

## 제강슬래그를 이용한 연안생태계 복원 기술

Beneficial Reuse of Steel Making Slag for Restoration of Coastal Ecosystem



김형석\*  
Hyung-Suek Kim



박광석\*\*  
Kwang-Seok Park

### 1. 서론

최근 수년전부터 일명 “백화현상”이라고 하는 갯녹음 지역이 우리나라 바닷가에 확대되면서 우려의 목소리가 높아지고 있다. 갯녹음 현상은 친해의 암반에 서식하는 해조류가 녹아 없어지는 현상을 말한다. 해조류는 종류에 따라 연중 변성하는 시기가 달라서, 계절에 따라 해조류가 녹아내리는 갯녹음은 정상적인 자연현상이다.

그러나 최근 문제시되는 백화라고 불리는 현상은 이러한 관례적인 자연적 갯녹음 현상과는 상관없이 해조류 서식 자체가 줄어들면서 사막화되는 현상이며, 그 상태에서 무절석회조류가 우점하여 암반이 분홍색 또는 백색으로 보이면서 백화현상이라고 부르게 되었다. 해조류는 바다의 기초 생산자로서 바다 생태계의 근간을 이루고 있기 때문에, 해조류의 붕괴는 많은 문제들을 파생시킬 수 있다. 또한 훨씬 오래된 문제가 있는데 연안, 특히 항만, 양식장 및 인근 담수호의 오염이 그것이다. 오염이 심한 연안역이나 담수호의 경우 수질보다도 저질의 상태가 훨씬 오염되어 있는 경우가 많다. 이는 수체 안팎의 수괴 교환이 원활히 이루어지지 못할 뿐 아니라 오염 물질의 지속적인 수체 내 유입으로 인해 저층이 심하게 부패되기 때문이다. 이러한 저층 퇴적물에서는 이매패류 등과 같은 저서생물의 생존이 거의 불가능하며, 퇴적물로부터 용출되어 나오는 오염물질에 의해 수질 또한 지속적으로 오염되어 간다. 오염 퇴적물층의 pH 감소, 수체 내 저층의 용존산소(DO) 감소 및 영양염류(인산염, 용존 무기질소 등)와 H<sub>2</sub>S 등의 급격한 증가는 전반적으로 수질의 부영양화를 가속화시키고, 결국 적조나 녹조, 청조 발생의 원인이 된다.

최근에 이를 치유하기 위한 많은 과학적 노력들이 이루어지고

있다. 이러한 노력들 중에 하나가 인공어초(패조류형 인공어초) 및 해중림 조성사업이다. 우리나라의 경우 국립수산과학원을 중심으로 매년 대규모 사업들이 진행되어 오고 있다. 여기에 투입되는 인공 구조물은 초기에는 콘크리트에만 의존하다가, 최근에 와서 철강재, 세라믹 재료 등으로 다양화 되고 있다. 이러한 재료들로 제조된 구조물들은 그 기능적인 면에서 우수한 것으로 알려져 있으나, 가격이 비싸기 때문에 넓은 바다를 대상으로 대량의 구조물이 필요한 사업에는 경제적 부담이 따를 수 있다. 따라서 향후에는 저렴한 재료이면서도 기능적인 면을 충족할 수 있는 재료들이 주목 받을 것으로 예상되며, 이러한 조건들을 만족하는 재료들 중에 대표적인 것이 철강 공정에서 생산되는 슬래그(slag)라는 물질이다. 슬래그를 육상뿐만 아니라 강이나, 바다에서 유용한 재료로 활용하는 사례는 우리나라뿐 아니라, 가까운 일본과 유럽에서도 쉽게 찾아볼 수 있다.

우리나라 남해안은 그 동안 피조개, 진주담치, 참굴 등을 대량으로 양식해 왔으며, 매년 양식 어장을 확대하면서 막대한 생산을 거두어 어업인 소득 증대에 지대한 역할을 해왔던 해역이다. 그러나 1990년대 초부터 양식 생산량이 점차 감소했을 뿐 아니라 종묘 생산량 또한 부진하기 시작하여 최근에는 이들의 종묘 생산과 양식 생산량이 현저히 급감한 실정이다.

일본의 경우 1950년~1960년에 나타난 양식 생물의 생산량 감소와 대량 폐사에 대하여 해수 교환이 취약한 만 구석에 까지 양식 시설이 증가함으로써 만 내외간 해수 교환의 악화, 해저에 퇴적된 유기물의 부패로 인한 저층의 무산소화와 황화수소의 대량 발생을 그 원인으로 지적한 바 있다<sup>2)</sup>.

미국에서도 수질 오염의 주된 원인으로 하천, 호소, 연안역의 오염된 퇴적물이 지적되어 왔다. 미 환경청(US EPA)에서 운영중인 환경복원을 위한 슈퍼펀드(superfund) 프로그램의 “우선순위목록(national priority list; NPL)” 개소들 중 1/8 ~ 1/4 가량이 수저의 퇴적물 오염 문제를 안고 있으며, 퇴적물 내 오염 물질들은 주로 산업 활동, 농업 배수, 도시 배수 등에

\* (재)포항산업과학연구원 환경에너지연구센터 책임연구원  
kimhs@rist.re.kr

\*\* (재)포항산업과학연구원 환경에너지연구센터 책임연구원

표 1. 제강슬래그의 화학조성 예(%)

구분	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	T-Fe	MgO	MnO	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>
전로	11.2	41.5	1.4	20.0	6.6	5.4	0.08	1.7	1.5
탈유	14.8	55.8	2.1	2.8	0.9	0.7	2.65	0.5	0.5
탈인	22.1	53.2	2.1	6.0	1.4	3.6	0.18	4.8	1.7
전기로	14.0	25.0	5.0	27.0	4.5	3 ~ 6.5	0.02 ~ 0.2	0.3 ~ 0.9	0.3 ~ 1.0

서 기인한 것으로 파악되고 있다. 이러한 수저 퇴적물 기인 오염 물질의 수층 및 생태계 먹이 사슬 내로의 유입을 차단하기 위해 사용하는 방법으로는 오염된 퇴적물의 물리적 제거(준설 후 투기 또는 재활용 등), 오염된 퇴적층을 교란시키지 않은 상태로 물리적 방벽을 설치하는 등의 고립, 차단(in-situ containment), 오염되지 않은 토양, 암석 또는 인공적 재료 등을 피복하여 퇴적물 내 오염물질의 수층 내 유입을 차단시키는 복토정화법(in-situ capping), 퇴적물 내 오염물질에 대한 화학적, 생물학적 처리 또는 고정(in-situ treatment), 그리고 오염물질의 자연적인 생물 분해 작용 등을 이용하는 무조치(natural recovery/restoration, no action) 방안 등이 있다. 이들 중 복토정화법은 직접 현장에서 오염된 퇴적 환경을 개선하는 데에 있어서 다른 방법들에 비해 간편하면서도 효과적이며 경제적인 방안으로 꼽을 수 있다.

이와 같이 해조류 서식환경의 개선을 통해 해중립을 조성하거나, 오염된 수저 퇴적 환경의 개선 없이는 안전한 수질과 건강한 저서생태계의 확보나 연안역의 생산성 증대를 기대할 수 없는 바, 본고에서는 일관 제철소의 제강 공정에서 발생하는 부산물인 "제강슬래그"를 해중립 조성용 및 복토정화용 재료로 활용해 황폐화된 연안 환경을 정화/복원하는 방법에 관하여 소개하고자 한다.

## 2. 제강슬래그의 특성

본 고에서 제강슬래그는 고로(용광로)에서 제조된 선철을 전로에서 정련할 때 발생하는 전로슬래그를 말한다. 고로에서 생산한 선철을 주원료로 하여 전로에서 주원료인 용융선철과 스크랩, 부원료인 생석회 등을 장입하고, 산소 랜스로 고압의 산소를 불어 넣어 격렬한 산화반응을 일으켜 원료 중의 탄소(C),

규소(Si), 인(P) 및 철(Fe) 등의 일부를 산화시킨다. 이러한 산화물은 CaO와 결합하여 슬래그를 형성하고 생성된 슬래그는 비중이 강보다 낮으므로 강과 분리된다.

이러한 성분은 지구의 지각을 구성하는 주성분이며 또한 제철산업의 원료인 철광석 중에는 구리, 크롬 등의 금속성분은 거의 함유되어 있지 않은 것이 사용된다(표 1). 이들 성분은 고로에서 광석으로부터 대부분은 환원되어 금속으로 변해 선철의 미량성분으로 존재하고, 슬래그 중에 함유되지 않으므로 환경적으로 문제가 되는 중금속 등의 유해물질은 <표 2>에서 보이는 바와 같이 용출되지 않는다.

제강슬래그는 일반적으로 용융상태에서 슬래그 운반차로 냉각 야드에 운반하여 공냉과 살수를 병행하면서 냉각, 고화되는데 고화된 슬래그는 파쇄, 체거름 공정을 거쳐 소정의 입도로 조정된다. 입도 구분시 철분은 자력선별을 거쳐 제철원료로 회수 재사용되며 미립의 제강슬래그는 시멘트원료 등으로 활용되고 대형 입도의 것은 도로나 항만, 토목공사 등의 골재로 사용된다(표 3). 제강슬래그는 석회, 이산화규소, 산화철 등이 주 성분이며 이들 성분은 대개 지각 또는 천연암석을 구성하는 것으로 골재의 형상은 천연암석과 비슷하다. 주요 특성으로는 밀도가 크고 모서리각이 많아 표면이 거칠며 약한 수경성과 팽창하는 성질이 있고, 용출수는 알칼리성을 나타낸다.

## 3. 제강슬래그를 이용한 해중립조성 기술

천연암석과 외형이 비슷한 제강슬래그의 큰 특징은 일반 자연석보다 철분(총 Fe 기준으로 약 20%)을 다소 많이 함유하고 있다는 것이다. 이러한 특성은 제강슬래그가 해조류의 서식에 매우 긍정적인 영향을 줄 수 있으며 많은 동의를 얻어가고 있으며, 국내외적으로 실제 사업에 적용되고 있다.

표 2. 전로공정 제강슬래그의 유해중금속 용출시험 결과(mg/l)

구분	Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr <sup>6+</sup>	CN
용출 시험 기준	3	3	1.5	0.005	0.3	1.5	1
용출 시험 농도	<0.005	<0.01	<0.002	<0.0005	<0.002	<0.005	<0.005
해역 수질 기준	0.01	0.02	0.05	0.0005	0.01	0.05	0.01

표 3. 제강슬래그의 특성과 용도

구분	특성	용도
제강슬래그	- 경질, 내마모성	- 도로용(아스콘골재)
	- FeO, CaO, SiO <sub>2</sub> 성분	- 도로용(노반재)
	- 비료성분(CaO, SiO <sub>2</sub> , MgO, FeO)	- 시멘트클링커 원료
	- 내부 마찰각 큼	- 비료 및 토양 개량재
		- 항만 공사용 재료

그 사례들을 보면, 해양 식물플랑크톤의 대번식을 통해 대기 중 이산화탄소를 저감하기 위해 국제적으로 연구되고 있는 철 화합물의 투입 대신 제강슬래그 미분말을 철 공급원으로 주입하려는 연구 역시 일본 동북대를 중심으로 활발히 진행 중에 있다. 호주, 뉴질랜드 등에서는 주로 인공습지(CWS : constructed wetland system)와 강, 하천의 저층 복토재나 기반재로 제강슬래그를 이용함으로써 인 제거 효과를 노리는 응용 연구<sup>7)</sup>와 맹그로브 숲의 복원을 위해 제강슬래그를 부착 기질로 활용하려는 시도가 진행 중에 있다. 일본의 대표적인 청정해역인 북해도(마시케초, <그림 1>) 연안에서는 갯녹음 현상을 극복하기 위해 제강슬래그를 이용한 해중림 조성을 시도하여, 최근에 큰 성공을 거두고 있다.

철(Fe) 성분은 지각 중에 5번째로 풍부한 원소이며, 태고에 해수중에 산소농도가 낮았을때는 철은 2가 이온으로 다량 존재하고 있어서 생물은 진화 초기에 쉽게 철을 이용할 수 있었다고 한다. 그러나 광합성에 의한 산소농도의 증가로 인해 철은 3가로 산화되어 대부분 침전되는 형태로 존재하게 되었다. 때문에 식물 플랑크톤이 증가하지 않는 원인은 철의 농도가 부족하기 때문이라는 가설이 1980년대 말에 제창되었고, 이후 실증 단계를 거쳐 철의 살포가 식물 플랑크톤의 증식에 효과가 있다는 것이 알려지게 되었다.

이러한 사실은 식물플랑크톤을 구성하는 원소들의 함량비를 나타내는 Redfield's ratio를 통해서 쉽게 유추될 수 있다.

$$C : N : Si : P : Fe = 106 : 16 : 15 : 1 : 0.001$$

--- Redfield's ratio

$$C : N : Si : P : Fe = 106 : 2.2 : 4.7 : 0.13 : 0.000045$$

--- sea water

국내에서도 최근에는 제강슬래그 구조체가 해조류 부착과 성장에 우수한 효과가 입증됨에 따라 갯녹음(백화현상) 등으로 사막화되고 있는 연안생태계를 복원하기 위한 해중림 조성사업에 강원, 경북 지역을 중심으로 슬래그계 해중림조가 활발히 적용되기 시작했다.



그림 1. 제강슬래그를 이용한 해중림 조성 장면(일본 북해도 마시케초)

<그림 2>는 2005년 강원도 양양군 남애리 마을어장에 시설된 제강슬래그를 이용한 해중림설의 개요를 나타낸 것이다. 해조류 서식이 어려운 모래바닥위에 제강슬래그를 이용하여 암반을 조성해 줌으로써 인공적인 해조류 서식지를 조립하는 개념이다. 국내외적으로 최초로 시도된 해중림 조성기법이며, 그 결과는 매우 성공적이었다.

이러한 방식의 해중림 조성 모델은 기존의 단위 구조물 개체를 독립적으로 시설하는 것보다, 개체와 개체간의 유기적인 연결을 통해 그 효과를 극대화할 수 있다는 장점이 있다. 이 모델의 대규모 시범 적용 사업이 2007년 하반기에 경남 남해군과 경북 포항시 연안 마을어장에 실시될 예정이다.

#### 4. 제강슬래그를 이용한 수저 퇴적물 복토정화법 (in-situ sediment capping)

복토정화법(in-situ capping)은 오염된 퇴적층 위에 비오염층을 설치함으로써 물리적, 화학적으로 퇴적물 내 오염물질이 주변 수체로 유입되는 것을 차단하는 방법을 일컫는다. 이 때, 오염 퇴적물의 상부 복토는 모래(sand), 실트(silt), 암석(rock) 또는 토목용 섬유(geotextile fabric) 등으로 이루어진 단일 혹은 복수의 층으로 시설되어 왔다. 복토층의 두께는 여러 가지 환경 인자(오염 물질, 오염 정도, 물리적 환경 등)에 따라 달라질 수 있는데, 상기 복토 재료들의 경우 300 ~ 1,500 mm 수준이 일반적으로 적용되고 있다. 복토정화법은 퇴적물의 제거나 이동, 전처리 등이 필요 없는 단일 단계의 처리 방안으로서 복잡하지 않고 비용 면에서 경제적인 복원 방법으로 알려져 있다. 복토정화법은 2002년 현재 미국 내 81개소의 하천, 호수, 항만 등 연안역을 포함해 일본, 유럽 등 세계적으로 109개소에 적용된 바 있다.

복토정화법은 복토층에 의한 오염물질의 화학적 흡착, 물리적 고립/차단, 생물교란 작용의 감소, 자연 회복의 촉진 등을 통해 퇴적층 내 오염물질의 수층 내 용출을 억제시킬 수 있다. 따라서 복토정화법을 적용할 경우 오염퇴적층의 고립 및 주변 수와의 반응 차단, 생물에 의한 교란 방지, 건강한 저서 생태계의 회복 등을 고려하며, 알려진 재료별 오염물질 제거 기능은 다음과 같다.

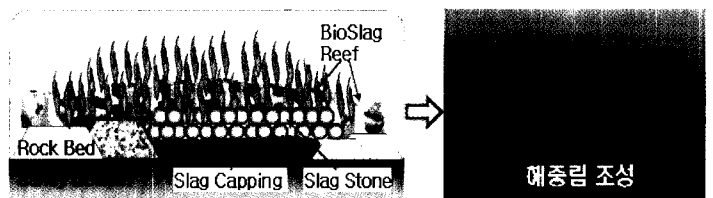
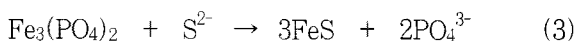


그림 2. 제강슬래그를 이용한 해중림 조성(강원도 양양군 남애리)

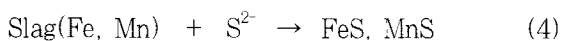
- Aquablok® : 퇴적물로부터의 오염물질 확산 및 이류 유입 제어
- Zero-valent iron(Fe(0)) : dechlorination 및 중금속 환원 촉진
- Phosphate mineral(apatite) : 중금속 흡착 촉진
- Cokes : 흡착 관련 반응 촉진
- BionSoil® : 유기오염물질 분해 촉진
- Natural organic sorbent : 흡착 관련 반응 촉진
- 전로 제강슬래그(BOFS) : 인산염/황화수소 및 중금속 흡착 제거

국내에서 일반적으로 사용되어 온 점토(황토)와 달리 전로 제강슬래그 복토정화법의 경우 적용하는 슬래그 입도를 적절히 조절할 수 있고 이를 통해 점토(황토) 살포시 발생할 수 있는 부유물질 확산에 의한 2차적 오염 영향을 방지할 수 있다. 또한 적용 가능 환경에 있어서도 퇴적물 표층에서 서식하는 바지락, 피조개 등 패류 양식장의 저질(주로 세립질의 연성 저질) 뿐만 아니라 주로 수층 내에서 양식하는 굴, 우렁챙이 등의 양식장 저질(패각 등이 혼입된 경성 저질 또는 사질 기반) 환경 개선에 모두 적합한 것으로 판단된다.

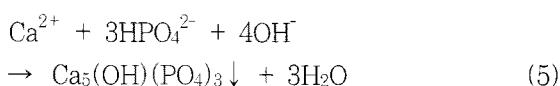
무산소 환경에 해당하는 폐쇄성 내만역과 오염된 내수면의 퇴적층 내에서 황화수소와 인산염은 다음과 같은 반응을 통해 주변 수역 내로 용출된다<sup>4)</sup>.



그러나 제강슬래그 복토를 통해 슬래그 내의 Fe, Mn 등 금속 성분이 황화물을 형성하여 황화수소 용출을 억제시키게 되며(반응 (4)), 이어서 위의 반응 (3)이 일어나지 않게 되어 인산염의 수층 내 유입을 차단하게 된다(그림 3).



또한, 제강슬래그의 경우 슬래그 내에 존재하는 칼슘 성분(free CaO)이 수층 내 존재하는 인산염과 반응하여 다음과 같이 난용성의 수산화아파타이트(hydroxy-apatite)를 형성한다. 따라서 이 반응을 통해 퇴적층으로부터 용출되어서는 인산염의 수층 용존 농도 증가를 억제할 수 있다.



제강슬래그 복토시 물리적 용출 억제 효과는 약 50%, 흡착에 의한 제거 효과는 약 40%, 그리고 화학적 반응에 의한 효

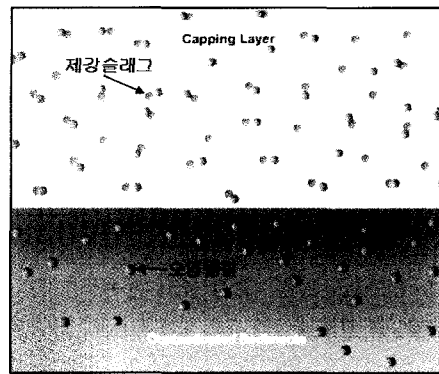
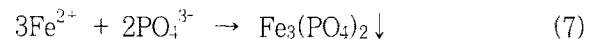


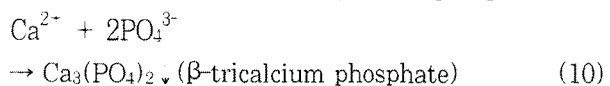
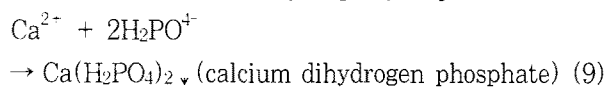
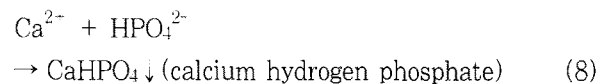
그림 3. 제강슬래그 복토정화법의 모식도

과는 약 10%로 추정된다<sup>5)</sup>.

한편, 제강슬래그 복토에 의해 복토층 상부 저층수 중의 인산염과 황화수소는 다음 반응들을 통해서도 그 농도가 저감되는 것으로 설명할 수 있는데, 먼저 철이온에 의한 인산염 제거는 다음을 통해 가능하다.



또한, 위의 반응 (5) 외에도 제강슬래그로부터 유리된 칼슘이온은 아래의 반응들을 통해서도 인산염의 제거가 가능하다.



앞서 소개한 여러 가지 복토정화용 재료들(반응성 재료(active materials) 포함)에 대하여 복토정화 적용시 필요한 복토 두께 및 시설비용을 비교하면 아래의 <그림 4>와 같다(Carnegie Mellon University, 2003). 이 때 복토 적용 두께는 시설 후 100년간 퇴적층 내 오염물질이 주변 수체로 용출되지 않도록 할 수 있는 양을 모델을 통해 산정한 것이다.

다른 재료들과 비교할 때 제강슬래그는 복토 두께에 있어서도 100 mm 이하로 그 양을 줄일 수 있으면서 시설비 역시 타 재료들에 비해 최소한 절반 이하로 절감할 수 있는 장점을 갖는다. 또한, 생산 공정을 통해 적용 환경에 적합한 입도 선별이 가능하므로 일반 모래에 비해 품질 관리가 용이하고 범용적일 수 있다는 부분도 그 장점으로 꼽을 수 있다.

오염이 심화된 폐쇄성 내만역의 퇴적물 상부에 제강슬래그를 복토함으로써 해저 퇴적물에 농축된 황화수소나 인산염의 용출

을 억제하여 적조나 청조 발생을 방지하기 위한 연구는 주로 일본철강협회 산하 "철강슬래그의 기초와 응용연구회"를 중심으로 90년대에 그 기초가 이루어졌다. 이에 따르면 제강슬래그를 복토재로 활용한 실험 실적 실험 및 양식장 적용 실험 결과 황화수소 용출이 억제되고, 저서 생물에 대한 악영향이 나타나지 않는 등 양호한 효과를 보고하고 있다. 또한, 저서생물에 대한 pH 영향 실험 결과에 있어서도 해수 유동에 의해 그 영향이 매우 미미하였고, 유해물질 용출 실험 결과도 해저복토재 사용 기준을 만족하는 것으로 확인되었다. 이를 통해 동경만, 오사카만 등의 유기오염 퇴적층 오염 개선 사업에 본격적인 적용을 준비하고 있다<sup>3)</sup>. 위 연구회에서는 산성비에 의해 파괴된 수목 및 호소 생태계를 복원하기 위한 중화제로 제강슬래그를 사용하는 가능성도 제시하고 있다<sup>6)</sup>.

국내 연구 사례에서는 제강슬래그 복토정화법 개발을 위해 실시한 실험실 및 실험역 규모의 시험으로부터 오염된 해저 퇴적물로부터 오염물질 용출을 억제하는 제강슬래그의 복토정화 효과가 매우 우수한 것으로 평가되었다<sup>8)</sup>.

실험역 적용 시험을 통한 효과 평가를 위해 경남 통영의 고성만 내 굴 양식장 0.5 ha(100 m × 50 m)를 대상으로 제강슬래그 약 1,300톤을 복토 시설한 결과 황화수소와 인산염 모두 비복토 지역에 비해 복토 지역에서 오염 퇴적물로부터의 용출이 95% 이상 저감되었다. 특히, 황화수소 성분의 용출 저감은 오염 퇴적층과 직접적인 접촉을 갖는 수하식 굴 양식장 저층부의 굴 성장에 매우 유리하게 작용할 수 있다는 점에서 중요하다.

이러한 결과로 인해 굴 수확시, 저층의 굴 중량이 비복토 지역 대비 약 20%의 우위를 보이고 있어 저층 퇴적물 환경의 개선을 통해 생산성이 증대된 것으로 판단된다. 이는 굴의 먹이 생물에 해당하는 식물플랑크톤의 개체수가 제강슬래그 복토 지역 저층부에서 비복토 지역에 비해 지속적으로 우위를 점하고 있음을 볼 때 저질 환경의 개선이 식물플랑크톤 밀도의 증가와 생산성 향상으로 이어졌음을 의미한다.

한편, 유용 지방산으로 분류되는 EPA, DHA 등 불포화 지방산의 굴 체내 함량에 있어서도 제강슬래그 복토 지역에서 성장한 굴에서 더 높은 경향을 나타내었는데, 이 역시 제강슬래

그 복토에 따른 환경 개선 효과에 의해 먹이 생물(식물 플랑크톤)의 개체수(밀도 증가) 및 성분(지방산 증가)이 변화되어 이들 먹이 생물을 섭취한 굴의 성장과 체 성분에 양호한 효과를 발현시킨 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

이상으로 갯녹음 해역을 복원하기 위한 해중립 조성 및 오염 퇴적물 환경의 개선 및 정화 방안으로서, 제철 공정에서 발생되는 부산물인 전로 제강슬래그를 활용하는 기술에 대하여 소개하였다. 해조류를 비롯한 바다 유용자원을 조성하기 위해 정부에서는 다양한 프로그램들을 마련하고 활발히 추진 중에 있다. 그리고, 국내에는 여러 개소의 오염된 항만, 양식장 및 담수호들이 있다. 이러한 곳의 환경개선 및 복원을 위해서는 막대한 예산과 자원들이 투입되어야 한다. 보다 효과적면서도 경제적인 환경개선을 위해서 많은 고민과 노력은 필수적이다. 이러한 고민을 해결하는데 있어서 제강슬래그가 유용한 재료가 될 수 있음은 국내외적으로 여러 차례 검증이 되었다고 할 수 있다. 아울러 산업 부산물의 환경친화적인 활용이라는 점에서도 중요한 의미를 가지며, 이의 적용을 통해 연안 환경을 개선하여 건강한 생태계 조성 및 수산 생산성의 증대에도 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다. □

#### 참고문헌

1. 김남길, "갯녹음 현상과 대책", 강원도 동해역의 해양 목장화 추진 방안 심포지엄, 2000, pp.71~130.
2. 日本水産學會, 淺海養殖と自家汚染, 水産學シリーズ(21), 恒星社厚生閣, 日本東京, 1977, 134pp.
3. 沼田哲始, 宮田康人, 豊田惠聖, 佐藤義夫, 小田静, 제강슬래그의 底質 개선을 위한 적용성 연구, NKK 기보, 2001. 3.
4. Sugawara, K. et al., "Recovery of Precipitated Phosphate from Lake Mud Related to Sulfate Reduction", *J. Earth Sci.*, Vol.5, 1957, pp.60~67.
5. Yamada, H. et al., "Suppression of Phosphate Liberation from Sediment by Using Iron Slag", *Water Research*, Vol.21, 1987, pp.325~333.
6. 일본철강협회, 철강슬래그의 발생량 저감 및 자원화, 철강슬래그의 기초 및 응용연구회 최종보고서, 1997.
7. Mann, R.A. and Bavor, H.J., "Phosphorus Removal in Constructed Wetlands Using Gravel and Industrial Waste Substrata", *Wat. Sci. Tech.*, Vol.27, 1993, pp.107~113.
8. 한기현 외, 제철 슬래그의 해양활용 용도개발(1), (재)포항산업과학연구원, 1999.

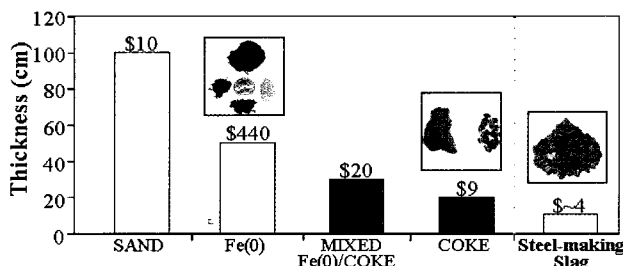


그림 4. 복토정화법에 사용되는 반응성 재료들의 적용 두께 및 경제성 비교