

제강슬래그 골재의 TTP 적용성 검토를 위한 연구

Evaluation of TTP Applicability of Steel Slag Aggregate

이 광 교* 양 은 익** 한 상 훈*** 최 중 철* 김 명 유*
Lee, Kwang Gyo Yang, Eun Ik Han, Sang Hun Choi, Jung Chul Kim, Myoung Yu

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 the experimental 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 survival of bottom dwelling species.

1. 서론

제철 공정에서 발생하는 부산물인 슬래그(slag)는 철광석에서 철성분을 분리해 내고 남은 맥석 성분을 주성분으로 하는 고로 슬래그와, 선철 중의 규소 등을 분리해낼 때 발생하는 제강슬래그로 구분된다. 고로슬래그의 경우 건설재료로써 활용되고 있으나, 제강슬래그의 경우 그 사용이 제한되고 있어 산업폐기물로써 처리하는 실정이다.

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

* 정희원, 강릉대학교 토목공학과 대학원 석사과정

** 정희원, 강릉대학교 토목공학과 교수

*** 정희원, 한국해양연구원 선임연구원

2. 실험

2.1 실험 내용 및 실험 범위

실험의 세부 내용 및 실험의 범위는 표 1과 같다.

표 1 실험내용 및 범위

실험 내용	실험 범위	비고
굳지 않은 콘크리트 특성	· 제강슬래그 굵은골재 대체율에 따른 특성 -슬럼프, 공기량	KS F2402 KS F 2421
굳은 콘크리트 역학적 특성	· 장기 압축강도 특성 (7일, 28일, 3개월, 6개월)	KS F 2405
	· 장기 인장강도 특성 (7일, 28일, 3개월, 6개월)	KS F 2423
	· 장기 탄성계수 특성	KS F 2438
내구성 평가	· 동결 용해 저항성(동탄성계수 및 중량 변화)	KS F 2456 (A법)
	· 탄산화 저항성	10% 이산화탄소 환경-5주
	· 건조수축 특성	23±1℃, 50±3%, 재령 7일
	· 황산염에 대한 저항성	10% 황산나트륨 수용액
해조류 및 부착생물의 친화성 및 저해성 검증	· 실내실험 -실내수조를 이용한 시험편별 부착생물상 실험	100×400cm 환류수조.
	· 실외실험 -해중립 조성 및 유용 해양생물의 성장 관찰	

2.1 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 S사의 보통포틀랜드시멘트(비중3.15)와 고로슬래그시멘트(비중3.05)를 사용하였다. 잔골재는 강릉시 연곡하천 모래(비중: 2.58, 흡수율: 1.36%, 조립률: 2.80)를 사용하였고 굵은골재는 최대치수 25mm의 강릉시 임곡석산 골재체석장의 쇄석(비중: 2.72, 흡수율: 0.59%, 조립률: 6.94)을 사용하였다. 또한 제강슬래그 굵은골재의 최대치수는 20mm이며 물리-화학적 특성은 표 2, 3과 같다.

표 2 제강슬래그 굵은골재 물리적 특성

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

표 3 제강슬래그 굵은골재 화학적 특성

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	T.Fe	CaO	MgO	MnO	TiO ₂
(%)	10.5	1.6	7.6	34.4	2.9	2.7	0.2
	~21.0	~8.7	~22.4	~54.7	~8.7	~5.7	~2.0

2.2 실험변수 및 배합

제강슬래그를 굵은골재로 대체한 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성 파악을 위해 실시한 실험 변수는 표 4와 같다. 제강슬래그 굵은골재 대체율에 따른 콘크리트의 역학적 특성을 조사하기 위하여 목표 슬럼프 12±2cm, 공기량은 혼화제를 첨가한 경우 5±1%를 만족하도록 하였다. 실험에 사용한 배합을 정리하여 나타내면 표 5와 같다.

표 4 실험 변수

기호	제강슬래그 굵은골재 대체율(%)	시멘트 종류
SS 0	0	고로슬래그 시멘트
SS 50	50	고로슬래그 시멘트
SS 100	100	고로슬래그 시멘트
PS 50	50	보통포틀랜드 시멘트

표 5 배합설계

Type of mixture	s/a (%)	unit weight (kg/m ³)					A.E (%)	S.P (%)
		W	C	S	G	Slag		
SS 0	50	170	340	862	909	0	0.07	1.0
SS 50	50	170	340	862	455	573	0.1	1.3
SS 100	50	170	340	862	0	1147	0.12	1.5
PS 50	50	170	340	867	457	576	0.12	1.7

3. 실험결과 및 분석

3.1 제강슬래그 굵은골재 콘크리트의 특성

3.1.1. 슬럼프 및 공기량

슬럼프 및 공기량에 대한 실험 결과를 그림 1과 그림 2에 나타내었다. 그림으로부터 제강슬래그 곁은골재의 대체율이 증가함에 따라 슬럼프와 공기량이 감소함을 알 수 있으며 동일한 슬럼프와 공기량을 확보하기 위해서는 사용 혼화제량을 증가시켜야 하는 것으로 나타났다.

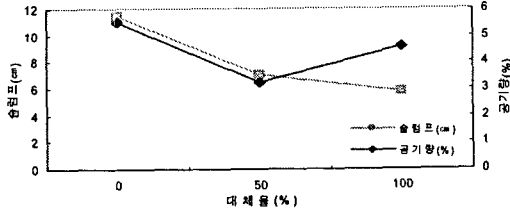


그림 1 대체율에 따른 슬럼프 및 공기량 변화

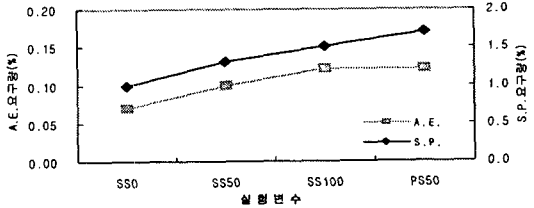


그림 2 목표슬럼프 확보를 위한 각 배합별 혼화제량

3.1.2. 강도 및 탄성계수

압축강도와 쪼갬 인장강도 그리고 탄성계수에 대한 실험결과를 그림 3~그림 5에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 제강슬래그 골재의 대체에 따라 강도 및 탄성계수가 증가하였으므로 제강슬래그 골재의 TTP적용성에 문제가 없는 것으로 판단된다.

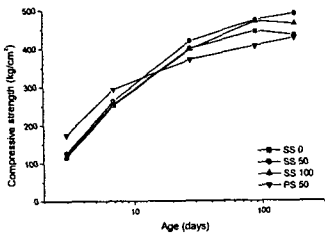


그림 3 제강슬래그 골재 대체율에 따른 압축강도 변화

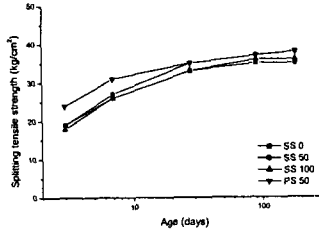


그림 4 제강슬래그 골재 대체율에 따른 쪼갬 인장강도 변화

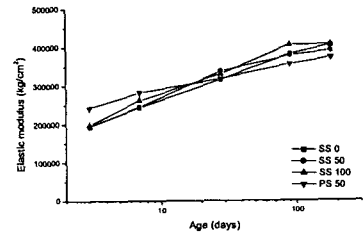


그림 5 제강슬래그 골재 대체율에 따른 탄성계수 변화

3.2. 내구성 평가

제강슬래그 곁은골재 대체율에 따른 콘크리트의 내구성 평가결과 제강슬래그 곁은골재의 대체가 콘크리트 내구성에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 한편 대체율에 따른 건조수축 측정값과 모델식(ACI, CEB-FIB)을 비교하였으며, 각각의 실험결과를 그림 6~그림 11에 나타내었다.

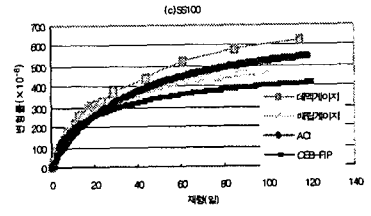
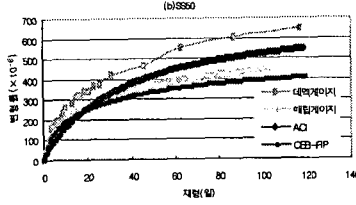
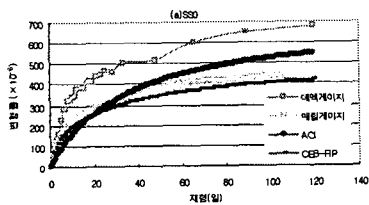


그림 6 건조수축 실험값과 모델식과의 비교

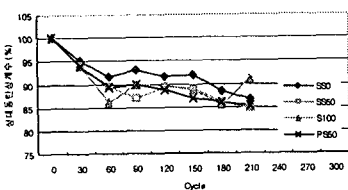


그림 7 동탄성계수 변화 특성

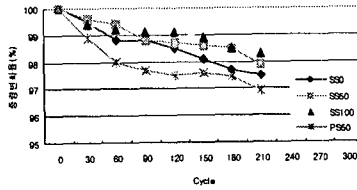


그림 8 중량변화 특성

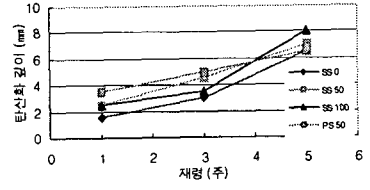


그림 9 탄산화깊이 변화

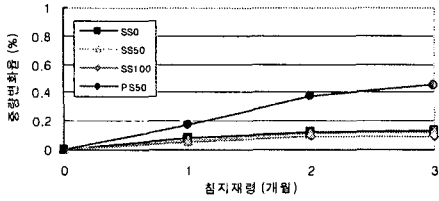


그림 10 황산염 침지재령에 따른 중량변화율

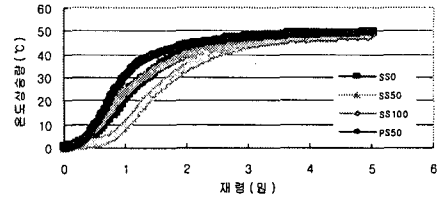


그림 11 각 배합에 대한 온도상승곡선 비교

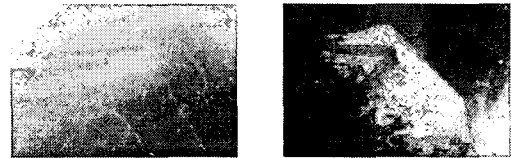
3.3. 부착생물상 실험에 대한 결과분석

3.3.1. 실내실험

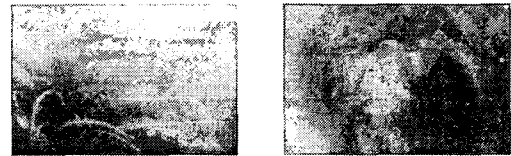
실내실험 결과는 표 6과 같으며 슬래그골재가 부착생물의 성장에 유리한 것으로 나타났다.

표 6 각 시험편에 서식하는 생물상

시험편별	서식생물명	개체수(No.)	습중량(g)	엽장(cm)
슬래그	파래	24	37.4	2.1-7.5
	소형환영동물	4	-	-
	물벼룩	15	-	-
시멘트블록	파래	4	6.8	1.2-3.4
	물벼룩	1	-	-
콘크리트 벽돌	파래	7	8.4	1.3-3.6
	소형환영동물	1	-	-
	물벼룩	2	-	-
자연석	파래	14	19.7	1.5-4.7
	물벼룩	7	-	-



(a) 일반콘크리트 인공어초



(b) 제강슬래그 굵은골재 TTP

그림 12 투하지역 수중사진

3.3.2. 실외실험

수심 9~10m 지역에 일반콘크리트 인공어초 및 제강슬래그 굵은골재 TTP를 투하 후 주기적으로 SCUBA Diving을 하여 관찰하였으며 수중사진을 그림 12에 나타내었다.

4. 결론

- 1) 제강슬래그를 굵은골재로 대체 사용한 콘크리트는 역학적 특성 및 내구성측면에 있어서 TTP 적용성에 문제가 없는 것으로 판단된다.
- 2) Fe 이 포함된 슬래그는 해조류 증식에 필요한 많은 영양염류를 가지고 있기 때문에 제강슬래그를 굵은골재로 대체한 TTP는 해조류 증식에 이바지하여 해양생태환경을 잘 보존시킬 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 포항산업과학연구원의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김형석, 한기현, 변태봉, 배우현, "인공어초용 슬래그 콘크리트의 제조," RIST 연구논문 제16권 2호, 2002. pp 155-159.
2. 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.
3. "CEB-FIP Model Code for Concrete Structures," Comité Euro- International du Béton, Paris, 1978, pp.348.