

외부조건에 따른 섬유보강콘크리트의 내구성능 평가에 관한 연구

김 남 옥

청주대학교 토목환경공학과
(2008. 7. 1. 접수 / 2008. 10. 14. 채택)

A Study on the Evaluation of Durability of Fiber Reinforced Concrete According to the Change of External Conditions

Nam-Wook Kim

Department of Civil and Environmental Engineering, Cheongju University
(Received July 1, 2008 / Accepted October 14, 2008)

Abstract : This study was intended to evaluate the permeable performance through a change of reinforcing materials, curing condition, durability evaluation and permeability test, and to select the reinforcing material which could reduce the durability and water tightness from it, as the study for considering how the change of the outside's environment factors that the concrete structure actually contacted with impacted the concrete's durability especially the permeability by referring to such the background of the study. Accordingly, it was judged that evaluating the permeability by considering the severe environment condition where the concrete structure was placed in was more reasonable than measuring the existing permeability coefficient conducted in the sound state for the permeability evaluation of actually-used concrete structure. In this study, it also could be known that the specimen of hybrid fiber reinforced concrete which mixed the long and short steel fiber was the most effective for water tightness enhancement in severe environmental conditions.

Key Words : durability, permeability, fiber reinforced concrete, environmental conditions, reinforcing material

1. 서론

근래에 와서 우리나라에도 빠른 경제발전과 더불어 국가기간산업이 크게 확장되면서 인천과 영종도 신 국제공항을 연결하는 영종대교, 서해안 고속도로 상의 서해대교, 고속철도, 고층건물 및 댐 등과 같은 대형 콘크리트 구조물이 끊임없이 건설되고 있다.

한편, 다른 산업분야의 경제 활동 즉, 공장 등의 지속적인 증가 또한 이루어지고 있는데, 공장지역에서 배출되고 있는 각종 오염물질 등이 주위의 환경적 오염을 유발하여 콘크리트 구조물에도 영향을 미치고 있다. 콘크리트 구조물이 접촉하고 있는 외부조건 즉, 대기, 지하수, 하천 및 토양의 오염이 콘크리트 구조물의 성능, 특히 내구성능의 저하를 유발하고 있으며 내구성능의 저하는 콘크리트 구조물의 전전성 및 공용수명을 크게 단축시킨다.

콘크리트 내구 성능저하는 공용기간 중 외부로부터의 물리·화학적 작용에 의한 조직의 연약화, 중성화 및 균열발생과 표면조직의 박리 등의 형태로 나타나며 이로 인해 콘크리트 구조물은 심각한 손상을 받게 되어 보수·보강 및 유지 관리 등에 막대한 비용이 필요하게 되며 이에 따라 내구성 향상에 관한 연구가 더욱 필요한 실정이다¹⁾.

콘크리트의 내구성에 영향을 미치는 요인으로는 염해, 중성화, 건조수축 및 화학물질 등 여러 가지 형태로 나타나는데 그중 내구성에 영향을 주는 중요한 인자 중에 하나가 콘크리트의 투수성이라 할 수 있다. 투수성이 클 경우 즉, 콘크리트 내부에 공극이 많으면 외부의 물, 공기 및 염소 이온의 반복적인 침투로 콘크리트의 내부식성, 내화학 저항성 등 성능저하에 큰 영향을 미친다. 따라서 콘크리트의 수밀성의 향상, 즉 투수계수를 낮출 수 있는 여러 가지 조치가 요구되며, 이와 더불어 투수계수의 정확한 평가가 필요하다²⁾.

본 논문에서는 외부 환경조건의 변화가 콘크리트의 내구성에 미치는 영향을 고찰하고자 양생조건의 변화 및 다양한 보강재의 종류에 따라 제작된 콘크리트 시험체에 대하여 압축강도 및 각 중 내구성 시험을 실시한 결과로부터 콘크리트의 성능을 평가하였으며, 이로부터 내구성능을 향상 시킬 수 있는 보강재를 선정하고자 하였다.

2. 시험체 제작

2.1. 사용재료

2.1.1. 시멘트

본 시험에서 사용한 시멘트는 KS L 5201에 적합한 국내산 D사의 분말도 3.15인 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.1.2. 골재

본 시험에서 사용한 굵은골재와 잔골재는 각각 밀도가 2.65인 19mm 쇄석 및 밀도 2.53인 하천사를 사용하였으며, 시험체 제작시 표면건조 포화상태를 유지하였다. 골재의 물성은 Table 1과 같다.

2.1.3 혼화제

강섬유의 혼입률이 증가함에 따라 슬럼프가 현저히 감소하므로 본 연구에서는 소정의 워커빌리티를 확보하기 위해 고성능 감수제를 사용하였으며, 그 첨가량은 일본토목학회의 섬유보강 콘크리트의 설계시공지침을 참조하여 목표 슬럼프(100±20mm)가 되도록 예비시험 시 수회의 슬럼프 시험을 실시하여 결정하였다³⁾.

한편 본 연구에서 사용된 고성능 감수제의 물성은 Table 2와 같다.

2.1.4. 강섬유

본 연구에서 사용된 강섬유는 현장에서 주로 사

Table 1. Properties of used aggregates

Kinds	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	F.M	G _{max} (mm)
Fine aggregate	2.53	1.78	2.68	---
Coarse aggregate	2.65	1.64	6.68	25

Table 2. Properties of superplasticizer

Type	Color	Solid contents(%)	pH	Specific gravity
Liquid	Dark brown	40	7~9	1.20

Table 3. Properties of steel fiber

Length (mm)	Diameter (mm)	Aspect ratio	Density (g/cm ³)	Shape	Elastic modulus (MPa)
30	0.45	67	7.85	Hooked	200,000
60	0.90	67	7.85	Hooked	200,000

용되고 있는 30mm 및 60mm 길이의 양단이 갈고리 형태로 되어 있는 제품을 사용하였으며, 강섬유의 물성치와 형태는 Table 3과 같다.

2.1.5. 폴리프로필렌 섬유

본 연구에서 사용된 폴리프로필렌 섬유(이하 PP 섬유)는 국내에서 생산된 제품으로 19mm를 사용하였으며 물성치는 Table 4와 같다.

Table 4. Properties of polypropylene fiber

Length (mm)	Diameter (mm)	Density (g/cm ³)	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (MPa)
19	0.002	0.9	612	3,500

2.1.6. SBR latex

SBR Latex는 수지의 일종이며 국내에서 생산되어지는 제품을 사용하였다. SBR Latex의 장점은 탄성이 우수하고, 내마모성 및 내구성이 우수한 것으로 알려지고 있으며 그 특성은 Table 5와 같다.

2.2. 배합설계

본 연구의 콘크리트 설계기준강도는 30MPa이며 섬유보강 콘크리트의 배합설계는 일본토목학회의 섬유보강 콘크리트의 설계시공지침을 참조하여 섬유길이 및 혼입률의 조합별로 여러 차례의 시험배합을 실시한 후 각각 제작하였는데 강섬유와 PP섬유의 총 체적 혼입률을 기준으로 하여 길이 조합별로 장·단 강섬유와 PP섬유의 혼입량을 분배하여 전체 단위중량을 일정하게 유지하였다.

한편, SBR latex의 혼입률은 예비시험 결과, 혼입률 20% 사용 시 설계기준강도를 만족하여 이 혼입률을 배합에 적용하였다.

Table 5. Properties of SBR latex

Items	Value
Solid contents(%)	48
pH	9
Surface tension(Dyne/cm)	35
Viscosity(CPS)	70
Color	Milky white

본 연구에서 제작한 시험체의 종류는 Table 6과 같다.

Table 6. Kinds of specimen

Kinds	Remark
OPC	Plain concrete
SF30	OPC + Steel fiber 30mm (1%)
PP	OPC + PP fiber (0.1%)
SF3060	OPC + Steel fiber 30mm (0.5%) +Steel fiber 60mm (0.5%)
SF30PP	OPC + Steel fiber 30mm (0.9%) + PP fiber (0.1%)
SBR	OPC + SBR (20% instead of cement weight)

3. 시험 방법

3.1. 압축강도 시험

본 연구에서 실시한 압축강도 시험은 각 시험체 별로 3개씩 $\Phi 150 \times 300$ mm 원주형 몰드에 콘크리트를 채우고 48시간 후 탈형한 후 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 수중 양생하여 KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법에 의하여 시험체 3개 강도의 평균값을 구하여 압축강도로 이용하였다.

3.2. 촉진 탄산화 시험

촉진 탄산화 시험은 KS F 2584 콘크리트의 촉진 탄산화 시험방법에 의거 $100 \times 100 \times 400$ mm의 직사각형 시험체를 제작하여 28일 및 56일까지 수중 양생을 실시한 후 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $60 \pm 5\%$ 및 CO_2 농도 $5 \pm 0.2\%$ 의 조건하에 촉진 탄산화시험기에 정치시켰다. 탄산화 깊이의 판별은 각 측정 재령별 시험체의 파단면에 분무기로 페놀프탈레인 용액을 도포하여 적자색으로 변색된 구간까지의 깊이를 표면으로부터 측정하여 진행속도를 판별하였다.

3.3. 내화학 저항성 시험

콘크리트의 내화학 저항성 시험은 현재 KS화되어 있지 않아 일본 JIS A 1193 콘크리트의 용액 침식에 의한 내약품성 시험방법에 의거 실시하였다. 이 시험방법은 산 또는 염류 등의 용액에 시험체를 침적시킨 후 압축강도시험을 수행한 후 수중 양생 시킨 시험체의 압축강도와 비교하여 평가하는 방법으로 황산염의 일종인 Na_2SO_4 (황산나트륨) 및 MgSO_4 (황산마그네슘) 용액에 침적시킨 후 재령 28 및 56일에 압축강도를 측정하였다.

3.4. 투수시험

투수시험 시험체는 $\Phi 150 \times 300$ mm의 원주형 몰드 중앙에 지름 20mm의 원주형 구멍이 있는 몰드를 사용하였는데 시험체가 완전히 경화되면 중앙에 있는 봉의 분리가 힘들기 때문에 시험체 제작 24시간 후에 봉을 제거 하였다. 시험체는 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 표준 온도에서 수중 양생시킨 후 재령 28 및 56일 동안 상수도수와 인공해수, 황산나트륨 및 황산마그네슘 용액을 각각 10%씩 희석한 수조에 양생한 후 각 시험체별로 압축강도 시험을 실시한 후 결과를 산출하였다.

본 연구의 투수량 측정은 DIN EN 7783 및 Output 방식에 의거 총 5일 동안 측정하였으며 이 때 측정된 투수량을 이용하여 시험체의 투수계수를 다음의 식 (1)로부터 구하였다.

$$K = \frac{\rho \log \frac{r_0}{r_i}}{2\pi h} \frac{Q}{P_i - P_o} \quad (1)$$

여기서, $K(\text{cm/sec})$: 투수계수

$P_o(\text{kgf/cm}^2)$: 외측수압

$P_i(\text{kgf/cm}^2)$: 내측수압

$Q(\text{mL/sec})$: 투수량

$r_o(\text{cm})$: 시험체의 반경

$r_i(\text{cm})$: 중심구멍의 반경

$h(\text{cm})$: 시험체의 높이

$\rho(\text{kg/cm}^3)$: 물의 단위중량

4. 시험 결과 및 고찰

본 연구에서는 섬유의 종류 및 혼입률, 수지의 혼입 등을 변수로 하여 콘크리트 시험체를 제작한 후 양생조건(상수도수, 인공해수)의 변화에 따른 압축강도, 촉진 탄산화시험 및 내화학 저항성 시험 등의 내구성 평가 시험을 재령 28일 및 56일에서 실시하였다. 또한 상수도수, 인공해수, 황산나트륨 및 황산마그네슘 용액에 동일 재령 동안 침적시킨 콘크리트 시험체에 대한 투수계수를 구하였으며 이러한 시험 결과로부터 콘크리트 내구성능에 효과적인 보강재를 선정하고자 하였다.

4.1. 압축강도 특성

4.1.1. 상수도수에 양생한 시험체의 압축강도

상수도수에서 양생한 각 시험체의 재령 28일 및 56일의 압축강도는 Fig. 1에 나타내었다.

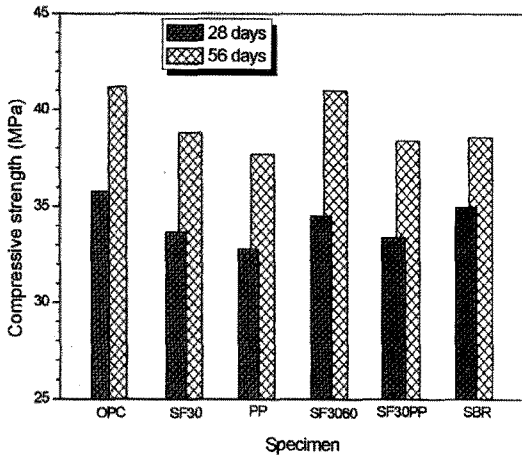


Fig. 1. Results of compressive strength cured tap water.

재령 28일 압축강도 결과, 무근콘크리트(OPC)의 압축강도는 약 36MPa로 다른 시험체와 비교할 때 가장 높았으며, 길이가 서로 다른 강섬유만을 혼입한 SF3060 시험체의 압축강도는 약 34MPa로 OPC 시험체를 제외한 시험체 중에서 가장 높은 압축강도를 나타냈다. 단일 섬유를 혼입한 시험체의 압축강도에서는 강섬유를 혼입한 시험체가 PP섬유를 혼입한 시험체보다 약 1MPa 정도 높았으며, 강섬유와 PP섬유의 하이브리드인 SF30PP 시험체는 강섬유를 단일 혼입한 시험체보다 오히려 0.5MPa 정도 낮게 나타났다. Fig. 1에 나타나 것처럼, 제작된 시험체의 재령 56일의 압축강도는 재령 28일의 압축강도 보다 약 13~15% 정도 높아져 전반적으로 재령 56일까지도 압축강도의 증진 현상을 확인할 수 있었다.

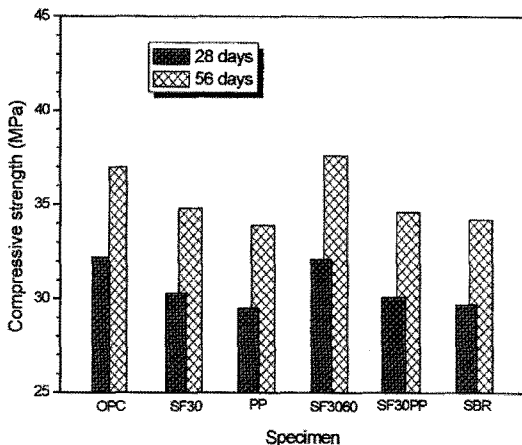


Fig. 2. Results of compressive strength cured substitute ocean water.

4.1.2. 인공해수에 양생한 시험체의 압축강도

본 연구에서는 양생조건의 차이에 의한 결과를 비교하기 위하여 일반적인 양생조건인 상수도수 이외에 인공해수에서의 양생을 계획하였다⁴⁾. 인공해수는 ASTM D 1141의 기준에 의거 제조하였으며 인공해수에서 양생한 각 시험체의 재령 28일과 재령 56일의 압축강도는 Fig. 2에 나타내었다.

인공해수에 양생시킨 경우, 일반적인 상수도수 양생의 경우와 비교할 때 모든 콘크리트 시험체의 강도가 저하된 것을 알 수 있었는데, OPC 시험체의 경우 재령 28일에서 약 4MPa 및 재령 56일에서 약 4.5MPa 정도 감소하였다. 이는 인공해수 중의 Cl⁻ 성분이 시멘트 경화체 속에 침투하므로써 콘크리트의 성능을 저하시키며 그 밖에 Mg²⁺ 및 SO₄²⁻ 이온이 콘크리트 시험체에 침투하여 Ca(OH)₂와 반응한 후 Mg(OH)₂ 및 CaSO₄ · 2H₂O가 생성되어 조직을 약화시키기 때문이다⁵⁾.

그러나 인공해수 양생의 조건에서는 강섬유의 하이브리드 보강인 SF3060 시험체의 강도가 OPC 시험체 보다 약 1MPa 정도 오히려 높게 나타나 열악한 환경에서 적용 시 효과적으로 판단된다.

4.2. 내구성 특성

4.2.1. 촉진 탄산화 시험결과 및 분석

콘크리트 탄산화(중성화)는 주로 물-시멘트비 및 환경조건에 따라 그 양 및 속도가 좌우되며, 경과 시간에 비례하는 특성이 있다⁶⁾. 촉진 탄산화시험으로부터 얻어진 재령경과에 따른 탄산화 진행 깊이 측정결과를 Fig. 3에 나타내었다.

시험결과, OPC 시험체의 탄산화 진행 속도가 가장 빠르게 나타났는데, 8주 시 측정결과는 약 14cm

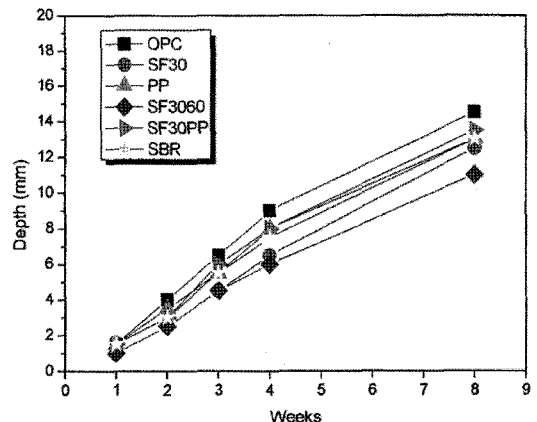


Fig. 3. Results of accelerated carbonation test.

정도였다. 보강재를 사용한 시험체 중에서는 강섬유와 PP섬유의 하이브리드 보강인 SF30PP의 시험체가 다음으로 비슷한 수준의 탄산화 속도를 보였으며, 강섬유 만의 하이브리드 보강인 SF3060과 수지보강인 SBR 시험체의 침투 깊이는 8주에서 10~12cm 정도로 낮게 나타났다. 이 결과로부터 섬유 및 수지 등의 보강재의 혼입은 콘크리트 내부 구조의 복잡화 및 밀실화를 가져와 탄산화에 대한 저항성에 효과적으로 판단되며, 그 중에서도 강섬유의 하이브리드 보강인 SF3060 시험체가 가장 효과적이었다.

4.2.2. 내화학 저항성 시험결과 및 분석

본 연구에서는 일본 JIS기준에 의거 황산나트륨 및 황산마그네슘 용액에 28일 및 56일간 침지하여 측정된 각 시험체의 압축강도 결과와 동일한 시험체의 상수도수에 수중양생 후 측정된 압축강도 결과를 비교한 내화학 저항성 평가를 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타내었다.

먼저, 결과를 시험용액 종류별로 분류하면, 황산나트륨 용액에 28일 동안 침지한 후 측정된 압축강도는 상수도수에 28일 양생 후 측정된 압축강도 보다 12~14% 정도 낮게 나타났고, 56일 압축강도는 14~16% 정도 낮게 나타났다.

또한, 황산마그네슘 용액에 28일 동안 침지한 압축강도는 상수도수에서 28일 양생한 압축강도 보다 14~16% 정도 낮게 나타났으며 56일 압축강도는 15~17% 정도 낮게 나타났다. 이 결과를 고려해 볼 때 황산마그네슘 용액에 침지시켰을 때 압축강도가 약간 더 저하된 것으로 나타났다.

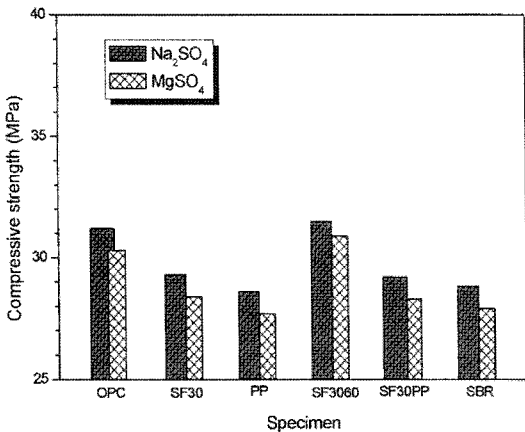


Fig. 4. Results of compressive strength cured sulfate solution (28 days).

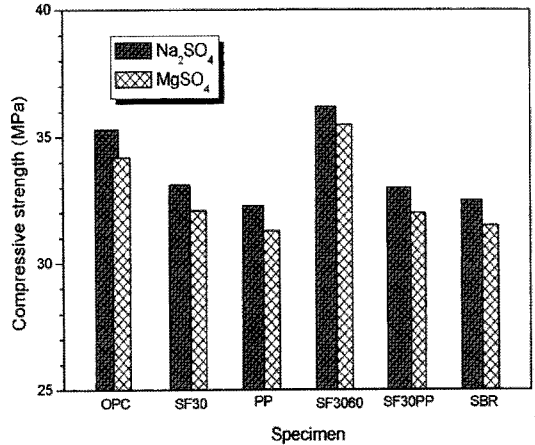


Fig. 5. Results of compressive strength cured sulfate solution(56 days).

한편, 시험체별 압축강도는 강섬유의 하이브리드 보강인 SF3060 시험체가 약 32MPa 정도로 가장 높았다. OPC 시험체는 일반적인 상수도수 양생 후 측정된 압축강도에서 SF3060 시험체 보다 높았으나 황산염 용액 침지후에 측정된 압축강도는 약 30.5MPa 정도로 오히려 저하된 결과를 나타냈다. 이로부터 적절한 보강재의 선정이 열악한 환경조건에서 콘크리트의 내구성 증진에 효과적임을 확인하였다. 한편, SF3060 시험체의 내화학 저항성이 높은 이유는 콘크리트 시험체가 황산염 용액 침지 후 내부조직에 생긴 결함을 보강재의 혼입으로 보완할 수 있었는데 특히 내부 공극 및 결함의 크기에 따라 각기 다른 크기의 섬유가 효과적으로 작용한 것 때문으로 판단된다.

4.2.3. 투수시험 결과 및 분석

(1) 각 중 용액에 28일 침지한 투수계수

Table 7은 각각 다른 용액에 28일 동안 침지한 후 측정된 투수계수를 나타낸 것이다. 결과에서 보는 바와 같이 전반적인 경향은 용액에 28일 동안 침지한 투수계수는 상수도수, 인공해수, 황산나트륨 및 황산마그네슘 용액 순으로 투수계수가 상승하는 것을 알 수 있었다.

본 투수시험은 총 5일 동안 측정된 투수량 으로부터 투수계수를 계산하였으며, 이를 시험일별로 구분해 보면, 투수 시험 1일째에는 다른 시험체에서는 전혀 투수가 되지 않았으나 OPC 시험체에서는 소량이지만 투수가 관찰되었다. 이는 보강재를 혼입한 콘크리트에서는 보강재의 혼입으로 콘크리트 내부가 밀실하게 되므로 투수가 발생되지 않은 것

Table 7. Results of permeability coefficient at 28 days

Curing condition	specimen	days				
		1-day	2-day	3-day	4-day	5-day
Tap water	OPC	1.26×10^{-12}	1.65×10^{-12}	2.01×10^{-12}	2.38×10^{-12}	2.81×10^{-12}
	SF30	---	---	1.01×10^{-13}	0.32×10^{-12}	0.45×10^{-12}
	PP	---	---	1.23×10^{-12}	1.15×10^{-12}	2.45×10^{-12}
	SF3060	---	---	---	---	0.31×10^{-12}
	SF30PP	---	---	---	1.11×10^{-12}	2.32×10^{-12}
	SBR	---	---	---	0.15×10^{-12}	0.28×10^{-12}
Substitute ocean water	OPC	1.76×10^{-12}	2.42×10^{-12}	2.51×10^{-12}	2.82×10^{-12}	3.55×10^{-12}
	SF30	---	---	2.31×10^{-13}	0.35×10^{-12}	0.51×10^{-12}
	PP	---	---	1.25×10^{-12}	1.91×10^{-12}	3.11×10^{-12}
	SF3060	---	---	---	---	0.42×10^{-12}
	SF30PP	---	---	---	1.51×10^{-12}	2.42×10^{-12}
	SBR	---	---	---	0.22×10^{-12}	0.41×10^{-12}
Na ₂ SO ₄	OPC	2.40×10^{-12}	2.71×10^{-12}	3.01×10^{-12}	3.45×10^{-12}	3.90×10^{-12}
	SF30	---	---	2.50×10^{-13}	0.43×10^{-12}	0.55×10^{-12}
	PP	---	---	1.32×10^{-12}	0.20×10^{-12}	3.30×10^{-12}
	SF3060	---	---	---	---	0.45×10^{-12}
	SF30PP	---	---	---	---	2.78×10^{-12}
	SBR	---	---	---	---	0.65×10^{-12}
MgSO ₄	OPC	3.20×10^{-12}	3.45×10^{-12}	3.80×10^{-12}	4.25×10^{-12}	4.50×10^{-12}
	SF30	---	0.20×10^{-13}	2.50×10^{-12}	0.70×10^{-12}	1.20×10^{-12}
	PP	---	1.02×10^{-12}	1.95×10^{-12}	2.40×10^{-12}	3.90×10^{-12}
	SF3060	---	---	---	0.10×10^{-12}	0.57×10^{-12}
	SF30PP	---	---	0.50×10^{-12}	1.55×10^{-12}	3.30×10^{-12}
	SBR	---	---	1.50×10^{-13}	0.40×10^{-12}	1.01×10^{-12}

으로 판단되었다. 투수 시험 2일째부터는 황산마그네슘 용액에 침지한 강섬유보강인 SF30과 PP섬유를 보강한 시험체에서 투수가 시작되었고, SF30을 보강한 시험체에서도 미세하나마 투수가 발생되었다. 이 같은 결과로부터 황산마그네슘에 침지한 조건이 가장 열악한 환경임을 알았다. 황산마그네슘은 콘크리트 중의 수화생성물과 반응하여 체적팽창을 유발하며 또한 시멘트 페이스트 조직을 다공질화 하는데 이로부터 콘크리트의 투수성이 증가한 것으로 판단된다^{5,6)}.

투수 시험 3일째에는 수지를 혼입한 SBR 시험체에서도 투수가 시작되었으며 시험 4일째에서는 SF3060을 보강한 시험체를 제외한 다른 시험체들은 용액의 종류에 따라서 투수계수가 더욱 상승하는 것을 알 수 있었다.

투수 시험 마지막 날인 5일째는 SF3060 시험체에서도 미소하지만 투수현상이 나타났으며 모든 시험체에서 침지한 용액에 따라서 투수계수가 급격히

상승하는 경향을 보였다. 한편, SBR 시험체는 상수도수 및 인공해수에서는 SF3060 보다 낮은 투수계수를 나타내었으나 황산 용액에 침지한 경우에는 오히려 투수계수가 증가하였다. 이는 일반적인 환경조건에서는 수지의 혼입이 수밀성 증가 등의 내구성 향상에 효과적이나 황산 용액이 작용하는 환경하에서는 체적 팽창 및 내부 다공질화에 효과적으로 저항하지 못한 것으로 판단된다.

(2) 각 종 용액에 56일 동안 침지한 투수계수

Table 8은 각 종 용액에 56일 동안 침지한 후 측정된 투수계수를 나타낸 것이다. 결과에서 보는 바와 같이 56일 동안 침지한 후 측정된 투수계수는 28일 동안 침지한 후 측정된 투수계수보다 높고 동일 투수계수에 도달되는 투수시간 또한 빠르게 나타났다.

한편, 전반적인 경향은 28일 후에 측정된 결과와 수치적인 차이만 있을 뿐 비슷하였으며, 가장 투수

Table 8. Results of permeability coefficient at 56 days

Curing condition	specimen	days				
		1-day	2-day	3-day	4-day	5-day
Water	OPC	2.20×10^{-12}	2.49×10^{-12}	2.73×10^{-12}	3.25×10^{-12}	3.04×10^{-12}
	SF30	---	---	3.01×10^{-13}	0.40×10^{-12}	0.50×10^{-12}
	PP	---	---	0.90×10^{-12}	1.48×10^{-12}	3.15×10^{-12}
	SF3060	---	---	---	---	0.20×10^{-12}
	SF30PP	---	---	0.75×10^{-12}	1.45×10^{-12}	2.49×10^{-12}
	SBR	---	---	---	0.20×10^{-12}	0.74×10^{-12}
Substitute ocean water	OPC	2.51×10^{-12}	2.99×10^{-12}	3.50×10^{-12}	3.71×10^{-12}	4.12×10^{-12}
	SF30	---	0.26×10^{-13}	3.52×10^{-13}	0.82×10^{-12}	0.55×10^{-12}
	PP	---	0.75×10^{-12}	0.98×10^{-12}	2.66×10^{-12}	3.24×10^{-12}
	SF3060	---	---	---	---	0.26×10^{-12}
	SF30PP	---	0.63×10^{-12}	1.40×10^{-12}	2.40×10^{-12}	2.61×10^{-12}
	SBR	---	---	---	0.25×10^{-12}	0.86×10^{-12}
Na ₂ SO ₄	OPC	3.40×10^{-12}	3.75×10^{-12}	4.10×10^{-12}	4.50×10^{-12}	4.70×10^{-12}
	SF30	---	2.50×10^{-13}	3.20×10^{-13}	0.80×10^{-12}	1.01×10^{-12}
	PP	---	0.80×10^{-12}	1.69×10^{-12}	3.18×10^{-12}	4.50×10^{-12}
	SF3060	---	---	---	0.19×10^{-12}	0.47×10^{-12}
	SF30PP	---	0.60×10^{-12}	1.41×10^{-12}	2.75×10^{-12}	3.50×10^{-12}
	SBR	---	---	2.20×10^{-12}	0.50×10^{-12}	1.10×10^{-12}
MgSO ₄	OPC	4.11×10^{-12}	4.35×10^{-12}	4.52×10^{-12}	5.10×10^{-12}	5.38×10^{-12}
	SF30	0.20×10^{-13}	2.50×10^{-13}	5.01×10^{-13}	0.70×10^{-12}	1.10×10^{-12}
	PP	0.90×10^{-12}	1.30×10^{-12}	2.52×10^{-12}	3.50×10^{-12}	4.40×10^{-12}
	SF3060	---	---	---	0.50×10^{-12}	0.80×10^{-12}
	SF30PP	0.50×10^{-13}	1.01×10^{-12}	1.45×10^{-12}	2.50×10^{-12}	3.90×10^{-12}
	SBR	---	---	2.30×10^{-13}	0.90×10^{-12}	1.30×10^{-12}

계수가 낮은 SF3060 시험체와 가장 투수계수가 높은 OPC 시험체의 결과는 더욱 그 간격이 커졌다. 이러한 결과로부터 투수성능을 비롯한 콘크리트 내구성의 저하는 재령의 증가에 따라 더욱 커짐을 알았으며 내구성능의 저하는 보강재의 혼입을 통하여 방지할 수 있었는데 특히 강섬유의 하이브리드 보강인 SF3060이 효과적으로 나타났다. 즉, 섬유 등을 통한 보강재의 혼입은 콘크리트의 성능향상을 나타내고 있는데 이는 콘크리트 매트릭스 내에 발생한 공극이나 작용하는 하중의 증가에 따라 발생하는 균열에 대하여 저항하는 성능이 우수한 것 때문이며 특히 강섬유의 하이브리드 보강인 SF3060의 경우는 발생하는 균열의 크기에 따라 각기 다른 사이즈의 섬유가 효과적으로 작용했기 때문으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 양생 시 각 중 외부 환경조건에

놓인 콘크리트 구조물의 내구성능을 평가하기 위하여 상수도수, 인공해수, 황산나트륨 및 황산마그네슘에 침지한 후 각 중 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 압축강도 측정 결과, 상수도수 양생의 경우에는 OPC 시험체의 강도가 가장 높았으나 인공해수 양생의 경우는 강섬유의 하이브리드 보강인 SF3060 시험체가 OPC 시험체 보다 강도 저하율이 낮아 열악한 환경조건에서는 보강재의 혼입이 효과적이다.

2) 촉진 탄산화시험 결과, 섬유 및 수지 등의 보강재의 혼입이 콘크리트 내부의 복잡화 및 밀실화를 유도하여 탄산화 진행속도를 감소시키는데 효과적이다.

3) 각 중 용액에 침지한 후 측정된 투수계수 계산 결과, 강섬유의 하이브리드보강인 SF3060 시험체가 가장 낮게 나타났으며, 이는 콘크리트 내부의 각기 다른 사이즈의 공극 및 결함에 장단 강섬유가 효과적으로 작용하여 공극을 감소시킨 것 때문으로 판

단된다.

4) 이상과 같은 결과로 볼 때 장·단 강섬유를 조합한 하이브리드 섬유보강콘크리트의 시험체가 열악한 환경조건에서 내구성능을 개선시킬 수 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) C.S Lee, S.S Kim and I.S Yoon, "Deterioration of Concrete Structures in Central Area of Metropolis", J. of the Korean Concrete Institute, Vol. 14, No. 1, pp. 72~93, 2002.
- 2) B.Y Han and J.S. Bae, "An Experimental Study on the Permeability of Reinforcement Concrete on Consideration of Pre-loading", J. of the KSMI, Vol. 9, No. 3, pp. 87~92, 1990.
- 3) JSCE, "Concrete Library", pp. 52~55, 2005.
- 4) H.Y Moon, K.J Shin and C.S Lee, "A Study for Improving Properties of Antiwashout Underwater Concrete Mixed with Mineral Admixtures", J of the Korean Concrete Institute, Vol. 14, No. 3, pp. 409~419, 2002.
- 5) H.Y Moon, S.T Lee and H.. Kim, "Evaluation on the Deterioration and Resistance of Cement due to Seawater Attack", J. of the the Korean Concrete Institute, Vol. 13, No. 2, pp. 175~183, 2001.
- 6) Y.K Lee, S.C Lee and C.W Park, "New Concrete Technology", Goomi Book Inc., pp. 301~304, 2006.