

# 나일론섬유보강 콘크리트의 염소이온 침투 저항성에 대한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Resistance of Nylon Fiber Reinforced Concrete to Chloride Ion Penetration

전중규\* · 문재흠\*\* · 유진오\*\*\*

Jeon, Joong Kyu · Moon, Jae Heum · You, Jin O

### ABSTRACT

Fiber reinforcement has been being widely used in concrete to enhance the mechanical properties and to reduce the micro-cracking caused by plastic and drying shrinkage. While researches has been focused on the benefits of fiber reinforcement, the properties of fiber reinforced concrete are strongly dependent on the type, shape and the amount of fibers in concrete. In this study, the resistance of nylon fiber reinforced concrete against the chloride ion penetration was experimentally observed by NT Build 492. The test results showed that the addition of nylon fiber has little effect on the change of the resistivity of concrete to the chloride ion penetration.

### 요 약

최근 선진 외국에서는 단섬유를 보강재로 사용함으로써 콘크리트의 역학적 성질을 증가시키고 콘크리트의 소성 및 건조수축으로 인한 균열을 저감시키고자 적극적으로 사용되어지고 있으며, 국내에서도 그 사용이 점차 증대되고 있는 실정이다. 그러나 섬유보강 콘크리트의 경우 많은 장점이 있지만, 섬유의 종류, 형태 및 혼입률에 따라 콘크리트의 공기량, 슬럼프, 분산성, 균열저감 및 역학적 성능 증진 효과에 큰 차이가 있으므로 그 용도에 따라 섬유 소재의 장점은 살리고, 단점은 보완하여 고기능성 복합재료로 발전시켜야 한다. 또한, 염해에 관한 콘크리트 구조물의 내구수명을 예측하기 위하여 콘크리트의 염소이온 확산계수는 매우 중요한 인자이며, 이는 콘크리트의 종류에 따라 많은 차이가 발생하므로 이에 따라 콘크리트 구조물의 내구수명이 크게 달라질 수 있다. 본 연구에서는 OPC를 사용한 보통강도 콘크리트 및 이에 나일론섬유 길이 13mm, 20mm를 각각 혼입한 3종류 콘크리트의 염소이온 침투 저항성을 평가하기 위하여 NT Build 492 시험법인 전위차를 이용한 전기화학적 촉진시험을 수행하였다. 시험 결과, 콘크리트의 확산계수는 3종류 콘크리트 모두  $2.02 \sim 2.11E-11m^2/sec$ 범위로서, 나일론섬유를 콘크리트에 보강했을 때 콘크리트의 염소이온 확산계수에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

\*정회원, 코오롱건설(주) 기술연구소 과장 · 공학박사  
\*\*정회원, 한국건설자재시험연구원 건설기반기술센터 구조재료팀 선임연구원 · 공학박사  
\*\*\*정회원, 코오롱건설(주) 기술연구소 과장

## 1. 서 론

최근 선진 외국에서는 단섬유를 보강제로 사용함으로써 콘크리트의 역학적 성질을 증가시키고, 콘크리트의 소성 및 건조수축에 기인한 균열저감 효과를 위하여 적극적으로 사용되어지고 있으며, 국내에서도 그 사용이 점차 증대되고 있는 실정이다.

그러나 섬유보강 콘크리트의 경우 많은 장점이 있지만, 섬유의 종류, 형태 및 혼입률에 따라 콘크리트의 공기량, 슬럼프, 분산성과 같은 굳지 않은 콘크리트의 물성뿐만 아니라, 균열저항성 등 여러 역학적 성능의 증진 효과에 큰 차이가 있으므로 그 용도에 따라 최적화된 섬유의 선정 및 혼입률의 결정을 통하여 섬유 소재의 장점을 살리고, 단점은 보완하여 고기능성 복합재료로 발전시켜야 한다.

또한, 해양환경하 혹은 주차건물과 같이 염소이온에 노출되기 쉬운 철근콘크리트 구조물의 내구수명과 관련하여 철근의 부식 개시시기를 예측하기 위하여서는 염소이온 확산계수를 알아야 하며, 이는 콘크리트의 사용재료에 많은 영향을 받으므로 섬유보강 콘크리트의 경우에도 이에 대한 평가가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 나일론섬유가 콘크리트의 염소이온 침투 저항성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 전위차를 이용한 전기화학적 촉진시험법으로서 북유럽에서 규격화되어 있는 NT BUILD 492 방법에 의하여 콘크리트의 염소이온 침투 저항성을 평가하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### (1) 시멘트

본 실험에 사용된 보통포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement, OPC로 약함),의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

항 목 종 류	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> (%)	강열감량 (%)	밀도 (g/m <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)
OPC	20.2	5.8	3.0	63.3	3.4	2.1	1.2	3.15	3,120

#### (2) 골재

굵은 골재는 최대치수 25mm, 비중 2.68 및 조립률 6.97인 부순자갈을 사용하였으며, 잔골재는 비중 2.6, 조립률 2.8인 바다모래를 세척하여 사용하였다.

#### (3) 나일론섬유

본 실험에서 사용된 나일론섬유(Nylon Fiber, NF로 약함)는 국내 K사에서 생산한 섬유로서 직경 23 $\mu$ m, 길이 13mm/20mm, 녹는점 260 $^{\circ}$ C 및 밀도 1.16g/m<sup>3</sup>인 것을 사용하였다.

### 2.2 콘크리트의 배합

콘크리트 설계기준강도는 토목·건축현장에서 주로 많이 사용되고 있는 24MPa를 선정하였으며, OPC를 사용한 일반콘크리트 및 이에 나일론섬유 13mm, 20mm를 0.6kg/m<sup>3</sup> 씩 각각 혼입한 3종류(Plain, ONF13, ONF20)의 배합을 사용하였으며 표 2에 콘크리트 배합표를 나타내었다.

표 2 콘크리트 배합표

시험체명	공기량 (%)	슬럼프 (cm)	W/C (%)	S/a (%)	단위질량( kg/m <sup>3</sup> )					Ad1* (C*%)	Ad2** (C*%)
					W	C	S	G	NF		
Plain	4.5±1.5	18±2.5	49.1	47.5	162	330	868	964	0	0.7	0.0035
ONF13									0.6		
ONF20									0.6		

\* : 고성능감수제, \*\* : AE제

### 2.3 실험방법

콘크리트의 염소이온 확산계수 추정을 위하여 개발된 전기적 촉진시험법인 NT Build 492에 준하여 실시하였으며 시험장치는 그림 1과 같다. 이 시험법은 콘크리트 직경 10cm의 시편을 두께 약 5cm 정도로 절단하여 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>) 수용액으로 포화시키며, 이렇게 포화된 시편을 고무재질의 컨테이너와 조립한 후, 양극에는 0.3M의 NaOH 수용액, 음극에는 10%의 NaCl 수용액을 채워 전기적 전위차를 인가하게 된다. 염소이온 침투깊이는 시험 종료 후 시험체를 해체하고 시편을 쪼개어 쪼개진 면에 0.1N의 질산은(AgNO<sub>3</sub>) 수용액을 분무하여 은색 염화물 침전물이 육안으로 확실하게 나타날 때, 0.1mm 단위까지 정확하게 측정하여 평균값을 구한다.

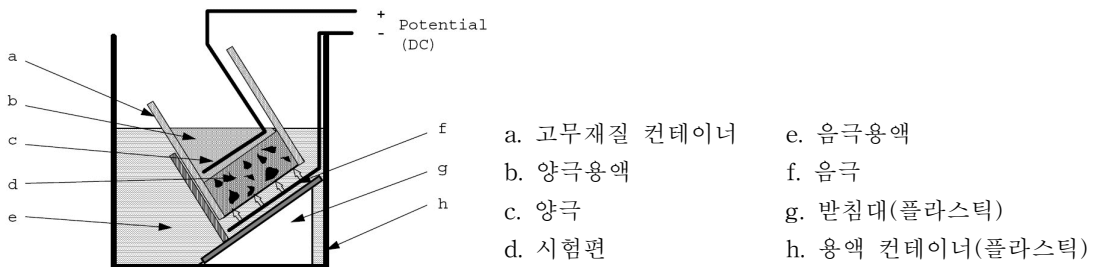


그림 1 NT Build 492 시험장치

이렇게 구한 염소이온 침투깊이를 가지고 콘크리트의 염소이온 확산계수 추정값을 다음 식(1)에 의하여 구한다.

$$D = \frac{RT}{zFE} \cdot \frac{x_d - a\sqrt{x_d}}{t} \quad \text{식(1)}$$

여기서,  $E = \frac{U-2}{L}$ ,  $a = 2\sqrt{\frac{RT}{zFE}} \cdot \text{erf}^{-1}\left(1 - \frac{2c_d}{c_0}\right)$

D : 염소이온 확산계수 (m<sup>2</sup>/s)

R : 기체상수 (8.314 J/K · mol)

t : 실험 지속시간 (s)

z : 이온의 원자가 (염소이온의 경우 z=1)

T : 용액의 온도 (K)

erf : Error Function

F : 패러데이 상수 (9.648×10<sup>4</sup> J/V · mol)

L : 시편의 두께 (m)

c<sub>d</sub> : 비색법(질산은)에 의한 반응 농도 (0.07N)

U : 양극과 음극 사이의 전압차 (V)

x<sub>d</sub> : 염소이온의 침투깊이 (m)

c<sub>0</sub> : 음극셀의 염소이온 농도 (2N ≒ 10%)

### 3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 Plain, ONF13 및 ONF20 3종류 콘크리트의 채령 28일에서 NT Build 492의 규정에 의한 촉진 염소이온 침투 저항성 시험에 통해 식(1)에 의한 확산계수 추정값을 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 콘크리트의 확산계수는  $2.02 \sim 2.11E-11 m^2/sec$  범위로서, Plain 콘크리트가 가장 작은 값을 나타내었으나, 나일론섬유를 콘크리트에 보강했을 때 콘크리트의 염소이온 확산계수에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 그림 3 및 4는 Plain, ONF13 및 ONF20 3종류 콘크리트의 염소이온 침투깊이를 나타낸 것으로 염수이온 확산계수 결과와 동일한 경향으로 시험 오차범위 정도의 크기로 30mm정도를 나타내었다.

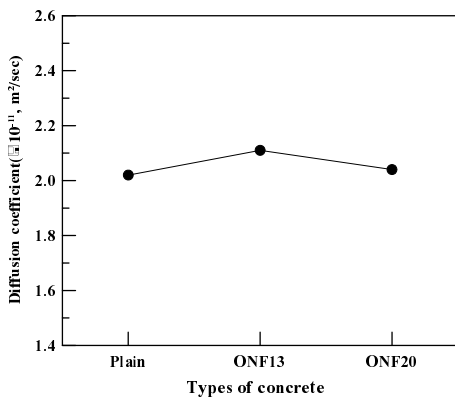


그림 2 콘크리트의 염소이온 확산계수

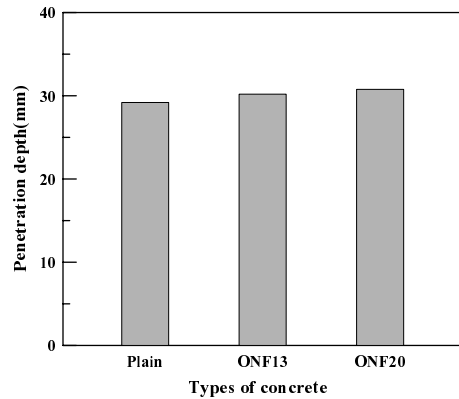
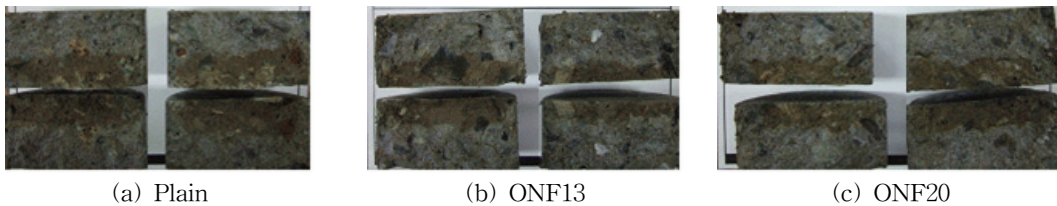


그림 3 콘크리트의 염소이온 침투깊이[1]



(a) Plain

(b) ONF13

(c) ONF20

그림 4 콘크리트의 염소이온 침투깊이[2]

### 4. 결론

보통포틀랜드 시멘트 및 보통포틀랜드 시멘트에 나일론섬유 길이 13mm, 20mm를 각각 혼합한 3종류 콘크리트의 염소이온 확산계수 및 침투깊이를 측정한 결과, 콘크리트의 염소이온 확산계수는 모두  $2.02 \sim 2.11E-11 m^2/sec$  범위로서, 나일론섬유 보강에 상관없이 거의 유사한 결과를 나타내었으며, 콘크리트의 염소이온 침투깊이도 30mm정도로 거의 유사한 값을 얻었다.

### 참고문헌

1. NT BUILD492, Concrete, Mortar and Cement-Based Repair Materials, "Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments", NORDTEST.