

## 정수압이 해양콘크리트의 염화물이온 침투에 미치는 영향

김경태<sup>1</sup>, 김규용<sup>2\*</sup>, 남정수<sup>3</sup>, 이보경<sup>4</sup>, 임창혁<sup>5</sup>

## Influence of Hydrostatic Pressure on Chloride Ion Penetration of Marine Concrete

Gyeong-Tae Kim<sup>1</sup>, Gyu-Yong Kim<sup>2\*</sup>, Jeong-Soo, Nam<sup>3</sup>, Bo-Kyeong Lee<sup>4</sup>, Chang-Hyuck Lim<sup>5</sup>

**Abstract:** The Marine concrete that located at immersion zone receives an hydrostatic pressure of 1 atm as depth of the water increased by 10 m. And it could accelerate chloride ion penetration. In this study, to evaluate the influence of hydrostatic pressure on chloride ion penetration, concrete mixed by ordinary Portland cement and Portland blast-furnace slag cement was exposed to 1 and 6 atm and substitute ocean water. As a result, the surface chloride ion concentration of the concrete under 6 atm of hydrostatic pressure increased rapidly and the water-soluble chloride ion contents was increased by depth. In addition, the concrete under 6 atm of hydrostatic pressure showed the increase of capillary pores corresponding to 5~100 nm.

**Keywords:** Marine concrete, Hydrostatic pressure, Chloride ion penetration, Capillary pore

### 1. 서 론

해상 발전소, 해양 중의 교각, 해저 터널 등과 같은 해양콘크리트 구조물은 해수, 해사, 비래염분에 의해 염화물이온이 침투되고 콘크리트 속에 매입된 철근의 부식을 초래하여 구조적인 문제 및 내구성 저하가 발생할 가능성이 있다(Koh et al., 2004; Lee et al., 2017).

일반적으로 해양환경은 해수의 접촉정도에 따라 비말대, 간만대, 침지대로 구분할 수 있다. 그 중 간만대에 위치한 구조물은 조수간만의 차에 의한 건습반복 현상이 발생하게 되고, 이 때문에 표면 염화물량이 지속적으로 증가하게 되어 급격한 열화가 발생하는 것으로 보고되고 있다. 한편, 침지대에 위치한 구조물의 경우도 수심이 10 m씩 깊어질수록 1 atm씩 증가하는 정수압을 받게 되며, 이러한 정수압이 염화물이온 침투를 촉진시킬 가능성이 있다.

콘크리트를 투과하는 염화물이온의 이동은 확산, 침투, 전기적 이동, 대류의 4가지 현상으로 구분할 수 있다. 그 중 최근에는 Fick의 제 2법칙에 기반한 염화물이온 확산모델을 활용

하여 콘크리트 구조물의 염해내구성을 평가하는 연구가 활발히 진행되고 있다. Bazant는 해수에 노출된 콘크리트에서의 철근부식 과정을 산소 및 염화물이온의 확산, 콘크리트 기공 내의 전류의 흐름, 수분이동 등을 고려한 상세한 부식속도 및 부식균열모델의 제안을 통해 체계화 하였으며, 실험을 통해 몇몇 요소에 대한 간단한 해를 제안하였다(Bazant et al., 1979). Nilsson은 콘크리트 구조물 내부로의 염화물이온 확산에 대하여 표면 염화물이온 농도와 염화물이온 구속능력을 고려하여 세공용액을 통한 염화물이온 침투 및 콘크리트 내의 총 염화물 분포를 고려하여 수학적 모델을 제안하였다(Nilsson et al., 1994). Xi은 포화된 콘크리트의 염화물이온 확산에 관한 수학적 모델을 물-시멘트 비, 양생기간, 시멘트의 종류, 골재함유량과 같은 다양한 영향인자를 고려하여 제안하였으며, 염화물의 구속능력과 염화물이온 확산에 대한 이론을 발전시켰다(Xi et al., 1999). 또한, 콘크리트 표준시방서에서도 해양콘크리트 구조물의 내구수명에 대해 식 (1)과 같이 Fick의 제 2법칙을 통해 내구수명을 예측 하도록 명시되어 있다.

$$C_d - C_i = (C_s - C_i) \left(1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_d t}} \right)\right) \quad (1)$$

여기서,  $C_d$ 는 위치  $x$  (cm), 시간  $t$  (year)에서 염화물이온 농도의 설계값 ( $\text{kg/m}^3$ ),  $C_i$ 는 초기 염화물이온 농도,  $C_s$ 는 표면 염화물이온 농도,  $\operatorname{erf}$ 는 오차함수,  $D_d$ 는 염화물이온의 유효 확산계수 ( $\text{m}^2/\text{y}$ )이다.

이와 같이 염화물이온의 이동은 Fick의 제 2법칙에 근거하여 국부적인 농도차에 의한 이온의 이동으로 정의하고 표면 염

<sup>1</sup>정회원, 충남대학교 건축공학과 석사과정

<sup>2</sup>정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 교신저자

<sup>3</sup>정회원, 충남대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

<sup>4</sup>정회원, 한국지질자원연구원 박사후연구원, 공학박사

<sup>5</sup>정회원, 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 연구원

\*Corresponding author: gyuyongkim@cnu.ac.kr

Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2019년 2월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 3월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

화물이온 농도, 임계 염화물이온 농도, 재료에 따른 확산계수 등을 고려하여 예측하도록 하고 있으나 압력에 대한 요인은 고려되고 있지 않다. 그러나 기존 연구에 의하면, 콘크리트가 정수압을 받을 경우 콘크리트 내부로 수분의 침투가 촉진된다는 연구결과가 보고되고 있다(Yoo et al., 2011, Yi et al., 2011). 이를 해양 콘크리트에 적용할 시 수심이 깊어짐에 따라 정수압이 증가하게 되어 염화물이온의 침투를 촉진시킬 가능성이 있다.

이에 본 연구에서는 정수압이 해양콘크리트의 염화물이온 침투에 미치는 영향을 검토하기 위해 보통 포틀랜드 시멘트 및 고로슬래그 시멘트 콘크리트를 제조한 후 염화물이온 침투 실험장치를 활용하여 정수압의 크기 및 노출기간에 따른 콘크리트의 염화물이온 침투 거동에 대해 분석하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 사용재료 및 실험계획

Table 1에 사용재료의 물리적 특성을 나타내었다. 시멘트는 KS L 5201 「포틀랜드 시멘트」의 1종 보통 포틀랜드 시멘트(ordinary Portland cement, OPC)와 KS L 5210 「고로슬래그 시멘트」의 고로슬래그 시멘트(Portland blast-furnace slag cement, PBC) 2종을 사용하였으며, 밀도는 각각 3.12, 3.05 g/cm<sup>3</sup>이고, 비표면적은 3,500, 4,000 cm<sup>2</sup>/g이다. 잔골재와 굵은 골재의 경우 밀도가 각각 2.56, 2.65 g/cm<sup>3</sup>, 최대치수가 각각 5, 25 mm인 부순 골재를 사용하였다.

Table 2에 본 연구의 실험계획을 나타내었다. 본 연구의 실험변수는 시멘트 종류, 정수압 크기, 정수압 노출기간으로 설정하였다. 시멘트 종류는 보통 포틀랜드 시멘트와 고로슬래그 시멘트, 압력의 크기는 대기압과 동일한 1 atm과 수심 50 m에 위치한 콘크리트를 가정한 6 atm, 압력 노출기간은 3, 7, 28, 56일로 설정하였다.

평가항목의 경우 정수압 크기 및 노출기간에 따른 콘크리트의 수용성 염화물량을 측정하였으며, 주사전자현미경(Scanning electron microscopy, SEM)을 활용한 미세구조 관찰, 수은압입법(Mercury intrusion porosimetry, MIP)으로 공극 크기별 분포 및 누적공극량을 측정하였다.

Table 3에 콘크리트 배합을 나타내었다. 콘크리트 구조설계기준의 특수 노출 상태에 대한 콘크리트에서 제시하고 있는 설계기준강도 35 MPa를 만족시키기 위해 W/B를 38.2%, 잔골재율은 44.6%로 설정하고, 목표 공기량은 4.0±0.5%로 설정하였다.

콘크리트의 공기량은 고성능 AE감수제를 활용하여 목표값을 만족시켰으며, OPC 시험체의 재령 28, 56일 압축강도는 각각 56.8, 57.2 MPa, PSC 시험체의 재령 28, 56일 압축강도는 60.8, 66.6 MPa로 측정되었다.

**Table 1** Physical properties of used materials

Materials	Physical properties
Cement	ordinary Portland cement (OPC) Density : 3.12 g/cm <sup>3</sup> , Blaine : 3,200 cm <sup>2</sup> /g
	Portland blast-furnace slag cement (PSC) Density : 3.05 g/cm <sup>3</sup> , Blaine : 3,500 cm <sup>2</sup> /g
Fine aggregate	Crushed sand (S) Density : 2.56 g/cm <sup>3</sup> , Maximum size : 5 mm
Coarse aggregate	Crushed gravel (G) Density : 2.65 g/cm <sup>3</sup> , Maximum size : 25 mm

**Table 2** Experimental plan

Experimental variables	Experimental level	Evaluation items
Cement type	OPC, PSC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Water-soluble chloride contents</li> <li>SEM micrograph</li> <li>Pore size distribution and cumulative pore volume</li> </ul>
Pressurized conditions	1, 6 atm	
Pressurized period	3, 7, 28, 56 days	

**Table 3** Mix proportion

Specimens ID	Target air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				
				W	OPC	PSC	S	G
OPC	4.0±0.5	38.2	44.6	164	429	0	752	967
PSC					0	429	748	962

### 2.2 정수압을 받는 콘크리트의 염화물이온 침투실험

Fig. 1에 콘크리트의 염화물이온 침투 실험방법을 나타냈다. 대기압과 동일한 1 atm을 받는 콘크리트는 Fig. 1(a)에 나타낸 바와 같이 시험체를 염수에 침지하였으며, 6 atm의 정수압을 받는 콘크리트는 Fig. 1(b)에 나타낸 바와 같이 정수압을 받는 콘크리트의 염화물이온 침투 실험장치를 고안하여 콘크리트를 염수에 노출시킴과 동시에 정수압을 가하였다. 정수압을 받는 콘크리트의 염화물이온 침투 실험장치의 개념도를 Fig. 2에 나타냈다. 실험장치는 기존의 정수압을 가하여 투과되는 공기량을 측정하는 투기계수 실험장치로부터 고안되었으며(Kang et al., 2010), 시험체는 고무링과 고정 장치를 활용하여 안착부에 고정하고 염화물이온의 1면 침투를 유도하였다. 장치의 각 부위는 볼트로 체결하여 내부 압력의 노출을 방지하였다. 또한, 장치의 하단에는 밸브를 설치하여 압력과 염수의 누출 여부를 확인하고 시험체에 압력구배가 발생하도록 하였다. 염수는 ASTM D 1141 「Standard Practice for the

Preparation of Substitute Ocean Water」에 준하여 제조한 인공해수를 투입하였다. 염화물이온의 침투를 유도하기 위해 컴프레셔와 레귤레이터를 활용하여 정수압을 0.01 atm 단위로 조절하면서 주입하였다.



(a) 1 atm (atmosphrec pressure) (b) 6 atm (hydrostatic pressure)

Fig. 1 Experimental method of chloride ion penetration in concrete

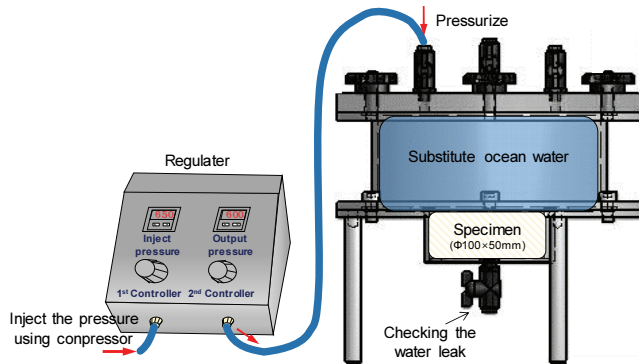


Fig. 2 Conceptual diagram of chloride ion penetration experiment equipment of concrete under hydrostatic pressure

### 2.3 실험방법

정수압이 콘크리트의 염화물이온 침투에 미치는 영향을 평가하기 위한 시험체는 표준 공시체(φ100×200 mm)의 중앙부를 50 mm 두께로 절단하여 φ100×50 mm 크기로 제작하였다. 각 시험체는 해양콘크리트 구조물 중 정수압을 받는 개소인 침지대에 위치한 구조물과 동일도록 포수상태를 유지하기 탈형 이후 수중양생을 실시하였으며, 재령 56 일까지 양생한 이후 정수압을 받는 콘크리트의 염화물이온 침투 실험을 실시하였다.

수용성 염화물량은 시험체 표면으로부터 0~5, 5~10, 10~15 mm의 시료 10 g씩 채취하여 KS F 2713 「콘크리트 및 콘크리트 재료의 염화물 분석 시험 방법」에 준하여 질산은을 활용한 전위차적정법을 통해 측정하였다. 적정을 위한 장치는 전위차 자동적정장치(798 MPT Titrimo)를 활용하여 당량점을 측정하였으며, 당량점으로부터 식 (2)와 같이 시료의 수용성 염화물량을 측정하였다.

$$\alpha(\%) = \frac{3.545 \times (V_1 - V_2) \times 0.05}{W} \quad (2)$$

여기서,  $\alpha$ 는 수용성 염화물량,  $V_1$ 은 시료의 적정에 사용된 0.05 N 질산은 용액의 부피,  $V_2$ 는 바탕 적정에 사용된 0.05 N 질산은 용액의 부피,  $W$ 는 시료의 질량이다.

또한, 시험체의 미세구조는 주사전자현미경(SEM)을 활용하여 56일간 1, 6 atm 정수압을 받은 시험체를 대상으로 관찰하였다. 시험체의 표면부(0~10 mm) 시료를 채취하여 샘플을 백금으로 코팅한 후 가속전압 15 kV에서 관찰하였다.

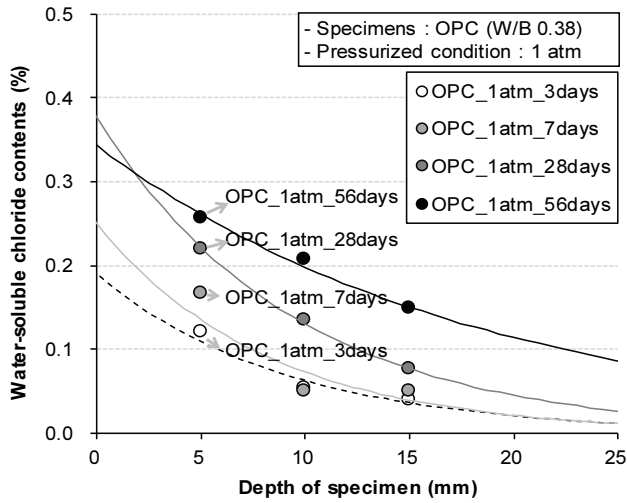
정수압을 받는 시험체의 공극 크기별 분포 및 누적공극량은 수은압입법(MIP)으로 측정하였다. 샘플은 56일간 1, 6 atm 정수압을 받은 시험체 중 굵은 골재를 제외한 모르타르 부분을 약 5 mm의 크기로 파쇄하여 수은압입장비(Micromeritics Auto Pore 9500)를 활용하여 측정하였다. 접촉각, 표면장력은 각각 130°, 485 dynes/cm로 설정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

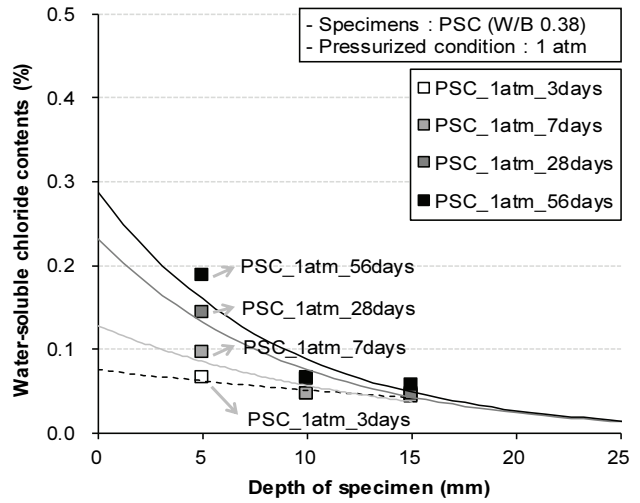
### 3.1 정수압을 받은 콘크리트의 염화물이온 침투

Fig. 3에 대기압과 동일한 1 atm의 정수압을 받은 콘크리트의 수용성 염화물량 측정 결과를 나타내었다. OPC와 PSC 시험체 모두 노출기간이 경과함에 따라 수용성 염화물량이 증가하였다. 한편, 5~10 mm 시료의 수용성 염화물량의 경우, OPC 시험체는 0~5 mm 시료의 수용성 염화물량과 유사하게 선형적으로 증가하는 경향을 나타냈으나, PSC 시험체는 정수압 노출기간의 경과에도 불구하고 5~10 mm 시료의 수용성 염화물량의 증가가 크지 않았다. 또한, 10~15 mm 시료의 수용성 염화물량 측정결과에서도 동일한 경향을 나타내었다. 이러한 원인은 고로슬래그 시멘트에 혼입된 고로슬래그 미분말에 의해 낮은 염화물이온 확산계수에 의한 영향으로 판단할 수 있다(Lee et al., 2017).

Fig 4에 6 atm의 정수압을 받은 콘크리트의 수용성 염화물량 측정 결과를 나타내었다. 측정결과 OPC와 PSC 시험체 모두 정수압 노출기간이 3, 7, 28, 56일로 경과함에 따라 0~5 mm 시료의 수용성 염화물량은 급격하게 증가하는 경향을 나타내어 1 atm의 정수압을 받은 시험체 보다 약 6~10 배 이상 높은 수용성 염화물량을 나타냈다. 한편, OPC와 PSC 시험체 모두 정수압 노출기간의 경과가 28일까지는 급격한 염화물량의 증가를 나타내었으나, 28일 이후 수용성 염화물량은 큰 증가폭을 나타내지 않으며 약 4.0, 1.8 %로 수렴하는 결과를 나타냈다. 또한, 6 atm의 정수압을 받은 콘크리트에서도 1 atm의

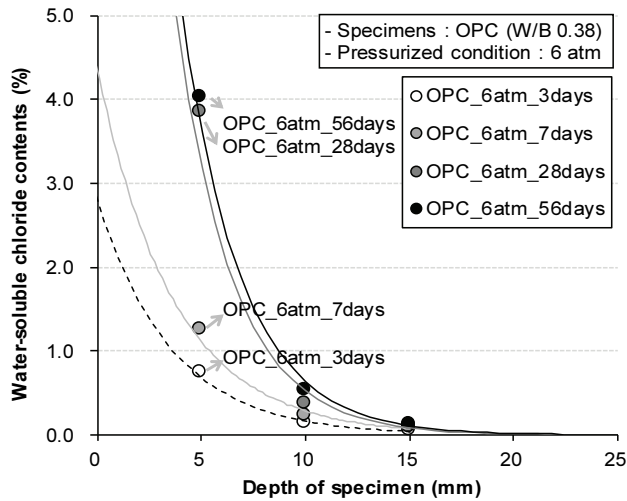


(a) OPC

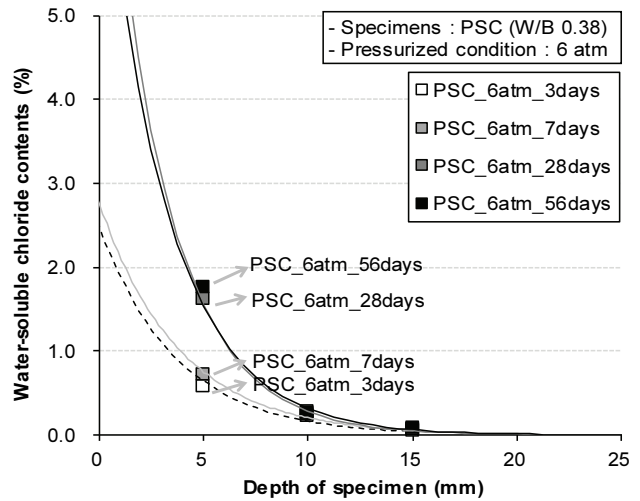


(b) PSC

Fig. 3 Water-soluble chloride contents (Pressurized condition : 1 atm)



(a) OPC



(b) PSC

Fig. 4 Water-soluble chloride contents (Pressurized condition : 6 atm)

정수압 조건과 마찬가지로 모든 침투깊이와 노출기간과 관계 없이 고로슬래그 미분말이 혼입된 PSC 시험체에서 낮은 수용성 염화물량을 나타내었다.

한편, 6 atm의 정수압을 받은 시험체의 0~5 mm 시료의 수용성 염화물량과 5~10 mm 시료의 수용성 염화물량의 차이는 1 atm의 정수압을 받은 시험체의 깊이별 수용성 염화물량 차이보다 큰 차이를 나타냈다. 이러한 결과는 0~5 mm에 해당하는 콘크리트 표면부의 경우 해수의 침투에 의해 급격한 상승과 더불어 높은 염화물량을 나타내며, 수분침투가 진행되지 않은 깊이에서는 염화물이온 확산에 의한 침투가 진행되었기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.2 주사전자현미경 관찰

Fig. 5에 각각 1 atm과 6 atm의 정수압과 인공해수에 노출된 OPC, PSC 시험체의 주사전자현미경 관찰결과를 나타냈다. OPC와 PSC 시험체 모두에서 광범위한 칼슘 실리케이트 수화물(Calcium silicate hydrate, C-S-H)의 형성과 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)이 관찰되었으며 시멘트의 종류에 따른 수화생성물의 차이는 크지 않았다. 또한, OPC와 PSC 시험체 모두 정수압의 크기에 따른 시험체의 수화생성물 생성은 큰 차이를 나타내지 않았다. 정수압을 받는 콘크리트의 염화물이온 침투 실험의 경우 시험체를 재령 56 일까지 수중양생한 이후 실시하였기 때문에 콘크리트가 경화가 어느 정도 진행된 이후에

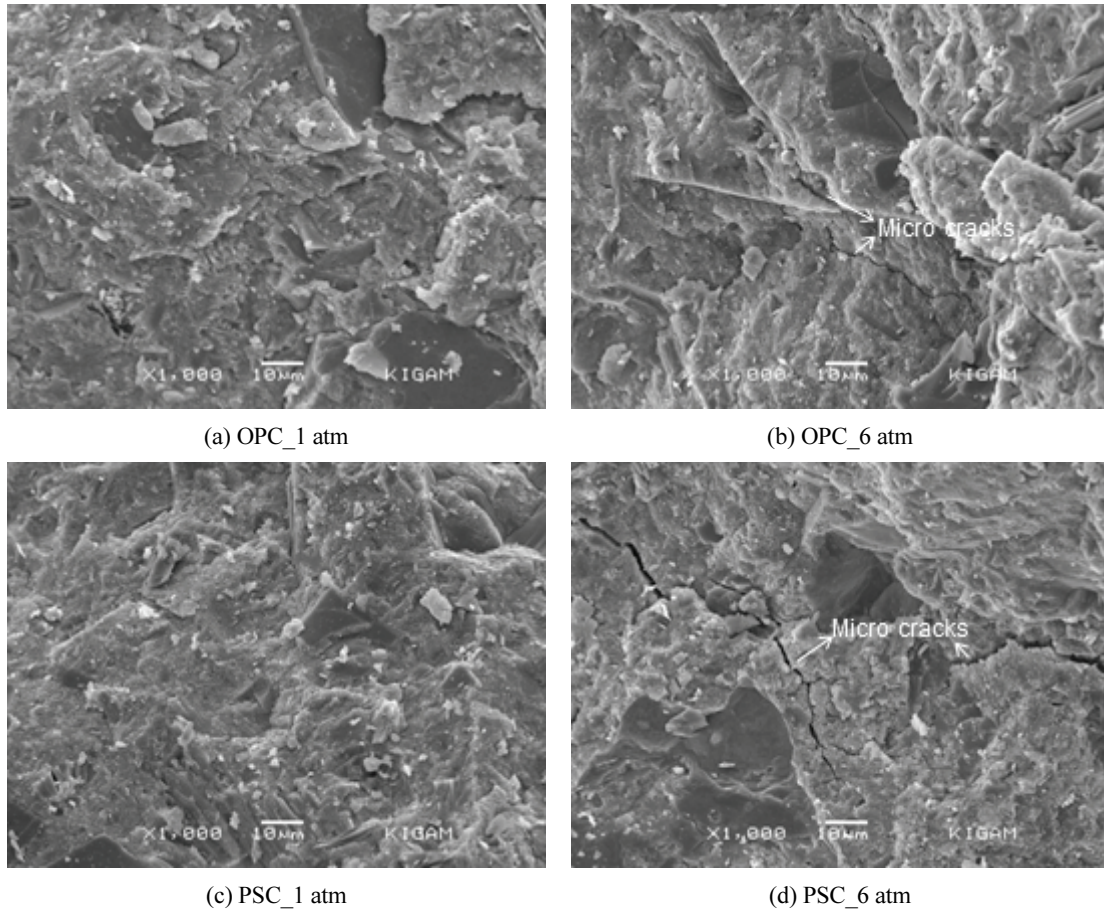


Fig. 5 SEM micrographs of concrete under hydrostatic pressure

는 정수압이 콘크리트의 수화에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

한편, 6 atm을 받은 시험체에서는 1 atm을 받은 시험체에 비해 미세균열이 다수 관찰되었다. 이러한 경향은 정수압의 작용에 의해 매트릭스의 취약한 부분에서 파괴가 일어났을 가능성으로 설명할 수 있다. 그러나 SEM 관찰의 특성상 시료 채취의 과정이나 측정장비의 진공상태를 유지하는 과정에서 발생된 미세균열일 가능성도 없지 않기 때문에 정수압에 의한 콘크리트의 미세균열 발생에 대해서는 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

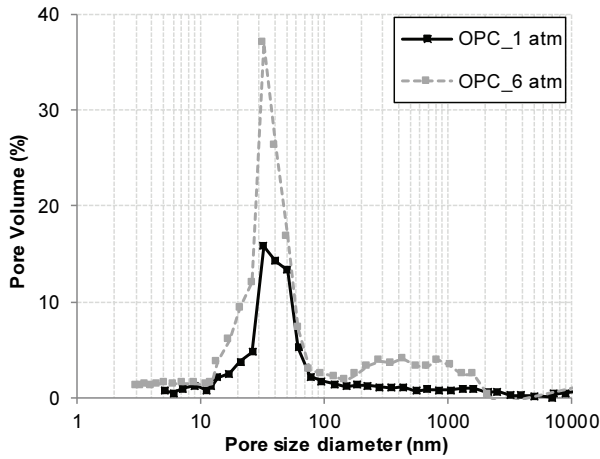
### 3.3 정수압을 받은 콘크리트의 미세공극구조 변화

Fig. 6에 정수압의 크기에 따라 56일간 인공해수에 노출된 OPC 및 PSC 시험체의 공극크기별 분포를 나타냈다. 콘크리트 중의 공극은 공극의 크기에 따라 중간층 공극, 젤공극, 모세관공극 그리고 기공으로 나누어진다(Kim et al., 2007). 이 중 5~100 nm에 해당하는 모세관공극은 시멘트 경화체의 이온의 침투성에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Yang, C. C. et al., 2006). OPC와 PSC 시험체의 공극크기별 공극량

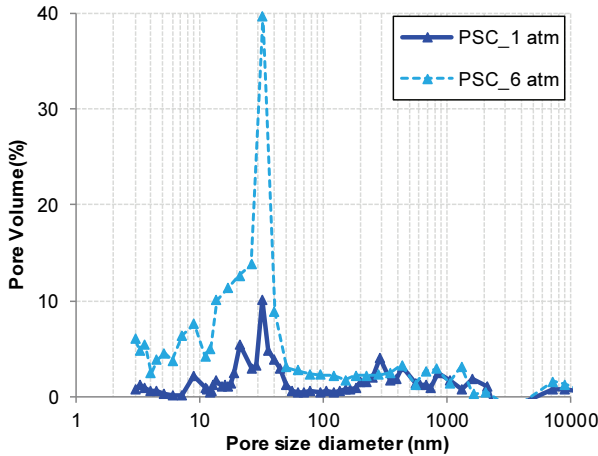
측정결과 6 atm의 정수압을 받은 모든 시험체에서 5~100 nm의 모세관 공극이 급격하게 증가하는 경향을 나타냈으며, 특히 50 nm 부근의 모세관공극이 크게 증가하는 경향을 나타냈다. 이러한 원인은 정수압의 크기와 수분침투의 관계에서 찾을 수 있다. 기존의 연구(Yoo, J. H., 2011)에 의하면, 콘크리트에 0.3 MPa 이상의 수압이 작용할 경우 콘크리트의 내부 변형을 동반하는 침투 확산류에 의해 콘크리트의 침투 수량비가 증가하게 된다. 본 연구에서 작용한 정수압 6 atm은 약 0.6 MPa의 정수압으로 콘크리트에 작용한다. 따라서 6 atm의 정수압 작용으로 인한 콘크리트의 내부변형에 의해 100 nm 이하의 모세관 공극이 증가하는 것으로 판단되며, 이러한 모세관 공극의 확장에 의해 콘크리트의 염화물이온 침투가 촉진되는 것으로 판단된다.

Fig. 7에 OPC 및 PSC 콘크리트에 56일간 인공해수에 노출된 콘크리트의 노출 정수압 크기에 따른 적산공극량 측정결과를 나타냈다. 시멘트 종류에 관계없이 정수압을 받은 시험체는 100 nm이하 공극크기에서 적산공극량이 급격한 증가를 나타냈다.

한편, PSC 시험체의 경우 OPC 시험체와 마찬가지로 정수

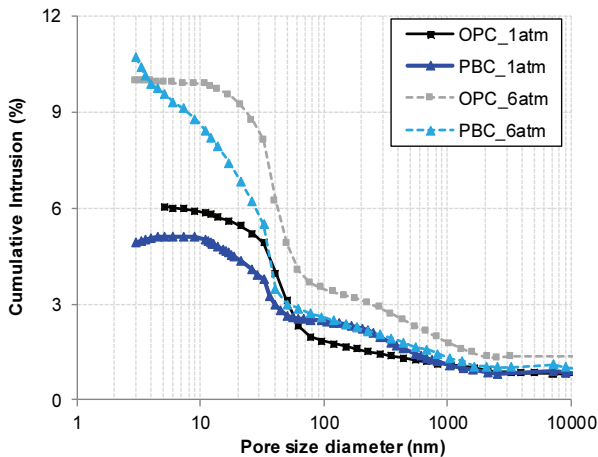


(a) OPC



(b) PSC

**Fig. 6** Pore size distribution of concrete according to Pressurized condition



**Fig. 7** Cumulative pore volume of concrete according to Pressurized condition

압 증가에 따른 적산공극량의 증가현상이 관찰되지만, OPC 시험체에 비해 수용성 염화물량이 낮은 원인은 앞서 설명한

바와 같이 고로슬래그 미분말 혼입에 따른 염화물이온 침투 저항성의 향상 때문인 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 정수압이 보통 포틀랜드 시멘트 및 고로슬래그 시멘트 콘크리트의 염화물이온 침투에 미치는 영향을 검토하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 해수 정수압을 받은 콘크리트의 염화물이온 침투형태는 정수압과 노출기간과의 관계에서 콘크리트 깊이별 염화물이온 농도는 급격히 증가되는 경향이 확인되었다. 특히, 표면부의 염화물이온 농도는 노출 초기에 급격하게 상승하며 이후 수렴하는 경향을 나타냈다.

2) 해수 정수압을 받은 콘크리트에서도 고로슬래그 미분말의 혼입에 의한 염화물이온 침투 억제 효과는 유효한 것으로 확인되었다.

3) 주사전자현미경 관찰을 통해 정수압에 따른 콘크리트의 수화생성물은 큰 차이를 나타내지 않았다. 다만, 6 atm의 정수압에 의해 시험체에서 미세균열이 관찰되며, 매트릭스의 취약한 부분에서 일어난 파괴 때문일 가능성이 있는 것으로 판단된다.

4) 해수 정수압의 작용에 따라 콘크리트 표면부의 모세관 공극이 확장되는 결과를 확인하였다. 이는 결과적으로 해수 정수압이 작용하는 경우 정수압에 의한 염화물이온 이동의 촉진과 더불어 공극확장이 염화물 침투를 촉진시키는 상승요인으로 작용한 것으로 판단할 수 있다.

## 감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2015R1A5A1037548). 또한, 해양수산부의 국가연구개발사업인 “방파제 연계형 파력발전 융복합 기술개발”에 의해 수행되었음(PMS3780).

## References

1. Koh, K. T., Jang, I. Y., Kim, S. W., Lee, K. M.(2004), Materials and Construction of Off-Shore Concrete Structures, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 16(6), 26-30.

2. Lee, B. K., Kim, G. Y., Kim, G. T., Sin, K. S., Nam, J. S.(2017), Chloride Ion penetration Resistance of Slag-replaced Concrete and Cementless Slag Concrete by Marine Environmental Exposure, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 29(3), 299-306.
3. Bazant, Z. P. (1979). Physical model for steel corrosion in concrete sea structures-theory. *ASCE J Struct Div*, 105(6), 1137-1153.
4. Nilsson, L. O., Massat, M., Tang, L.(1994), Effect of non-linear chloride binding on the prediction of chloride penetration into concrete structures, *Special Publication*, 145, 469-486.
5. Xi, Y., Bazant, Z. P.(1999). Modeling chloride penetration in saturated concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 11(1), 58-65.
6. Yoo, J. H., Lee, H. S., Ismail, M. A. (2011). An analytical study on the water penetration and diffusion into concrete under water pressure. *Construction and Building Materials*, 25(1), 99-108.
7. Yi, S. T., Hyun, T. Y., Kim, J. K. (2011). The effects of hydraulic pressure and crack width on water permeability of penetration crack-induced concrete. *Construction and Building Materials*, 25(5), 2576-2583.
8. Kang, S. P., Kim, Y. S., Song, H. W., Kim, G. Y.(2010). The Prediction Model of Carbonation Process by CO<sub>2</sub> Diffusion Using the Air Permeability Coefficient for Concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 22(2), 209-217.
9. Kim, N. W., Yeo, D. G., Song, J. H., Bae, J. S.(2007), A Study on the Characteristic of Capillary Pore and Chloride Diffusivity by Electrical Difference of High-Strength Concrete Using Metakaolin, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 19(4), 499-506.
10. Yang, C. C., Cho, S. W., & Wang, L. C. (2006). The relationship between pore structure and chloride diffusivity from ponding test in cement-based materials. *Materials chemistry and physics*, 100(2-3), 203-210.

Received : 09/02/2018

Revised : 10/30/2018

Accepted : 11/07/2018

---

**요 지** : 해양 콘크리트 구조물 중 침지대에 위치한 구조물은 수심이 10 m 깊어질수록 1 atm의 정수압을 받아 염화물이온 침투가 촉진될 가능성이 있다. 본 연구에서는 정수압이 해양콘크리트의 염화물이온침투에 미치는 영향과 원인을 평가하기 위하여 보통 포틀랜드 시멘트와 고로슬래그 시멘트를 활용한 콘크리트를 각각 1, 6 atm의 정수압과 인공해수에 노출시켜 깊이별 수용성 염화물량과 미세구조 분석을 실시하였다. 측정결과 6 atm의 정수압을 받는 콘크리트는 표면 염화물이온 농도가 급격하게 상승하며, 깊이별 수용성 염화물량이 증가하는 경향을 나타내었다. 또한, 정수압을 받은 콘크리트는 5~100 nm에 해당하는 모세관공극이 증가하는 경향을 나타내었다.

**핵심용어** : 해양 콘크리트, 정수압, 염화물이온침투, 모세관공극

---