

# 고내구성 재료를 사용한 휨부재의 균열에 따른 염화물 침투 특성

## Characteristics of Chloride Penetration in Cracked Flexural Member using Durable Materials

진 상 호\*      김 일 순\*      김 명 유\*      양 은 익\*\*      이 성 태\*\*\*  
Jin Sang Ho    Kim Il Sun    Kim Myung Yu    Yang Eun Ik    Yi Seong Tae

---

### ABSTRACT

Crack is a penetration path of harmful material such as chloride ion, and causes a serious deterioration in durability. So, the characteristics of chloride penetration are investigated for the cracked flexural concrete members using high-durable materials.

For these, the flexural crack of beam specimen is introduced by transverse loading. And, Rapid Chloride Penetration Test (RCPT) and Long-term chloride penetration test are carried out to compare the chloride penetration depth.

From test results when crack is happened, the chloride penetration resistance of the durable member was superior than that of the normal member. Blast furnace slag concrete member has a excellent chloride penetration resistance in long-term chloride penetration test.

### 요 약

균열은 콘크리트에 염소이온과 같은 유해한 물질의 침투경로가 되어 내구성에 심각한 열화를 야기한다. 따라서 고내구성 재료를 사용한 콘크리트 휨부재에서의 균열 발생에 따른 염소이온 침투특성을 검토하고자 하였다.

이를 위해, 고내구성 재료를 적용한 보에 하중을 가하여 휨균열을 도입시키고, 촉진 염화물 침투시험(RCPT)과 장기 염화물 침투시험을 실시하여 염화물 침투 특성을 파악하였다.

시험결과에 따르면, 고내구성 재료를 적용한 부재는 균열이 발생하여도 일반 콘크리트 부재에 비해 높은 염화물 침투 저항성을 보였다. 특히 고로슬래그 미분말을 적용한 경우, 균열 부재의 장기 염화물 침투 시험에서 탁월한 염화물 침투 저항성을 보였다.

---

\*정회원, 강릉대학교 토목공학과 대학원생

\*\*정회원, 강릉대학교 토목공학과 교수

\*\*\*정회원, 충청대학교 토목공학과 교수

## 1. 서론

콘크리트 구조물의 내구성 향상에 대한 관심이 급증하고 있으며 내구성 증진을 위한 많은 방법과 재료가 제안되고 있다. 특히 콘크리트 구조물에 내재하는 균열은 유해한 물질의 우선적인 침투 경로가 되어 구조물의 내구성을 단축시킬 수 있으므로 균열 발생에 따른 영향을 검토하고자 많은 연구가 추진되고 있는 실정이다. 그러나 지금까지의 연구는 일반콘크리트를 대상으로 한 경우가 대부분이며 또한 작은 시편을 대상으로 인위적으로 균열을 발생시킨 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 고내구성 재료를 적용한 휨 부재에 횡하중을 가력하여 균열을 도입하고, 균열 단면에 대하여 촉진 염화물 침투 실험(RCPT)과 장기 염화물 침투 실험을 비교 검토하고자 하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 실험 변수

본 연구에서는 표 1과 같은 실험변수를 가지고 그림 1과 같은 시험 부재를 제작하여 실험하였다.

표 1 실험 변수

W/C	Blended admixture	Age
40%	O.P.C	28일
	Silica Fume 10%	
	Metakaolin 10%	
	Fly ash 10%	
	Blast Furnace Slag 30%	
50%	O.P.C	
	Silica Fume 10%	
	Metakaolin 10%	
	Fly ash 10%	
	Blast Furnace Slag 30%	

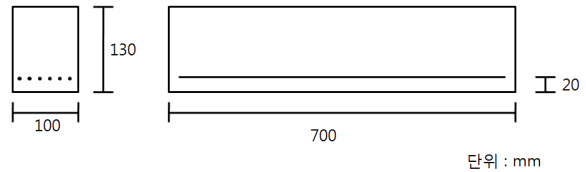


그림 1 Beam 시험체 모식도

### 2.2 사용재료 및 배합

직경 2.5mm의 와이어매쉬를 인장철근으로 사용하였고 시멘트는 국내 S사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트이며 비중 3.15 이며 분말도는  $3,200 \text{ cm}^2/\text{g}$  이다. 잔골재는 강모래, 굵은 골재는 최대 치수 25mm의 쇄석 골재를 사용하였다. 슬럼프는 10cm, 공기량은 5% 범위를 유지하도록 혼화제를 적정 투입하였다.

### 2.3 콘크리트 시편 균열 도입

재령 28일의 시편에 200kg/분의 재하속도로 하중을 주어 계획된 균열이 발생되면 하중을 제거하였다. 실험의 편의를 위해 인장철근 부분은 절단기로 제거하였다.

### 2.4 촉진 염화물 침투실험(RCPT)

그림 2는 촉진 염화물 침투실험 모식도이다. 50mm 두께로 절단된 시편의 양쪽에는 음극에 3% NaCl 용액, 양극에 0.3M NaOH 용액을 사용한 확산셀을 설치하였다. 30V의 전압을 8시간동안 걸어 전기 영동현상을 발생시켜 음극에서 양극으로 이동한 화물이온( $\text{Cl}^-$ )의 침투깊이를  $\text{AgNO}_3$  용액을 도포하여 변색된 구간을 측정하여 침투깊이를 측정하고 확산계수를 산정하였다. 그림 3 은 임계균열폭을 도출하는 모식도이다. 비균열부 침투깊이  $d_u$ 는 균열부 최끝단에서부터 비균열부 침투깊이  $d_u$ 값과 동일하게 내려오면 그 때의 균열폭은 염화물 침투에 비균열부와 동일한 역학적 저항성을 보이는 균열폭, 즉 임계균열폭이 된다. 균열폭 측정은 S사의 광학현미경(400배율)을 사용하여 측정하였다.

## 2.5 장기 염화물 침투 실험

해수와 같은 염화물농도인 3% NaCl 용액을 만들어 균열이 도입된 시편을 3개월간 침지시켰다. RCPT 같은 방법으로 염화물 침투깊이 측정과 임계균열폭을 도출하고 침투깊이를 측정하여 확산계수를 산정하였다.

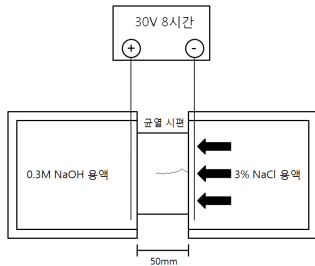


그림 2 급속 염화물 침투 실험(RCPT) 모식도

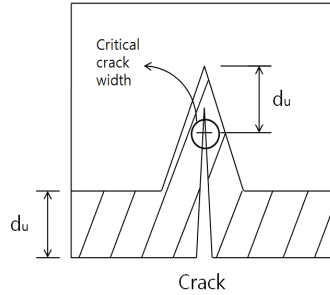


그림 3 급속 염화물 침투 실험 후 임계 균열폭 도출 모식도

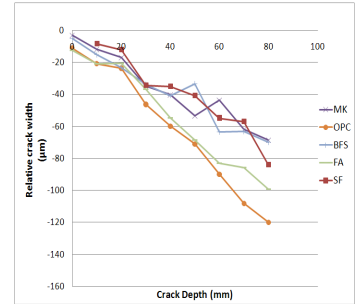


그림 4 균열 폭 깊이 상관 관계

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 균열 폭 깊이의 상관관계

그림 5는 균열이 도입된 시편의 표면균열 폭과 균열 깊이의 상관관계를 나타낸 것이다. 결과에 따르면 동일한 표면균열 폭에 대하여 고내구성 재료를 적용한 부재의 경우가 더 깊게 균열이 전파되는 것으로 나타났다. 이것은 고내구성 재료의 사용으로 압축강도가 높아짐에 따라 취성이 커졌기 때문으로 판단된다.

### 3.2 비균열부의 염화물 침투특성

그림 5, 6은 RCPT 실험과 장기 염화물 침지 실험의 비균열부 염화물 침투 깊이이다. 전체적으로 고내구성 재료를 적용한 부재에서는 염화물 침투 저항성이 높음을 알 수 있다. 특히 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말을 사용한 시험체의 경우 장기 염화물 침지 실험에서 현저히 침투깊이가 낮아졌다. 이것은 사용한 혼화재가 장기강도 발현이 우수하여 시간 경과에 따라 콘크리트 조직이 치밀해져 염화물 침투 저항성이 높아졌다고 판단된다.

### 3.3 균열부의 염화물 침투 특성

그림 7, 8, 9는 균열부에 대하여 RCPT 실험으로 구한 염화물 확산계수를 나타낸 것이다. 결과에 따르면 확산계수의 편차가 크게 발생하지만, 고내구성 재료를 적용한 경우가 일반 콘크리트에 비해 확산계수가 다소 우수한 것으로 판단된다. 이에 비해, 장기 염화물 침투 실험 결과를 보인 그림 10, 11, 12를 살펴보면, 고내구성 재료를 사용한 부재의 경우가 균열이 발생하여도 일반 콘크리트에 비해 염화물 침투저항성이 현저히 우수하였다. 이와 같은 결과는 고내구성 재료가 균열이 발생하여도 침투저항성은 일정부분 유지되는 것으로 예상된다. 그러나 균열 발생으로 인해 고내구성 재료의 효과는 비균열부에 비교하여 감소하는 것으로 사료된다.

### 3.4 임계균열폭

RCPT 실험을 통한 임계균열폭은 혼화재별 특성없이 평균 8.5 $\mu$ m로 측정되었으며, 장기 염화물 침투 실험을 통하여 임계균열폭을 측정된 결과 평균 4.1 $\mu$ m로 나타났다. 이는 장기 염화물 침투 실험동안 콘크리트의 자기치유(Self-Healing)현상으로 균열 일부가 복원되어 RCPT로 구한 임계균열폭 값과 차이를 보인 것으로 판단된다.

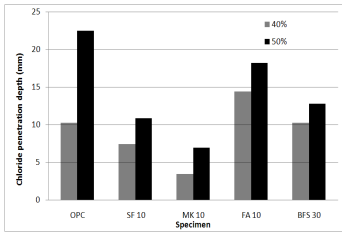


그림 5 RCPT 실험을 통한 비균열부 염화물 침투 깊이

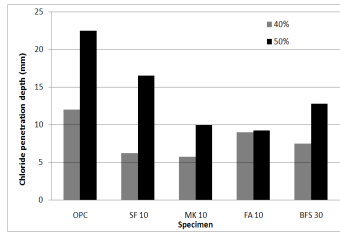


그림 6 장기 염화물 침투 실험을 통한 비균열부 염화물 침투 깊이

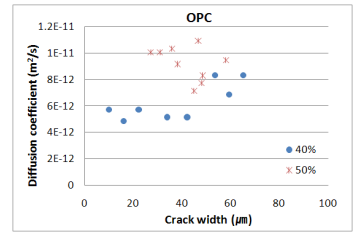


그림 7 RCPT 실험을 통한 염화물 확산계수

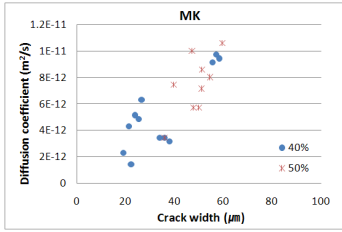


그림 8 RCPT 실험을 통한 염화물 확산계수

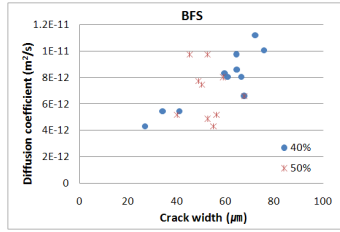


그림 9 RCPT 실험을 통한 염화물 확산계수

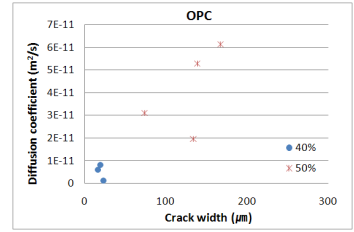


그림 10 장기 염화물 침투 실험을 통한 염화물 확산계수

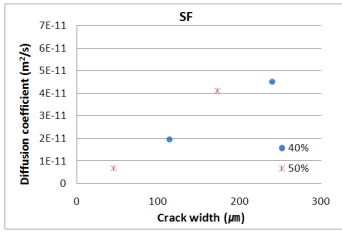


그림 11 장기 염화물 침투 실험을 통한 염화물 확산계수

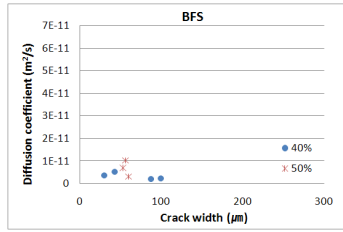


그림 12 장기 염화물 침투 실험을 통한 염화물 확산계수

#### 4. 결론

고내구성 재료를 적용한 부재는 균열이 발생하여도 일반 콘크리트 부재에 비해 염화물 침투 저항성이 높은 것으로 나타났다. 특히 고로슬래그 미분말을 적용한 경우, 균열 부재의 장기 염화물 침투 실험에서 탁월한 염화물 침투 저항성을 보였다.

#### 감사의글

본 연구는 해양수산부 차세대 성장동력사업 “지능형 항만물류시스템 기술개발”의 하이브리드 안벽구조물의 내구성 확보를 위한 최적구조재료개발 과제의 지원에 의해 연구되었음.

#### 참고문헌

1. Mustafa S,ahmaran, "Effect of flexure induced transverse crack and self-healing on chloride diffusivity of reinforced mortar." Springer Science+Business Media, LLC 2007
2. 윤인석. "미세균열이 콘크리트의 염소이온 침투에 미치는 영향." 한국콘크리트학회 논문집 제19권 1호 2007.