 염소 침투깊이는 셀룰로오스가 가장 우수한 것으로 나타났다. 이는 셀룰로오스 자체가 나무에서 추출되어진 성분으로 염소이온의 침투를 막는 역할을 하는 것으로 보인다(류재석 등, 2009). 혼화재에서는 FBN, BN, FN 순서로 염소이온 침투저항성이 우수한 것으로 나타났으며, 이는 BFS와 FA가 혼합되어진 시험체가 다른 시험체보다 혼화재의 치환율이 높기 때문에 염소이온 침투를 저하시키는 것으로 보인다.

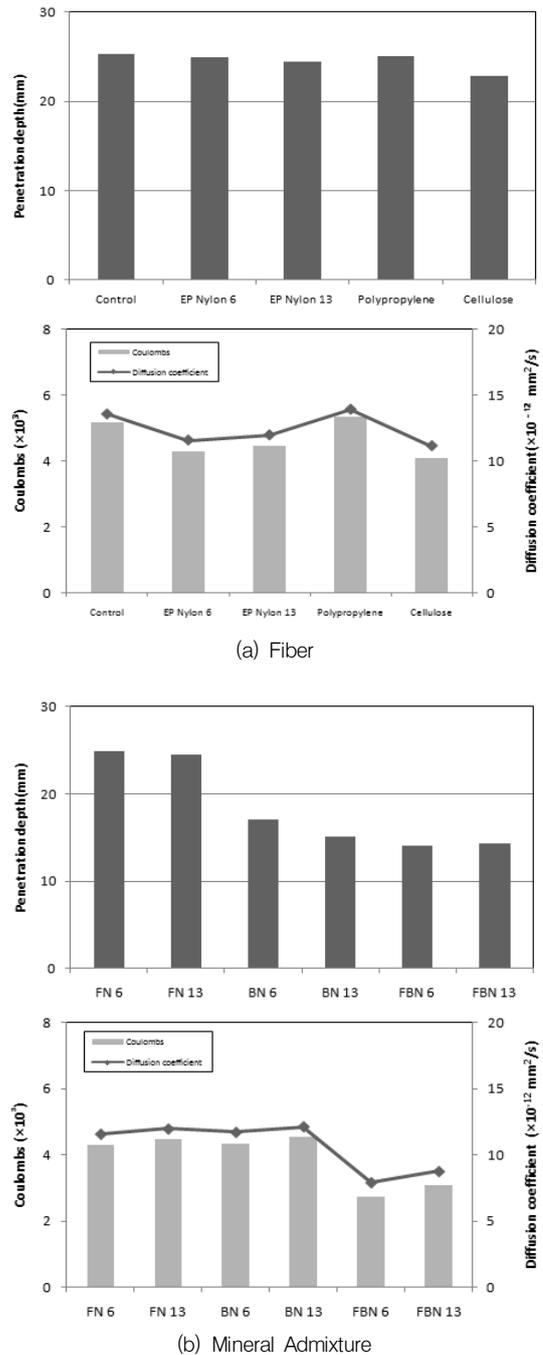


Fig. 9 Penetrated quantity and apparent diffusivity of chloride ions

4. Mock-up Test

4.1 실험 개요

4.1.1 Mock-up 시험체 및 배합

본 연구에 사용된 Mock-up 부재는 가로 1,200mm, 높이 1,200mm 그리고 두께 150mm이며, 내부에는

Table 12 Mix Proportions

| Types | W/B (%) | S/a (%) | Unit Weight (kg/m ³) | | | | | | | Fiber |
|---------|---------|---------|----------------------------------|--------|----|-----|-----|------|------|-------|
| | | | W | Binder | | S | G | SP | AD | |
| | | | | C | FA | | | | | |
| NFC 6 | 34 | 45 | 184 | 486 | 54 | 723 | 891 | 2.7 | - | 0.6 |
| NFSCC 6 | | | | | | | | 6.75 | 0.92 | |

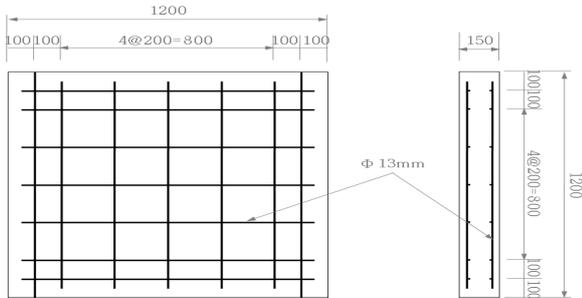


Fig. 10 Diagram of Mock-up

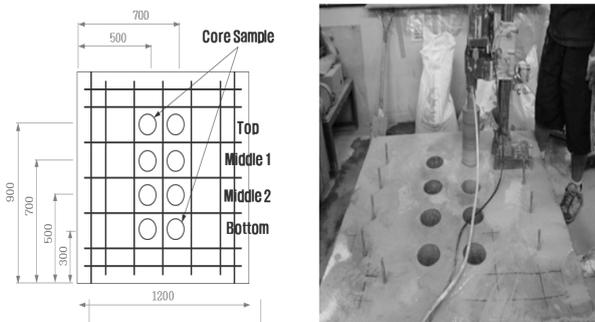
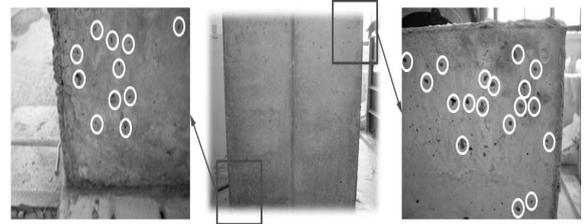


Fig. 11 Mock-up Cores

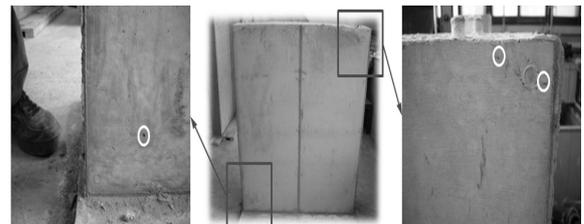
13mm 이형철근을 설치하였다. 또한, 내부를 복철근으로 제작을 하여 유동성과 충전성에 관한 사항을 확인하려 하였다. 위의 실험결과를 통하여 EP 나일론 섬유는 6mm를 사용하였으며, 배합은 일반 콘크리트(이하 NFC 6이라 명함)와 SCC(NFSCC 6이라 명함) 모두 예비배합을 통해 기준배합(W/B=34%, S/a=45%)을 결정하였다. 유동화제는 NFC 6은 0.5%, NFSCC 6은 1.25%로 달리 혼합하였다. Table 12는 본 실험의 배합표이고, Fig. 10은 부재의 설계도면이다.

4.1.2 Mock-up 시험체 제작 및 실험방법

시험체의 제작 순서는 철근 조립 및 거푸집 제작, Mixing 및 타설 그리고 거푸집 해체 순으로 진행하였다. NFC 6과 NFSCC 6 모두 이와 같은 진행 순서로 시험체를 제작하였다. 유동성 시험은 KS F 2420에서 제시된 슬럼프 시험과 KS F 2594에서 제시된 슬럼프 플로우 시



(a) Normal Concrete



(b) SCC

Fig. 12 Bug Hole in Mock-up

험으로 수행되었으며, 충전성 시험은 타설 후 시험체의 시공면을 통하여 충전 여부를 판단하였다. 경화한 콘크리트 시험인 압축강도 시험은 각각의 시험체의 상, 중1, 중2, 하 부분에서 각각 2개씩의 Core Sample을 채취 하였다. Fig. 11은 Core의 위치와 Core Sample을 채취 하는 모습을 보여 주고 있다.

4.2 실험결과 및 고찰

4.2.1 유동성 및 충전성 평가

유동성 시험 결과 NFC 6의 슬럼프치는 150mm가 NFSCC 6의 슬럼프 플로우치는 640mm가 나왔다. 충전성 부분에서는 NFC 6의 상단부와 하단부의 모서리 부분에서 많은 Bug Hole 발생한 것과는 반대로 NFSCC 6은 적거나 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 일반 콘크리트의 다짐을 통한 시공보다 SCC의 시공이 더 충전성 면에서 뛰어난 것을 보여 주고 있다. Fig. 12는 각각의 시험체에 생긴 Bug Hole의 모습을 보여주고 있다.

4.2.2 압축강도 평가

각 시험체의 압축강도 시험 결과 NFC 6이 NFSCC 6보다 높은 강도가 발현되는 것을 볼 수 있는데 이것은 같은 배합에서 증점제에 인한 영향으로 보인다(김기철 등, 1996). SCC의 경우는 고유동성으로 인하여 재료분리 현상이 일어나는 경우가 있는데, 이러한 문제점을 보완하기 위하여 증점제를 사용하였다.

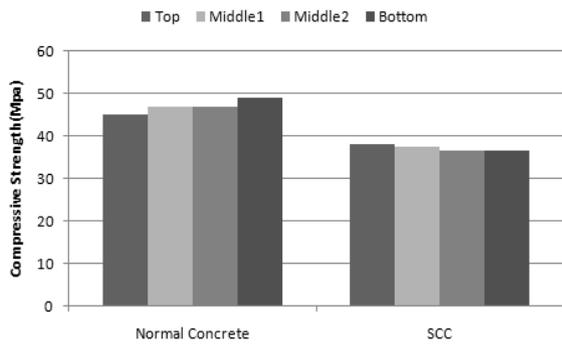


Fig. 13 Compressive Strength of Each Region

Fig. 13은 시험체의 각 위치별 강도의 차를 나타낸 것이다. Fig. 13에서 NFC 6의 경우는 상부에서 하부로 갈수록 강도 증가현상이 보이고 있는데, 이는 중력에 의하여 콘크리트 재료 중에서 굵은 골재가 가라앉기 때문으로 보인다. 이 현상으로 인하여 재료분리의 가능성이 초래할 수 있다고 판단된다. 이와 비교하여 NFSCC 6의 경우에는 상부에서 조금 높은 강도를 보이고 나머지 위치에서는 거의 유사한 강도를 나타내고 있다. 이는 SCC가 가지고 있는 재료분리 저항성 때문에 굵은 골재가 가라앉는 현상이 발생하지 않기 때문으로 보인다.

5. 결론

본 연구에서는 분산제 코팅을 통해 성능 개선된 나일론 섬유를 혼입한 SCC에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 그 방법으로는 섬유 길이 및 종류에 따른 시험체와 광물질 혼화제의 종류에 따른 시험체를 제작하여 물리적, 역학적 특성 및 내구적 특성을 실험하였다. 또한 Mock-up 시험체를 제작하여 현장에서의 실용화 가능성을 확인하였다. 위와 같은 실험을 통하여 분석, 고찰한 결과는 다음과 같다.

1) 굳지 않은 자기충전 콘크리트의 경우 슬럼프 플로우 및 U-Box는 섬유 비교와 혼화제 비교 모두 목표 성능을 만족 하였으며, 육안 식별 지수에 의한 판정에서도 모두 재료 분리가 없는 높은 안정성을 갖는 것으로 나타났다. 이 결과로 고유동성 부분에서 모든 시험체가 사용 가능한 것으로 판단되며, EP 나일론 섬유의 경우는 다른 섬유와 비교하여 적은 유동화제 사용에도 동일하거나 우수한 결과를 보였다. 이는 EP 나일론 섬유가 분산제로 코팅되어진 영향으로 콘크리트 내에서 섬유와 섬유사이의 반발력으로 몽

침 현상 없이 분산성이 좋게 나타난 것으로 보인다.

2) 경화한 자기충전 콘크리트의 경우 역학적 특성 중 압축강도는 섬유가 혼입 되지 않은 Control이 다소 높은 강도 발현을 보였으며, EP 나일론 섬유와 다른 섬유들은 유사한 압축강도 값을 보였다. 인장 및 휨 강도 부분은 섬유 길이 및 종류의 비교에서 EP Nylon6, Cellulose, EP Nylon13, Polypropylene, Control의 순서로 강도가 크게 나왔다. 또한 EP Nylon6은 Polypropylene보다 약 10~15%정도 강도가 우수하게 나타났으며, 같은 EP 나일론 섬유의 경우에도 6mm가 13mm보다 휨 강도 부분에서 약 15%정도 높게 나타났다. 이는 기존 연구와 다른 양상으로 나타났는데, 이것은 굵은 골재의 최대치수가 13mm이기 때문으로 보인다.

각각 10%를 치환한 혼화제 비교에서 압축강도는 모든 재령에서 BN이 가장 우수했으며 재령28일에서는 FBN보다 FN이 재령 91일에서는 FN보다 FBN이 높은 강도를 보여주고 있다. 고로슬래그 미분말만 혼합한 BN이 플라이애쉬만 혼합한 FN보다 약 10%정도 강도가 높은 것으로 나타났다. 인장강도와 휨 강도에서도 압축강도와 유사한 결과를 보여주고 있다. 이는 플라이애쉬 보다 고로슬래그 미분말이 더 안정된 물질로서 시멘트와 결합하여 수밀한 시험체가 만들어진 것으로 보인다.

3) 혼화제 치환 때문에 탄산화 깊이는 폴리프로필렌을 제외한 그 외의 배합들이 유사한 결과를 보였고, 염소이온 침투 결과는 셀룰로오스를 제외한 나머지가 유사한 결과를 보였다. 혼화제 혼합의 비교에서는 3 성분계로 혼합한 것이 저항성이 높은 것으로 확인되었고, 이 결과를 토대로 하여 실구조물에 EP 나일론 섬유를 혼입한 SCC를 적용하였을 경우 염소이온 침투가 활발한 해양 지역 또는 탄산가스 많이 배출되어지는 공장 지역 등 내구성 환경이 취약한 지역에 적합할 것으로 보인다.

4) Mock-up Test에서는 SCC의 유동성과 충전성이 높은 것으로 확인 되었으며, 시험체 상, 중, 하부의 강도차이는 일반콘크리트는 약 10%정도 하부가 높게 나타났고, SCC의 경우는 거의 차이 없이 나타났다. 이는 재료분리 현상인 굵은 골재가 하부로 가라앉는 현상이 없는 SCC의 고유한 성질이 EP 나일론 섬유를 혼입하였을 때도 동일하게 나타나는 것으로

타설 깊이가 깊은 구조물에서 적용이 가능한 것으로 보인다.

앞서 수행된 물리적, 역학적 및 내구 특성을 종합해 볼 때 동일한 결과를 얻기 위한 SP제의 사용량뿐만 아니라 섬유 사용량이 적음에도 EP 나일론 섬유가 우수함을 보였으며, EP Nylon 13mm보다 EP Nylon 6mm를 사용하였을 때 역학적 특성 및 내구 특성이 더 우수함을 알 수 있었다. 광물질 혼화제 사용에서는 플라이애쉬 보다 고로슬래그 미분말을 사용하는 것이 역학적 특성 및 내구특성이 더 우수함을 알 수 있었다. 이를 통하여 EP 나일론 섬유를 혼입한 자기충전 콘크리트의 가능성을 확인하였고, 실구조물인 터널 라이닝, PSC 구조물 그리고 지하 구조물 등에 적용에 있어서 적합할 것이다.

참고문헌

1. 김기철, 박상준, 조병영, 윤기원, 최응규, 한천구, “중점제를 이용한 고유동 콘크리트의 특성에 관한 기초적 연구-경화상태의 특성”, 한국 콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 1996, pp.198-201.
2. 류재석 외4명, “여러 종류의 섬유를 혼입한 콘크리트의 성능 개선에 대한 연구”, 한국 구조물 진단 유지관리 공학회 가을 학술발표회 논문집, 2009.
3. 오병완, “섬유보강 콘크리트의 전망 및 필요성”, 한국 콘크리트 학회지, 제8권 4호, 1996.
4. 이희근, 이승훈, 카말 카야트, “자기충전 콘크리트의 워커빌리티 시험 방법 및 성능규준”, 한국 콘크리트 학회지, 제18권 4호, 2006, pp.68-72.
5. 송일현, 류재석, “콘크리트의 유동성 개선을 위한 순환골재 활용에 관한 연구”, 한국 콘크리트 학회 봄 학술발표회 논문집, 2009, pp.219-220 .
6. 쌍용양회공업주식회사 기술팀, “해양·매스콘크리트 설계 가이드북”, 쌍용양회공업주식회사, 2008, pp.17-20.
7. 전중규, 유진오, 유세열, “섬유보강 콘크리트의 분산성 및 균열저항성 평가”, 한국 콘크리트 학회 가을 학술발표회 논문집, 2007, pp.745-748.
8. 전중규, 유진오, 안형준, 유정훈, “광물질 혼화제를 혼입한 나일론섬유보강 콘크리트의 건조수축 특성에 관한 연구”, 대한토목학회 정기학술발표대회, 2007, pp.2254-2257.
9. 한천구 외4명, “폴리프로필렌 섬유의 혼입률 및 부재크기 변화에 따른 고성능 콘크리트의 내화 특성”, 한국 콘크리트 학회지, 제14권 4호, 2002, pp.449-456.
10. 홍건호, “섬유 복합체의 종류 및 품질 기준”, 한국 콘크리트 학회 봄 학술발표회 전문위원회 연구발표집, 2004, pp.233-244.
11. Japan Society of Civil Engineering. Recommendations for Self-Compacting Concrete, UK, 2002, p.32
12. K. H. Khayat, “Workability, Testing, and Performance of Self-Consolidating Concrete,” ACI Materials Journal, Vol. 96, NO. 3, 1999, pp.346-353.
13. KS F 2403, “Method of Making and Curing Concrete Specimens”, 2005.
14. KS F 2594, “Method of Test for Slump Flow of Fresh Concrete”, 2009.
15. KS F 2596, “Method of Measuring Carbonation Depth of Concrete”, 2004.
16. KS F 2711, “Testing Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration”, 2002.
17. M. Rooney, “Assessment of the Properties of Fresh Self-Compacting Concrete with Reference to Aggregate Segregation”, PhD Thesis, University of Paisley, Paisley, Scotland, 2002, p.347.

(접수일자 : 2010년 6월 10일)

(수정일자 : 2010년 9월 6일)

(심사완료일자 : 2010년 10월 14일)

요 지

본 연구에서는 분산제 코팅을 통해 성능 개선된(EP) 나일론 섬유를 혼입한 자기충전 콘크리트의 가능성을 알아보고자 하였으며, 이를 위한 실험 방법으로 나일론 섬유 길이와 다른 유기계 섬유(폴리프로필렌, 셀룰로오스)를 혼입한 경우 그리고 광물질 혼화제(고로슬래그 미분말, 플라이애쉬)의 종류를 달리 혼합한 2성분계 및 3성분계의 경우를 가지고 자기충전 콘크리트의 특성을 검토하였다. 이 실험 결과를 토대로 하여 실구조물 적용을 위한 Mock-up Test를 성능 개선된 나일론 섬유를 혼입한 자기충전콘크리트와 일반콘크리트를 비교하여 실구조물 활용 가능성을 검토 하였다. 그 결과 굳지 않은 자기충전 콘크리트의 특성, 경화된 자기충전 콘크리트의 특성 및 내구특성을 종합해 볼 때 성능 개선된(EP) 나일론 섬유가 우수함을 알 수 있었고, 성능 개선된 나일론 섬유에 따른 광물질 혼화제 사용에서는 플라이애쉬 보다 고로슬래그 미분말이 우수함을 알 수 있었다.

핵심 용어 : 분산제 코팅, 자기충전 콘크리트, EP나일론 섬유, 광물질 혼화제, Mock-up Test