

## 제강슬래그 골재의 소파블록 적용성 평가

양은익<sup>1)\*</sup> · 이광교<sup>1)</sup> · 한상훈<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 강릉대학교 <sup>2)</sup> 한국해양연구원

(2003년 12월 20일 원고접수, 2004년 6월 28일 심사완료)

### Applicability of Steel Slag Aggregate for Artificial Armor Unit

Eun-Ik Yang<sup>1)\*</sup>, Kwang-Gyo Lee<sup>1)</sup>, and Sang-Hun Han<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Civil Engineering, Kangnung National University, Gangneung, 210-702, Korea

<sup>2)</sup> Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, Korea

(Received December 20, 2003, Accepted June 28, 2004)

#### ABSTRACT

In order to evaluate the applicability of steel slag aggregates for tetrapod concrete, the properties of concrete as structural material were investigated. The biochemical research of marine concrete using steel slag aggregates was also carried out. The tested concrete properties are slump, air content, compressive strength, splitting tensile strength, elastic modulus, carbonation, hydration heat, freezing and thawing, sulfate attack, drying shrinkage, etc. The biochemical experiments are carried to research the propagation and reproduction of seaweeds and survival of bottom dwelling species.

According to this experiment results, the steel slag aggregate content did not have a significant effect on compressive strength, splitting tensile strength and elastic modulus. The durability of concrete was not influenced by the steel slag aggregate content. From the biochemical research, steel slag aggregate can be evaluated as the material that is ideally suited for promoting propagation and reproduction of seaweeds and sessile benthos.

**Keywords :** steel slag, artificial armor unit, durability, seaweeds, sessile benthos

## 1. 서 론

제철 공정에서 발생하는 부산물인 슬래그(slag)는 철광석에서 철 성분을 분리해 내고 남는 맥석 성분을 주성분으로 하는 고로슬래그와, 선철 중의 규소 등을 분리해낼 때 발생하는 제강슬래그로 구분된다. 고로슬래그의 경우 지속적인 용도 개발을 통하여 고로슬래그의 60% 이상을 시멘트용으로 재활용하고 있고 나머지 고로슬래그는 토목용과 규산석회 비료로 가공하여 사용하고 있다. 그러나 제강슬래그의 경우 40% 이상이 성토용 재료와 같은 저가 재료로 활용되고 있어 그 사용범위를 확대할 필요가 있다.

최근 일본에서는 지금까지 사용이 제한되어 있던 제강슬래그를 적절히 처리하여 자원화하려는 연구가 추진되고 있으며, 특히 슬래그를 해양 용도로 활용하고자 하는 연구가 활발하게 행하여지고 있다. 특히, Isoo 등<sup>1)</sup>은 제강슬래그를 이용한 Marine Block을 개발하여 해중립 조성을 위

한 해조류 부착 구조물로 이용하고 있다. 松永 등<sup>2)</sup>은 슬래그를 이용하여 소파용 블록인 TTP(Tetrapod)를 제조하였으며, 이 TTP에는 해조류들이 잘 부착하여 성장한다고 보고하였다.

본 연구에서도 이러한 제강슬래그의 TTP 적용성과 해양생태환경에 대한 영향을 파악하기 위해 제강슬래그 굵은골재를 사용한 콘크리트의 역학적 성질과 생물학적인 성질을 파악하였다.

## 2. 실 험

### 2.1 실험 내용 및 실험 범위

본 연구에서는 방파구조물의 소파기능을 위해 사용하는 TTP의 재료인 콘크리트에 있어서 제강슬래그를 굵은골재로 대체함에 따른 시공성 및 역학적 특성변화와 내구성을 파악하여 제강슬래그 골재의 TTP 적용성 및 내구연한을 예측하는데 기초 자료로 제공하고자 하였으며, 굵은골재

\* Corresponding author

Tel : 033-640-2418 Fax : 033-646-1391

E-mail : eiyang@kangnung.ac.kr

를 제강슬래그 골재로 대체한 콘크리트 TTP에서의 해양 생물 친화성<sup>3)</sup>을 검토하여 제강슬래그를 굵은골재로 대체한 콘크리트 TTP의 유·무해성을 판단하고자 하였다. 실험의 세부 내용 및 실험의 범위는 Table 1과 같다.

## 2.2 사용재료

### 2.2.1 시멘트 및 골재

본 실험에 사용된 시멘트는 S사의 보통포틀랜드시멘트(비중3.15)와 고로슬래그시멘트(비중3.05)를 사용하였으며, 고로슬래그시멘트의 특성은 Table 2와 같다. 잔골재는 강릉시 연곡하천 모래(비중: 2.58, 흡수율: 1.36%, 조립률: 2.80)를 사용하였고 굵은골재는 최대치수 25mm의 강릉시 임곡석산 골재채석장의 쇄석(비중: 2.72, 흡수율: 0.59%, 조립률: 6.94)을 사용하였다. 목표 슬럼프 및 공기량을 만족하는 배합을 찾기 위해 J사의 나프탈렌계 고성능감수제와 표준형 AE제를 각각 시멘트중량의 1.0%~1.7%, 0.07%~0.12%범위로 사용하였다.

### 2.2.2 제강슬래그

사용된 제강슬래그 골재는 안정성을 확보하기 위하여 살수법으로 aging을 실시하였으며, 이때 슬래그 야적 높이는 2m를 넘지 않도록 하였다. 또한 살수량은 표면에 노출되어 있는 슬래그가 3개월 이상 항상 젖어 있도록 조절 하였다. 제강슬래그 굵은골재의 입도시험결과 및 물리-화학적 특성은 각각 Fig. 1, Table 3, 4와 같다. 또한,

Table 1 Details of test

Experiment content	Experiment range	Note
Fresh concrete	Slump and air content test with the substitution rate of steel slag aggregate	KS F 2402 KS F 2421
	Compressive strength	KS F 2405
Hardened concrete	Tensile strength	KS F 2423
	Elastic modulus	KS F 2438
Durability test	Resistance to freezing and thawing	KS F 2456 (A method)
	Resistance to carbonation	10% Carbon dioxide environment
	Drying shrinkage	23±1°C, 50±3% Age 7day (ASTM C157)
	Resistance to chemical attack	10% Sulphate solution
	Heat of hydration	Adiabatic temperature rise test
Biochemical experiment	· Laboratory test -A sessile benthos survey about each test specimen	Circulation water tank (100×400cm)
	· Field test -Construction of submarine forest	Artificial reef

제강슬래그의 환경적 유·무해성을 검증하기 위하여 폐기물 공정 시험법에 따라 Table 5에 의한 용출시험을 실시하였으며 그 결과는 Table 6과 같고 시험결과 환경적으로 안전하다고 판단된다.

## 2.3 실험변수 및 배합

제강슬래그를 굵은골재로 대체한 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성 파악을 위한 실험의 변수는 Table 7과

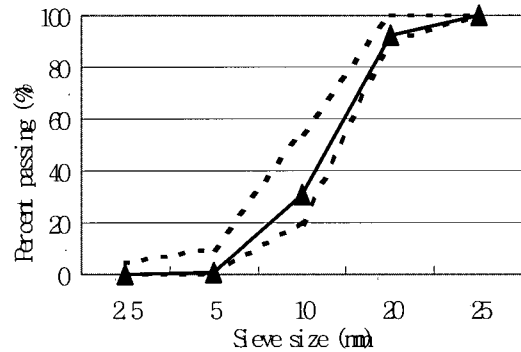


Fig. 1 Grading curve of steel slag aggregate

Table 2 Properties of blast-furnace slag cement

Gravity	Loss of Ig. (%)	Blaine(cm <sup>2</sup> /g)	SO <sub>3</sub> (%)	S(%)
3.05	0.39	4016	2.50	0.38

Table 3 Physical properties of steel slag

Gravity	Water absorption(%)	F.M	Abrasion ratio(%)
3.43	1.70	6.76	8.9
KS F 2503		KS F 2502	KS F 2508

Table 4 Chemical properties of steel slag

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	T.Fe	CaO	MgO	MnO	TiO <sub>2</sub>
(%)	12.69	2.22	20.83	40.30	7.95	4.40	1.22

Table 5 Leaching test condition

Sample amount	pH	RPM	Elution time	Solvent amount
50g	5.87	200	6h	Sample : Solvent=1:10

Table 6 Slag leaching test results (mg/ℓ)

Sample	Cd	Hg	Cr <sup>+5</sup>	Pb	P	As
BF slag	ND	ND	ND	ND	ND	ND
BOF slag	ND	ND	ND	ND	ND	ND
EAF slag	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Standard	0.3	0.005	1.5	3	1	1.5

ND : Not detected

같다. 제강슬래그 굵은골재의 대체율에 따른 콘크리트의 역학적 특성을 조사하기 위하여 목표슬럼프  $12 \pm 2$  cm, 공기량  $5 \pm 1$  %를 만족하도록 하였다. 실험에 사용한 배합은 Table 8과 같다. W/C = 50 %, 기준강도는 20.6 MPa이며, 콘크리트 제작에 있어 팬형 강제식 콘크리트 믹서를 사용하였으며 실험에 필요한 사용량을 고려하여 1회 배치량을 50리터로 정하였다. 배합 후 미리 준비한  $\phi 10 \times 20$  cm 원형몰드에 3층으로 나누어 타설 하여 공시체를 제작하였으며, 건조수축 특성실험을 위하여  $10 \times 10 \times 40$  cm 각주 시험체를 제작하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 제강슬래그 굵은골재 콘크리트의 역학적 특성

##### 3.1.1 슬럼프 및 공기량

제강슬래그 굵은골재의 대체율 및 사용 시멘트에 따라, 목표로 하는 슬럼프 및 공기량( $12 \pm 2$  cm,  $5 \pm 1$  %)을 확보하기 위한 혼화제 소요량이 변화하였다. 즉, 소요 굵은골재량 대비 제강슬래그 골재의 대체율에 따라 소요 혼화제량이 비례적으로 증가하였으며 굵은골재를 제강슬래그 골재로 50%대체한 콘크리트에서 시멘트 종류(SS50, PS50)에 따라 사용혼화제량의 차이를 보였다. 그 결과는 Fig. 2와 같으며, 이러한 결과들을 종합하여 판단할 때, 제강슬래그 굵은골재의 대체에 따른 시공성 저하를 고로슬래그시멘트의 사용으로 어느 정도 보상 할 수 있으므로 제강슬래그 골재를 사용하고자 할 경우에는 고로슬래그시멘트를 병행 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

##### 3.1.2 강도 및 탄성계수

압축 및 조깅인장강도 그리고 탄성계수에 대한 실험결과를 Figs. 3 ~ 5에 나타내었다.

Table 7 Test variable

	Substitution rate of steel slag aggregate(%)	Cement type
SS 0	0	Blast-furnace slag cement
SS 50	50	
SS 100	100	
PS 50	50	Ordinary portland cement

Table 8 Mixture proportions of concrete

Type	S/a (%)	unit weight (kg/m <sup>3</sup> )					A.E (%)	S.P (%)	Slump (cm)	Air (%)
		W	C	S	G	Slag				
SS 0	50	170	340	862	909	0	0.07	1.0	11.5	5.5
SS 50	50	170	340	862	455	573	0.1	1.3	11.5	5.4
SS 100	50	170	340	862	0	1147	0.12	1.5	11.5	5.1
PS 50	50	170	340	867	457	576	0.12	1.7	12	5.8

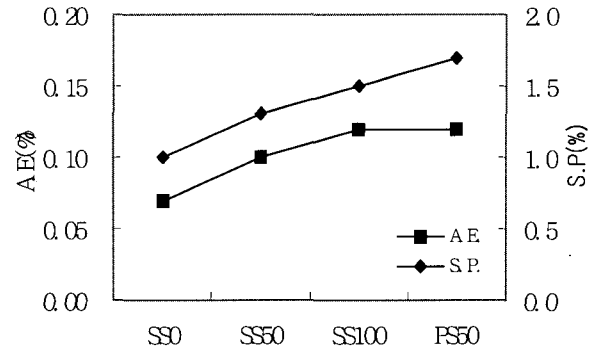


Fig. 2 Comparison of admixtures dosage

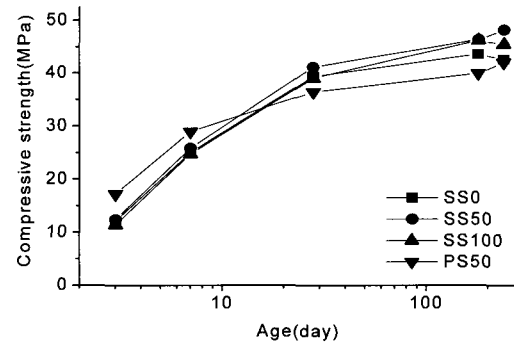


Fig. 3 Development of concrete compressive strength with substitution rate

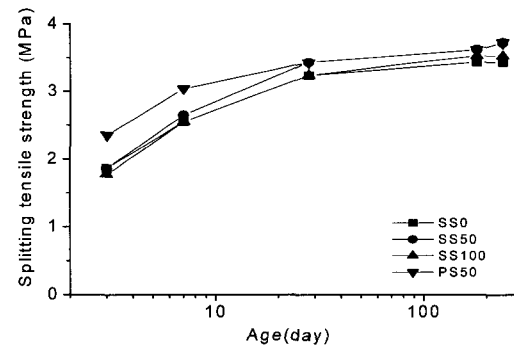


Fig. 4 Development of concrete splitting tensile strength with substitution rate

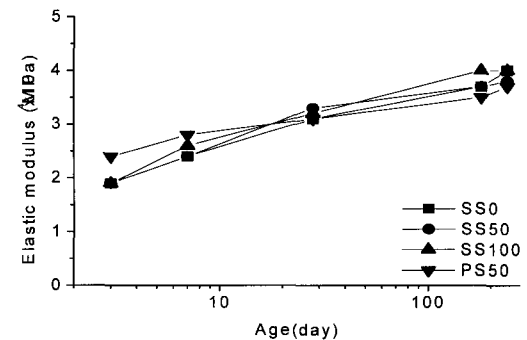


Fig. 5 Development of concrete elastic modulus with substitution rate

실험결과 제강슬래그 굵은골재의 대체에 따라 초기강도 및 탄성계수는 감소되었으나 장기재령의 강도 및 탄성계수는 증가하였으며 제강슬래그 굵은골재를 소파블록에 사용하여도 소요되는 설계강도 및 강성을 충분히 만족하는 것으로 판단된다.

### 3.2 내구성 평가

#### 3.2.1 동결융해 저항성

제강슬래그 굵은골재 대체 및 사용시멘트에 따른 동결융해 실험결과를 동결융해 사이클 수에 따른 동탄성계수, 중량변화로써 Fig. 6에 나타내었다. 실험결과에 따르면 제강슬래그 굵은골재 콘크리트가 기준 콘크리트보다 사이클 수의 증가에 따라 상대동탄성계수가 3~5%의 차이를 보였지만, 대체율이 증가함에 따라 비례적으로 감소하지는 않았으며, 사용시멘트에 따른 상대동탄성계수의 차이는 보이지 않았다. 중량변화에 있어서는 기준 콘크리트보다 제강슬래그 굵은골재 콘크리트의 중량 비율이 약간 상회하는 결과를 보였다. 그러나 제강슬래그 굵은골재 대체율이 동결융해 사이클 수에 따른 중량변화에 큰 영향을 주지는 않는 것으로 판단된다. 이러한 결과들을 종합해 볼 때, 제강슬래그를 굵은골재로 대체하여도 콘크리트의 동결융해 저항성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

#### 3.2.2 탄산화 저항성

제강슬래그 굵은골재 대체율이 콘크리트의 탄산화 특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 28일간 수중양생된 원주형 시험체를 사용하여 이산화탄소 10%의 환경(온도 30℃, 상대습도 60%)에서 탄산화촉진 실험을 실시하고 해당 재령에서 쪼갬인장파괴 시킨 후에 공시체의 파단면에 1% 페놀프탈레인-알콜 용액을 분무하여 변색된 부분의 깊이를 측정하였다. 실험은 5주까지 행하였으며 그 결과를 정리하여 나타내면 Fig. 7과 같다. 실험결과에 따르면 제강슬래그 굵은골재 대체율에 관계없이 탄산화 재령이 증가함에 따라 탄산화 깊이는 커지는 것으로 나타났지만, 제강슬래그 굵은골재 대체율이 증가함에 따라 비례적으로 탄산화 깊이가 증가하지는 않았으며, 기준 콘크리트와 비교했을 때 그 차이는 0.5 ~ 1.5mm로 미소하였다. 또한, 고로슬래그시멘트를 사용한 경우와 포틀랜드시멘트를 사용한 경우(SS50, PS50)를 비교해 보면 시멘트 종류에 따른 탄산화 깊이의 차이를 인정할 수준은 아닌 것으로 사료된다. 즉, 제강슬래그 굵은골재의 대체가 콘크리트의 탄산화 저항성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

#### 3.2.3 건조수축

제강슬래그를 굵은골재로 대체 사용한 콘크리트에 대한 건조수축거동을 파악하기 위하여 각 실험 변수에 대해

데막게이지를 이용한 측정결과와 매립게이지를 이용한 실험결과, 건조수축을 예측하는데 일반적으로 사용되는 Model(ACI Model, CEB-FIP Model)<sup>(4,5)</sup>을 비교하여 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 재령초기에 대체율이 증가함에 따라 길이변화율이 약간 감소하는 경향을 나타내고 있지만, 재령이 증가할수록 길이변화율의 차이가 줄어들고 있다. 따라서, 제강슬래그 굵은골재 대체율이 건조수축에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단된다. 또한, 각 Model은 제강슬래그 골재 대체율에 따른 영향을 고려하고 있지 않음을 알 수 있고, ACI Model은 CEB-FIP Model에 비해 초기에는 과소하게 후기에는 과다하게 평가하는 것으로 나타났다. 이러한 Model값과 실험값을 비교하면 초기의 건조수축 경향과 진행상태로부터 CEB-FIP Model이 ACI Model에 비해 다소 근접한 예측을 하는 것으로 판단된다.

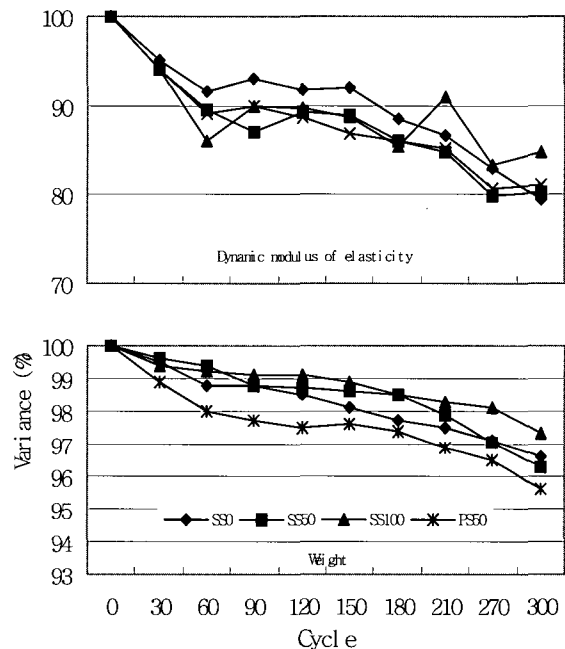


Fig. 6 Resistance to freezing and thawing

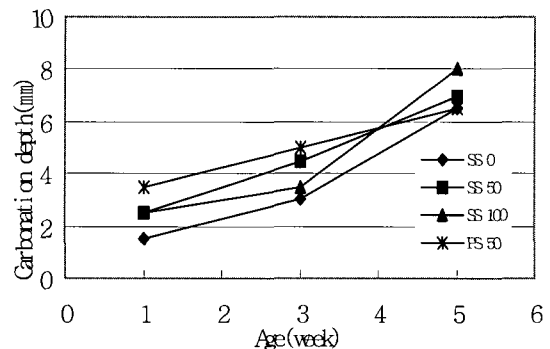


Fig. 7 Resistance to carbonation

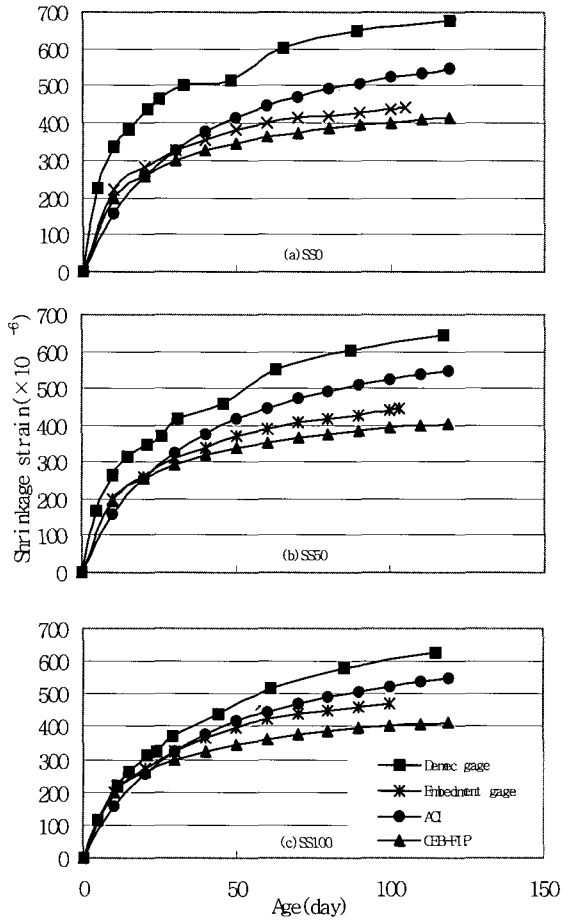


Fig. 8 Shrinkage-time curve with substitution rate

### 3.2.4 화학침식 저항성

제강슬래그 굵은골재의 대체에 따른 콘크리트의 황산염에 대한 실험에서는 10% 황산나트륨 수용액에 의한 침지 실험을 통하여 제강슬래그 굵은골재의 대체율 및 사용시멘트에 따른 중량변화를 1개월 간격으로 측정하였으며 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 실험결과에 따르면 침지재령이 증가함에 따라 중량이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 이것은 황산염이 콘크리트 속으로 침투하여 시멘트 화합물(C<sub>3</sub>A)과의 반응에 기인하는 것으로 판단되며, 침지재령 3개월까지는 황산염에 의한 결함이 팽창하여 콘크리트에

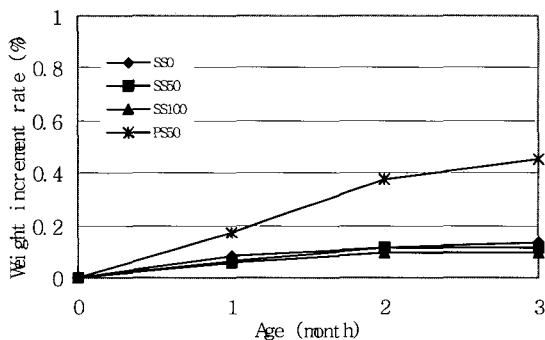


Fig. 10 Resistance to chemical attack

균열을 발생시키거나 박리에 의한 중량감소는 일어나지 않았다. 즉, 제강슬래그 굵은골재를 사용함에 따른 황산염 저항성의 저하는 없는 것으로 판단되며 사용시멘트 종류에 의한 중량변화의 차이가 있음을 보였다.

### 3.2.5 수화열 발열 특성

제강슬래그 굵은골재 대체가 콘크리트의 수화열 발열특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 콘크리트 단열온도 상승실험을 실시하였으며 각 배합에 대한 온도상승곡선을 Fig. 10에 나타내었다. 실험결과 제강슬래그 굵은골재의 대체가 콘크리트의 단열상승에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단되며 이에 비해 시멘트 종류의 영향이 현저한 것으로 확인되었다.

## 3.3 부착생물상 실험에 대한 결과분석

### 3.3.1 실내실험

각 시험편을 실내 환류수조에 넣은 후 형태적 변화를 파악하였으며, 일정기간 경과 후의 각 시험편에 서식하는 생물상에 대하여 관찰하였다. 그 결과를 Table 8에 나타내었다. 관찰결과, 슬래그 시험편에서의 부착생물의 개체수가 다른 시험편보다 많았다. 특히, 슬래그 시험편에서 파래류가 가장 많이 관찰되었는데 이는 슬래그의 화학성분에 의한 영향이라고 생각된다. 녹조류의 경우 포자가 착생하고 발아한 후 활발하게 세포가 활동하게 하는 구성요소로서 색소 단백질이 필요한데 그 색소단백질의 흡수는 Fe와 관계가 있는 것으로 알려져 있다.

### 3.3.2 실외실험

수심 9~10m 지역에 일반콘크리트 인공어초 및 제강슬래그 굵은골재 TTP를 투하 후 주기적으로 SCUBA Diving을 하여 관찰하였으며 약 6개월경과 후의 수중사진을 Fig. 11, 12에 나타내었다. 관찰결과 시간의 경과에 따라 종수의 다양화와 다년생 및 안정된 조장을 조성할 수 있는 종으로 변화됨으로서 해조류의 영양 염으로서 제강슬래그 골재의 효과를 확인 할 수 있었다. 특히 제강슬래그 골재 TTP에서는 다시마가 안정적으로 높은 밀도로 서식하는 것을 관찰할 수 있었다.

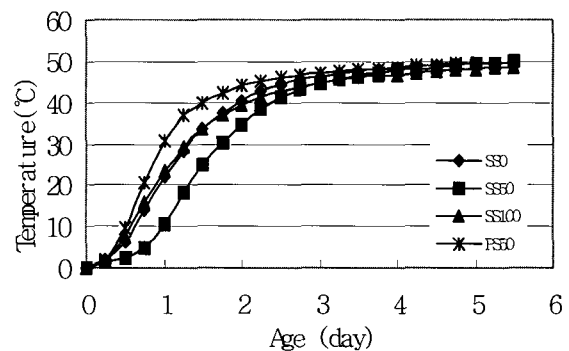
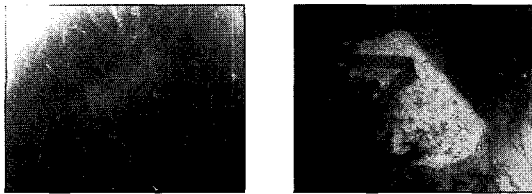


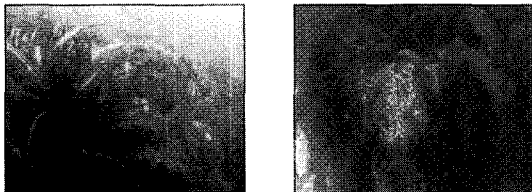
Fig. 10 Adiabatic temperature rise

**Table 9** A inhabitant biota in each test specimen

Test piece	Inhabitant biota	Number of existing(No.)	Weight (g)	Length (cm)
Slag	Green laver	24	37.4	2.1-7.5
	Small annelid	4	-	-
	Water flea	15	-	-
Cement block	Green laver	4	6.8	1.2-3.4
	Water flea	1	-	-
Concrete block	Green laver	7	8.4	1.3-3.6
	Small annelid	1	-	-
	Water flea	2	-	-
Rock	Green laver	14	19.7	1.5-4.7
	Water flea	7	-	-



**Fig. 11** Artificial reef (normal concrete)



**Fig. 12** Artificial reef (steel slag concrete)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 제강슬래그 굵은골재를 대체한 콘크리트의 TTP 적용성을 파악하기 위해 구조재료에 대한 실험과 생물학적 친화성에 대한 실험으로 나누어 연구하였으며 이러한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

제강슬래그 골재의 소파블록 적용성을 평가하기 위하여, 구조적 재료로서의 콘크리트 물성을 연구하였다. 또한, 제강슬래그 골재를 사용한 해양 콘크리트의 생물학적 연구를 수행하였다. 수행된 콘크리트의 물성 실험은 슬럼프, 공기량, 압축강도, 쪼갬 인장강도, 탄성계수, 탄산화 저항성, 수화열, 동결융해, 황산염 침식, 건조수축 실험 등이다. 또한, 해양 저서생물과 해조류의 번식 및 증식에 대한 조사를 위해 생물학적 실험이 수행되었다.

본 연구결과에 따르면, 제강슬래그 골재의 함유는 압축강도, 쪼갬인장강도, 그리고 탄성계수에 대하여 나쁜 영향을 미치지 않으며, 콘크리트의 내구성 측면에서도 제강슬래그 골재의 함유에 의한 악영향을 받지 않았다. 생물학적 연구에 따르면, 제강슬래그 골재는 해양 저서생물과 해조류의 증식과 번식에 이상적인 재료로서 평가되었다.

**핵심용어** : 제강슬래그, 소파블록, 내구성, 해조류, 부착생물

- 1) 제강슬래그 굵은골재를 대체 사용함에 따라 콘크리트의 시공성은 저하하였으나, 적절한 혼화제의 사용으로 개선 가능하였다. 또한 제강슬래그 골재를 사용할 경우 시공성 개선을 위하여 고로슬래그시멘트를 병행 사용하는 것이 바람직하다.
- 2) 제강슬래그 골재를 굵은골재로 대체하여 사용하더라도 TTP에 소요되는 설계강도 및 강성을 충분히 만족하는 것으로 판단된다.
- 3) 제강슬래그를 굵은골재로 대체 사용하여도 콘크리트의 동결융해, 탄산화 저항성, 황산염에 대한 저항성, 건조수축, 수화열 등의 내구성은 크게 영향을 받지 않는다.
- 4) 슬래그 골재를 대체 사용한 콘크리트의 시험편은 해조류의 증식이나 번식, 저서동물의 풍도 및 생존에 적합한 재료인 것으로 판단된다. 즉, 슬래그에 포함된 Fe는 해조류 증식에 필요한 색소단백질의 흡수에 관계하므로 해양에 제강슬래그를 굵은골재로 대체한 소파블록을 투입하면 해조류 및 해양저서동물의 증식에 유리할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 포항산업과학연구원의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Isoo, N., Takahashi, T., Kato, M., Nakajima, H., and Tanabe, H., "Seaweed bed growth promotion-type fishbank," Japan Patent No.2000-139268.
2. 松永, 高木, 小菊, "제강슬래그를 이용한 고화체의 특성과 해양블럭에의 적용", 일본철강협회 춘계 심포지움 논문집, Vol.14, No.1, 2001, 144pp.
3. 김형석, 한기현, 변태봉, 배우현, "인공어초용 슬래그 콘크리트의 제조", RIST 연구논문, 16권 2호, 2002. pp. 155~159.
4. ACI Committee 209 (chaired by Rhodes, J. A.), "Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures," ACI SP-27 (Designing for Creep & Shrinkage in Concrete Structure), 1982, pp.193~301.
5. CEB, "CEB-FIP Model Code 1990," Comité Euro International du Béton, 1991, 57pp.

#### 요 약

제강슬래그 골재의 소파블록 적용성을 평가하기 위하여, 구조적 재료로서의 콘크리트 물성을 연구하였다. 또한, 제강슬래그 골재를 사용한 해양 콘크리트의 생물학적 연구를 수행하였다. 수행된 콘크리트의 물성 실험은 슬럼프, 공기량, 압축강도, 쪼갬 인장강도, 탄성계수, 탄산화 저항성, 수화열, 동결융해, 황산염 침식, 건조수축 실험 등이다. 또한, 해양 저서생물과 해조류의 번식 및 증식에 대한 조사를 위해 생물학적 실험이 수행되었다.

본 연구결과에 따르면, 제강슬래그 골재의 함유는 압축강도, 쪼갬인장강도, 그리고 탄성계수에 대하여 나쁜 영향을 미치지 않으며, 콘크리트의 내구성 측면에서도 제강슬래그 골재의 함유에 의한 악영향을 받지 않았다. 생물학적 연구에 따르면, 제강슬래그 골재는 해양 저서생물과 해조류의 증식과 번식에 이상적인 재료로서 평가되었다.

**핵심용어** : 제강슬래그, 소파블록, 내구성, 해조류, 부착생물