

초기 휨균열이 철근콘크리트 부재의 염화물침투저항성에 미치는 영향

Effect of Initial Flexural Crack on Resistance to Chloride Penetration into Reinforced Concrete Members

양 은 익¹⁾* 진 상 호²⁾ 김 명 유³⁾ 최 윤 석⁴⁾ 한 상 훈⁵⁾
Yang, Eun Ik Jin, Sang Ho Kim, Myung Yu Choi, Yoon Suk Han, Sang Hun

Abstract

In this study, the chloride penetration tests were performed for the initially cracked reinforced concrete members. The chloride diffusion characteristics and the critical crack width are compared, and the properties of self-healing are investigated. According to the test results, the chloride penetration resistance was greatly reduced as the surface crack width increased. When the mineral admixtures are added, the chloride penetration resistance of uncracked specimens were effectively increased, however, in case of the blast furnace slag and fly ash, the cracked specimens showed the more reduced resistance than OPC case, inversely. Also, the critical width was $29\mu\text{m}$, on average, for immersion test. The crack width with $4\sim 15\mu\text{m}$ was restored by self-healing. The parts restored by self-healing were seemed to be visually restored, however, the chloride penetration resistance was not restored, perfectly.

Keywords : Crack, Chloride ion, Diffusion coefficient, Critical crack width, Self-healing

1. 서론

철근콘크리트는 우수한 내구성으로 인해 지금까지 구조물의 재료로 널리 사용되고 있다. 그러나 최근 들어 철근콘크리트 구조물이 대형화, 장대화 함에 따라 가혹한 환경에 놓이는 경우가 빈번하고 있으며, 더욱이 해양구조물과 같이 염해 환경에 노출되는 경우가 잦아짐에 따라 철근콘크리트 구조물의 내구성을 검토하고 이에 대한 내구성 평가를 요구하는 경우가 점차 증대하고 있는 실정이다. 철근콘크리트 부재가 염해 환경에 노출되게 되면 염화물 이온은 콘크리트의 공극을 통해 콘크리트 내부의 철근에 도달하여 철근의 부식을 일으키게 되고 철근과 콘크리트의 일체거동을 훼손시켜 구조물의 치명적인 기능 손실을 가져오기도 한다. 따라서 지금까지 많은 연구자들에 의해 콘크리트의 내부로 침투하는 염화물 이온의 메커니즘, 침투에 미치는 영향요인 및 이에 대한 대책방안에 이르기까지 다양한 연구가 진행되어 온 바 있다.(박정준 등,

2004; 양은익 등, 2005; 한상훈, 2008; Tang and Nilson, 1992)

그러나 지금까지의 연구는 균열이 없는 건전한 콘크리트를 대상으로 하는 경우가 많기 때문에 균열에 의한 열화 촉진을 고려해야 한다는 지적이 급증하였으며, 실제로 철근콘크리트의 표면이 대부분 균열을 내재하고 있음을 고려할 때 이러한 지적의 당위성은 강조하지 않아도 될 것으로 판단된다. 따라서 국내외적으로 콘크리트 부재에 균열을 발생시키고 그 균열에 의한 염화물 저항성에 대한 많은 평가가 시도되어 보고되고 있는 실정이다(박상순 등, 2001; 송하원 등, 2001; 윤인석 등, 2007; Djerbi, 2008; Ismail et al, 2004; Mohammed et al, 2001; Win, 2004).

한편, 지금까지 연구되어 온 균열폭 영향 연구는 무균 콘크리트에 설치한 노치에 의해 균열을 집중시킨 경우와 균열 부분에 대해 촉진 저항성을 검토한 연구가 대부분이며, 철근콘크리트부재를 대상으로 실시한 예는 부족하고

1) 정회원, 강릉원주대학교 토목공학과 교수
2) 정회원, (주)한국해외기술공사
3) 학생회원, 강릉원주대학교 토목공학과
4) 학생회원, 강릉원주대학교 토목공학과
5) 정회원, 한국해양연구원

* Corresponding author : eiyang@gwnu.ac.kr 033-640-2418

• 본 논문에 대한 토의를 2011년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 2011년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 Mechanical properties of aggregate

Type	Density	Absorption(%)	F.M
Fine aggregate	2.59	1.01	2.65
Coarse aggregate	2.78	0.62	6.80

Table 2 Mixture proportion

W/B (%)	Unit weight (kg/m ³)					Blended admixture	Binder replacement ratio
	W	C	S	G	B		
40	170	425	730	982	-	-	-
	170	382.5	722	972	42.5	Silica Fume (SF10)	10%
	170	382.5	726	977	42.5	Metakaolin (MK10)	10%
	170	382.5	723	974	42.5	Fly ash (FA10)	10%
	170	297.5	725	976	127.5	Blast Furnace Slag (BFS30)	30%
50	172.5	345	791	981	-	-	-
	172.5	306	786	976	34	Silica Fume (SF10)	10%
	172.5	310.5	787	977	34.5	Metakaolin (MK10)	10%
	172.5	310.5	785	974	34.5	Fly ash (FA10)	10%
	172.5	241.5	787	977	103.5	Blast Furnace Slag (BFS30)	30%

또한 자연적인 염화물 침투에 대한 저항성을 평가한 경우는 미진한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 철근콘크리트 휨부재의 균열에 대한 영향을 정량적으로 판단하기 위하여 철근콘크리트부재를 모사한 시험체를 제작하고 그 부재에 3점 휨하중에 의해 초기균열을 발생시킨 후, 발생한 휨균열이 철근콘크리트 부재의 염화물 침투 저항성에 미치는 영향을 침지시험을 통하여 비교·검토하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 재료 및 시편 제작

2.1.1 재료 및 배합

본 연구에서는 잔골재로써 강모래를 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 25mm 쇄석골재를 사용하였다. 배합에 사용된 골재 특성은 Table 1과 같다. 시멘트는 보통 포트랜드 시멘트를 사용하였다.

Table 2의 배합표에 준하여 시험체를 제작하였으며, 슬럼프는 10cm, 공기량은 5% 범위를 유지하도록 혼화제를 적정 투입하였다. Table 3은 사용된 혼화재료의 화학

Table 3 The chemical component of materials

Type	OPC	Blast Furnace Slag (BFS)	Fly Ash (FA)	Metakaolin (MK)	Silica Fume (SF)
SiO ₂	21%	33%	50%	56%	92%
Al ₂ O ₃	4.6%	13%	25%	37%	1.5%
Fe ₂ O ₃	3.5%	0.6%	5%	2.4%	3%
MgO	-	7%	-	0.3%	2%
TiO ₂	-	-	-	1.64%	-
Na ₂ O	-	-	-	0.21%	-
CaO	61.9%	42%	-	0.2%	0.7%
SO ₃	2.1%	-	-	-	0.2%
K ₂ O	1.4%	-	-	0.5%	-
P ₂ O ₅	-	-	-	0.21%	-
LOI	1.5	1.0	3.8	0.16%	2.3
Density	3.15	2.89	2.25	2.59	2.15
Fineness (cm ² /g)	3,100	3,400	3,300	150,000	200,000

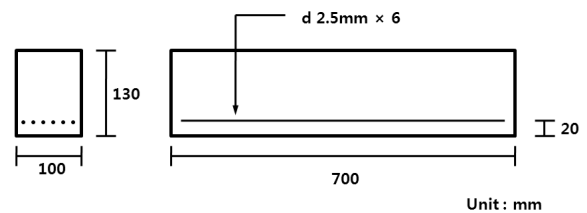


Fig. 1 Details of specimen

적 조성 비율을 나타낸 것이다.

2.1.2 균열 도입용 시편 제작

시험체의 단면과 형상은 Fig. 1과 같다. 시험체의 크기는 100×130×700mm이며, 인장 측에 직경 2.5mm의 와이어 매쉬를 배치하였다. 배치된 와이어 매쉬의 피복두께는 20mm로 하였다. 제작된 시편은 1일간 기중양생을 실시하여 탈형한 후 20±2°C 환경에서 27일간 수중양생을 실시하였다. 콘크리트 압축강도 측정을 위하여 원주형 공시체(∅100mm×200mm)를 함께 제작하였다.

2.2 실험 내용 및 방법

2.2.1 콘크리트 압축 강도 실험

콘크리트 압축강도는 만능재료시험기(1000kN)를 이용하여 재령 28일, 90일에 측정하였다. 실험은 KS F 2405에 의거하여 실시하였으며 각 변수별로 3개의 공시체로부터 측정된 값의 평균값을 사용하였다.

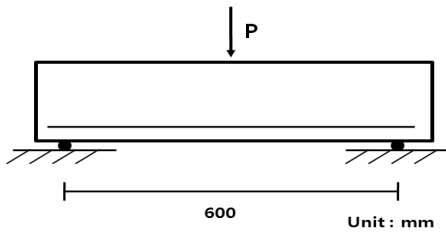


Fig. 2 Experimental scheme for loadings

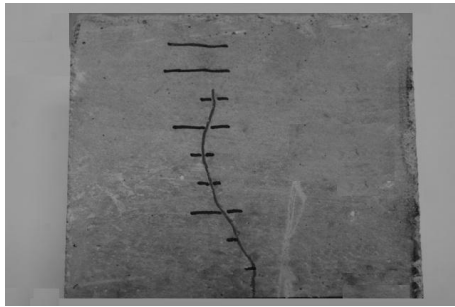


Fig. 3 Shape of cracked specimen

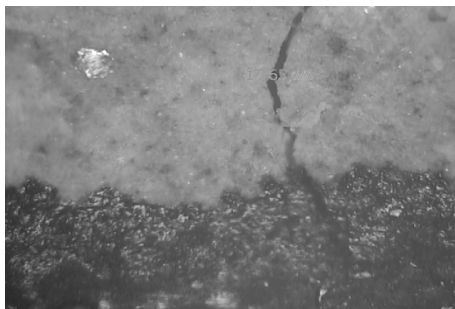


Fig. 4 Photo for crack image

2.2.2 균열 도입

Fig. 2는 철근콘크리트 부재에 균열을 발생시키기 위한 3점 휨 가력의 모식도이다. 28일간 양생된 시편에 2kN/분의 재하속도로 집중하중을 주었으며, 균열이 시험체 단면의 중앙까지 진전하게 되면(표면 균열폭 범위: 10 μ m~80 μ m) 하중을 제거하였다. 본 논문의 균열폭은 균열발생 하중을 제거한 후에 측정되는 균열폭을 의미한다. 전체 실험과정에서 제작한 시험체는 모두 200여개이며, 실험의 편의를 위해 Fig. 3과 같이 시편의 해당부분을 컷팅하였으며, 균열 최외단으로부터 10mm 간격으로 균열폭을 측정하였다. 측정 장비는 S과학의 현미경으로 최대 배율이 600배에 달하며 이미지 촬영 후 화소화하여 화소간 거리를 측정하는 방법으로 균열폭을 측정하였다. Fig. 4는 현미경으로 촬영한 균열의 이미지이다.

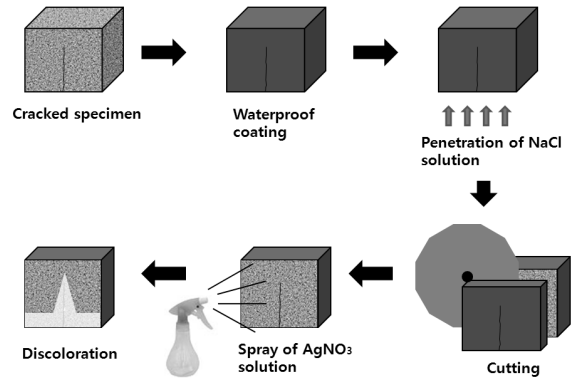


Fig. 5 Diagram of long-term chloride penetration test

2.2.3 침지 염화물침투 실험

침지 염화물침투 실험은 Fig. 5와 같은 방법으로 실행되었다. 실제 염화물 환경과 유사한 환경을 만들기 위하여 해수와 같은 농도인 3% NaCl 수용액을 제작하여 28일 재령에 균열이 도입된 시편을 침지시켰다. 시편은 침지 전 1방향 침투를 유도하기 위하여 침투를 의도하지 않은 면에는 에폭시 수지를 도포하여 염화물 침투를 방지하였다. 침지 시킨 후 90일이 경과하였을 때 염화물 침투 깊이를 측정하였다.

염화물침투깊이 측정 방법은 질산은 변색법을 이용하여 측정하였다(Fig. 6). 측정된 침투깊이로 Fick의 제 2법칙에서 유도된 식 (1)과 (2)를 이용하여 확산계수를 산정하였다. 여기서 c_0 는 표면의 염화물 농도(kg/m³), c_i 는 콘크리트 내부의 초기농도, c_d 는 선행된 실험(양은의 등, 2007)에서 측정되었던 변색부 경계에서의 실제 염화물 농도(시멘트 중량당 0.15%)를 반영하였다. x_d 는 질산은 분무로 측정된 침투깊이, t 는 실험 지속 시간(s)이다.

$$D_a = \left(\frac{x_d}{y_d \sqrt{4t}} \right)^2 \quad (1)$$

여기서

$$y_d = \operatorname{erfc}^{-1} \left(\frac{c_d - c_i}{c_0 - c_i} \right) \quad (2)$$

2.2.4 임계 균열폭 도출

염화물이 침투된 시편은 Fig. 7과 같은 방법으로 임계 균열폭을 도출하였다. 질산은 변색법에 의한 비균열부 침투깊이 d_u 는 균열부 침투깊이 최끝단에서부터 d_u 만큼 동일하게 내려오면 그때의 균열폭은 염화물 침투에 대하여 비균열부



Fig. 6 Sample of Colorimetric Method

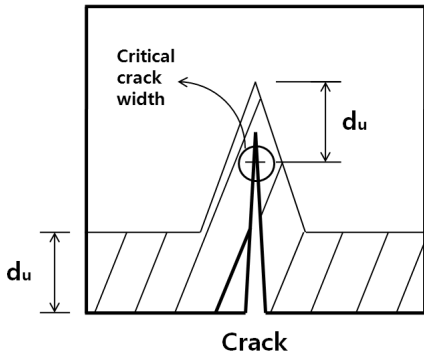


Fig. 7 Determination of critical crack width

와 동일한 저항성을 보이는 균열폭, 즉 임계 균열폭이 된다. 이것은 임계균열폭에서의 염소이온 농도가 콘크리트 표면 농도와 동일하다는 가정 하에서 제시된 것이다.

2.2.5 자기복원(self healing) 부분의 성능 검증

콘크리트는 균열이 발생한 후 특정 균열폭 이하에서는 시간이 경과함에 따라 균열의 일부가 복원된다 (Reinhardt, 2003). 이는 콘크리트 내의 미수화된 결합재, 지연 에트링자이트 형성, 염소이온의 결정화 등등 여러 가지 원인에 기인한다고 판단된다. 자기복원된 부분의 성능을 검증하는 실험 방법으로는, 균열이 도입된 시편의 하중을 제거하고 온도 20°C의 수중 환경에 거치시켜 시간에 따른 균열폭 변화를 측정한다. 이후에 자기복원이 끝난 균열폭의 변화가 없는 시점에서 RCPT실험과 CTH 시험을 모사한 급속 염화물침투 실험(30V, 8시간)을 실시하여 자기복원이 실질적 염화물 침투 저항성에 미치는 영향을 파악하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 압축 강도

Fig. 8은 재령 28일과 90일에서 실시한 콘크리트 시편의 압축강도 실험 결과이다. 물-결합재비 40%의 경우

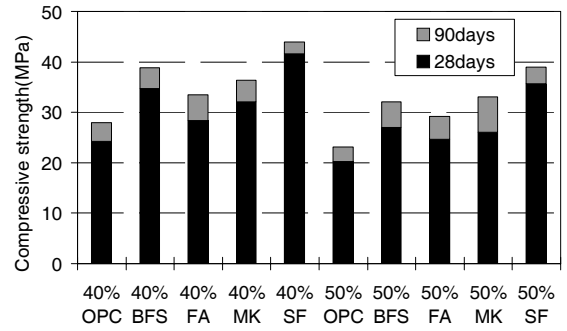
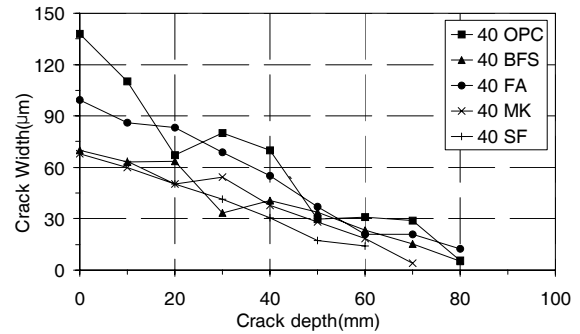
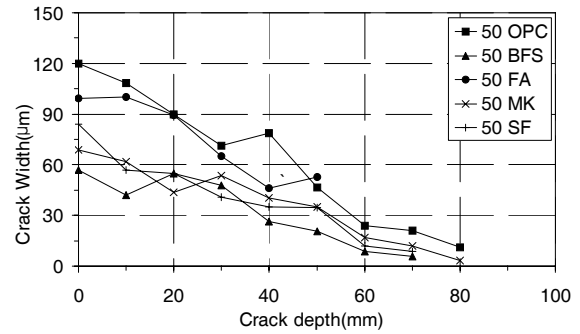


Fig. 8 Compressive strength



(a) W/B=40%



(b) W/B=50%

Fig. 9 Relation of crack width and depth

50%보다 강도가 크게 나타났으며, SF10 > BFS30 ≃ MK10 > FA10 > OPC 순으로 강도가 높았다. 잠재수경성 및 포졸란 반응 특성을 가진 혼화제인 고로슬래그, 플라이애쉬, 메타카올린을 첨가한 배합은 OPC보다 20~30% 강도증진 효과를 보였다. 재령 90일 압축강도 측정 결과, 각 시편들은 28일 강도에 비해 약 4 MPa 정도의 강도 증가를 보였다.

3.2 균열 폭과 깊이 특성

각 시험체의 표면 균열폭과 균열 깊이의 관계를 Fig. 9

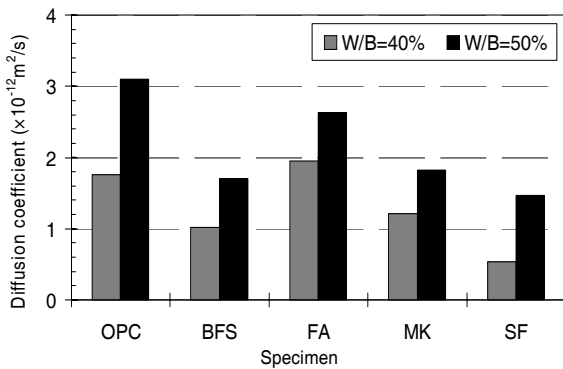


Fig. 10 Diffusion coefficient at uncracked region

에 나타내었다. 균열깊이는 현미경으로 인식 가능한(1 μm) 깊이로 정하였다. Fig. 9에 따르면 각 시편별로 나온 결과 중 같은 균열 깊이의 평균값으로 비교한 결과 물-결합재비 보다는 혼화제의 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다. 본 그래프에서 낮은 기율기는 균열발생시 균열 깊이가 상대적으로 더 깊다는 것을 의미한다. 기율기는 BFS30, SF10, MK10이 유사하게 낮으며 FA10과 OPC는 상대적으로 높게 나타났다. 이는 BFS30, SF10, MK10 혼화제를 사용할 경우 동일 표면 균열폭에 대해 균열이 더 깊어짐을 나타낸다. 이에 대하여는 철근 종류, 피복두께, 혼화제 대체량, 재령 등의 변수에 대한 추가검토를 통해 종합적으로 판단해야 할 것으로 사료된다.

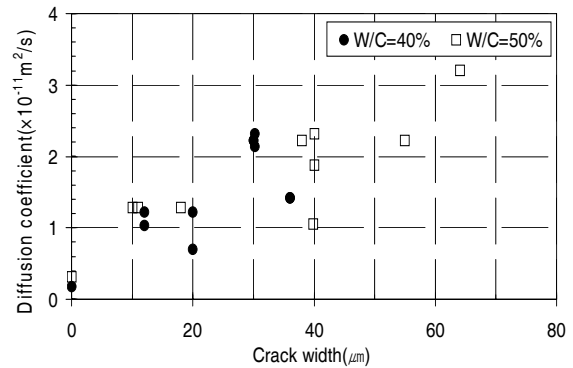
3.3 침지 염화물침투 실험

3.3.1 비균열부 염화물 침투 특성

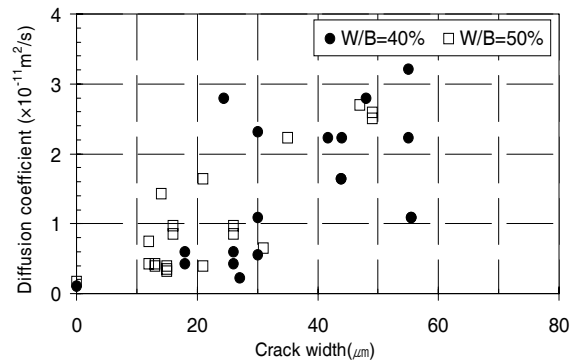
염화물 침투 실험결과를 정리하여 비균열부 확산계수를 Fig. 10에 나타내었다. 모든 결과에서 물-결합재비를 감소시킴에 따라 확산계수가 감소되었으며, OPC의 경우에 확산계수가 가장 크게 나타났고, 실리카폼을 적용한 경우에 확산계수가 가장 낮게 나타났다. 전반적으로 광물질 혼화제를 적용한 경우에는 내부 조직을 치밀하게 함으로써 확산계수가 저하하는 것으로 판단된다. 이에 비해 FA의 경우에는 충분한 양생이 이루어지지 않았던 영향으로 그 효과가 가장 적게 측정되었다.

3.3.2 균열부 염화물 침투 특성

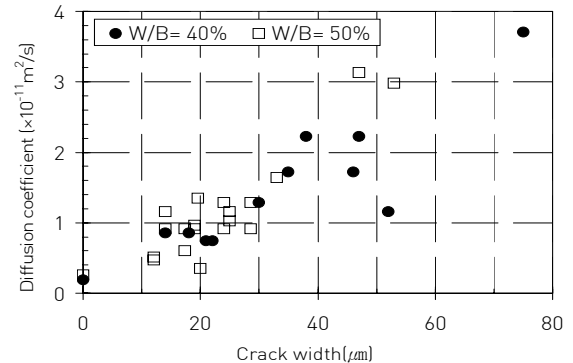
콘크리트 표면과 임계균열폭 깊이에서의 염화물 농도가 다르기 때문에 균열부에 대하여 비균열부와 동일한 확산계수를 평가하는 것에 한계를 내포하고 있으나, 균열부에



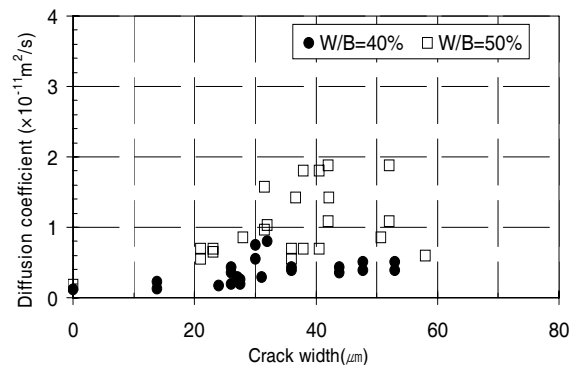
(a) OPC



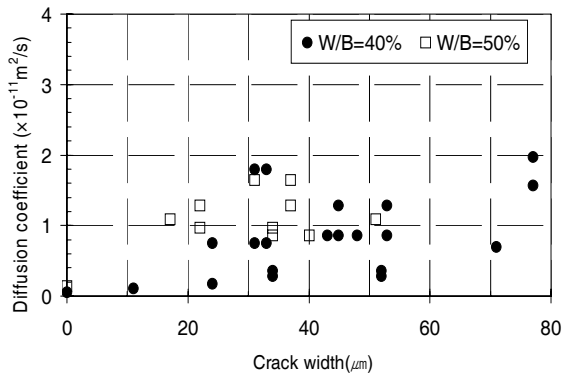
(b) BFS



(c) FA



(d) MK



(e) SF

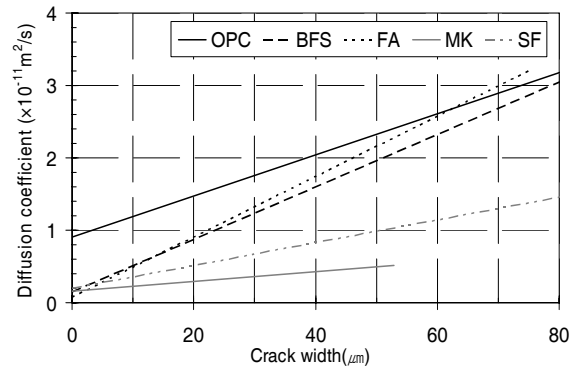
Fig. 11 Diffusion coefficient at crack region

대한 정량적 평가를 위해 염화물 침투 실험을 통하여 측정된 침투깊이로부터 균열부 확산계수를 비교하였다. 그 결과는 Fig. 11과 같다. 결과를 살펴보면 확산계수가 염화물 침투깊이의 영향을 크게 받기 때문에 물-결합재의 영향이 상대적으로 작게 나타났다. 따라서 균열폭에 따른 콘크리트 부재의 확산계수 변화를 살펴보기 위하여 모든 배합조건의 변수에 대한 실험결과를 함께 1차원 회귀 분석하였다. 그 결과를 비교하여 나타내면 Fig. 12와 같다.

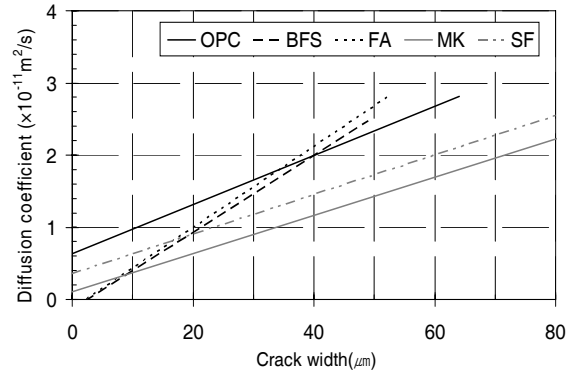
Fig. 12의 결과를 살펴보면, 표면 균열폭이 증가함에 따라 모든 시험체의 확산계수가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 콘크리트 부재에 대한 내구성 평가를 하고자 할 경우에는 반드시 균열여부 및 표면 균열폭을 고려한 검토가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 한편, SF10와 MK10의 경우에는 표면 균열폭이 증가하면 염화물 저항성이 저하하지만 OPC에 비해서는 우수한 것으로 나타났다. 반면 BFS30과 FA10의 경우에는 표면균열폭이 약 50 μ m를 초과하게 되면 OPC와 동등수준 또는 그 이하의 염화물 침투저항성을 나타내었다. 즉, BFS30과 FA10의 경우, 균열이 발생하지 않았을 때는 OPC에 비해 우수한 염화물 침투저항성을 보이지만 일정 수준의 균열폭 이상에서는 이러한 장점이 없어지거나 오히려 침투저항성이 저하할 수 있는 가능성이 있음을 의미하는 것으로 판단된다. 따라서 BFS30과 FA10을 사용하는 경우에는 표면균열 제어를 위한 내구성 측면의 고려가 더욱 필요할 것으로 판단된다.

3.4 임계 균열폭

콘크리트 구조물의 내구성 관리를 위하여 임계 균열폭은 매우 중요한 요소 중 하나이다. 임계 균열폭이 크다는 것은 균열이 발생하여도 염화물 침투 저항능력이 상대적



(a) W/B=40%



(b) W/B=50%

Fig. 12 Comparison on effect of crack width

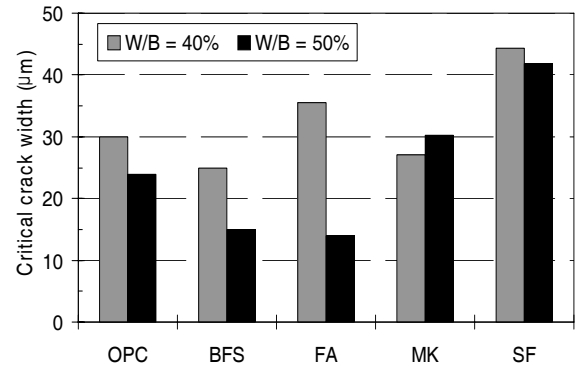


Fig. 13 Critical crack width(Long-term chloride penetration test)

으로 크다는 것을 의미한다. 따라서 각 변수에 대한 임계 균열폭을 비교하기 위하여 염화물 침투 실험을 통해 구한 임계 균열폭을 Fig. 13에 나타내었다. Fig. 13의 결과를 살펴보면, 임계 균열폭은 14 μ m~43 μ m(평균: 29 μ m)의 결과를 보였다. 즉, 일반적인 내구성 설계에서 제안하고 있는 허용균열폭에 비해 염화물 침투저항에 필요한 임계 균열폭은 매우 작은 수준이며, 작은 표면균열에 의해서도 염화물 침투가 상당히 증가할 수 있음을 나타내었다. 한편, 기존의 연구 결과에서는 연구자에 따라 임계 균열폭

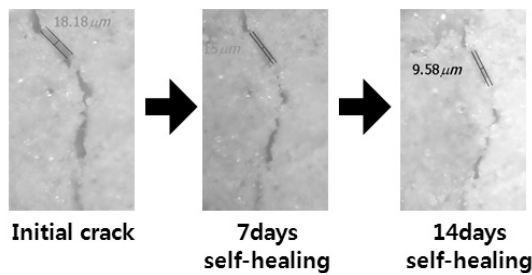


Fig. 14 Concrete self-healing phenomenon

을 $11\mu\text{m} \sim 700\mu\text{m}$ 를 제안하고 있으며(윤인석 등, 2007; Mohammed et al, 2001; Reinhardt et al, 2003) 이러한 차이는 실험방법에 기인하는 것으로써, 기존의 연구가 인위적으로 염소이온을 이동시키는 급속 침투실험에 근거한 반면 본 연구는 자연적으로 염화물을 이동시키는 침지실험에 근거하기 때문에 발생하는 것으로 판단된다. 따라서 침지 실험과 단기 촉진 실험과의 관계성에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

한편 Fig. 13의 결과를 비교하여 보면, 대부분 물-결합재비 감소에 따라 임계 균열폭이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 결합재 양의 증가에 따라 내부 조직이 치밀해지고 지속적인 수화반응이 가능하기 때문인 것으로 사료된다. 각 배합간의 임계 균열폭은 다르게 나타나고 있는데, BFS30과 FA10은 OPC보다 작은 임계 균열폭값을, MK10은 OPC와 비슷한 값을 보였으며, SF10은 OPC보다 1.5배정도 큰 값을 보였다.

따라서 임계 균열폭을 결정하고자 할 경우에는 사용하는 배합조건을 고려한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 또한 다양한 실험을 통하여 많은 데이터를 축적하여 임계 균열폭을 산정하는 방법이 연구되어야 할 것이며, 향후에는 시간의 경과와 연관 지어 균열과 콘크리트 자기복원 현상의 상관관계를 규명하고 그에 따른 영향에 관한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3.5 자기복원 특성

3.5.1 자기복원 능력(Self healing ability)

Fig. 14는 현미경으로 촬영한 자기복원현상 과정이다. 본 연구에서는 자기복원현상의 평가를 위하여 시간에 따라 변화되는 균열폭의 감소를 측정하였으며, 이를 자기복원(self healing)으로 정의하였다. 7일 단위로 측정된 자기복원은 혼화재 종류와 관계없이 7일까지 급격한 균열폭의 감소를 보이다가 그 이후에는 거의 변화를 나타내지 않

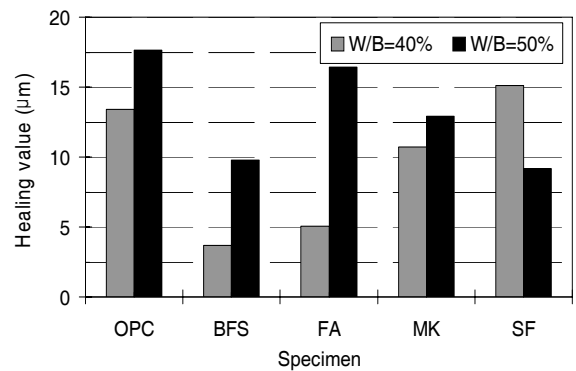


Fig. 15 Crack width reduction due to Self-healing

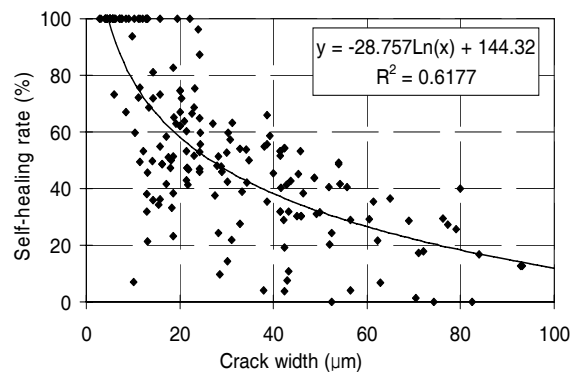


Fig. 16 Self-healing rate

았다. Reinhardt의 연구(2003)에서도 20°C 의 시편은 50시간까지 급격한 자기복원을 보이다가 그 이후부터는 복원속도가 느려지는 것으로 보고하였다. 이는 실험한 시편의 양생재령이 28일이며, 대부분의 수화반응이 이루어진 상태이기 때문에 위와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

또한 Zhong의 연구 결과(2008)에서도 7일, 14일에 균열을 도입한 시편은 재령 28일에 균열을 도입한 시편보다 자기복원에 유리한 것으로 보고 하였다.

Fig. 15는 자기복원현상이 끝난 시점에 각 경우별 결과를 나타낸 것으로 평균값을 정리한 것이다. SF의 경우를 제외하고, 높은 물-결합재비를 적용한 경우가 그렇지 않은 경우보다 전체적으로 자기복원이 높게 평가되었다. 상대적으로 높은 물-결합재비의 경우 수화반응이 늦어짐으로 인해 잔류 수화반응이 용이하여 나타난 결과라고 판단된다. 균열폭과 자기복원의 관계를 Fig. 16에 나타내었다. 대수 선형적인 관계를 확인할 수 있으며 $4 \sim 15\mu\text{m}$ 범위의 균열이 회복되었다.

3.5.2 자기복원 부분의 염화물 침투 저항 특성

현미경 분석을 통하여 시각적으로 자기복원된 시편의

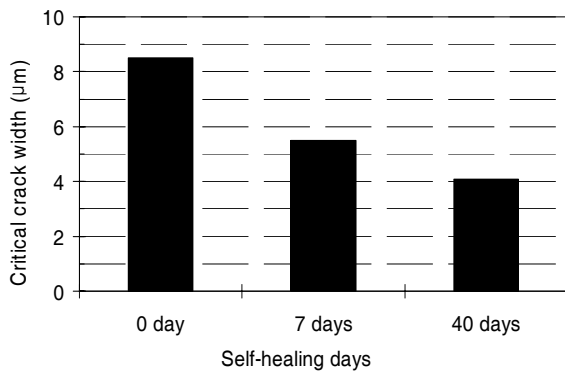


Fig. 17 Critical crack width with self-healing age

실질적인 성능복원을 평가하기 위하여 자기복원현상이 종료된 4개의 시편으로 급속 염화물 침투 실험을 하였으며, 실험을 완료한 시편으로부터 각각 구한 임계 균열폭을 평균하여 그 결과를 Fig. 17에 나타내었다. 결과를 살펴보면 자기복원된 시편은 자기복원이 진행할수록 임계 균열폭은 더욱 작아지는 것으로 나타났다. 그러나 자기복원에 의하여 침투 저항성이 완전히 회복되었다면, 임계 균열폭은 자기복원을 하지 않았을 경우와 동등한 균열폭을 나타내어야 한다. 즉, 임계 균열폭이 작아진다는 것은 자기복원으로 균열폭이 작아지는 것처럼 보이지만, 복원된 부분의 실제 염화물 침투 저항성은 완전히 회복되지 않았음을 나타낸다. 따라서 자기복원에 의한 균열부분의 성능개선은 설계 측면에서 고려하기 어려울 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 다양한 배합의 콘크리트에 균열을 도입하여 침지에 의한 염화물 침투 특성을 비교하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 콘크리트 부재의 표면 균열폭이 증가함에 따라 부재의 염화물 침투 저항성은 크게 감소하였다.
- 2) 광물질 혼화재를 사용할 경우 균열이 발생하지 않은 상태에서 염화물 침투저항성을 크게 개선하였다. 그러나 BFS30 및 FA10 혼화재를 사용한 경우, 표면 균열 발생에 따른 염화물 침투저항성의 저하가 OPC에 비해 크게 나타났다.
- 3) 침지 염화물 침투실험 결과, 침투 깊이로 파악한 임계 균열폭은 물-결합재비와 혼화재 별로 특성이 구분되었으며 평균 29μm로 관찰되었다.
- 4) 자기복원현상에 의해 4~15μm범위의 균열이 복원

되었다. 그러나 육안으로는 자기복원으로 인해 균열이 닫힌 것처럼 보이나 실제 염화물 침투 저항력은 완전히 회복되지 않았다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부 차세대 성장동력사업 “지능형 항만물류시스템기술 개발”의 하이브리드 안벽구조물의 내구성 확보를 위한 최적구조재료개발 과제에 지원에 의해 연구되었음.

참고문헌

1. 박정준, “혼화재를 사용한 콘크리트의 염소이온 확산 특성”, 한국구조물진단학회지, Vol.8, No.2, 2004, pp.239-246.
2. 박상순, 송하원, 변근주, “균열을 갖는 콘크리트의 염화물 확산 및 투수모델”, 대한토목학회 논문집, Vol.21, No.6-A, 2001, pp. 915-924.
3. 송하원, 박상순, 변근주, “초기 재령에서 균열을 갖는 콘크리트의 염화물 침투 해석”, 대한토목학회 논문집, Vol.21, No.6-A, 2001, pp. 925-935.
4. 양은익, 김명유, 임영문, 박해균, “콘크리트 구조물의 염화물 침투 특성 파악을 위한 변색법의 적용성”, 콘크리트학회 논문집, Vol.17, No.6, 2005, pp.931-938.
5. 윤인석, “미세균열이 콘크리트의 염소이온 침투에 미치는 영향 I:현상학적 모델”, 콘크리트학회 논문집, Vol.19, No.1, 2007, pp.57-65.
6. 윤인석, “미세균열이 콘크리트의 염소이온 침투에 미치는 영향 II:임계 균열폭의 고찰”, 콘크리트학회 논문집, Vol.19, No.6, 2007, pp.707-715.
7. 한상훈, “해양 콘크리트 구조물에 대한 Level II 수준에서의 염소이온침투 신뢰성 해석”, 한국구조물진단학회지, Vol.12, No.6, 2008, pp.129-139.
8. Djerbi, A., “Influence of traversing crack on chloride diffusion into concrete”, Cement and Concrete Research, Vol.38, 2008, pp.877-883.
9. Ismail, M., Toumi, A., Francois, R. and Gagne., R., “Effect of crack opening on the local diffusion of chloride in inert materials”, Cement and Concrete Research, Vol.34, 2004, pp.711-716.
10. Mohammed, T. U., Otsuki, N., Hisada M. and Shibata, T., “Effect of Crack Width and Bar Types on Corrosion of Steel in Concrete”, Journal of Materials Journal in Civil Engineering, ASCE, Vol.13, No.2, 2001, pp.194-201.
11. Reinhardt, H.-W. and Jooss, M., “Permeability and self-healing of cracked concrete as a function of temperature and crack width”, Cement and Concrete Research, Vol.33, 2003, pp.981-985.
12. Tang, L. and Nilson, L.-O., “Rapid determination of the chloride diffusivity in concrete by applying an electrical field”, ACI Material J, Vol.89, No.1, 1992, pp.49-53.
13. Win, P. P., “Penetration profile of chloride ion in cracked reinforced concrete”, Cement and Concrete

Research, Vol.34, 2004, pp.1073-1079.
14. Zhong, W., "Influence of damage degree on self-healing of concrete", Construction and Building Materials, Vol.22, 2008, pp.1137-1142.

(접수일자 : 2010년 7월 5일)
(수정일자 : 2010년 11월 3일)
(심사완료일자 : 2010년 11월 30일)

요 지

본 연구에서는 초기 균열을 도입한 철근콘크리트 부재에 대한 침지 염화물 침투 실험을 수행하였다. 염화물 확산 특성과 임계 균열폭을 비교하였으며, 콘크리트 자기복원 특성을 검토하였다. 실험결과에 따르면, 표면 균열폭이 증가할수록 염화물 침투 저항성이 크게 감소하였으며, 광물질 혼화재를 사용할 경우, 비균열 부재의 염화물 침투저항성은 크게 개선되었지만, 고로슬래그 및 플라이애쉬 혼화재를 사용할 경우에 균열이 발생하게 되면 도리어 염화물 침투저항성은 보통 콘크리트에 비해 크게 저하하였다. 임계 균열폭은 침지 염화물 침투 실험 결과 평균 $29\mu\text{m}$ 으로 측정되었다. 자기복원 현상에 의해 $4\sim 15\mu\text{m}$ 범위의 균열이 복원되었다. 그러나 콘크리트 자기복원 현상에 의해 시각적으로 복원된 부분의 염화물 침투 저항성은 완전히 회복되지 않았다.

핵심 용어 : 균열, 염소이온, 확산계수, 임계균열폭, 자기복원
