

## 철강산업 부산물을 활용한 해수정화용 친환경 다공질콘크리트의 특성

한운우<sup>1</sup>, 이병재<sup>2\*</sup>

# Characteristics of Eco-friendly Porous Concrete for Seawater Purification Using By-Products of Steel Industry

Woonwoo Han<sup>1</sup>, Byungjae Lee<sup>2\*</sup>

**Abstract:** As of 2018, Steel slag was generated approximately 24.23 million tons. However, except blast furnace slag, steel slag is a typical by-product which does not have a clearly defined purpose in recycling. Thus, countries around the world are putting great efforts into developing a purpose for the recycling of steel slag. The vast habitat foundation of marine life has been destroyed due to recent reckless marine development and environment pollution, resulting in intensification of the decline of marine resources, and a solution to this issue is imperative. In order to propose a method to recycle large amounts of by-product slag into a material that can serve as an alternative to natural aggregate, the engineering properties and applicability for each mixing factor of environment friendly porous concrete as a material for the composition of seawater purification were in this study. Regarding the nutrient elution properties, it was clear that the nutrients continuously flowed out up to an immersion time by 8 months in natural seawater; the nitrogenous fertilizer displayed excellent elution properties in this regard.

**Keywords:** slag aggregate, granular artificial zeolite, sea-water purification, environmentally friendly porous concrete

### 1. 서 론

우리나라는 1960년대 이후 급속한 경제발전을 이룩하였으며, 그 중에서도 기간산업인 철강산업은 매년 꾸준히 증가하여 2019년 7,246 만톤에 이르는 세계 5위의 조강생산국이다(KOSA, 2020; POSCO, 2019). 철강 생산으로 인하여 부산되는 철강슬래그 역시 계속적으로 증가하여 2018년에 2,423 만톤에 이르고 있으나 그 중 품질이 양호한 고로슬래그 정도만 콘크리트 혼화재료로 국한되어 약 44% 정도 활용되고 있다. 이외 용도가 없는 50% 이상은 성토용 매립 등 단순 재활용이 주를 이루고 있어 산업부산물의 유효활용을 통한 자원순환형 사회 구축 및 천연자원 고갈방지를 위해서는 다양한 활용기술 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다(Korea Waste Association 2011; Korean Institute of Construction Cycle Resources 2014).

한편, 해안지역에서의 활발한 활동으로 오염물질의 처리장 및 식량자원 공급원으로서의 역할을 충실히 수행해

온 연안해역은 최근 활동량 증가와 도시하수, 공장폐수 및 폐기물에 의한 오염 등으로 생태계의 파괴를 야기하여 연근해의 어장을 황폐화시키고 생물자원을 감소시켜 국민건강과 국가경제에 미치는 악영향이 막대한 실정이다. 또한 연안해역에 해양 구조물 증가로 인한 모래사장과 갯벌 등이 줄어들면서 자연정화능력이 감소하여 폐쇄성 해역의 적조, 녹조현상이 빈번히 발생하고 있다.

이러한 문제들을 해결하기 위한 방안 중 하나로 다공질 콘크리트를 들 수 있는데, 이는 잔골재를 거의 사용하지 않고 불연속입도의 굵은골재를 이용하여 제조된 콘크리트를 (Park, 2003; KCI, 2004; Park, 2002) 말한다. 다공성콘크리트의 내부에 형성된 다량의 연속공극과 넓은 비표면적은 식물플랑크톤, 세균 등 생물의 서식공간을 제공하여 수질정화 측면에서 유효하지만, 다량의 폐수 및 유해물질의 유입에 대한 해수정화 성능향상방안과, 일반콘크리트에 비하여 낮은 강도 및 내구성에 대한 문제점들을 해결하기 위한 연구개발이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 철강산업부산물의 유효 활용방안 제시와 다공질콘크리트의 내구성 향상 및 해수정화 특성을 평가하기 위하여 슬래그골재, 입상인공제올라이트를 이용한 다공질콘크리트의 공학적 특성과 해수정화 성능을

<sup>1</sup>정회원, 대전대학교 토목공학과 교수

<sup>2</sup>정회원, 대전대학교 토목공학과 조교수

\*Corresponding author: bjlee@dju.kr

Department of Civil Engineering, Daejeon University, Daejeon, 34520, Republic of Korea

•본 논문에 대한 토의를 2020년 3월 31일까지 학회로 보내주시면 2016년 4월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

조사·분석하였다.

## 2. 실험계획

### 2.1 사용재료 및 실험방법

본 연구에서는 친환경 다공질콘크리트의 성능향상재료 혼입에 따른 물리·역학적 특성, 유해성 및 현장 적용성을 규명하기 위하여 Table 1에 나타난 시험조건 및 배합변수로 실험을 수행하였으며, 여기서 혼화제량은 시멘트 페이스트의 일정한 유동성을 확보하기 위하여 사전에 흐름시험을 수행하여 혼입량을 결정하였다.

**Table 1** Experimental variables

W/B(%)	25	
Target void ratio(%)	10, 15, 20	
Target flow(%)	180	
Slag aggregate(%)	0, 30, 50, 100	
Granular artificial Zeolite(%)	10%	
Test items	Physical properties	- Accumulative dissolution ratio test - Destruction ratio test
	Mechanical properties	- Void ratio test - Compressive strength test
	Marine applicable test	-Sea-water purification test

### 2.2 사용재료

#### 2.2.1 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 KS L 5210의 규정에 적합하고, 고로슬래그 미분말의 함량이 30%인 국내 S사 제품의 고로슬래그 시멘트를 사용하였으며, 물리적 특성은 Table 2와 같다.

**Table 2** Physical properties of slag cement

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Stability (%)	Compressive Strength(MPa)		
			3days	7days	28days
3.02	4,091	0.01	17	27	42

#### 2.1.2 골재

본 연구에 사용된 골재는 강원 영월군 J사에서 생산된 부순 골재와 경북 포항시 포스코에서 부산되고 D사에서 고로슬래그 및 제강슬래그를 혼합하여 생산된 복합슬래그골재를 사용하였으며, 골재의 입도는 13~20mm의 것을 사용하였다. Table 3는 사용골재의 물리적 성질을 나타내었다.

#### 2.1.3 입상인공 제올라이트

**Table 3** Physical properties of aggregate

Items	Gradation (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Water absorption (%)	Absolute volume (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )
Crushed aggregate	5~13	2.79	0.84	60.7	1,693
Slag aggregate	5~13	3.27	2.46	58.6	1,873

해수정화 목적으로 흡착기능을 가지는 제올라이트를 인공으로 합성하여 제조된 분말형을 사용하였고, 다공질 콘크리트 내부에 용해 및 파괴되지 않고 형성되어 있을 수 있도록 환형으로 시멘트 코팅하여 제조하였다. Fig. 1에 입상인공제올라이트 제조 전경 및 제조된 입상인공제올라이트 샘플을 나타내었다. Table 4는 입상인공제올라이트의 물리적 성질이다.



**Fig. 1** Granular artificial zeolite

**Table 4** Properties of Granular Artificial zeolite

Grading (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Water Absorption (%)	Ratio of Absolute Volume (%)
2.5~6.0	1.9	18	53.2

#### 2.1.4 혼화제

시멘트 분산작용에 의해 콘크리트의 성질을 개선시키는 혼화제로서, 국내 S사제품의 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 5와 같다.

**Table 5** Physical properties of admixture

Admixture	Appearance	Density (g/cm <sup>3</sup> )	pH	Mass contents (%)
High-range water reducing agent	Light brown liquid	1.06	6.5	41~45

### 2.2 시험조건 및 배합

#### 2.2.1 시험조건

친환경 다공질콘크리트의 해수정화 성능평가를 위해 먼저

입상인공제올라이트 제조조건(혼합비 및 입도)에 따른 흡착율과 파괴율 시험을 수행하여 최적 제조조건을 도출하였다. 또한, 도출된 입상인공제올라이트의 최적 배합조건에서 친환경 다공질콘크리트의 복합슬래그골재 혼입 비율에 따른 역학적 특성 및 해수정화 성능을 평가하였다.

### 2.2.2 배합

친환경 다공질콘크리트 배합은 사전 실험을 통하여 물-결합재비 25%, 친환경 다공질콘크리트의 적정 위커빌리티를 확보할 수 있는 결합재의 흐름값을 180%로 선정하였으며, 배합설계시 콘크리트 내부에 일정량의 공극을 확보하기 위하여 목표공극률을 10, 15, 20%로 선정하였다. 또한, 부순골재에 대한 복합슬래그골재의 대체비율(0, 30, 50, 100%) 및 입상인공제올라이트 혼입(0, 5, 10, 20%)조건에 따라 배합을 실시하였으며, 배합표는 Table 6과 같다. 또한 믹싱은 시멘트 페이스트의 분산성을 향상시키기 위해 30 L의 옴니 믹서를 사용하여 먼저 시멘트, 골재, 혼화재료를 투입하고 200rpm으로 60초 동안 혼합한 후 혼합수를 투입한 후 다시 180초 동안 혼합하고, 마지막으로 특수처리입상비료를 투입하여 30초간 혼합하는 분할투입방법으로 배합 하였다.

### 2.2.3 공시체 제작

공시체의 제작은 일본 에코콘크리트연구위원회의 다공질콘크리트용 공시체의 제작방법(7)을 참조하여 믹싱을 끝낸 친환경 다공질콘크리트를 각 소요의 몰드에 1/2씩 채운 후 각 층마다 진동테이블을 이용하여 진동다짐을 실시하여 제작하였다. 친환경 다공질콘크리트가 타설된 공시체는 24시간 기건양생 후에 탈형하고 소요의 재령(28일)까지 20±3℃의 수중에서 표준양생을 실시하였다.

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 흡착율

입상인공제올라이트의 시멘트와 인공제올라이트의 혼합비(0.5:9.5, 1:9, 2:8, 3:7)와 입상인공제올라이트의 입도(3mm, 5mm, 7mm)에 따른 암모니아성 질소 흡착 실험을 수행하였으며, 흡착조건은 NH<sub>4</sub>Cl의 초기농도를 10ppm, 반응온도 30℃에서 반응시간 200분 동안 암모니아성질소의 농도의 변화를 측정하여 평가하였다.

### 2.3.2 파괴율

다공질콘크리트의 혼합 및 다짐시 시멘트와 인공제올라이트의 혼입비에 따른 파괴율을 측정하기 위하여 옴니믹서를 이용하여 분할혼합방식으로 콘크리트를 210초 동안 혼합한 후 입상인공제올라이트를 혼입하고 30초 동안 추가 혼합을

**Table 6** Mix proportions of environmentally friendly porous concrete

Mix No.	W/B (%)	Target Void Ratio (%)	SA <sup>1)</sup> Content (%)	Ze <sup>2)</sup> Content (%)	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )					
					C	W	CA <sup>3)</sup>	SA <sup>1)</sup>	Ze <sup>2)</sup>	Ad. <sup>4)</sup>
I-1	25	10	-	-	505	126	1,693	-	-	3.99
I-2			30	10	505	126	1,185	595	51	4.14
I-3			50	10	505	126	847	992	51	4.14
I-4			100	10	505	126	-	1,984	51	4.14
II-1	25	15	-	-	418	105	1,693	-	-	3.22
II-2			30	10	418	105	1,185	595	42	3.35
II-3			50	10	418	105	847	992	42	3.35
II-4			100	10	418	105	-	1,984	42	3.35
III-1	25	20	-	-	332	83	1,693	-	-	2.46
III-2			30	10	332	83	1,185	595	33	2.56
III-3			50	10	332	83	847	992	33	2.56
III-4			100	10	332	83	-	1,984	33	2.56

SA<sup>1)</sup> : Slag aggregate, Ze<sup>2)</sup> : Granular artificial zeolite  
CA<sup>3)</sup> : Crushed aggregate, Ad<sup>4)</sup> : Admixture

실시하였다. 공시체의 성형은 표면진동형 다짐기를 이용한 진동다짐을 실시하고, 제작된 굳지 않은 콘크리트를 물-씻기 분석방법을 이용하여 파괴되지 않은 입상인공제올라이트를 선별하여 당초 배합시 투입된 비료의 양과 표면건조포화 상태에서의 질량변화를 측정하여 파괴율을 산출하였다. 또한 입상인공제올라이트의 파괴율 측정을 위한 다공질콘크리트의 배합은 물-시멘트 25%, 페이스트의 흐름값 180%, 배합설계시 목표공극률 20%로 설정하여 실시하였다. 입상인공제올라이트의 혼입량은 시멘트에 대한 질량비로 30% 혼입하였다.

### 2.3.3 공극률 시험방법

친환경 다공질콘크리트의 공극률시험은 일본 에코콘크리트연구위원회의 『다공질콘크리트의 공극률시험방법(안)』 중 용적법에 의하여 측정하였다.

### 2.3.4 압축강도 시험방법

친환경 다공질콘크리트의 압축강도 시험은 φ100×200 mm의 공시체를 제작하여 KS F 2405 『콘크리트의 압축강도 시험방법』에 준하여 유압식 만능시험기를 사용하여 측정하였다.

### 2.3.5 해수정화 시험방법

해수정화 시험은 인공적인 실내수로를 제작하고 연안해역에 일정기간 침지하여 해양미생물을 부착시킨 공시체(400×400×100mm)를 인공수로에 침지하였다. 자연에서의 햇빛을 고려하여 2,000lx의 인공조명을 12시간 주기로 점등과 소등을 반복하였으며 수위와 유속에 대한 영향을 고려하여

인공수로의 물을 2,000ml/min으로 순환시켜 일정하게 유지하였다. 실내수질정화시험에 사용된 표준해수는 삼천포항의 접안시설 부근에서 가장오염도가 큰 해수를 사용하였으며 표준해수에 대한 특성은 Table 7과 같다. 또한, 총질소, 총인농도를 측정하여 다공질콘크리트의 해수정화 성능을 평가하였으며 시험방법은 다음과 같다.

**Table 7** The Quantity of Standard Sea-Water

Temperature	pH	DO (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
27℃	8.8	7.9	0.84	0.28

**① 총질소 농도 측정**

해양오염을 유발시키는 주 원인물질 중의 하나로서, 본 연구에서는 해수정화시험에서 총질소(mg/L) 항목을 측정(Tamai et al., 1992)하였다. 측정방법은 과황산분해법을 사용하였으며 NO<sub>2</sub>-표준용액을 제조하고 220nm 파장에서의 흡광도를 흡광분석기를 사용하여 표준용액의 흡광도를 분석한 후 검량선을 작성하고 측정일별 채취된 검사수를 흡광분석기에 의해 흡광도를 측정한 후 이 값을 검량선에 대입하여 검사수의 총질소 농도를 구하였다.

**② 총인 농도 측정**

본 연구에서는 부영양화를 유발시키는 주 원인물질인 총인을 측정하였다. 측정방법은 아스코르빈산 환원법을 사용했으며 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 표준용액(Standard Solution)을 제조하고 880nm 파장에서의 흡광도를 측정하여 표준용액에 대한 검량선을 작성한 후 채취된 샘플의 흡광도를 측정하여 검량선에 대입하여 총인의 농도를 구하였다.



**Fig. 2** The Indoor Equipment used in Sea-Water Purification

**3. 실험결과 및 고찰**

**3.1 입상인공제올라이트 흡착율**

입상인공제올라이트의 흡착률 시험결과는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 시멘트의 혼입량이 5%일 때 입도 3mm와 5mm로 제조된 입상인공제올라이트의 흡착성능이 가장 우수하게 나타났으나 흡착성능의 차이는 미미한 것으로 나타났다. 동일한 시멘트량의 시멘트를 혼입하였을 때, 입도가 굵게 제작된 입상인공제올라이트의 흡착성능 및 흡착속도가 감소하는 것으로 확인되었다. 이러한 경향은 입상인공제올라이트의 입도가 클수록, 사용시멘트의 혼입률이 증가할수록 피흡착제인 암모니아성 질소가 흡착제 내부로의 침투가 용이하지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

**3.2 입상인공제올라이트 파괴율**

입상인공제올라이트를 다공질콘크리트에 적용하여 해수정화 성능향상 요소로 적용하기 위해서는 콘크리트 배합 및 성형과정에서 일정 수준의 안정성이 유지되어야 할 것으로 판단된다. 따라서 입상인공제올라이트 제조조건별 파괴시험 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 실험결과, 시멘트 혼입 비율이 5%에서 20%로 높아짐에 따라 파괴율은 24.9~33.4%에서 10.0~13.8%로 감소하였으며, 입상인공제올라이트의 지름이 클수록 파괴가 많이 되는 것으로 나타났다. 이는 콘크리트 혼합시 입자가 큰 입상인공제올라이트일수록 골재와의 충돌 횟수가 늘어나 골재보다 경도가 낮은 입상인공제올라이트가 파괴된 것으로 판단된다.

**3.3 공극률**

복합슬래그골재의 배합조건에 따른 다공질콘크리트의 공극률 시험 결과는 Fig.5와 같다. 모든 배합조건에서 실측 공극률과 목표공극률이 최대 2.16% 정도의 차이만을 나타내 본 연구에서 적용한 다공질콘크리트의 배합설계 및 혼합방법과 다짐방법 등이 적절했던 것으로 판단된다.

복합슬래그골재의 혼입에 따른 영향은 혼입률이 증가함에 따라 실측 공극률은 증가하는 경향을 나타냈으며, 복합슬래그골재 대체율 100%에서는 Plain에 비하여 약 6.8~11.6%정도까지 공극률이 증가되는 것으로 나타났다. 이는 슬래그 냉각과정에서 다량의 기포가 발생되어 골재 내부에 공극을 형성하기 때문에 실측 공극률이 증가한 것으로 판단된다. 골재 입도 차이에 따른 영향은 골재입도가 클수록 공극률이 증가하는 경향을 나타내었지만 그 차이는 미미하였다.



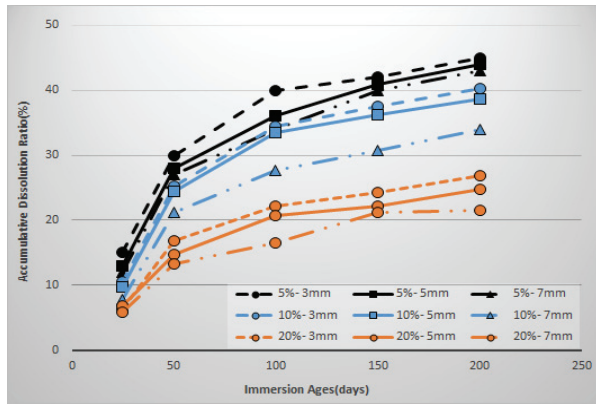


Fig. 3 Accumulative dissolution ratio of granular artificial zeolite

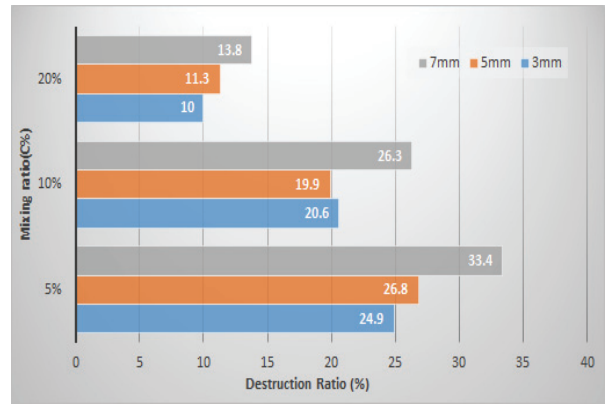


Fig. 4 Destruction Ratio of granular artificial zeolite Fertilizer

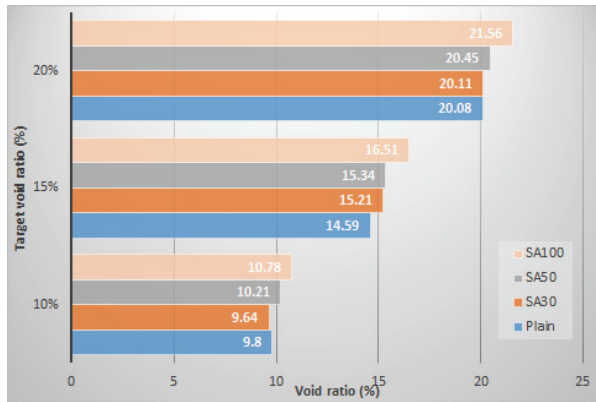


Fig. 5 Void Ratio according to Mixing Conditions

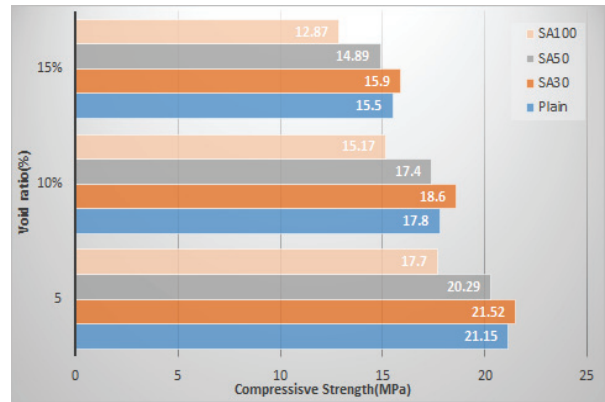


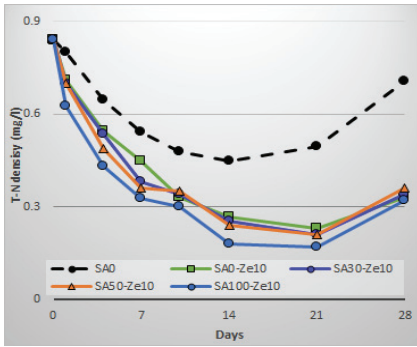
Fig. 6 Compressive Strength according to Mixing Conditions

### 3.4 압축강도

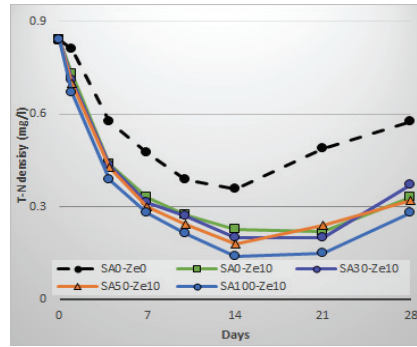
복합슬래그골재의 배합조건이 다공질콘크리트의 강도발현에 미치는 영향을 검토하기 위하여 압축강도 및 휨강도 시험을 수행하였으며, 그 결과는 Fig. 6에 나타내었다. 압축강도 특성을 고찰하여 보면 동일 골재조건에서 목표공극률이 증가함에 따라 압축강도는 감소하는 것으로 나타났으며, 동일 목표공극률에서 복합슬래그골재의 혼입률이 증가함에 따라 강도는 감소하는 경향을 나타내 복합슬래그골재 대체율 100%에서는 부순돌만을 사용한 경우에 비하여 약 20~34%의 강도 감소를 나타냈다. 이러한 원인은 목표공극률이 증가함에 따라 단위골재에 대한 시멘트 페이스트량이 감소하여 강도가 저하되었으며, 복합슬래그골재를 혼입한 경우에는 슬래그골재의 입형이 불량하고 골재자체의 경도가 부순돌에 비하여 약하기 때문에 다량 혼입되었을 때 강도가 저하가 심한 것으로 판단된다. 그러나, 복합슬래그골재를 30%까지 대체하더라도 부순돌만을 사용한 경우보다 우수한 강도특성을 나타내었으며, 복합슬래그골재 대체율 50%에서는 부순돌만을 사용한 경우에 비하여 약 95.9~97.8% 정도의 압축강도를 발현하여 용도에 따라서는 50%까지 혼입하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.5 해수정화 성능평가 결과

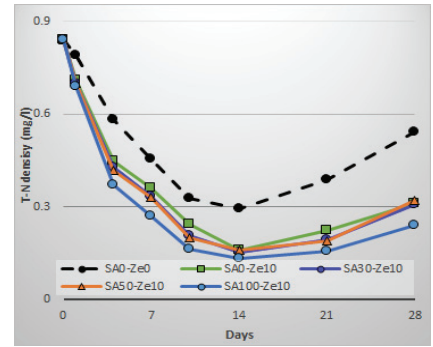
다공질콘크리트를 배합요인별로 제작하여 해안에 3개월간 침지한 후 해수가 순환하는 인공수로에 설치하여 적조 등 해양오염의 원인이 되는 총질소, 총인의 농도 변화를 측정하였다. Fig. 7은 총질소 농도 0.84mg/L 인 인공해수에서 총질소량의 변화를 측정된 결과이다. 측정결과 목표공극률 10%에서는 21일에 0.18mg/L, 목표공극률 20%에서는 14일에 0.14mg/L까지 저하되는 것으로 나타나 목표공극률이 클수록 질소 제거 능력이 우수한 것으로 나타났다. 이는 목표공극률이 클수록 비표면적이 커져 미생물의 부착량도 많아지게 되므로 미생물에 의한 질소의 소비가 증가하여 질소농도의 저하가 빨리 일어난 것으로 판단된다. 침지일수 14일에서 입상인공제올라이트의 혼입에 따른 영향은 36.8~54.6%정도 총질소 농도가 감소하여 입상인공제올라이트의 혼입에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다. 하지만, 복합슬래그골재의 혼입에 따른 영향은 다른 요인들에 비하여 미미한 것으로 나타났다. Fig. 8은 총인 농도 0.28mg/L 인 인공해수에서 총인의 변화를 측정하였고, 총질소의 측정과 유사한 결과를 나타냈다. 침지 14일에서 목표공극률이 10%에서 20%로 증가함에 따라 총인 농도가 각각 0.14mg/L, 0.07mg/L, 0.06mg/L까지 저하



(a) Void ratio: 10%

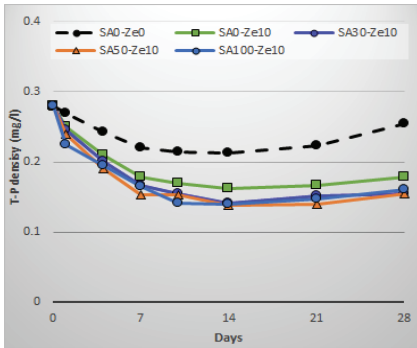


(b) Void ratio: 15%

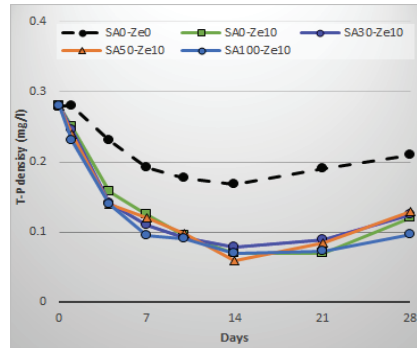


(c) Void ratio: 20%

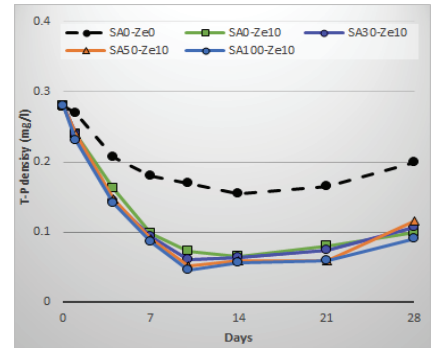
Fig. 7 Variation of Total Nitrogen Concentration by Soaking Day



(a) Void ratio: 10%



(b) Void ratio: 15%



(c) Void ratio: 20%

Fig. 8 Variation of Total Phosphorus Concentration by Soaking

되어 목표공극률이 클수록 총인의 소비량이 증가되는 것으로 나타났다. 입상인공제올라이트의 혼입에 따른 영향은 해수오염의 주요인자인 인 제거 능력이 향상되는 것으로 나타났다. 또한, 복합슬래그골재의 혼입률이 증가할수록 총인의 소비량이 증가하는 경향을 보이긴 하였으나 그 영향은 미소하였다. 총질소 및 총인의 농도 측정 실험에서 침지초기에 각각의 농도가 감소하다가 일정기간 후에 다시 증가하는 경향을 나타냈는데, 이는 제한된 공간의 인공수로에서 단기간에 부착된 미생물의 제거능력이 한계에 도달 하였거나 미생물의 양분인 질소 및 인이 다량으로 존재하여 생물막이 급격히 발달함으로서 수중의 용존산소량이 감소되고 미생물이 활동할 수 없어 총질소 및 총인이 더 이상 저하되지 않은 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 철강산업 부산물인 복합슬래그골재 및 입상인공제올라이트를 활용한 친환경 다공질콘크리트의 배합요인별 공학적 특성 및 해수정화 성능을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 입상인공제올라이트 품질특성을 분석한 결과, 질소 및 인의 흡착성능은 결합재로서 시멘트혼입률이 가장 낮은 5% 및 입도 3~5mm로 입상인공제올라이트를 제조하였을 때 가장 우수한 흡착성능을 나타냈다. 또한, 파괴율은 시멘트의 혼입률이 높고, 입도가 작을 때 우수한 결과를 나타내었다.
- 2) 복합슬래그골재 혼입에 따른 다공성콘크리트의 공극률은 복합슬래그골재의 혼입률이 증가함에 따라 다소 증가하여, 복합슬래그골재 대체율 100%에서는 6.8~11.6%정도 증가경향을 나타 내었다. 또한, 복합슬래그골재의 혼입률이 증가함에 따라 강도가 저하되어 부순돌만을 사용한 경우에 비하여 20~34%까지 감소하였다. 하지만, 30%까지는 활용 가능할 것으로 판단된다.
- 3) 해수정화 성능 평가결과는 입상인공Zeolite를 혼입함으로써 침지일수 14일에 총질소 및 총인 농도가 36.8~54.6%까지 감소하여 입상인공제올라이트의 효과를 확인하였다.

## 감사의 글

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1G1A1008334).

## References

1. Korea Steel Association (2020), Statistical data, <http://www.kosa.or.kr/>.
2. POSCO Newsroom (2019), 98% Recycled steel byproducts, how they are used. <https://newsroom.posco.com/kr>
3. Korea Waste Association (2011), "A Study on the Improvement of Steel Slag Recycling System", Ministry of Environment.
4. Korean Institute of Construction Cycle Resources (2014), Present and

- future technology of construction circulation resources, Kimundang.
5. Park, S. B. (2003), The Present State and Future Views of Environmentally Friendly Concrete for Circulating Society, Korea Concrete Institute, Vol.15, No.6, pp.14-16.
6. Korea Concrete Institute (2004), "Special Concrete Engineering", Kimundang.
7. Park, S. B., and Kim, J. H. (2002), Study on the physical and mechanical properties of carbon fiber reinforced porous concrete for planting, Proceedings of the 5th ISCC, Shanghai, Vol.2, pp.1144-1151
8. Tamai M., and Hideo K. (1992), Properties of No-fines concrete in seawater and possibility of purifying water quality, JCI proceeding of cement and concrete No.46, pp.880-885.

Received : 04/08/2019

Revised : 07/29/2019

Accepted : 08/20/2019

---

**요 지 :** 철강 생산으로 인하여 부산되는 철강슬래그 역시 계속적으로 증가하여 2018년에 2,423 만톤에 이르고 있으나 고로슬래그를 제외한 철강부산물은 단순매립 등으로 재활용되고 있어 산업부산물의 유효활용을 통한 자원순환형 사회 구축 및 천연자원 고갈방지를 위해서는 다양한 활용기술 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 한편, 근래 무분별한 해양개발 및 환경오염 등으로 광대한 해양생물의 서식기반이 소실되어 수산자원의 감소현상이 심화되고 있어 이에 대한 대책이 시급한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 다량 부산되는 복합슬래그를 천연골재 대체재료로 재활용하는 방안 제시와 해수정화가 가능한 친환경 다공질콘크리트의 배합요인별 공학적 특성 및 적용성 검토연구를 수행하였다. 배합요인별 공극률 시험결과 모든 조건에서 오차범위 2.5%이내의 결과를 나타내었다. 압축강도시험결과 최적 혼입률은 복합슬래그골재 30%, 혼입시 가장 우수한 친환경 다공질콘크리트 제조가 가능하였다. 입상인공Zeolite를 혼입함으로써 침지일수 14일에 총질소 및 총인 농도가 36.8~54.6%까지 감소하여 입상인공제올라이트의 효과를 확인하였다.

**핵심용어:** 복합슬래그골재, 입상인공제올라이트, 해수정화, 친환경 다공질콘크리트

---