



인장 및 압축영역에서 콜드조인트 콘크리트의 염화물 확산계수 평가

문진만¹⁾ · 권성준^{1)*}

¹⁾한남대학교 건설시스템공학과

Evaluation of Chloride Diffusion Coefficients in Cold Joint Concrete Considering Tensile and Compressive Regions

Jin-Man Mun¹⁾ and Seung-Jun Kwon^{1)*}

¹⁾Civil and Environmental Engineering, Hannam University, Daejeon 34430, Rep. of Korea

ABSTRACT Concrete member has been subjected to dead and live loads in use, and the induced stress can affect not only structural but also durability behavior. In mass concrete construction, construction joint are required, however cold joint usually occur due to poor surface treatment and delayed concrete placing. The concrete with joint is vulnerable to both shear stress and chloride ingress. This paper presents a quantitative evaluation of cold joint and loading conditions on chloride diffusion behavior. With increasing tensile stress from 30% to 60%, chloride diffusion coefficient gradually increases, which shows no significant difference from result in the sound concrete. However chloride diffusion coefficient under 30% level of compressive stress significantly increases by 1.70 times compared with normal condition. Special attention should be paid for the enlarged diffusion behavior cold joint concrete under compressive stress.

Keywords : cold joint, chloride diffusion coefficient, tensile stress, compressive stress, construction joint

1. 서 론

인장력에 취약한 콘크리트는 RC (Reinforced Concrete) 구조물로 철근 등의 보강재와 같이 사용되고 있다. 1980년대 이후 염화물 침투로 인한 철근의 부식 및 내구성 저하에 대한 문제들이 대두되었는데, 초기에는 겉보기 확산계수 및 신타조사를 기본으로 염화물거동에 대한 연구들이 진행되었다.^{1,2)} 겉보기 확산계수를 이용한 염화물 해석은 사용자에게 염화물량을 답으로 직접적으로 제공하지만, 시간이 많이 걸리고 정상상태를 가정한 방법이다. 최근 들어 촉진확산실험을 통하여 염화물 확산계수가 도출되고 있는데, 전기영동실험을 통해서 도출되는 염화물 확산계수는 엄밀하게 전기장내에서의 염화물 이동 속도이다. 이러한 영동실험은 콘크리트 내의 자유 염화물 이온의 확산을 나타내며, 압력에 의한 유속 및 고정화 반응을 고려하여 염화물 거동을 평가하게 된다.^{3,4,5)} 이러한 기법은 단기간에 염화물 확산계수의 결과를 도출할 수 있으며 공극률, 포화도와 같은 초기재령 모델링을 적

용할 수 있으므로 매우 신뢰성 있는 해석결과를 제공한다.^{6,7)}

시공중에 발생하는 콜드조인트는 주로 지연된 레미콘의 배차와 적절하지 못한 콘크리트 면처리가 주된 원인이다. 이러한 콜드조인트는 콘크리트의 내구적 문제를 야기시키는데, 누수 및 유해 이온의 침투 증가로 인해 철근부식 발생시기를 앞당긴다.^{8,9,10)} 콘크리트의 취약부를 고려하기 위해 균열부를 고려한 염화물 확산에 대한 연구는 모델링을 통하여 활발하기 진행되고 있지만 콜드조인트 콘크리트의 투수성 및 확산성에 대한 내구성 연구는 신타조사를 통한 자료에 주로 의존하고 있다.^{11,12)} 또한 콘크리트 구조물은 공용기간 동안 구조물 자체의 자중과 다양한 응력상태에 놓이게 된다. 응력이 과도하게 작용될 경우 구조물에 미세균열이 발생되어 내구성 저하가 가속화되며 이러한 경향은 콜드조인트와 같은 결함부에 직접적인 영향을 줄 수 있다.

응력수준을 고려한 건전부 콘크리트의 투수 및 확산에 대해서는 많은 연구가 진행되었는데, 주로 압축 응력내에서 물질 이동에 대한 연구가 진행되었다.^{13,14)} 일반적으로 압축상태에서는 확산성 및 투수성이 일시적으로 감소하였다가 증가하고, 인장상태에서는 초기부터 빠르게 투수성과 확산성이 증가한다.¹⁵⁻¹⁷⁾ 최근에는 단순한 실험뿐 아니라 공극률 및 체적 변형률을 이용한 모델링을 통하

*Corresponding author E-mail : jjuni98@hannam.ac.kr

Received April 4, 2016, Revised May 9, 2016,

Accepted May 10, 2016

©2016 by Korea Concrete Institute

여 하중영향을 고려하고 있다.¹⁸⁾ 그러나 이러한 연구는 건전부 콘크리트를 대상으로 응력의 영향을 평가한 것이며, 콜드조인트와 같은 결함이 있는 콘크리트 영역을 고려하지 못하고 있다.

본 연구에서는 콜드조인트를 갖는 콘크리트 시편을 제작하여 인장 및 압축 조건에 따른 염화물거동을 평가하였다. 인장 및 압축응력을 받는 콘크리트의 염화물 거동은 콜드조인트 영향을 고려하여 하중특성과 비교되어질 것이다.

2. 콜드조인트 콘크리트의 내구적 거동

콜드조인트(Cold joint)란 콘크리트 타설시 먼저 타설한 콘크리트의 경화가 진행된 후 다음 층이 타설 되면서 발생하는 불연속적인 면으로서 콘크리트 표준시방서에는 ‘시공 전에 계획하지 않은 곳에서 생겨난 이음으로서, 먼저 타설된 콘크리트와 나중에 타설되는 콘크리트 사이에 완전히 일체화가 되어 있지 않은 이음 부위’라고 규정되어 있다. 대규모로 건설되는 댐 및 지하 구조물의 시공시 운반 및 작업시간 지연으로 인해 콜드조인트가 발생할 수 있다. Fig. 1에서는 이어치기 시간에 따른 콜드조인트의 발생상황을 나타내고 있다.⁸⁾

내구적인 관점에서는 콜드조인트 영역에서 열화는 더욱 증가한다. 일체화된 콘크리트의 경우 하나의 결보기 확산계수로 물질이동을 설명할 수 있다. 그러나 동일한 확산계수를 가진 콘크리트라 하더라도 타설층 사이의 레이턴스 등에 기인한 천이영역이 발생하면, 이를 통해 유입하는 이온의 확산 및 침투가 추가로 발생하기 때문이

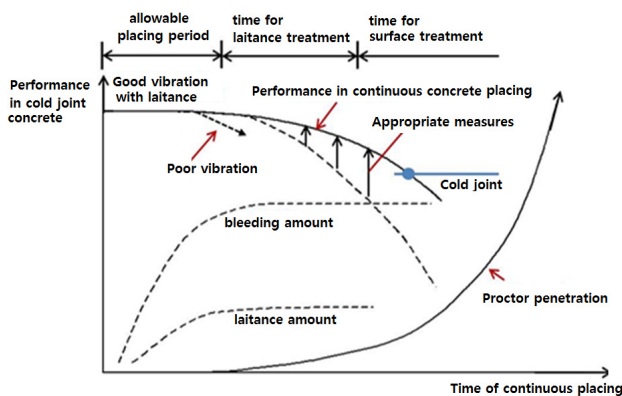


Fig. 1 Performance in cold joint concrete with delayed concrete placing

Table 1 Performance degradation in cold joint concrete

Performance	Degradation
Load carrying	Reduction of shear strength
Space	Leakage, Noise
Durability	Steel corrosion due to water and air permeation
Aesthetic	Peeling off, Cracks in Tile, Spalling

다. 염해에 대한 뚜렷한 실태조사 결과는 없으나, 투수 및 탄산화에 대해서는 실태조사를 통한 많은 연구가 진행되어 있다.^{11,12)} 일체 타설부에 비하여 콜드조인트 영역에서는 탄산화 속도가 증가하며, 부식의 개시시점이 빠르다고 알려져 있다. JSCE에서는 면처리 방법에 대한 내구성능 저하와 콜드조인트 발생에 따른 성능저하를 제시하고 있는데, Table 1과 같이 정리할 수 있다.⁸⁾

3. 사용재료 및 실험방법

3.1 콘크리트 배합 및 사용재료

본 연구에서는 건전부 콘크리트와 콜드조인트 콘크리트의 염화물 거동을 분석하기 위해 OPC 콘크리트 배합을 사용하였다. Table 2에는 본 연구를 위한 배합을 나타내었다. 설계강도는 일반적인 강도수준인 24 MPa로, 슬럼프와 공기량은 각각 180 mm와 4.5%로 설정하였다. 잔골재 및 굵은 골재의 물리적 특성은 Table 3에 나타내었다.

3.2 염화물 확산계수 평가

본 연구에서는 하중을 재하하면서 비교적 짧은 시간에 염화물 확산계수를 평가해야 하므로, ASTM C 1202의 확산셀을 참고하여 하중 프레임을 제작하였다. 또한 Tang 방법으로 알려진 비정상 상태 확산계수를 이용하여 염화물 확산계수를 평가하였다. Fig. 2에는 하중재하 프레임

Table 2 Mixture proportions

Case	G_{max} [mm]	Slump [mm]	s/a [%]	W/B [%]	Unit weight: kg/m^3			
					Water	Cement	Sand	Gravel
OPC	25	180	41.4	60	180	300	735	1040

Table 3 Physical properties of sand and gravel

Items	G_{max} (mm)	Specific gravity (g/cm^3)	Absorption (%)	F.M.
Sand	-	2.60	1.00	2.70
Gravel	25	2.62	0.78	6.78

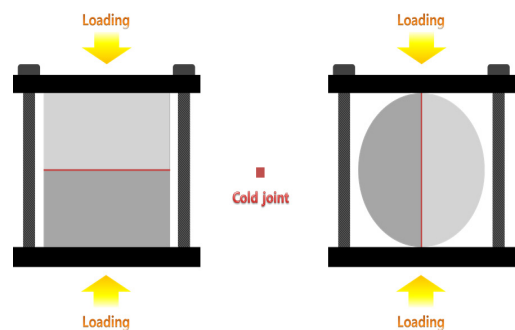


Fig. 2 Schematic of loading conditions (compressive and tensile stress)

Table 4 Experimental conditions

Cathode	Anode	Applied Voltage	Thickness	Applied Time
0.5M NaCl	0.3M NaOH	30 V	50 mm	6 hr

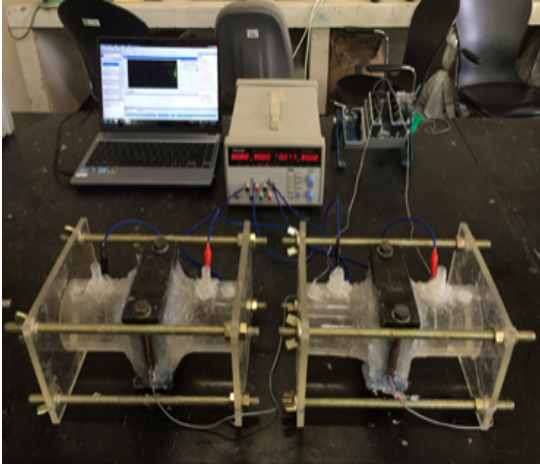


Fig. 3 Photo for experiment view

모식도를 나타내었으며, Table 4에는 촉진염화물 확산계수 실험을 위한 조건을 나타내고 있다.

보통 8시간 동안 전압을 인가해야 하는 것이 일반적이지만, 본 연구에서는 60% 수준의 하중을 재하할 경우 크게 진전할 수 있는 미세 균열을 고려해 6시간 동안 전압을 인가하였다. 전압 인가 후에는 시편을 할렬하여 0.1 N AgNO₃ 수용액을 할렬면에 분무해 염화물 침투 깊이를 측정하였다.¹⁹⁾ 측정된 염화물 침투 깊이를 바탕으로 식 (1)을 통해 촉진염화물 확산계수를 평가하였으며 Fig. 3에는 실험사진을 나타내었다.

$$D_{r_{pct}} = \frac{RTL}{zFU} \cdot \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t}$$

$$\alpha = 2\sqrt{\frac{RTL}{zFU}} \cdot \operatorname{erf}^{-1} \left[1 - \frac{2C_d}{C_o} \right] \quad (1)$$

여기서, $D_{r_{pct}}$ 는 비정상상태에서 촉진염화물 확산계수(m²/sec), R 은 기체상수(8.314 J/mol.K), T 는 절대온도(K), L 은 시편의 두께(m), z 는 이온전자가(1.0), F 는 패러데이상수(96,500 J/V.mol), U 는 전위차(V), x_d 는 비색법에 따른 침투깊이(m), t 는 전위차 적용시간(sec), C_d 는 비색법에 의한 반응농도(mol/l), C_o 는 확산셀에서의 염소이온 농도(mol/l)를 나타낸다.

3.3 시편제작

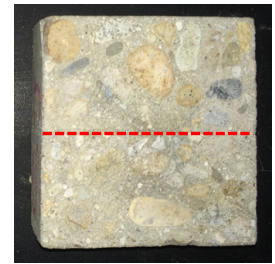
촉진염화물 확산 실험을 위해 압축재하 시편의 경우 100×100×600 mm의 빔몰드를 제작하였고, 인장재하 시편의 경우 Ø100×200 mm 실린더 몰드를 제작하였다. 콜드조인트 콘크리트 시편 제작을 위해, 몰드의 반을 먼저 타설하



Fig. 4 Photos for manufacturing specimens



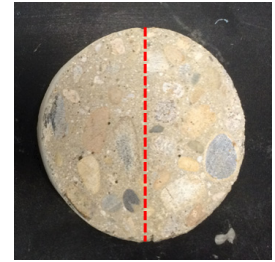
(a) Sound for compression



(b) Cold joint for compression



(c) Sound for tension



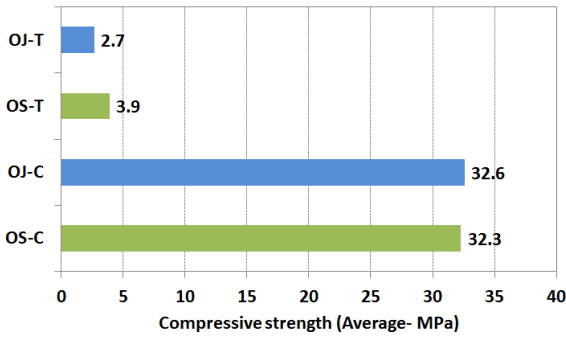
(d) Cold joint for tension

Fig. 5 Photos for sound and cold joint concrete

고 별도의 면처리나 마감을 하지 않은 상태로 1일간 기건양생한 후 나머지 반을 타설하여 콜드조인트를 유도하였다. Fig. 4에는 시편 제작과정을 나타내었다.

완성된 몰드를 28일간 수중양생 한 뒤, 다이아몬드 커팅기를 이용하여 압축응력 재하용 시편은 100×100×50 mm 로, 인장응력 재하용 시편은 Ø100×50 mm 디스크 콘크리트로 제작하였다. 완성된 시편은 53일동안 기건 양생하여 총 91일을 실험재령으로 적용하였다. Fig. 5에는 완성된 시편을 나타내었으며, Fig. 6에는 재령 91일에서 디스크 시편의 강도 평가 결과를 나타내었다. 91일 강도를 대상으로 한 것은 실험하는 동안 확산계수가 양생의 영향으로 감소되는 것을 방지하기 위한 것이다. 보통 28일 재령을 기준으로 투수계수를 측정할 경우 측정시간에 따른 투수성의 감소를 확인할 수 있다.²⁰⁾

인장재하 영역 콜드조인트 콘크리트의 경우 하중이 재하됨에 따라 콜드조인트면의 박락으로 인해 정확한 강도 평가가 어려웠으므로 30° 기울여서 강도를 측정하였다.



OS: Sound concrete, OJ: OPC cold joint concrete
C: Compressive strength, T: Tensile strength

Fig. 6 Compressive and tensile strength (91 days)

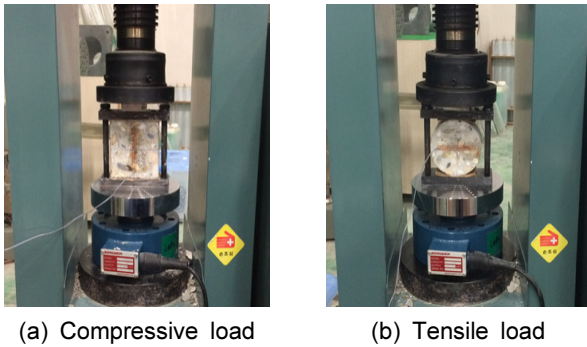


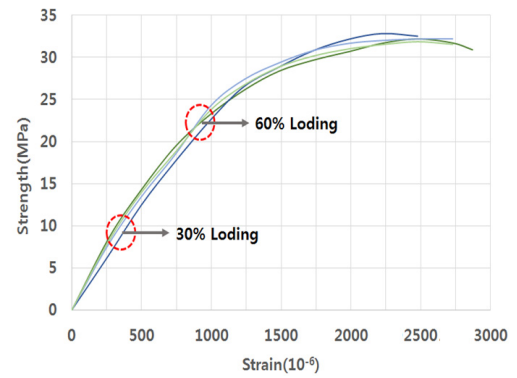
Fig. 7 Photo of inducing loads

평가결과 압축재하영역의 경우 콜드조인트 유·무에 따른 차이가 거의 발생하지 않았으나 인장재하 영역의 경우 콜드조인트 콘크리트(OJ-T)는 건전부 콘크리트(OS-T)에 비해 69% 수준으로 강도가 낮게 평가되었다.

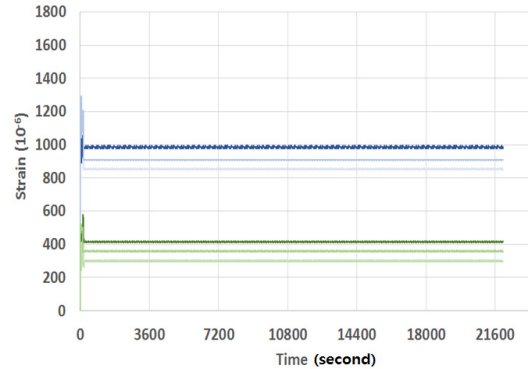
3.4 하중재하 방법

본 연구에서는 압축 및 인장재하 영역의 콜드조인트 콘크리트의 염화물 확산거동을 분석하기 위해 하중을 고정할 수 있는 강제 프레임을 제작하였다. 인장 및 압축 파괴하중의 30% 및 60%를 재하하여 하중을 고정한 뒤 염화물 확산계수를 평가하였다. 하중을 고정할 때, 콘크리트 및 프레임의 탄성으로 인해 하중의 손실이 발생할 수 있기 때문에 본 연구에서는 시편에 변형률게이지를 부착하여 재하하중 및 변형률을 상대적으로 평가하였다. Fig. 7에는 하중재하 전경을 나타내었다.

Fig. 8(a)에서는 측정된 콘크리트의 응력-변형률을 대표적으로 나타내고 있다. 작성된 변형률을 기준으로 파괴하중의 30% 및 60%를 가력하여 강제 프레임으로 고정시킨 실험을 수행하였다. Fig. 8(b)에서는 고정된 건전부 콘크리트의 시간에 따른 변형률을 나타내었다. 프레임을 통하여 하중을 고정시킬 경우, 정확한 목표하중을 인가하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 8(a)의 그래프를 기준으로 목표하중의 변형률 기준으로 25~35% 수준을 30% 하중 수준으로, 55~65% 수준을 60% 하중 수



(a) Stress and strain curve for reference sample



(b) Strain variation during inducing loading

Fig. 8 Stress and strain variations in the test

준으로 가정하였다. 또한 실험을 진행하는 동안 프레임의 릴렉세이션에 따른 하중의 손실을 관측하기 위해 프레임에 별도의 게이지를 부착하여 변형률을 관측하였다. 관측결과 실험을 진행하는 동안 변형률의 변화가 없어 릴렉세이션에 따른 하중의 손실은 발생하지 않은 것으로 판단된다.

Fig. 8에서처럼 변형률 영역에서 초과된 변형이 발생하였는데, 이는 초기 손상(pre-damage)와 같은 역할을 한다. 응력수준과 3~4 MPa 정도의 응력이 순간적으로 가해진 뒤, 감소한 효과와 같다. UTM과 같은 장비를 이용할 때, 하중을 재하한 상태에서 실험을 수행하면 이러한 Pre-damage 효과는 감소시킬 수 있는 것으로 판단된다.

4. 촉진염화물 확산계수 평가결과

4.1 하중조건을 고려하지 않은 경우의 확산계수

전압 인가 후 염화물 침투 깊이 측정 결과를 분석하면, 콜드조인트를 가진 경우 확산계수가 4~11% 정도 증가함을 알 수 있다. 하중을 재하하지 않은 상태에서의 확산계수 기준값은 Table 5에 나타내었다.

4.2 압축하중 재하시의 확산계수 변화

압축재하영역 콘크리트의 염화물 확산계수 평가 결과

Table 5 Results of chloride diffusion coefficients

	Chloride Diffusion Coefficient ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$)		
	1	2	Average
OS-Control	22.1	21.9	22.0
OJ-Control	24.6	22.7	23.7

OS: OPC sound concrete, OJ: OPC cold joint concrete
 GS: GGBFS sound concrete, GJ: GGBFS cold joint concrete

Table 6 Results of chloride diffusion coefficients (Compressive)

	Chloride Diffusion Coefficient ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$)		
	1	2	Average
OS-C30	20.0	21.5	20.8
OJ-C30	38.3	37.4	37.9
OS-C60	29.2	29.8	29.5
OJ-C60	43.0	41.4	42.2

OS: OPC sound concrete, OJ: OPC cold joint concrete
 C: Compressive, 30: 30%, 60: 60%

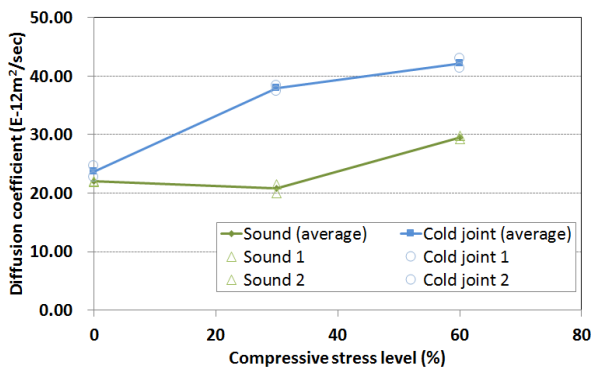


Fig. 9 Diffusion coefficient with compressive stress level

건전부 콘크리트의 경우 하중을 재하하지 않은 콘크리트에 비해 압축하중 30% 영역에서는 약간 확산계수가 감소 또는 비슷한 경향을 나타내었다. 기존의 연구와 비슷한 결과를 나타내었는데, 초기 하중이 재하 됨에 따라 염화물이 통과하는 공극이 압밀되기 때문이다.^{13,20,21)} 하중이 60% 수준으로 증가함에 따라 확산계수 역시 증가하였는데, 콜드조인트가 없는 경우는 132~135%의 수준으로, 콜드조인트가 있는 경우는 188~195%의 정도로 증가하였다.

보통 건전부에서는 30% 하중 재하수준에서 확산성이 감소하거나 큰 차이가 없으나 콜드조인트를 가진 경우 170% 이상으로 확산계수가 증가하였다. Table 6에서는 하중재하 특성에 따른 확산계수의 증가를 나타내었으며, 이를 Fig. 9에 나타내었다. 압축하중을 60% 수준 증가시켰을 경우, 확산계수가 증가하는 것은 내부 미세균열의 진전이 주 원인이라고 판단된다. 실험 후 골재 주위로 균열이 발생했음을 Fig. 10와 같이 확인하였다.



Fig. 10 Cracks around aggregates

Table 7 Results of chloride diffusion coefficients (Tensile)

	Chloride Diffusion Coefficient ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{sec}$)		
	1	2	Average
OS-T30	28.7	28.6	28.7
OJ-T30	29.1	29.9	29.5
OS-T60	30.8	32.1	31.5
OJ-T60	32.5	32.2	32.4

OS: OPC sound concrete, OJ: OPC cold joint concrete
 T: Tensile, 30: 30%, 60: 60%

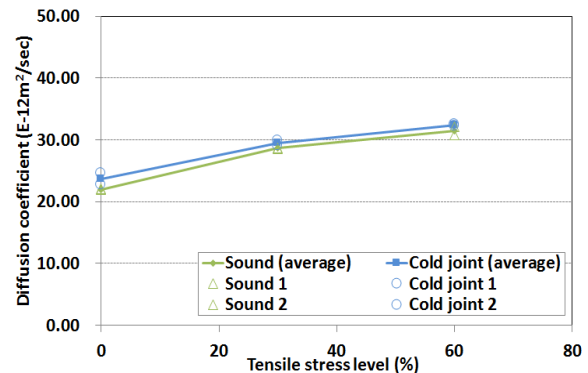


Fig. 11 Diffusion coefficient with tensile stress level

4.3 인장하중 재하시의 확산계수 변화

인장재하영역의 경우 배합에 상관없이 30%, 60% 영역에서 모두 확산계수가 증가하였는데, 이는 인장력에 취약한 콘크리트의 재료적인 특성 때문이다. 즉 인장응력이 작용할 경우는 초기부터 미세균열이 진전하고 염화물이 통과하는 유효공극이 증가하여 확산계수가 지속적으로 증가한다. 인장하중 30% 재하시 건전부에서는 132~135% 증가를, 콜드조인트 부에서는 140~145%의 증가를 나타내었다. 인장하중 60% 수준에서도 비슷한 경향을 나타내었는데, 건전부에서는 140~146%, 콜드조인트부에서는 146~147%의 확산성 증가를 나타내었다.

콜드조인트 효과는 압축부에 비하여 매우 적은 수준으로 평가되었다. 인장하중 재하에 따른 확산계수의 변화는 Table 7에 정리하였으며, 그 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

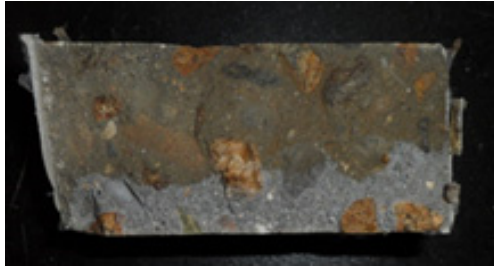


Sound - 60% loading level

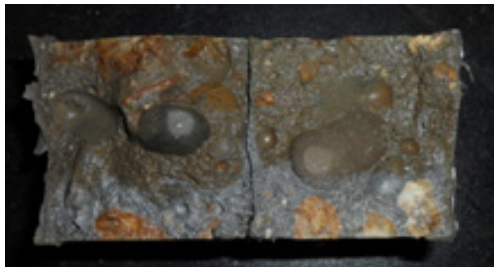


Cold joint - 60% loading level

Fig. 12 Photos for depth of penetration (Compressive)



Sound - 60% loading level



Cold joint - 60% loading level

Fig. 13 Photos for depth of penetration (Tensile)

Fig. 12 및 Fig. 13에는 실험 후 AgNO₃ 수용액을 분무한 압축 및 인장재하 영역의 콘크리트의 변색상태를 하중 60% 수준에 대하여 나타냈는데, 하중의 증가에 따른 염화물 침투깊이가 증가하고 있음을 알 수 있다.

기존의 연구와 본 연구에서 평가된 건전부 콘크리트의 확산계수 증감율을 비교하면,^{21,22)} 압축재하 영역에서는 비슷한 수준의 확산계수 증감율을 나타내었다. 그러나 인장재하 영역에서는 30%까지는 비슷한 증감율을 나타내었지만 이후 60% 영역에서 부터는 본 실험에서 낮은 증가율이 발생하였다. 인장하중을 재하할 경우 하중재하 폭이 작으므로 예상보다 작은 하중이 재하된 것으로 추정된다. 기존 실험결과와의 비교를 확산계수비를 이용하여

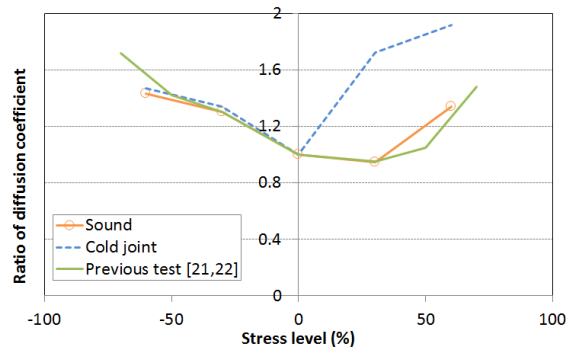


Fig. 14 Diffusion ratio with varying stress level

Fig. 14에 나타내었다. 인장하중 재하시 초기부터 인장력이 작용하므로 압밀되는 영역이 발생하지 않는다. 이로 인해 미세균열이 쉽게 진전될 수 있으므로 콜드조인트에 의한 확산성 변화가 뚜렷하지 않은 것으로 판단된다. 압축부에서는 하중의 증가에 따라 콜드조인트 부에서 큰 확산계수 차이가 발생하므로 이에 대한 고려가 필요하다.

5. 결 론

본 연구에서는 인장 및 압축영역에서 콜드조인트 콘크리트에 대하여 하중을 재하한 상태에서의 염화물 확산계수를 평가하였다.

- 1) 건전부 콘크리트의 경우 압축하중 30% 영역에서는 하중재하 전 기준값보다 약간 감소하거나 비슷한 수준을 나타내었는데, 하중 재하 60% 영역에서는 하중이 재하됨에 따라 확산계수가 증가하였다. 콜드조인트가 없는 경우는 132~135%의 수준으로 증가하였으나, 콜드조인트가 있는 경우는 188~195% 정도 증가하였다. 이는 압축영역에서 예상보다 콜드조인트에 의한 확산계수증가가 크므로 대규모 구조물 설계시 이에 대한 고려가 필요하다.
- 2) 인장하중 30% 재하시 염화물 확산계수는 건전부에서 132~135% 증가를, 콜드조인트 부에서는 140~145%의 증가를 나타내었다. 인장하중 60% 수준에서도 비슷한 경향을 나타내었는데, 건전부에서는 140~146%를, 콜드조인트부에서는 146~147%의 확산성 증가를 나타내었다. 콜드조인트 효과는 인장부에서는 크게 평가되지 않았는데 이는 콘크리트 구체 자체에서 작은 인장하중에도 발생하는 미세균열의 영향이 지배적인 것으로 판단된다.
- 3) 장기적인 하중을 고려할 경우 시편의 개수를 3개 이상으로 하여 안정적인 평균값을 도출하고, 인장하중을 재하할 경우, 하중폭이 작으므로 UTM에 직접 하중을 재하한 상태에서 실험을 하는 것이 Pre-damage 효과를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2015년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 일반연구자지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-286 2013R1A1A2060114).

References

1. Broomfield, J. P., *Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair*, London: E&FN, 1997, pp.1-15.
2. RILEM, *Durability Design of Concrete Structures*, Report of RILEM Technical Committee 130-CSL, E&FN, 1994, pp.28-52.
3. Song, H.-W., Pack, S.-W., Lee, C.-H., and Kwon, S.-J., "Service life prediction of concrete structures under marine environment considering coupled deterioration", *Journal of Restoration of Build Monuments*, Vol.12, No.4, 2006, pp. 265-284.
4. Ishida, T., and Maekawa, K., *Modeling of durability performance of cementitious materials and structures based on thermo-hygro physics*, RILEM, In: Proc-PRO 29: Life Prediction and Aging Management of Concrete Structures, Vol.1, 2003, pp.39-49.
5. Park, S. S., Kwon, S.-J., and Jung, S. H., "Analysis technique for chloride penetration in cracked concrete using equivalent diffusion and permeation", *Construction and Building Materials*, Vol.29, 2012, pp.183-192.
6. Tang, L., "Electrically accelerated methods for determining chloride diffusivity in concrete-current development", *Magazine of Concrete Research*, Vol.48, No.176, 1996, pp. 173-179.
7. ASTM C1202, *Electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration*, Annual Book of American Society for Testing Materials Standards, 1993.
8. JSCE, *Concrete Cold Joint Problems and Countermeasures*, Concrete Library Japan 387 Society of Civil Engineering, 2000, p.103.
9. ACI 224.3R-95, *Joints in Concrete Construction*, American Concrete Institute, USA, Reapproved, 2001.
10. Park, M.-S., "A study on control of carbonation at cold joint of reinforced concrete structures", M.A.Sc Thesis, YONSEI University, 2001.
11. Yokozeki, K., Okada, K., Tsutsumi, T., and Watanabe, K., "Prediction of the service life of RC with crack exposed to chloride attack", *Journal of Symposium: Rehabilitation of Concrete Structure*, Vol.10, 1998, pp.1-6.
12. Kwon, S.-J., and Na, U.-J., "Prediction of durability for RC columns with crack and joint under carbonation based on probabilistic approach", *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol.5, No.1, 2011, pp.11-18.
13. Kermani, A., "Permeability of stressed concrete", *Building Research and Information*, Vol.19, No.6, 1991, pp.360-366.
14. Hoseini, M., Bindiganabile, V., and Banthia, N., "The effect of mechanical stress on permeability of concrete: A review", *Cement and Concrete Composites*, Vol.31, No.4, 2009, pp. 213-220.
15. Banthia, N., Biparva, A., and Mindess, S., "Permeability of concrete under stress", *Cement and Concrete Research*, Vol.35, No.9, 2005, pp.1651-1655.
16. Baroghel-Bouny, V., "Effect of uniaxial compressive loading on gas permeability and chloride diffusion coefficient of concrete and their relationship", *Cement and Concrete Research*, Vol.52, 2013, pp.131-139.
17. Yang, Y., Tong, H. Z., and Xu, S. F., *Effects of load level on water permeability of concrete*, International Conference on Micro-structure Related Durability of Cementitious Composites, Nanjing, China, 2008, pp.545-552.
18. Du, X., Jin, L., and Zhang, R., "Chloride diffusivity in saturated cement paste subjected to external mechanical loadings", *Ocean Engineering*, Vol.95, 2015, pp.1-10.
19. Otsuki, N., Nagtataki, S., Nakashita, K., "Evaluation of the AgNO₃ solution spray method for measurement of chloride penetration into hardened cementitious matrix materials", *ACI Mater Journal*, Vol.89, No.6, 1992, pp.587-592.
20. Choi, S.-J., Kang, S.-P., Kim, S.-C., and Kwon, S.-J., "Analysis Technique on Water Permeability in Concrete with Cold Joint considering Micro Pore Structure and Mineral Admixture", *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol.2015, Article ID 610428, pp.1-10.
21. Kim, D.-H., Lim, N.-G., and Horiguchi, T., "Effect of Compressive Loading on the Chloride Penetration of Concrete Mixed with Granulated Blast Furnace Slag", *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, Vol.9, No.6, 2009, pp.71-78.
22. Bae, Y.-W., and Lim, N.-G., "Resistance of Chloride Penetration of Fiber Reinforced Concrete Under Loading Condition", *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction*, Vol.28, No.3, 2012, pp.67-74.

요약 콘크리트는 공용기간동안 구조물 자체의 자중 및 이동 하중에 따른 응력을 받게 되며, 이러한 응력은 구조적인 거동 뿐 아니라 내구적인 거동에도 영향을 준다. 대단위 콘크리트 부재의 시공은 시공이음을 요구하는데, 먼처리 불량 또는 이어치기의 지연에 의해 콜드조인트가 발생하게 된다. 이러한 콜드조인트는 전단력에 취약할 뿐 아니라 염화물 확산성에도 영향을 미친다. 본 연구에서는 응력조건과 콜드조인트가 콘크리트의 염화물 확산에 미치는 영향을 정량적으로 평가하였다. 콜드조인트를 가진 콘크리트는 인장하중 수준이 30%에서 60%로 커질 때, 확산계수는 꾸준히 증가하여 건전부와 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 압축부에서는 하중재하 30% 수준부터 콜드조인트 콘크리트에서 염화물 확산계수가 크게 증가하여 확산계수가 170% 이상 증가하였다. 이러한 특성은 압축하중을 받는 건전부 콘크리트와 큰 차이가 있으므로 이음부를 가지는 콘크리트의 내구성 설계에 주의가 필요하다.

핵심용어 : 콜드조인트, 염화물 확산계수, 인장응력, 압축응력, 시공이음