

환경친화적인 유황콘크리트 인공어초 개발을 위한 실험적 연구

박성배* · 홍종현** · 김석철*** · 김경훈****

*부산대학교 생물학과

**탐라대학교 토목환경공학과

***IDEA-ASIA

****(주)삼성산업 기술연구소

Experimental Study on Development of Artificial Fishing Reefs Using Environment-Friendly Sulfur Concrete

SUNG-BAE PARK*, CHONG-HYUN HONG**, SEOK-CHEL KIM*** AND KYOUNG-HOON KIM****

*Department of Biology, Pusan National University, Busan, Korea

**Department of Civil and Environmental Engineering, Tamna University, Seogwipo, Korea

***IDEA-ASIA, Seogwipo, Korea

****Samsung Industry Inc., R&D Institute, Kyongbuk, Korea

KEY WORDS: Sulfur concrete 유황콘크리트, Artificial fishing reefs 인공어초, pH-neutral materials 수소이온농도지수 중립 물질

ABSTRACT: New artificial fishing reefs are developed using modified sulfur concrete. Modified sulfur concrete, which is made of by-product aggregates and modified sulfur binder, has good properties, including high density, less water absorption, high strength, high salt resistance, and good affinity for living organisms. This paper shows the mechanical properties of modified sulfur concrete and its field tests under the sea. We have found that the pH-neutral materials attach microalgae and seaweed more readily, compared to the pH-high materials.

1. 서 론

우리나라 연안생태계는 백화현상(갯녹음)에 의한 해조류의 감소와 어패류 등 어업자원의 감소로 인해 연안역의 황폐화에 직면해 있다. 이와 같은 연안생태계의 변화를 극복하기 위해 해조류를 섭식하는 전복, 소라, 성게 등과 같은 조식동물과 어류들의 산란장 및 서식장으로 이용하고자 바다 속에 인공어초를 투입하여 해중림을 조성하는 기술들이 개발되고 있다(이정우, 2005). 이러한 어초어장 조성사업은 대상생물의 종류에 따라 어류를 위집하기 위한 어초와 해조류를 증식하기 위한 조초로 구분할 수 있지만, 현재 설치된 어초와 조초들은 바다 속 해조류의 포자나 유주자가 쉽게 착생하여 성장하는데 기능적으로 많은 어려움이 있다. 이것은 종래에 주로 사용된 어초의 재질이 콘크리트로, 설치초기 어초의 표면이 강알칼리성을 나타내기 때문에 강알칼리성을 좋아하는 해양생물들이 어초표면을 초기에 먼저 점유하게 되고 시간이 경과한 후, 콘크리트 표면의 pH가 해수와 비슷한 약알칼리에 도달되었을 때는 이미

유용종이 부착하기 어렵기 때문이다. 따라서 유용 부착생물의 조기 착상을 유도하기 위해서는 콘크리트 표면의 pH를 초기에 해수와 유사하게 조절할 필요가 있어, 다양한 방법들이 제시되고 있으나, 콘크리트 결합재로 사용되는 시멘트의 특성상 한계가 있다(한국건설품질연구원(주), 2007).

종래의 테트라포트(TTP), 용승류블록, 인공어초, 그리고 항만구조물과 같은 해양구조물은 주로 보통콘크리트 재질로 제작·설치되었다. 포틀랜드시멘트로 제조되는 보통콘크리트의 경우 초기 시멘트 풀(Paste)의 유해성분 용출이 많고, 그 중에서 높은 알칼리 성분은 해양생태계에 좋지 않은 영향을 미치며, 해양환경에서 일정 기간 노출 이후 강도가 급감하고 내부식성 및 내화확성이 취약하여 파손 및 부식에 의한 2차 해양오염을 유발하고 있다. 인공어초 시설지침에 의하면 어초 사업비의 40% 이상을 콘크리트가 아닌 다른 재질로 어초를 제조, 시설하도록 유도하고 있다. 따라서 콘크리트 외에 강재나 세라믹과 같은 재료들이 어초 재질로 사용되고 있으나, 가격경쟁력이 현저히 낮은 단점이 있다(홍종현 등, 2005).

내구성능이 개선된 Modified sulfur를 결합재로 사용한 콘크리트(이하 유황콘크리트라고 칭함: MSPC(Modified sulfur polymer concrete))는 고강도, 속경성 그리고 뛰어난 화학저항

교신저자 홍종현: 제주도 서귀포시 하원동 산70

064-735-2115 jhhong@tnu.ac.kr

성을 갖는 신개념의 건설재료이다. 유황콘크리트는 포틀랜드시멘트와 물을 사용하지 않고, 산업 부산물인 유황과 화학개질제의 폴리머 반응으로 제조된 유황시멘트 또는 SPC폴리머시멘트(MSPC, Modified sulfur polymer cement)를 결합재로 모래, 자갈 및 충전재를 열믹싱하여 제조한다. 유황콘크리트는 콘크리트 사용을 위한 공간과 환경적인 제약을 극복하고 물시멘트비의 영향을 받지 않는 안정된 재료를 실현시킨 차세대 콘크리트로서 새로운 어초 재질로 활용될 가능성이 높다. 뿐만 아니라 석유화학 공장의 향후 예상되는 잉여 유황을 사용할 수 있어 자원의 재활용 및 환경측면에서도 그 기여도가 클 것으로 예상된다. 일본의 경우 유황콘크리트가 테트라포트, 항만 접지시설, 어초 등 다양하게 적용되어 매우 우수한 효율을 얻었다는 연구보고가 있다(Horii et al., 2006).

본 연구는 유황콘크리트의 해양환경에서의 강도, 장기내구성, 내화학적, 그리고 pH 용출시험을 수행하여 학술적인 자료를 확보하고, 이를 바탕으로 동해안 연안역에 유황콘크리트 재질로 해중립 조성용 구조물을 개발 설치하여 현장 실증시험을 통한 종합적인 평가와 향후 개선방안을 도출하여 바다목장화 사업과 해중립 사업에 적합한 인공 구조물을 개발하는데 연구의 목적이 있다.

2. 배합설계 및 어초 구조

2.1 유황콘크리트의 배합설계

유황콘크리트 배합은 관련분야 기술인증(NEP)등으로 축적된 삼성산업의 자료((주)삼성산업, 2006)를 참조하여, Filler와 SPC(듀라콘, 유황폴리머시멘트)의 종류와 최적사용량을 확정하여 사용하였다. 따라서 MSPC 376kg, 플라이애쉬(F/A) 191kg, 잔골재(순환골재) 839kg, 굵은골재 976kg, PP섬유(혼화제) 4kg을 기본 배합으로 하며, 강도 40MPa를 준수하는 범위 내에서 조정사용 하였으며, 유황콘크리트 선정 배합표는 Table 1과 같다. 배합설계에 사용된 재료의 비중은 유황폴리머시멘트가 1.96, 플라이애쉬(F/A)가 2.22, 잔골재(S)가 2.42, 굵은골재(G) 2.6, PP섬유(AD) 0.91이다. 순환골재는 밀도가 2.40g/cm³, 흡수율이 3.2%, 입자모양판정실적률이 62.2%로서 KS F 2573의 순환골재 기준 1종에 해당되는 것을 사용하였다. 대조구 목적으로 사용된 보통콘크리트 배합은 KS F 4009(레디믹스트 콘크리트)의 해당 품질규정을 준수하는, 물(W) 157kg, 시멘트(C) 361kg, 잔골재(S) 610kg, 굵은골재(G) 1,222kg, AE감수제(AD) 1.08kg을 기본 배합으로 하며, 강도 30MPa를 준수하는 범위내에서 조정사용 하였으며 배합표는 Table 2와 같다.

2.2 해수 침지용 공시체 및 어초 구조

해수 침지용 공시체는 강도, 내구성, 내화학적 시험을 위해 충분한 수량의 공시체를 Table 3과 같이 제조하였다. 해조류 부착효율, 패조류 서식환경, 그리고 어류 위집효과를 조사하기 위해 시험시편, 유황콘크리트 어초, 인공용승류 블록, 관형어초 등의 구조물을 Table 4, Table 5, Table 6과 같이 제조하였다.

어류형 인공어초는 Table 5의 규격으로 제조 하였으며, 강제 프레임에 유황콘크리트 패널 형태의 블록을 부착하는 형태로 제조된다. 유황콘크리트 패널의 기본규격은 750×250×30mm과 250×250×30mm을 사용하였으며, 단위 패널의 조립은 ㄱ형강을 이용한 용접구조를 기본으로 강제프레임과 용접으로 완성된다. 본 강제프레임 결합 유황콘크리트 패널 형태의 어류형 인공어초는 3m 이하의 폭을 기본으로 하여 운송 및 수중투하에 적합하고, 어류의 유영을 용이하게 하기 위한 적절한 공간을 확보하였으며 해조류 및 패조류 부착이 용이할 뿐만 아니라, 해양생물의 은신 및 산란장 역할을 수행할 수 있도록 하였다.

또한 어선의 그물 등에 걸리지 않는 구조를 취하고 있으며, 기존의 획일적인 형태에서 탈피하여 구조체에 분수의 형상 이미지를 디자인 컨셉으로 하여 조형미를 부가하였다.

패류형 인공어초는 Table 5의 규격으로 제조하였으며, 강제 프레임에 유황콘크리트 패널 형태의 블록을 부착하는 형태로 제조된다. 유황콘크리트 패널의 기본규격은 250×250×30mm을 사용하였으며, 단위 패널의 조립은 ㄱ형강을 이용한 용접구조를 기본으로 강제프레임과 용접으로 완성된다. 본 강제프레임 결합 유황콘크리트 패널 형태의 패류형 인공어초는 3m 이하의 폭을 기본으로 하여 운송 및 수중투하에 적합하고, 해조류 및 패조류 부착을 용이할 뿐만 아니라, 그 수량이 최대한 많이 확보되도록 표면적을 극대화하여 태양광의 도달이 용이하게 한 구조이다. 또한 어선의 그물 등에 걸리지 않는 구조를 취하고 있으며, 기존의 획일적인 형태에서 탈피하여 구조체에 조개의 형상 이미지를 디자인 컨셉으로 조형미를 부가하였다. 내부로 공간을 형성한 강제 프레임에 유황콘크리트 패널이 부착되어 구조물이 형성된 것을 특징으로 한다.

블록 형태(인공용승류 블록)는 정육면체 형상을 디자인 컨셉으로 제조하였다.

관 형태(관형 어초)는 튜브 형상을 디자인 컨셉으로, 기존 시장에서 우수 및 하수관으로 사용되는 원심력철근콘크리트관(흡관)과 유황폴리머관(SI-polymer관)을 사용하여 제조하였다.

SI-polymer관(SPC), 흡관(OPC)을 1기당 4개소에 천공하고, 해당관 3기를 1 SET로 묶어 고정시켜 제조하였다.

Table 1 Mix proportion of sulfur concrete

Type	MSPC : F/A	S/a [%]	Batch quantity[kg/m ³]					Slump [cm]	Strength [MPa]
			MSPC	F/A	S	G	AD		
Sulfur concrete	69 : 31	48.0	376	191	839	976	4	-	40

Table 2 Mix proportion of plain concrete

Type	W/C [%]	S/a [%]	Batch quantity[kg/m ³]					Slump [cm]	Strength [MPa]
			W	C	S	G	AD		
Plain concrete	43.5	34.0	157	361	610	1,222	1.08	8	30

Table 3 Specimens for strength and chemical test

Size	Sulfur concrete	Plain concrete	Underwater location
φ 100 × 200 mm	80 EA	80 EA	15 m
76 × 101 × 412 mm	6 EA	6 EA	

Table 4 Specimens for seaweed adhesion test

Size	Sulfur concrete		Plain concrete	Underwater location
	Rugged surface	Normal surface		
180 × 180 × 40mm	3 EA	3 EA	3 EA	1 m

3. 강도 및 내구성 특성

3.1 강도 시험

강도 시험은 공시체 제작 28일 후, 수중모니터링 실험역 지역의 해수(염)에 침지하고, 약 1개월 단위로 인출하여 KS기준에 의해 압축강도를 측정하였다.

해수침지 공시체에 대한 압축강도시험 결과는 데이터를 3회 평균하여 Table 7에 나타내었다. 유황콘크리트는 재령 28일 압축강도 57.8MPa에서 서서히 강도 저하가 진행되어 해수 침지 5개월(150일) 후 41.8MPa로 감소되었으며, 보통콘크리트는 재령 28일 압축강도 33.0MPa에서 오히려 서서히 강도가 증가하여 해수 침지 5개월(150일) 후 36.2MPa로 나타났다. 기존의 연구 자료에 의하면, 보통콘크리트는 해수에서 최초에는 다소간 강도의 증가가 발생할 수 있으나, 일정기간 경과 후 급격한 강도 저하를 나타내는 것으로 알려져 있다(고경택 등, 2004). 보통콘크리트의 최초 일정기간의 압축강도 증가는 지속적인 수중양생과정에서 발생한 것으로 사료된다. 유황콘크리트는 기존의 연구 자료(윤재환, 2006)에 의하면, 해수(염)에서 별다른 강도변화 특성을 나타내지 않는 것으로 알려졌으나, 본 연구에서 상기와 같이 강도저하가 일어났다. 이는 본 연구에서는 유황콘크리트 제품의 경제성을 감안하여 설계기준강도를 40MPa 이상으로 설계된 것에 반해, 기존의 유황콘크리트에 대한 연구에서는 설계기준강도를 60MPa 이상으로 배합 설계하였다는 점과 본 연구에서 잔골재를 순환골재로 선정하였다는 것이 영향을 미친 것으로 사료되며, 이와 같은 현상은 특이 현상으로 차후 다양한 시험변수를 적용하여 보완실험이 필요하다고 판단된다. 하지만, 현재 사용되는 일반적인 콘크리트 해양구조물의 설계 압축강도가 20MPa인 점과 유황콘크리트는 압축강도를 소정의 값으로 충분히 조정가능하다는 점을 감안한다면, 본 연구에서 유황콘크리트의 인공어초 용도에 대한 강도특성은 만족할 만

한 결과로 볼 수 있다. 그러나 본 연구를 통해 해양환경에 대한 유황콘크리트의 설계기준강도를 50MPa 이상으로 상향조정된 추가 시험이 필요한 것으로 사료된다.

3.2 장기 내구성 시험

장기 내구성 시험은 공시체 제작 28일 후 해수(염)에 침지하고, 해수침지 3개월 후 인출하여, 200cycle의 동결융해시험 후 상대동탄성계수 값으로 확인하였다. 해수침지 공시체에 대한 동결융해시험(200cycle) 결과로 내구성지수를 구하여 Table 8과 같이 유황콘크리트가 88%, 보통콘크리트는 92%로 나타났다.

기존의 연구 자료에 의하면 유황콘크리트의 내구성지수는 95% 이상이며, 보통콘크리트의 경우 200cycle 동결융해시험의 경우 약 80% 내외의 내구성지수를 갖는 것으로 알려져 있다. 동결융해저항성에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로는 공시체 내부의 공기 함유량으로서 콘크리트 표준시방서에서는 4.5±1.5%의 공기포의 함유를 규정하고 있다. 기존의 연구 자료에 의하면 유황콘크리트는 수분 흡수율이 0.5% 이하에 이르고 공시체 내에 수분이 존재하지 않아 주변 온도 저하에 따른 유황콘크리트내의 수분의 이동 및 동결에 의한 팽창압이 발생되지 않는다. 유황콘크리트는 공시체의 표면 상태 및 사용재료의 내구성이 더 중요한 것으로 알려져 있다(윤재환, 2006). 이러한 측면에 볼 때, 상기와 같은 결과는 앞서 강도시험의 고찰에서 언급한 바와 같이 본 연구에서 유황콘크리트의 설계기준강도와 잔골재의 순환골재 사용의 영향으로 판단된다. 본 시험에 사용된 시험체는 76×101×412mm의 사각형시편을 사용하였으며, 200cycle 수행 후 상대동탄성계수 88%를 달성하였다. 비록 대조구인 보통콘크리트가 92%로 예상보다 높은 값으로 나타났지만, 유황콘크리트의 동결융해특성은 문제가 되지 않을 것으로 볼 수 있다.

3.3 내화학적 시험

내화학적 시험은 공시체 제작 28일 후 해수(염)에 침지하고, 해수침지 3개월 후 인출하여, 10% 황산(H₂SO₄) 용액에 침지하여 15~30일 단위로 압축강도를 측정하였다. 해수침지 공시체에 대한 내화학적시험(10% 황산용액 침지) 결과는 데이터를 3회 평균한 값으로 Table 9와 같다. 해수침지 90일 후 10% 황산(H₂SO₄) 용액에 침지된 유황콘크리트는 초기 42.7MPa에서 거의 강도저하를 보이지 않는데 반해, 보통콘크리트는 초기 33.4MPa에서 황산침지 90일 후 14.0MPa으로 압축강도가 급감하였다. 황산침지 후 시험체의 외관을 살펴보면, 유황콘크리트는 아무런 이상을 보이지 않으며 초기의 상태를 유지하고 있

것으로 볼 수 있다.

Table 5 Dimensions of artificial fishing reefs

Type	Width [mm]		Height [mm]	Weight [ton]	Design concept
	Basic	Maximum			
Fish reef	2,785	3,100	2,000	3.0	Fountain
Seaweed reef	2,793	2,940	1,060	2.5	Shell
Upwelling block	1,000	1,000	1,000	2.1	Cubic
Pipe reef	500	500	6,000	1.0	Hume pipe

Table 6 Configurations of artificial fishing reefs

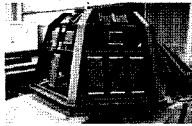


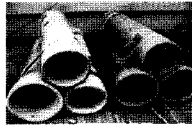
Type	Sulfur concrete	Plain concrete	Photos	Underwater location
Reef	Fish reef 1 EA	-		22 m
	Seaweed reef 1 EA	-		16 m
Upwelling block	1 EA	2 EA		22 m
Pipe reef	1SET(3 EA) (SI-polymer pipe)	1SET(3 EA) (Hume pipe)		22 m

Table 7 Test results of compressive strength(unit: MPa)

Curing age	Sulfur concrete	Plain concrete
0 day	57.8	33.0
30 days	53.9	30.0
60 days	53.8	32.4
90 days	42.7	33.4
150 days	41.8	36.2

Table 8 Test results of freezing and thawing(200 cycle)

Under seawater condition	Sulfur concrete	Plain concrete
90 days	88 %	92 %

는데 반해, 보통콘크리트는 표면의 시멘트 모르타르분이 용해되어 내부의 굵은 골재가 심하게 노출 되어있는 것을 확인할 수 있다. 이것은 유황콘크리트의 우수한 내화학적 특성을 입증한

Table 9 Test results of compressive strength(unit: MPa)

Curing age	Sulfur concrete	Plain concrete	Test condition
0 day	42.7	33.4	Under seawater 90 days after 10 % - H ₂ SO ₄
15 days	41.9	19.7	
30 days	41.0	17.9	
60 days	47.9	21.5	
90 days	40.3	14.0	

4. 표면조직관찰 및 용출시험

4.1 표면조직 관찰

유황콘크리트와 보통콘크리트 표면을 주사전자현미경(SEM; Scanning electron microscope, Hitachi S-2460N)으로 촬영하여 Fig. 2에 비교 검토하였다. 확대 비율은 200배와 10,000배 비율로 확대하였다. Fig. 2의 보통콘크리트 표면에 생성된 결정체들은 시멘트가 수화할 때 시멘트 중의 알루미늄과 석고가 반응해

Table 10 Test results of pH leaching

Curing age	Under distilled water condition	Sulfur concrete			Plain concrete		
		A	B	C	A	B	C
1 day	1 day	7.5	7.4	7.5	10.4	10.5	10.4
	3 days	7.6	7.6	7.5	11.9	11.8	11.7
7 days	1 day	7.3	7.4	7.4	10.5	10.3	10.5
	3 days	7.4	7.3	7.5	11.0	11.4	11.5
	7 days	7.5	7.4	7.5	11.5	11.8	11.0
28 days	1 day	7.2	7.2	7.3	10.1	10.0	9.9
	3 days	7.3	7.4	7.3	10.5	10.4	10.2
	7 days	7.4	7.4	7.5	11.1	10.9	10.8
	14 days	7.4	7.4	7.5	11.4	11.2	11.0
	28 days	7.4	7.5	7.5	11.5	11.4	11.3
	60 days	7.5	7.5	7.5	11.8	11.6	11.5

서 생기는 침상결정 광물인 Ettringite($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)로 사료된다. SEM 사진에서는 보통콘크리트 조직은 미세한 기공이 형성된 반면에 유황콘크리트 표면조직은 매우 밀실한 조직이 형성된 것을 알 수 있다.

4.2 알칼리 용출시험

유황콘크리트와 보통콘크리트의 알칼리 용출을 시험하기 위해 규격 250×250×250mm의 챔버를 제조하고, 시험 공시체로 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 원주형 공시체를 각각 제조한 후 공시체와 증류수의 중량비로 10g : 200ml의 비율로 설정하고, 공시체를 각각 3개(A, B, C)씩 1일, 7일, 28일간 기건 양생 후, 챔버에 증류수를 붓고, 공시체가 완전히 증류수에 잠기도록 한 후, 일정시간 경과 후 pH를 측정하였다. 측정결과 Table 10과 같이 유황콘크리트는 알칼리의 용출이 낮고, 보통콘크리트는 알칼리 용출이 매우 높게 측정되었다. 따라서 유황콘크리트의 표면 조직이 매우 밀실하기 때문에 독성의 용출이 나타나지 않았고, 알칼리의 용출도 거의 발생하지 않았다. 이것은 어류와 패조류를 대상으로 하는 해양구조물 특히 어초 용도의 재료로 유황콘크리트가 적합한 이유이다.

5. 수중모니터링

5.1 어초설치 적지선정 및 설치

유황콘크리트 어초의 실제 효과를 조사하기 위하여 투하 적지를 선정하고 유황콘크리트 시편, 공시체, 및 어초를 제작, 설치 후 수중모니터링을 실시하였다.

Table 4의 시험구 유황콘크리트 시편과 대조구 보통콘크리트 시편을 수중모니터링 지역으로 선정된 경북 울진군 북면 나귀리 석호항내에 설치하였고, Table 3의 공시체와 Table 5의 어초는 석호항 전방 동남쪽 1km 지점(37°06.182'N 129°23.441'E)에 투하 설치하고 수중관찰을 실시하였다. 어초 설치지역의 중앙부에는 난파선이 위치하고 있으며, 난파선 최상부 갑판의 수심은 14m, 하층부 갑판은 제거된 상태로 바다의 수심은 20~22m이다.

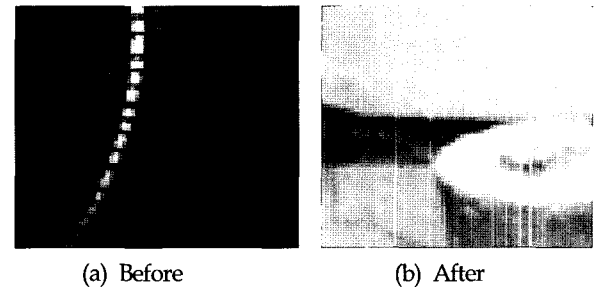


Fig. 1 Photos of chemical resistance test

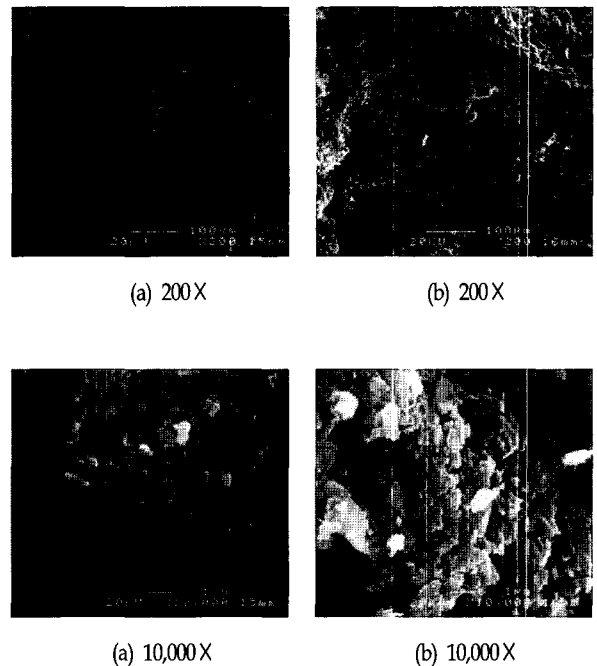


Fig. 2 SEM images of plain concrete surface(a) and sulfur concrete surface(b)

2006년 5월 6일 오전 11시에 유황콘크리트와 보통콘크리트 공시체 및 어초를 해당지역에 수중 투하하였다. 투하지역은 수심 14~22m, 폭 15~25m, 길이 약 50m구역이다. 투하지역의 수중 환경은 저질은 모래로 이루어져 있으며 시야는 약 5m, 수온은 섭씨 12°C였다. 난파선의 선체 주변에 미역, 모자반, 전복, 멧게, 성게, 해삼, 고동류 등이 관찰되었으며, 노래미, 양미리, 들돔, 우럭, 쥐치 등의 어류가 관찰되었다.

1차 조사는 2006년 8월 6~7일에 실시하였다. 수중환경은 시야 약 5~7m, 수온 10°C로 일반적인 여름철의 수중환경과는 큰 차이를 보이고 있었다. 평년과는 달리 낮은 수온은 7월말까지 이어진 강원, 경북지역의 집중호우로 동해안에 넓게 자리 잡은 냉수대의 영향으로 사료된다. 어초의 표면은 집중호우 시 육상부에서 유입된 것으로 판단되는 황토색의 토사들이 얇게 앉아 있었고, 두드러지는 저서생물의 부착은 아직 보이지 않고 있었다. 유황콘크리트 어초의 주변에 로프를 중심으로 미더덕, 연산호류 및 치어군집이 관찰되었고 보통콘크리트 시편주위에서는 집게류 및 불가사리 등이 관찰되어 큰 차이를 보이지 않았다. 6월말부터 시작된 장마와 집중호우의 영향으로 냉수대(10°C 전후)가 장기간 폭넓게 형성되어 해양생물들의 부착과 활동에 영향을 준 것으로 판단된다.

2차 조사는 2006년 11월 4~5일에 실시하였다. 수중환경은 시야 약 4~6m, 수온은 표층에서 16°C 저층 22m에서 12°C의 온도 분포를 보였다. 조사시기 직전에 강원, 경북 동해지역을 강타한 폭풍의 영향으로 해안 주변의 많은 구조물들이 파랑과 파도의 영향으로 파괴되거나 변형되었다. 유황콘크리트 공시체, 보통콘크리트 공시체, 및 어초 설치 해역도 상당부분 영향을 받아 일부 설치물들이 원래 설치지역으로부터 이격되어 있었다. 따개비류, 히드라류와 해삼, 관갯지렁이류, 소형갑각류, 등각류 등이 유황콘크리트 어초의 표면에서 관찰되었고 일부 패류와 갯민숭달팽이류 등도 관찰되었다.

유황콘크리트 어초 프레임의 표면은 부식이 진행되고 있었고 부착된 유황콘크리트 판넬에는 생물들의 부착이 두드러졌다. 난파선 선체주변과 어초 주위는 우럭과 노래미 및 미상의 소형 어류군집이 관찰되었고, 보통콘크리트 어초에서는 생물의 부착 정도는 유황콘크리트 어초에 비해 다소 적었으나 바다 기질과의 틈에 묻어, 표면에 별불가사리, 상부의 평평한 곳에 노래미 등이 관찰되었다.

3차 조사는 2007년 2월 23~25일에 실시하였다. 수중환경은 시야 4~5m, 수온은 표층 수온이 17°C 저층 20m에서 11°C의 온도 분포를 보였다. 수심 16m와 22m에 위치한 패류형 및 어류형 유황콘크리트 어초의 철골구조물에는 부식이 진행되고 있었고 표면에서는 모자반 등 해조류가 정착하였다. 어초 상부쪽 유황콘크리트 판넬과 로프에는 우렁쟁이, 소형 고동류 및 섬유세닐말미잘이 자리를 잡고 성장하고 있었으며 어초의 상부에 우럭군집이 지속적으로 관찰되었다. 어초의 내부 음영이 있는 곳에는 대형의 우럭들이 자리를 잡고 있었다. 보통콘크리트 육면체 블록의 상부에 노래미가 관찰되었고 표면에는 관갯지렁이류 및 따개비류가 자리를 잡고 있었다. 흙관의 표면에서는 해조류의 부착은 관찰되지 않았고 집게류와 따개비 등이 성장하고 있었고

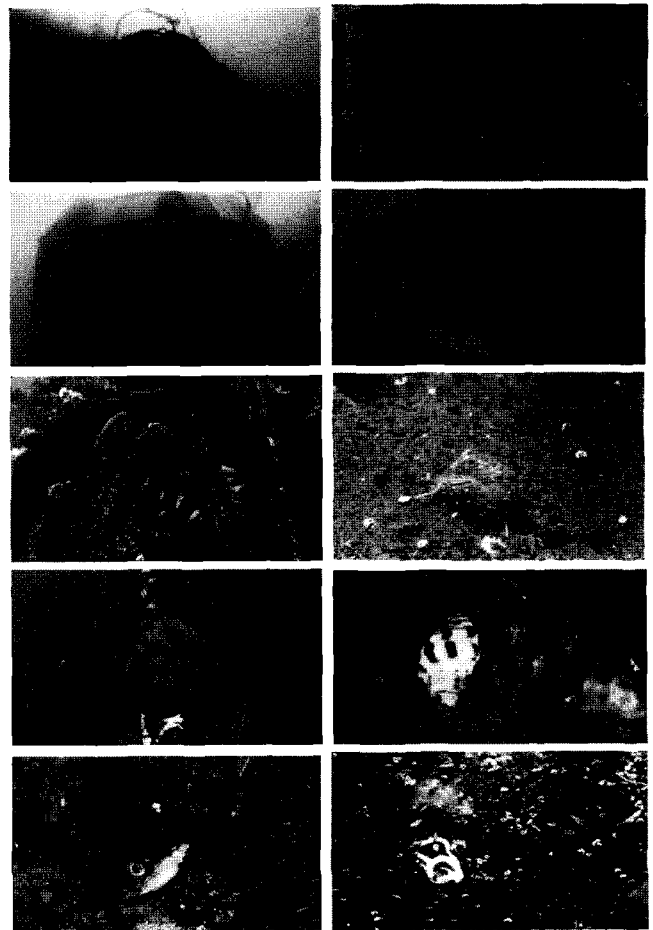


Fig. 3 Photo images of sulfur concrete artificial fishing reefs and attached marine organism

흙관 주변에 소형어류군집이 관찰되었다.

6. 결 론

본 연구를 통해 아래와 같은 연구결과를 얻었다

(1) 본 연구에서 유황콘크리트의 인공어초 용도에 대한 강도 특성은 충족됨을 확인할 수 있었다. 또한 본 연구를 통해 해양 환경에 대한 유황콘크리트의 설계기준강도를 50MPa 이상으로 상향 조정할 추가 시험이 필요한 것으로 판단된다

(2) 해수침지 90일 후 유황콘크리트의 내구성지수 88%를 달성하였다. 비록 대조구인 보통콘크리트의 92% 보다는 낮은 값이 나타났지만, 해수환경에서 거의 동결융해의 영향이 없다는 점을 감안할 때 유황콘크리트의 장기내구성에 대한 동결융해 저항성은 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

(3) 해수침지 90일 후 10% 농도의 황산(H₂SO₄) 용액에 침지된 유황콘크리트는 초기 42.7MPa에서 거의 강도저하를 보이지 않는데 반해, 보통콘크리트는 초기 33.4MPa에서 황산침지 90일 후 14.0MPa으로 압축강도가 급감하였으며, 황산침지 후 시험체의 외관을 살펴보면, 유황콘크리트는 아무런 이상을 보이

지 않으며 초기의 건전한 상태를 유지하고 있는데 반해, 보통 콘크리트는 표면의 시멘트 모르타분이 용해되어 내부의 굵은 골재가 심하게 노출 되어있는 것을 확인할 수 있다. 이것은 유황콘크리트의 우수한 내화학적 특성을 상대적으로 입증한 것으로 볼 수 있다.

(4) 유황콘크리트는 시멘트를 결합재로 사용하지 않은 반면 표면 조적이 매우 밀실하기 때문에 알칼리의 용출이 거의 발생하지 않았다. 따라서, 어류와 패조류를 대상으로 하는 해양구조물 특히, 어초 용도의 재질로 사용이 적합하다고 판단된다.

(5) 본 연구의 강도시험에 있어서, 기존의 연구결과와는 달리 해수환경에서 유황콘크리트의 강도가 일부 저하되었다. 현재 그 원인을 순환골재(잔골재)의 사용으로 추정하고 있는데 추가적 시험 및 검토가 필요한 것으로 판단된다.

(6) 본 연구를 통해 유황콘크리트에 해양생물 부착 기질은 거친 표면이 더욱 유리한 것을 확인하였으며, 이에 다공성 유황콘크리트에 대한 기초 배합 및 실험이 추가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

(7) 향후, 지속적인 수중 모니터링을 통해 유황콘크리트 시험구와 보통콘크리트 대조구의 장기적인 차이점 즉, 해조류, 패류, 어류의 위집상황을 관찰할 필요가 있다.

후 기

본 연구는 (재)경북해양바이오산업연구원과 울진군의 지원으

로 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 고경택, 장일영, 김성욱, 이광명 (2004). "해양 콘크리트 구조물의 재료 및 시공", 한국콘크리트학회지 제16권, 제6호, pp 26-30.
- 이정우 (2005). "인공어초 이용한 해중생태 공원조성방안", 한국수중과학회논문집 제6권, 제1호, pp 17-21.
- 윤재환 (2006). "유황콘크리트의 내구성에 관한 실험적 연구" 대한건축학회논문집 구조계 제22권, 제6호, pp 95-102.
- 한국건설품질연구원(주) (2007). 특수콘크리트 배합설계.
- 홍종현, 김문훈, 김석철, 박성배, 류성필 (2005). "연산호 육성용 어초 개발을 위한 송이 다공성 콘크리트의 적용성에 관한 실험적 연구", 한국해양공학회논문집 제19권, 제4호, pp 28-34.
- (주)삼성산업 (2006). 유황콘크리트 해양 적용 기술 개발 경북 전략산업기획단.
- Horii, H., Tsushima, J. and Nakano, Y. (2006). "Experimental Study on Application of Modified-Sulfur Concrete for Port and Harbor Structures", Concrete Journal, Vol 44, No 6, pp 9-15.

2007년 3월 26일 원고 접수

2007년 5월 14일 최종 수정본 채택