

## 복합슬래그와 석탄에 대한 해산동물의 생물독성 검정

김진미 · 김경선<sup>1</sup> · 이정아<sup>1</sup> · 신윤경<sup>2</sup> · 박청길<sup>3</sup> · 진 평<sup>1\*</sup>  
부경대학교 교육대학원, <sup>1</sup>부경대학교 해양생물학과, <sup>2</sup>국립수산과학원, <sup>3</sup>부경대학교 환경공학과

## Bioassay of Marine Animals to the Aquatic Toxicity of Composite Slag and Bituminous Coal

Jin Mee KIM, Kyoung Sun KIM<sup>1</sup>, Jung Ah LEE<sup>1</sup>, Yun Kyung SHIN<sup>2</sup>,  
Chung Kil PARK<sup>3</sup> and Pyung CHIN<sup>1\*</sup>

Graduate School of Education, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>1</sup>Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>2</sup>National Fisheries Reserch and Development Institute, Busan 619-900, Korea

<sup>3</sup>Department of environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Two species of fish and five species of marine invertebrate showed different tolerances to the toxicity of composite slag and bituminous coal. Especially, *Hemicentrotus pulcherrimus* and young *Haliotis discus hannai* displayed marked differences in tolerance from. *H. pulcherrimus* and young *H. discus hannai* showed lethal effects at higher concentrations than those concentrations of the composite slag in the 1.0 and 0.4% range, respectively. *H. pulcherrimus* showed no lethal effects at a lower concentration of 1.0% composite slag and some differences in the rate of oxygen consumption with this concentration of composite slag. The lethal effects of bituminous coal on marine and fisheries organisms, even with higher concentrations, were not observed. At a higher concentration than that of 500 mg/L (ppm) of bituminous coal, decrease effects appeared in the rate of oxygen consumption of the experimental organisms. Taking into consideration that the experimental concentration of composite slag and bituminous coal were impracticable in the ocean, the results of this experiment suggest that composite slag and bituminous coal pose no real threat to marine or fisheries organisms.

Key words: Marine animals, Composite slag, Bituminous coal, Survival rate, Rate of oxygen consumption, Bioassay

### 서 론

제철소에서 부산물로 생성되는 복합슬래그를 연안해역의 호안 및 방파제 등 해양구조물의 케이슨 채움재로 활용하는 것은 폐기물 재활용 차원에서 매우 좋은 발상이다(Motz and Geiseler, 2001). 이 때 복합슬래그를 케이슨 채움재로 사용할 때는 해양환경에 미치는 영향을 사전에 평가하여 해양생물에 대한 안전성 유무를 확인하고 영향 저감 방안을 마련해야 한다. 우리나라에서도 연안 해역 매립 호안공사와 해양 방파제 공사에 슬래그를 매립재로 사용하고 있는 실정이다. 농도의 비옥화에는 이 슬래그가 한몫을 한다고 알려져 있는 반면, 해양생물에 대한 연구는 미미한 상태이다.

연안 해역에 슬래그를 투입한 후에 해양생물이 나타내는 반응과 슬래그 투입 수조 내에서 어류와 어란 및 치어의 성장과 생존률에 대한 연구(Iitaka et al., 1973), 와편모 조류의 휴면포자 발아에 미치는 영향(Lee et al., 1999) 및 미세조류의 대량생산에 대한 연구(Park et al., 2001b) 등은 해양생물에 대한 슬래그의 긍정적 효과와 다소의 부정적인 면을 보여 주고 있다. 따라서 본 연구에서는 해양생물에 대한 슬래그의 효

과를 좀 더 상세히 추구해 보고자 하였다.

한편 석탄(역청탄)은 제철 공장 부속 발전소의 주연료로 사용되고 있다. 해상 수송 후 하역 시나 야적되어 있던 석탄은 대량 강우 시 해역으로 유입될 수 있다. 석탄은 고정탄소량 85-90%를 함유한 광물로서 생물 독성이 거의 없는 것으로 알려져 있다.

석탄 회분 투입 어초에서 해양생물의 반응(Collins et al., 1992, 1994; Collins and Jensen, 1995), 석탄 폐기물의 저서 동물상에 미치는 영향(Greenfield and Ireland, 1978) 그리고 어류상과 생태에 미치는 영향(Scullion and Edwards, 1980; Hilton et al., 1983; Radwan et al., 1991) 등에서 대체로 석탄의 안정성이 보고되고 있다. 최근 우리나라에서는 복합슬래그를 연안 해역에 투기하거나 매립재로 활용하는 사례가 늘어나고 있고 또 석탄 운반선이 좌초 또는 침몰하여 석탄이 연안 해역에 유출되는 사례가 발생하고 있다. 이에 따라 관련 업계의 요구에 부응하여 이들 복합슬래그와 석탄의 유무해성을 좀 더 구명할 필요성이 제기되었다.

따라서 석탄이 해양생물에 미치는 독성 여부를 생물 검정 실험하여, 유용 해양생물의 생존과 생리에 저해영향을 미치는 지 그 여부를 구명하고자 하였다.

\*Corresponding author: pchin@pknu.ac.kr

재료 및 방법

실험생물

복합슬래그에 대한 독성실험

실험동물은 어류에서 자리돔, *Chromis notata*(건중 1.8±0.3 g), 점망둑, *Chasmichthys dolichognathus* 치어(건중 0.11±0.02 g), 패류에서 빛조개, *Nuttallia olivacea*(건중 2.4±0.5 g), 참전복, *Haliotis discus hannai* 치패(건중 1.0±0.2 g), 갑각류에서 브리새우, *Marsupenaeus japonicus*(건중 2.1±0.4 g), 줄새우아재비, *Palaemon serrifer*(건중 0.46±0.05 g) 그리고 극피동물인 말뚝성게, *Hemientrotus pulcherrimus*(건중 1.9±0.2 g)였으며 우리나라 남해 연안 산으로서 채집 및 구입하여 실험 수조에 운반, 1주일간 사육 적응시킨 후 크기가 비슷한 건강한 개체를 선별하여 실험에 사용하였다.

석탄에 대한 독성실험

실험생물은 어류에서 넙치, *Palalichthys olivaceus*(건중 12.7±4.2 g), 조피볼락, *Sebastes schlegelii*(건중 23.6±2.7 g), 개량송사리, *Orizias latipes*(건중 0.61±0.02 g), 패류에서 바지락, *Tapes philippinarum*(건중 1.2±0.3 g), 새조개, *Fulvia mutica*(건중 3.8±0.4 g), 진주담치, *Mytilus edulis*(건중 1.3±0.2 g), 복족류에서 참전복, *Haliotis discus hannai* 치패(건중 1.2±0.2 g), 그리고 갑각류에서 집곤쟁이, *Neomysis awatschensis*(건중 0.0042±0.0003 g)를 대상으로 하였다.

복합슬래그에 대한 독성실험

시험 물질은 입도 0.5-5 mm $\phi$ 의 제강슬래그와 고로슬래그를 무게비 7:3으로 혼합한 복합슬래그를 사용하였으며 희석해수의 염분은 33.0-33.5 psu의 범위였다. 실험 용액의 슬래그 농도는 각각 5, 10, 15 및 20%, 0.5, 1.0, 3.0 및 5.0% 그리고 0.1, 0.16, 0.25, 0.40, 0.63 및 1.0%로서 고농도구에서 저농도구까지 실험적으로 설정하였다. 실험 수온은 20 $^{\circ}$ C였다.

실험에 사용한 제강슬래그와 고로슬래그 그리고 복합슬래그 용출수의 수질 분석 결과는 Table 1과 같다(Park et al., 2001a).

실험 방법은 지수식과 재순환유수식을 병행하였으며 통기를 하였고 실험생물은 크기에 따라 실험수량 20-60 L에 실험

구별로 각각 10 또는 20미씩을 넣었다. 그리고 폭로 15일간 폐사 개체를 매일 조사하였다. 그리고 말뚝성게와 점망둑 치어에 대해서는 실험 각 구별 개체들의 산소 소비량을 YSI 58 용존 산소 측정기로 20 $^{\circ}$ C에서 측정하였다.

석탄에 대한 독성실험

시험 물질은 석탄 중 역청탄(유연탄)이며 희석해수의 염분은 33.0-33.5 psu, 수소 이온농도(pH)는 8.0-8.1이었다.

석탄 시료의 원소 분석(LECO, Model:CHN-1000) 결과는 Table 2와 같다. 석탄 시료의 과산화수소 및 염산처리에 의한 용해 특성을 파악하기 위한 탄소 분석 결과, 원 시료에서 70.63% 그리고 과산화수소와 염산의 혼합 처리에 의한 시료에서는 69.25%로 나타났다. 석탄은 대부분 결합성 탄화수소 화합물로 구성되어 있고 용해성 유기물이나 탄산염 형태의 탄소 성분은 전체 탄소 성분의 1% 미만이었다.

Table 2. Element components of coal (%)

Items	Elements		
	C	H	N
Bituminous coal	70.63	5.397	1.113
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +HCl treatment	69.25	5.040	1.110

석탄을 무게비로 희석 해수에 침적시키거나 현탁 부유시켜 각 실험 농도의 실험 용액을 만들었다. 실험 용액은 정상 해수의 대조구와 실험 해수의 경우 석탄 농도 50, 100, 500, 1,000 및 5,000 mg/L의 5개 실험구를 설정하였다.

대조구와 각 실험구에서 실험생물을 8일간 실험용액에 폭로시키면서 폐사개체를 선별 제거시켰으며 생존개체의 산소 소비율을 측정하였다. 실험 장치는 예비 실험을 통하여 얻어진 결과를 보고 지수식 사육 수조를 사용하였다.

사육 수조에 대조구와 실험구의 각 실험 용액을 실험생물 크기에 따라 20-60 L씩 주수하고 실험생물을 각 구별로 10-20 미씩 투입하였으며 실험 용액은 2일마다 환수하였다. 폐사율은 일간 폐사율을 측정하여 계산하였고 산소소비량은 YSI 58 용존 산소 측정기로 측정하였다. 실험수온은 20 $^{\circ}$ C를 기준으로 하였다.

결 과

복합 슬래그의 영향

생존에 미치는 영향  
복합슬래그 농도 5.0-20% 범위의 실험 해수에 폭로된 점망둑 치어와 빛조개는 폭로 경과 일수 15일 동안 폐사가 일어나지 않았다. 그러나 말뚝성게는 0.5-5.0% 복합슬래그 농도 범위의 실험 해수에 폭로되었을 때 1.0% 농도구에서는 폭로 경과 일수 15일 동안 80% 이상 생존하였으나 3.0%에서는 10일째에 50% 정도 생존하였고 15일째까지 4일간에 모두 폐사되었다. 그리고 5.0% 이상에서는 폭로 10일째에 모두 폐사되었다(Fig. 1).

Table 1. Chemical components of water-eruption of slag

Item	Sample Composite slag	Steel slag	Furnace slag
pH	11.78	11.79	11.23
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	145.7	116.3	139.6
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	54.6	58.2	4.5
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (mg/L)	0.017	0.015	0.017
H <sub>2</sub> S (mg/L)	0.022	0.005	0.013
Cu ( $\mu$ g/L)	0.4	1.5	0.9
Fe ( $\mu$ g/L)	1.7	2.2	0.1
Pb ( $\mu$ g/L)	1.8	1.8	1.9
Cd ( $\mu$ g/L)	0.1	0.2	0.1
Cr <sup>6+</sup> ( $\mu$ g/L)	ND	ND	ND

ND: Not detected.

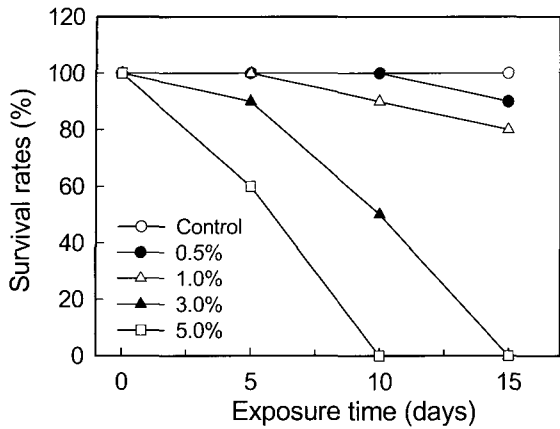


Fig. 1. Survival rate of *Hemicentrotus pulcherrimus* with concentration of composite slag.

한편, 복합슬래그 농도 0.1-1.0% 범위에 폭로된 자리돔, 점 망둑, 보리새우, 그리고 줄새우아재비 등에서도 폐사는 나타나지 않았다.

그러나 복합슬래그 농도 0.1-1.0% 범위의 실험 해수에 폭로된 참전복 치패는 0.25% 농도에서는 폭로 경과 일수 15일 동안 거의 다 생존하였으나 0.4-1.0% 농도에서는 폭로 경과 일수 15일 동안 약 7.5-10% 정도 폐사되었다(Fig. 2).

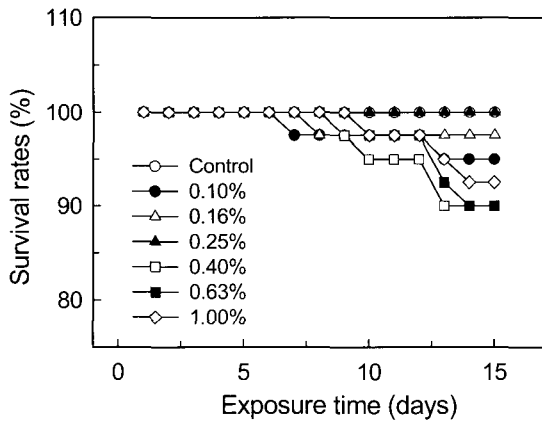


Fig. 2. Survival rate of young *Haliotis discus hannai* with concentration of composite slag.

산소 소비에 미치는 영향

말뚝성게와 점망둑 치어를 복합슬래그 농도 0.1-1.0% 범위 농도에 순환유수식으로 폭로시켰을 때 15일간 전부 생존하였으며, 산소소비율을 측정된 결과는 Table 3에 나타내었다. 복합슬래그 0.1-1.0% 범위의 실험 농도에 폭로된 15일 동안 말뚝성게와 점망둑 치어의 산소소비율은 폭로 기간 5, 10 및 15일째에 각 실험군과 대조군 간에 큰 차이는 없었다. 그러나 말뚝성게는 복합슬래그 농도 1.0% 실험 해수에 폭로된 지 5일과 10일째에 약 10%, 15일째에 약 16% 그리고 점망둑 치어는 복합슬래그 농도 1.0% 실험 해수에 폭로된 지 5일째에

약 14%, 10일째에는 거의 영향이 없었으며 15일째에 약 5%의 산소소비율 감소를 나타내었다.

석탄의 영향

생존에 미치는 영향

침적된 석탄 50, 100, 500, 1,000 및 5,000 mg/L 농도의 해수 실험구와 대조구에서 조피볼락, 바지락, 새조개, 진주담치 및 참전복 치패와 점곤쟁이 및 개랑송사리 등은 대조구와 어느 실험구에서도 폭로 기간 8일간에 폐사는 일어나지 않았다. 그리고 부유석탄 100, 300, 500, 1,000, 3,000 및 5,000 mg/L 농도의 해수 실험구와 대조구에서도 넙치와 조피볼락은 폭로 기간 8일 동안 폐사가 발생하지 않았다.

산소 소비에 미치는 영향

해수 중에 침적된 석탄이 넙치와 조피볼락의 산소소비에 미치는 영향을 측정된 결과를 Table 4에 나타내었다.

석탄농도 50, 100, 500, 1,000 및 5,000 mg/L 실험 해수에 4일과 8일간 폭로시킨 어류의 산소소비량에 미치는 침적 석탄의 저해 영향을 대조구에 대한 백분비 감소율로서 나타내었다. 어류의 산소소비량은 석탄 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

석탄 농도 50, 100, 500, 1,000 및 5,000 mg/L 실험 해수에 4일 및 8일간 폭로시킨 패류의 산소소비량에 미치는 침적 석탄의 저해 영향을 대조구에 대한 백분비 감소율로서 나타내었다. 패류의 산소소비량은 석탄 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

석탄의 실험 농도 해수에 폭로된 지 4일째에 석탄 농도 50 mg/L에서 바지락, 새조개 및 진주담치의 산소소비율은 2.7, 23.4 및 12.5% 감소되었고 500 mg/L에서는 16.2, 27.7 및 30.6% 그리고 5,000 mg/L에서는 대조구에 비해서 40.5, 38.3 및 33.3% 감소되었다. 그리고 폭로 8일째에는 석탄 농도 50 mg/L에서 산소소비율은 5.9, 13.9 및 8.2% 감소되었고 500 mg/L에서는 32.4, 9.3 및 30.1% 그리고 5,000 mg/L에서는 대조구에 비해서 11.8, 34.6 및 34.2% 감소되었다.

침적된 석탄이 참전복에 미치는 영향을 산소소비량을 지표로 하여 측정된 결과를 Table 5에 나타내었다.

석탄 농도 50, 100, 500, 1,000 및 5,000 mg/L 실험 해수에 4일과 8일간 폭로시킨 참전복의 산소소비량에 미치는 침적 석탄의 저해 영향은 역시 대조구에 대한 백분비 감소율로서 나타내었다. 참전복의 산소소비량도 석탄 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

폭로된 지 4일째에 석탄 농도 50 mg/L에서 참전복의 산소소비율은 8.6% 감소되었고 500 mg/L에서는 2.9% 그리고 5,000 mg/L에서는 대조구에 비해서 14.3% 감소되었다. 그리고 폭로 8일째에는 석탄 농도 50 mg/L에서 산소소비율은 13.5% 감소되었고 500 mg/L에서도 13.5% 그리고 5,000 mg/L에서는 대조구에 비해서 21.6% 감소되었다.

부유된 석탄이 넙치와 조피볼락에 미치는 영향을 산소소비량을 지표로 하여 측정된 결과를 Table 6에 나타내었다.

Table 3. Rates of oxygen consumption of *Hemicentrotus pulcherrimus* (A) and young *Chasmichthys dolichognathus* (B) with concentration of composite slag (mL/gdw/hr)

Conc. of slag (%)	Exposure time											
	5 days				10 days				15 days			
	Oxygen consumption		Decrease rate (%)		Oxygen consumption		Decrease rate (%)		Oxygen consumption		Decrease rate (%)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
0	0.058	1.076	0	0	0.062	1.022	0	0	0.064	1.046	0	0
0.10	0.053	0.949	8.6	11.8	0.059	1.029	4.8	+0.7	0.061	1.049	4.7	+0.3
0.16	0.060	0.897	+3.4	16.6	0.055	1.112	11.3	+8.8	0.059	1.118	7.8	+6.9
0.25	0.054	1.027	6.9	4.6	0.062	1.180	0	+15.5	0.068	1.012	+6.3	3.3
0.40	0.055	1.028	5.2	4.5	0.067	0.985	+8.1	3.6	0.064	1.024	0	2.1
0.63	0.054	1.003	6.9	6.8	0.061	1.041	1.6	+1.9	0.058	1.090	9.4	+4.2
1.00	0.052	0.924	10.3	14.1	0.056	1.003	9.7	1.9	0.054	0.996	15.6	4.8

Table 4. Rates of oxygen consumption of *Palalichthys olivaceus* (A) and *Sebastes schlegeli* (B) with concentration of bituminous coal (mL/gdw/hr)

Conc. of coal (mg/L)	Exposure time							
	4 days				8 days			
	Oxygen consumption		Decrease rate (%)		Oxygen consumption		Decrease rate (%)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
0	0.97	0.51	0	0	0.94	0.59	0	0
50	0.92	0.48	8.2	5.9	0.83	0.58	18.1	1.7
100	0.82	0.50	18.6	2.0	0.78	0.62	23.4	+5.1
500	0.85	0.40	15.5	21.6	0.77	0.45	24.5	23.7
1000	0.76	0.41	24.7	19.6	0.77	0.57	24.5	3.4
5000	0.70	0.37	30.9	27.5	0.81	0.47	20.2	20.3

Table 5. Rate of oxygen consumption of young *Haliotis discus hannai* with concentration of bituminous coal (mL/gdw/hr)

Conc. of coal (mg/L)	Exposure time			
	4 days		8 days	
	Oxygen consumption	Decrease rate (%)	Oxygen consumption	Decrease rate (%)
0	0.35	0	0.37	0
50	0.32	8.6	0.32	13.5
100	0.33	5.7	0.34	8.1
500	0.34	2.9	0.32	13.5
1000	0.32	8.6	0.31	16.2
5000	0.30	14.3	0.29	21.6

석탄농도 50, 100, 500, 1,000 및 5,000 mg/L 실험 해수에 4일이나 8일간 폭로시킨 어류의 산소소비량에 미치는 부유석탄의 저해 영향을 대조구에 대한 백분비 감소율로서 나타내었다. 어류의 산소소비량은 석탄 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

석탄의 실험 농도 해수에 폭로된 지 4일째에 석탄농도 50 mg/L에서 넙치와 조피볼락의 산소소비율은 각각 3.1 및 11.8% 감소되었고 500 mg/L에서도 5.2 및 25.5% 그리고 5,000 mg/L에서는 대조구에 비해서 28.9 및 23.5% 감소되었다. 그리고 폭로 8일째에는 석탄 농도 50 mg/L에서 산소소비

율은 7.4 및 1.9% 감소되었고 500 mg/L에서는 9.6 및 11.5% 그리고 5,000 mg/L에서는 대조구에 비해서 20.2 및 23.2% 감소되었다.

### 고 찰

해양생물에 대한 복합슬래그의 영향은 어종에 따라 생리적 내성의 차이가 있음을 보여 주었다. 자리돔과 점망둑 치어, 보리새우와 줄새우아재비 그리고 빛조개 등은 해양에서 실제로 나타나기 어려운 비현실적인 고농도의 복합슬래그 실험 농도에서도 생존률은 거의 영향을 받지 않았다. 그러나 말뚝

Table 6. Rate of oxygen consumption of *Palallichthys olivaceus* (A) and *Sebastes schlegeli* (B) with concentration of bituminous coal (mL/gdw/hr)

Conc. of coal (mg/L)	Exposure time							
	4 days				8 days			
	Oxygen consumption		Decrease rate (%)		Oxygen consumption		Decrease rate (%)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
0	0.97	0.51	0	0	0.94	0.52	0	0
50	0.94	0.45	3.1	11.8	0.87	0.51	7.4	1.9
100	0.91	0.50	6.2	2.0	0.90	0.47	4.3	9.6
500	0.92	0.38	5.2	25.5	0.85	0.46	9.6	11.5
1000	0.80	0.40	17.5	21.6	0.82	0.47	12.8	9.6
5000	0.69	0.39	28.9	23.5	0.81	0.40	20.2	23.1

성계와 참전복 치패는 치사 영향을 나타내었다.

Itaka et al. (1973)에 의하면 해양에 투기한 제강슬래그 컨테이너에 돌돔, 쥐치, 뽕애돔, 범돔, 거북복 등의 어류와 수종의 새우류와 파래 등의 해조류가 모여들었으며, 슬래그 8.0-9.0%의 농도에서 어류의 성장이 잘 되었고 어란과 치어의 성장과 생존률도 좋았음을 밝히고 있다. 이러한 점으로 보아 본 실험에 사용된 어종 대부분이 치사 영향을 받지 않음은 해양생물에 대한 복합슬래그의 치사영향이 거의 없는 것으로 사료된다. 그러나 복합슬래그 0.5-5.0% 농도에서 비록 고농도이지만 말뚝성계와 참전복 치패는 타 어종과 달리 복합슬래그 농도가 증가함에 따라 그 생존률이 감소되어 차이를 보였다.

한편 말뚝성계가 생존하는 복합슬래그 0.1-1.0%의 범위에서 슬래그 농도 증가에 따라 말뚝성계의 산소소비율이 감소하고 있는 점은 생리적 저해 영향을 받고 있는 것으로 여겨진다. 이러한 생리적 저해 영향을 받을 수 있는 복합슬래그의 한계 농도에 대해서는 앞으로 더 정밀한 실험이 필요할 것이다. Lee et al. (1999)은 약 5.0%의 슬래그 농도에서 와편모조류의 휴면포자 발아가 억제됨을 보고하였다. 한편 Park et al. (2001a, 2001b)은 굴의 성장과 성분 그리고 미세조류의 성장과 성분에 미치는 제강슬래그의 긍정적 효과를 보고하였다. 이로 미루어 보아 해양생물에 대한 슬래그의 영향은 더 정밀한 슬래그 농도와 실험 조건 등을 고려한 실험적 평가가 있어야 할 것으로 생각된다.

해양생물에 대한 석탄의 치사 영향은 거의 나타나지 않았다. 넙치, 조피볼락, 바지락, 새조개, 진주담치 및 참전복 치패 그리고 점곤쟁이와 개랑송사리 등 시험생물은 석탄 50-5000 mg/L 실험 농도 범위에서 치사 영향은 거의 없었다.

Collins et al. (1992, 1994), Collin and Jensen (1995)은 석탄 폐기물이 함유된 어초에 형성되는 생물상이 별다른 영향을 받지 않는다고 하였으나, Greenfield and Ireland (1978)는 석탄 폐기물로 오염된 강에서 어종이 감소되었음을 보고하였다. 그리고 Scullion and Edwards (1980)와 Radwan et al. (1991)은 석탄의 유입에 의해 강의 어류상에서 수적 감소를 초래한다고 하였다. 그러나 본 실험에서 석탄은 해수 중에 침적된 경우와 넙치와 조피볼락에 대한 부유석탄의 경우에도 치사 영향을

보이지 않았다.

석탄은 해양생물의 생리에 대해서 상당한 저해성을 보였다. 시험 생물 모두 산소소비량은 폭로 기간에는 상관없이 석탄 농도의 증가에 따라 감소하고 있다. Hilton et al. (1983)은 석탄 연소회에 대한 어류의 대사가 저해를 받았음을 보고하였다.

석탄은 유연탄으로 별칭 되기도 하는데 비중은 1.26-1.40이고 고정탄소함량은 85-90%로서 암흑색의 치밀한 괴상으로 탄소, 수소, 산소, 질소, 유황 및 회분 등으로 구성되어 있다. 실험에 사용한 석탄에서 2시간 부유된 현탁 입자를 선별한 결과 무게비로 0.79%였다. 따라서 석탄의 화학적 독성은 검색할 수 없었으나, 함유된 석탄 부유분진은 해수 중의 탁도를 증가시키는 입자로서 물리적인 저해를 초래할 수 있다. 부유 입자는 해양생물의 아가미 표면에 침착해서 산소소비량을 감소시킬 수 있다.

부유토나 부유사 또는 부유회분과 같이 부유석탄의 고농도에서는 산소소비량에 대한 저해 영향이 나타났다. 그러나 현실적으로 해수 중에 500 또는 5,000 mg/L의 부유석탄 농도가 형성되기는 어렵다고 생각된다. 또 100 mg/L 이상의 부유석탄 농도가 형성된다 하더라도 지속 시간이 변수이며 해수가 교환 되면 단시간 내에 저해 영향은 회복될 수도 있을 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- Collins, K.J. and A.C., Jenson. 1995. Stabilized coal ash artificial reef studies. Chem. Ecol., 10, 193-203.
- Collins, K.J., A.C. Jenson and A.P.M. Lockwood. 1992. Stabilized of a coal waste artificial reef. Chem. Ecol., 6, 79-93.
- Collins, K.J., A.C. Jenson, A.P.M. Lockwood and A.W.H. Turnpenney. 1994. Evaluation of stabilized coal-fired power station waste for artificial reef construction. Bull. Mar. Sci., 55, 1251-1262.
- Greenfield, J.P. and M.P. Ireland. 1978. A survey of the macrofauna of a coal-waste polluted Lancashire fluvial system. Environ. Pollut., 16, 105-122.

- Hilton, D.E., E.R. Walker and D.M. Kontir. 1983. Cellular bioassay of fish as a sensitive index of water quality related to ash from coal combustion. Tech. Compl. Rep., W. V. Water Res. Inst., Morgantown, WV, U.S.A., pp. 90.
- Iitaka, Y., R. Tsuda, T. Morinaga and H. Kumai. 1973. Effects of slag on aquatic life. *La Mer*, 11, 205-210.
- Lee, C.I., Y.S. Kwak and K.Y. Kim. 1999. Effects of inorganic nutrients and steel slags on germination of resting spores in dinoflagellate. *RIST Res.*, 13, 539-542.
- Motz, H. and J. Geiseler. 2001. Products of steel slags on opportunity to save natural resources. *Was. Man.*, 21, 285-293.
- Park, C.G., P. Chin and G.S. Kwon. 2001a. Reports for the effects of using complex slags as caisson filling materials on marine environment. Institute of Environmental Research, Pukyung Nat Univ., pp. 165.
- Park, K.Y., H.W. Park, G.S. Park, H.D. Jeon and S.H. Jeong. 2001a. Studies on the utilization of steel slags as covering materials for improvement of marine sediment (II). 2001 Spring Joint Meeting of the Korean Societies on Fisheries Science, 348-349.
- Park, K.Y., H.K. Park, G.S. Park, H.D. Jeon and Y.K. Kim. 2001b. Studies on the possibility of mass production of microalgae using CO<sub>2</sub> of exhaust gas and steel slags. 2001 Spring Joint Meeting of the Korean Societies on Fisheries Science, 291-292.
- Radwan, S., C.Z. Kowalczyk, B. Jarzyna, A. Paleolog, W. Zwolski and W. Kowalik. 1991. Coal mine waters and their influence on the purity ecological state of river and the fish production. *Mar. Pollut. Bull.*, 23, 733-736.
- Scullion, J. and R.W. Edwards. 1980. The effect of pollutant from the coal industry on the fish fauna of a small river in the South Wales coalfield. *Environ. Pollut., Ser. A*, 21, 141-153.

---

2002년 8월 19일 접수

2005년 4월 20일 수리