

# 무기계 산업폐기물을 자극제로 이용한 비소성 시멘트 콘크리트의 염소이온 침투 저항성

## Chloride ion Permeability of Non-Sintered Cement Concrete using Inorganic Industrial Wastes as activator

문경주\* 이철웅\* 박원춘\*\* 소승영\*\*\* 소양섭\*\*\*  
Mun Kyoung-Ju Lee Chol-Woong Park Won-Chun So Seung-Young Soh Yang-Seob

### ABSTRACT

If cement can be manufactured with industrial byproducts such as granulated blast furnace slag(GBFS), phosphogypsum(PG), and waste lime(WL) instead of clinker as its counterproposal, there would be many advantages, including maximum use of these industrial byproducts for high value-added resources, conservation of natural resources and energy by omitting the use of clinker, minimized environmental pollution problems caused by CO<sub>2</sub> discharge, and reduction of the production cost. This research investigates the chloride ion permeability of NSC concrete added PG and WL to GBFS as sulfate and alkali activators. The result of experiment of chloride ion permeability, showed that NSC is very excellent in seawater resistance. Such a reasons are that the hydrate like CSH gel and ettringite formed dense pore structure of NSC matrix.

### 1. 서론

최근 간척시설물이나 해양구조물의 건설이 활발해 지면서 해수환경에 직접 노출되는 건축구조물의 건설이 증가함에 따라 염해에 대한 문제가 더욱 심각하게 제기되고 있다. 콘크리트 내부로 침투하는 염소이온은 철근부식을 유발시켜 콘크리트 구조물의 성능저하를 일으키기 때문에 염해의 가장 중요한 요인으로 인식되고 있어 최근 콘크리트의 염소이온 확산특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논고에서는 산업폐기물을 자극제로 이용하여 제조한 비소성 시멘트(이하 NSC) 경화체의 염소이온 침투 저항성을 평가하기 위하여 전기촉진법과 염화물 용액 침지실험을 실시하였다. NSC를 이용한 콘크리트 중의 염소이온 확산 특성의 평가결과는 해양환경 하의 콘크리트 구조물의 내구성 설계에 기초자료가 될 것으로 생각된다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1. 사용재료 및 배합

비소성 시멘트(NSC)의 제조를 위해 고로슬래그 미분말(GBFS)과 수화반응 유도를 위한 황산염 자극제로는 N사의 인산제조시 폐기물로 배출되는 폐인산석고(PG)를, 알칼리 자극제로는 공업용 소석회(SL)와 그리고 D사에서 소다회(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) 제조 공정중에 폐기물로 배출되는 폐석회(WL)를 사용하였다. PG는 0.5% 석회 수용액에 20℃에서 5분 동안 세척되었으며 이때 석회 수용액중 PG의 비율은 중량비로 14%

\* 정회원, 전북대학교 공업기술연구센터 연구원, 공학박사

\*\* 정회원, 지오콘머테리얼(주) 상무이사

\*\*\* 정회원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공업기술연구센터, 공학박사

였다. 세척, 중화처리된 PG를 450°C에서 하소한 II형 무수석고(APG) 상태와 80°C에서 건조한 한 이수석고(DPG) 상태로 전이시켜 미분쇄하여 사용하였다. WL은 배출상태의 것을 90°C에서 1일 건조한 후 미분쇄하여 사용하였다. 콘크리트 물성시험에 사용된 골재는 굵은골재로 20mm 쇄석골재(비중:2.60, 조립률:6.68)를 잔골재로 세척사(비중:2.58, 조립률:2.34)를 사용하였다. 혼화제는 리그닌 설폰산염을 주성분으로 한 국내 J사의 AE감수제를 사용하였다. 시멘트 및 콘크리트 배합은 Table 1에 나타낸바와 같다.

Table 1. Mix proportions of concretes using various NSCs.

Type	Mix proportions of NSC(wt%)						G <sub>max</sub> (mm)	W/C (%)	S/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	Mixing proportion(kg/m <sup>3</sup> )			AE water reducing agent
	OPC	GBFS	AG	DG	SL	WL					C	S	G	
OPC	100	-	-	-	-	-	20	45	41	179	397	736	1060	C× 0.5%
BSC	50	50	-	-	-	-								
NSC1	-	87	12	-	1	-								
NSC3	-	82	-	17	1	-								
NSC5	-	81	11	-	-	8								

## 2.2 전기촉진법에 의한 염소이온 투과 실험

전기촉진법에 의한 염소이온 투과시험은 Whiting이 발표한 Coulomb test 장치와 유사하게 제작하여 측정하였다. 실험은 ASTM C 1202-91과 AASHITO T 277-831 "Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete"에 의거했으며 그 방법을 요약하면 다음과 같다. 각 시멘트 종류에 따라 제작된 Ø100×200mm의 콘크리트 공시체를 50mm 두께로 삼등분하고 절단면을 제외한 원주면에 에폭시 페인팅한 시편을 장치한 후 6시간동안 30분 간격으로 콘크리트를 통과하는 전류값(amperes)을 측정하여 전체 통과전하량을 산출하였다.

## 2.3 염화물 용액 침지실험

1M NaCl 용액에 침지시켜 염화물 침투 농도를 측정하여 흡착에 의한 염화물 이온 침투 저항성을 비교하였다. 이때 WL을 자극제로 사용한 NSC3의 경우는 측정하지 않았는데 이는 WL 자체 성분 중 염화물이 일부 존재하기 때문이다. 침투깊이 시험은 50×50×50mm 공시체를 사용하였으며, 7일간 표준 양생을 실시한 후, 5% NaCl 용액 중에 28일 침지시켰다. 이때 침지조건을 각각 달리하였는데 염소이온은 지속적으로 침지된 경우와 건습을 반복하였을 때와 염소이온 투과성이 다르게 나타나기 때문이다. 따라서 지속적으로 염화물 용액에 침지한 경우와 건습(3일 건조, 4일 침지)을 반복한 경우로 나누어 실험을 실시하였다. 염소이온 침투에 따른 강도변화를 살펴보기 위해 압축강도를 측정하였으며, 동일 공시체를 이용하여 염화물 침투깊이를 측정하였다. 이때 염화물 침투 깊이의 측정은 0.1% fluorescein natrium 용액을 분무하여 형광 발색하는 부분을 염화물 이온 침투깊이로 산정하였다.

# 3. 실험결과 및 고찰

## 3.1 전기촉진 시험

Fig. 1 및 2는 양생재령 및 시멘트 종류를 달리한 콘크리트 공시체의 시간에 따른 통과 전류값(amperes)과 6시간동안 콘크리트를 통과하여 흐른 전하량(Coulombs)을 보여주고 있다. 콘크리트를 통과하는 전류값은 28일 재령에서 NSC의 경우 OPC 및 BSC에 비하여 매우 낮은 값의 전류값을 나타내며 OPC 및 BSC의 경우에는 시간이 경과함에 따라 전류값이 증가하는 경향을 나타내나 NSC의 경우에는 시간이 경과하여도 그 값은 거의 일정하게 나타났다.

재령이 경과함에 따라 OPC 및 BSC의 전류값은 저하하였으며 NSC의 경우에도 전류값이 저하하였으나 그 차이는 크지 않았다.

또한 6시간 동안 콘크리트를 통과하여 흐른 전하량에서도 이와 같은 결과를 보였다. 28일 재령에서 NSC의 경우 전류값이 151.1~177.3 amperes를 나타내어 OPC 및 BSC에 비하여 약 13~16배 정도 감소되었고 360일에서는 87.3~131.4 amperes로 OPC에 비하여 최고 17배 감소하였고 BSC에 비하여 약 7.5배 감소되었다. 이와 같은 낮은 염소이온 투과성을 보이는 이유는 NSC의 경우 OPC 및 BSC에 비하여 매우 치밀한 조직을 형성하고 있기 때문이다. NSC는 OPC 및 BSC에 비하여 세공경 100nm 이상의 큰 공극은 거의 생성시키지 않고 거의 모든 공극이 100nm이하로 존재하고 특히 10nm 이하의 공극이 다량 생성됨으로써 결국 염소이온을 투과할 수 있는 공극이 대폭 감소되기 때문이다. 따라서 향후 NSC를 해양구조물용 수밀콘크리트에 활용 시 OPC 및 BSC에 비하여 월등히 우수한 내염성을 발휘할 것으로 판단된다.

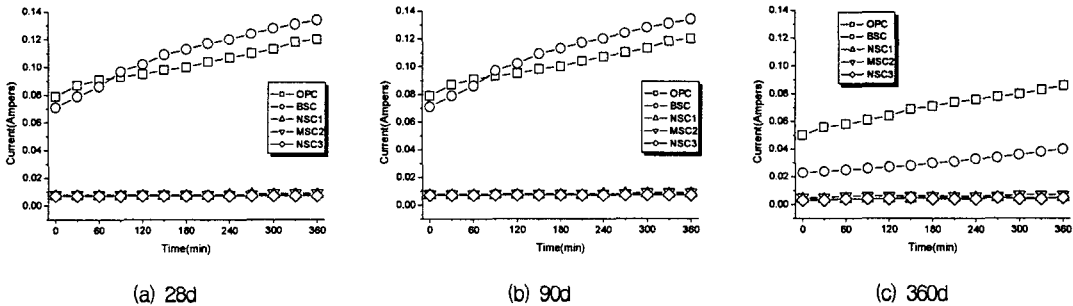


Fig. 1 Time vs. current intensity of NSC concretes with different curing ages.

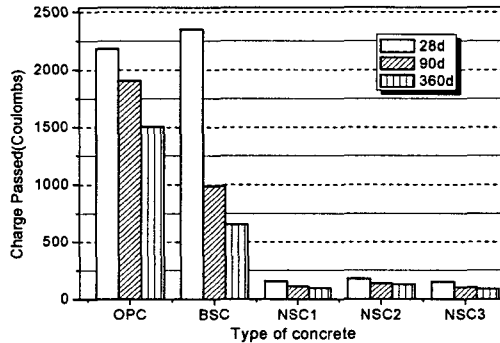


Fig. 2 Charge passed of NSC concretes with different curing ages.

### 3.2 염화물 용액 침지 시험

Fig. 3은 실제 확산을 통해 모르타르에 침투한 염소 이온의 깊이를 나타낸 것이다. 염화물 용액에 침지한 OPC의 경우 재령이 경과함에 따라 침투깊이가 지속적으로 증가하여 91일에는 공시체 표면으로 약 12mm까지 침투하였으며 BSC는 OPC에 비하여 전재령에 걸쳐 침투깊이가 작게 나타났으나 NSC에 비해서는 크게 나타났다. NSC의 경우 91일에서의 침투 깊이가 3mm로 OPC 및 BSC에 비해 각각 약 4배, 1.5배 정도 우수한 침투저항성을 나타냈다. 또한 이러한 결과는 재령이 더욱 경과함에 따라 더욱 우수한 결과를 보일 것으로 예상된다.

건습을 반복한 경우 염화물 용액에 침지한 경우보다 침투깊이가 약간 증가하는 경향을 보였는데 특히 OPC의 경우 침투깊이의 증가폭이 매우 크게 나타났다. 반면 BSC 및 NSC의 경우에는 침투깊이가 크게 증가하지 않음을 알 수 있다.

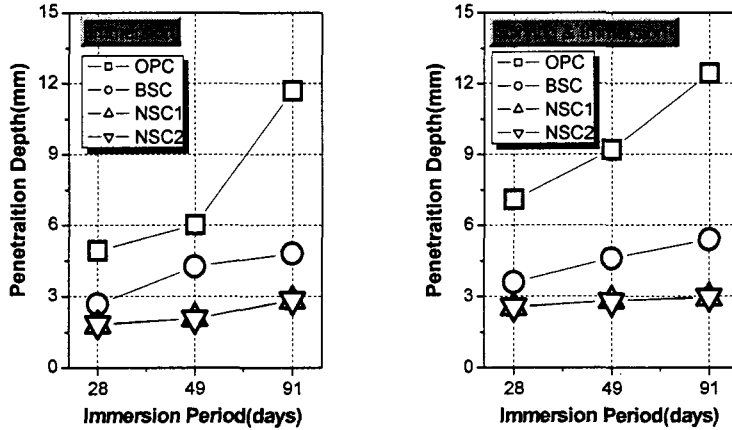


Fig. 3 Immersion period vs. chloride ion penetration depth of mortars immersed in 5% NaCl solution.

#### 4. 결론

염소이온 침투 시험방법을 달리하여 내염성능을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 전기촉진 시험에 의한 염소이온 침투 저항성을 평가한 결과 NSC를 이용한 콘크리트의 경우 OPC 및 BSC를 이용한 콘크리트에 비하여 28일 재령에서는 약 1/16~1/13, 360일 재령에서는 최저 1/17의 낮은 전하량을 나타낸다. OPC 및 BSC의 경우에는 시간이 경과함에 따라 전류값이 증가하는 경향을 나타내나 NSC의 경우에는 시간이 경과하여도 그 값은 거의 일정하게 나타났다.
- 2) 전기촉진 시험에 의한 NSC를 이용한 콘크리트의 통과전하량은 88~160 coulombs으로 ASTM에서 규정하는 통과전하량에 의한 콘크리트의 염소이온 투과 저항성 분류결과에서도 매우 낮은 등급을 나타낸다.
- 3) 염화물 이온의 침지에 따른 염화물 침투 깊이를 측정된 결과 NSC를 이용한 모르타르는 91일 침지 재령에서 OPC 및 BSC를 이용한 모르타르에 비해 각각 약 4배, 1.5배 정도 우수한 침투저항성을 나타냈다.
- 4) NSC를 이용한 모르타르 및 콘크리트는 OPC 및 BSC를 이용한 경우에 비하여 매우 치밀한 조직을 형성하기 때문에 향후 NSC를 해양구조물용 수밀콘크리트에 활용 시 우수한 내염성을 발휘할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- 1) 문경주, "산업폐기물을 이용한 비소성 시멘트 및 콘크리트의 특성", 전북대 박사학위논문, 2004.
- 2) 문경주 외 2인, "비소성 시멘트 경화체의 공극구조", 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제16권, 제2호, 2004.