

연산호 육성용 어초 개발을 위한 송이 다공성 콘크리트의 적용성에 관한 실험적 연구

홍종현* · 김문훈* · 김석철** · 박성배** · 류성필***

*탐라대학교 토목환경공학과

**IDEA-AISA

***제주대학교 해양과학대학 환경공학과

An Experimental Study on the Application of Porous Scoria Concrete to Artificial Reefs for Soft Coral

CHONG-HYUN HONG*, MOON-HOON KIM*, SEOK-CHEL KIM**, SUNG-BAE PARK** AND SEONG-PIL Ryu***

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

**IDEA-AISA, Seogwipo, Korea

***Department of Environmental Engineering, College of Science, Cheju National University, Jeju, Korea

KEY WORDS: Jeju Scoria 제주송이, Artificial Reef 인공어초, Mix Design Model 배합설계모델, Porous Concrete 다공성콘크리트, Soft Coral 연산호

ABSTRACT: In the study application of volcanic scoria concrete to artificial reefs is investigated. Volcanic scoria is a natural volcanic product that shows light weight, milli-porous, and far-infrared irradiation characteristics. The properties of volcanic scoria concrete using Jeju scoria aggregate are evaluated by conducting a comprehensive series of tests on strength and void ratio. It is concluded that the volcanic scoria concrete has the sufficient strength of 4MPa-13MPa and adequate void ratio of 12%-35% to be accepted as artificial reef concrete. The field experiments are performed through observation by scuba diver's at the Seogwipo coast. Porous specimen and plane concrete specimen are prepared for comparison purposes. Seasonal changes of soft coral on the two series of test specimens were have been observed from Apr. 9, 2004 to Mar. 18, 2005. The soft coral is well grown on the porous specimen however there are no significant changes on the conventional plain concrete specimen. Thus it is concluded that the volcanic scoria concrete is highly suitable as artificial reef concrete.

1. 서 론

1990년대 WTO 체제에 따른 세계무역질서의 재편, UN의 해양법 발효, 세계 연안국의 조업규제 강화 등 어업 여건이 급속히 변화되고, 수산자원의 남획, 어장환경의 오염, 간척 등 각종 개발 사업으로 서식지 감소로 인해 수산물의 생산성이 둔화된 반면, 국민소득의 증대 및 삶의 질 향상으로 수산물의 수요는 큰 폭으로 증가하고 있다. 따라서, 기르는 어업과 근해 어업자원 확보를 위한 인공서식지 즉, 인공어초 조성의 필요성과 중요성이 높아지고 있다. 인공어초는 수산자원 증대를 위한 인위적인 수중 구조물로 직접적인 자원증대 외에도 해조장 조성을 통한 자원증식, 생태계 기능회복을 위한 서식지 확보, 낚시터 개발이나 스포츠·레저 다이빙 장소 개발 등 해양 레크레이션 여건 조성에도 쓰이는 등 최근에 인공어초의 활용도가 다양해지고 있다(제종길 등, 2003; 카키모토 히로시, 2003; Bohnsack, and Suther I Land 1985).

어초 관련 연구는 일본이 수산환경과 정책적 상황을 고려하여 최초 연구를 시작, 타국에 비하여 압도적인 노하우가 축적되어 있어 어초사업의 90% 이상 성공률을 나타내고 있다. 관련서적과 논문은 수 백편에 달하며, 일본수산자원보호협회에서는 어초 이론과, 제작에서 시공까지 수산학과 공학을 융합시킨 전문서적을 발간한 바 있다. 우리나라도 1990년대부터 본격적으로 어초 연구를 시작하였으나, 전문 지식의 부족과 시행오류로 현재 절반의 성공에 그치고 있어 학계의 대폭적인 관심과 지원이 요구된다(일본수산자원보호협회, 1978; 제주대 해양과학연구소, 2003).

현재, 인공어초의 99%가 콘크리트 인공어초이고 최근에 강제 어초가 개발 보급되고 있다. 산업폐기물이나 건설폐기물은 인공어초로 재활용될 가능성이 매우 높다. 최근에 해양수산부가 강제 폐어선을 어초로 재활용한 실적이 있고, 한국자원재생공사에서는 폐비닐을 사용한 인공어초를 개발하였고, 폐전구가 일반어초로 지정되었으며, 황토와 폐각을 사용한 어초가 상용화되고 있다. 세라믹 어초의 경우, 종래의 콘크리트 어초에서 발생하는 강한 알칼리 방출 문제는 해결되었으나, 세라믹의 제조과정상 높은 열을 이용하기 때문에, 다량의 이산화탄소 발생, 경제성 문제, 그리고 내구성 문제가 지적되고 있다

제1저자 홍종현 연락처: 제주도 서귀포시 하원동 산70번지
064-735-2115 jhhong@tnu.ac.kr

(김문훈 등, 2002; 제주지역특허정보지원센터, 2003; 홍종현 등, 2003; 홍종현 등, 2004; 해양수산부, 2002).

따라서, 본 연구에서는 제주송이, 황토, 그리고 시멘트를 사용한 기능성 콘크리트를 제조하여 해조류의 정착에 적합한 어초 재료를 개발하고자 한다. 제주송이(Scoria)는 다공성으로 비표면적이 크며, 흡착능력이 우수하다. 활성탄과 유사한 제주 송이의 다공구조는 흡착에 유리하다는 성질을 최대한 이용하여 해조류의 부착과 생육에 유리한 기능성 콘크리트를 개발하고자 한다. 황토는 원적외선 기능, 악취제거, 항균 효과, 방충 효과, 항곰팡이 효과, 제습효과가 있다(황해주, 2003). 특히, 시멘트의 강알칼리를 완화하는 효과가 있다. 한편 송이를 사용한 기능성 콘크리트는 어초 재료로 사용되기 위해서는 한국산업기전에서 제시하는 어초 재료로서의 압축강도 등의 물리적 성질을 만족해야 한다(산업자원부 GR 품질규격, 2001).

본 연구에서는 송이골재를 사용한 다공성 콘크리트의 제조 방법을 제시하고, 송이골재의 치수에 따른 다공성 콘크리트의 압축강도, 공극률, pH에 관한 실험을 수행하고, 어초로서의 최적 배합조건을 제시하고, 본 배합비로 제조된 다공성 콘크리트의 해조류와 연산호의 부착 효율 측면에서 실험적 연구를 수행하였다. 따라서, 송이를 사용한 다공성 콘크리트 시편의 해중 투하 후 내구성과 해조류 및 연산호의 부착과 성장에 관련한 수중조사가 수행되었다.

2. 실험재료 및 배합설계

2.1 실험재료

송이를 사용한 다공성 콘크리트는 제주송이, 황토, 시멘트, 혼합제로 구성된다. 송이는 한반도 내에서는 제주도 지역에만 분포된 광물로 제주도 내에서도 지역에 따라 조금씩 차이가 있으나 입자가 수cm 정도의 조립질로 기공이 많고, 매우 가벼우며, 색깔은 적갈색, 황갈색, 흑색 및 암회색을 띤다. Table 1은 본 연구에 사용된 송이의 화학성분 특성을 나타낸 것이다. 송이의 주성분은 $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ 의 함량이 77.42%로 안정된 화학조성을 갖고 있다. TiO_2 성분은 2.65% 함유되었는데, 일반적으로 2%-7% 범위를 함유하고 있다. 송이는 다공성으로 비표면적이 크기 때문에 오염물질을 신속히 빨아 당길 수 있는 흡착제 역할을 하고 흡착된 오염물질은 광촉매 작용에 의해 광분해 된다. 따라서, 송이는 흡착재료로서 최적의 조건을 갖추고 있다.

시멘트는 고로슬래그 시멘트를 사용하였다. 고로슬래그 시멘트는 보통포틀랜드시멘트에 비해 수소이온농도지수(pH)가 낮고 제철 과정에서 발생된 고로슬래그를 재활용한다는 의미도 있다.

황토 미분말은 분말도 $2000cm^2/g$ 이상의 완전건조 한 미분쇄 황토를 사용하고, 시멘트의 10중량% 대체 사용하여 포졸란 반응으로 인한 장기강도 증진과 시멘트의 강알칼리성을 감소시킬 목적으로 사용된다.

혼화제는 시공성과 단위수량 감소를 위해 Table 2와 같은 특성을 갖는 M사의 AE감수제를 사용하였다.

Table 1 Chemical composition of scoria and cement(wt.%)

구분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
S	47.48	16.93	13.00	7.45	4.37	1.63	3.54	2.65	0.16	0.64
C	26.24	11.05	1.83	53.29	3.75	0.48	0	0	0	0

* S: Scoria, C: Slag Cement

Table 2 Properties of AE water reducing agent

Type	Color	Main component	Specific gravity
Liquid	Dark brown	Naphtalene Sulphonate	1.2±0.02

2.2 배합설계

송이 콘크리트에 사용된 송이골재의 밀도와 흡수율 등의 물리적 성질은 Table 3과 같고, 골재는 5-10mm, 10-20mm, 20-30mm 단입도 골재를 사용하였다. 중량이 가볍기 때문에 천연경량골재로 분류되고, 흡수율이 20% 이상으로 매우 높다. 제주송이는 상온(40°C)에서 92%의 높은 원적외선 방사율을 갖는 광물이고 골재의 입자는 수많은 미세공극을 갖고 있어 미생물의 번식에 유리한 구조이다. 배합설계는 물-시멘트비(W/C)를 25%로 고정하고, 시멘트의 단위량을 240kg/m³, 320kg/m³, 400kg/m³으로 증가시켰을 때, 강도와 공극률, pH의 변화량을 관찰하고, 어초로서의 최적 배합비를 도출하고자 하였다. 송이 콘크리트는 소형 전동식 믹서를 사용하여 계획된 배합비에 따라 제조하였고, 실험 전 프리웨팅을 한 표면건조포화상태의 송이골재를 사용하였다. 혼합방법은 송이와 시멘트 및 황토미분말을 투입한 후 1분간 혼합을 하고, 최종적으로 물과 AE감수제를 혼합하여 투입한 후 2분간 혼합을 하여, 사각물드와 시험체에 타설하고 습윤양생을 하였다. 28일후 강도시험, pH시험, 공극률시험을 수행하였고, 최종 배합비는 Table 4의 배합비로 설정하였다. Table 4의 배합비로 제조된 다공성 블록을 절단기를 사용하여 사각 다공성 콘크리트 시편을 제조하였고, 수중 관찰 위치에 설치하였다. Photo 1은 다공성 콘크리트판의 표면 확대 사진을 나타내고 있다. 적색의 송이 입자와 골재 사이의 공극과 요철이 해조류의 부착에 유리하다는 것을 알 수 있다.

Table 3 Particle size, density and water absorption of coarse aggregate

Particle Size	Un-compacted Bulk Density	Apparent Particle Density	Dry Particle Density	Saturated Surface Dry Particle Density	Water Absorption
5-30 mm	0.77 ton/m ³	1.92 ton/m ³	1.51 ton/m ³	1.70 ton/m ³	25.6 %

3. 강도시험 및 해석

3.1 압축강도

송이 다공성 콘크리트를 제조하기 위해 실험변수로 단위 결합재를 240kg/m³-400kg/m³ 범위로 사용하고, 단입도 골재치수 5-10mm, 10-20mm, 20-30mm를 사용하여 KSF 2405의 기준으로 압축강도 시험을 수행하였다. 시험결과를 Fig. 1에 나타내었다. 다공성 콘크리트의 제조를 위해서 잔골재는 사용하지 않고 굵은 골재만을 사용하였다. 송이의 함수량은 25.6%, 비중은 1.70, 단위용적중량 966kg/m³의 것을 사용하였다. 강도시험 결과, 식생을 목적으로 콘크리트를 제조하는 경우 송이 굵은골재의 입도치수가 5~10mm, 10~20mm, 20~30mm의 단입도일 때 그리고 결합재 240~400kg/cm³의 범위에서 각각 식물생장을 위한 최소 공극률 10% 이상, 압축강도 4MPa 이상을 갖도록 설계하는 것이 가능하였다(성찬용과 윤준노, 2002). 바람직한 결합재의 양은 240~320kg/m³ 범위이다. 단입도 골재치수가 커질수록 공극률은 향상되나 압축강도는 감소한다. 따라서 공극률 30% 이상, 압축강도 4MPa 이상의 식생콘크리트 제조를 위해서는 송이 굵은골재 10~20mm 치수를 사용하고, 결합재 240kg/m³-320kg/m³ 범위로 배합설계 하는 것이 바람직하다. Table 4의 최종 확정 배합비에서 ()는 혼화제로 사용된 황토의 단위량을 의미한다. Table 5는 Table 4에 의해 제조된 송이 콘크리트의 강도특성을 나타낸 것이다.

3.2 pH

공시체(φ100×200)의 재령 28일에 pH 측정을 수행하였으며, 다공성 콘크리트의 pH는 KS M 0011에 의한 물붓기 방법을 사용하였다. 즉, 시험체 상부에 60ml의 증류수를 산포하여 하부에 흘러내린 증류수의 pH를 측정하였다. 시험결과 송이 다공성 콘크리트 시편의 pH 범위는 8~9로 나타났다. 종래의 보통콘크리트인 경우 재령 7일에 측정하는 경우 pH가 12 정도로 강알칼리성을 나타낸다. 쇄석골재를 사용한 다공성 콘크리트의 경우 28일 양생후 측정했을때, pH가 9-10의 범위로 보고되고 있다. 송이 다공성 콘크리트의 경우 결합재로 고로슬래그 시멘트를 사용하고 혼화제로 황토미분말을 사용했기 때문에 pH가 종래의 콘크리트보다 현저히 낮게 측정되었다. 한편, 식물이 성장하기에 적합한 pH는 보통 5-8의 범위이고, 최소 9 이하가 유지되는 것이 바람직하다(이준우, 2003).

3.3 공극률

공극률시험은 φ150×300인 시험체를 재령 28일에 아래의 식으로 산출하였다.

$$P_o = \left\{ 1 - \frac{W_2 - W_1}{V} \right\} \times 100 \quad (1)$$

여기서 P_o = 콘크리트의 공극률(%), W₁ = 공시체의 수중중량(g), W₂ = 24시간 방치 후 기건중량(g), V = 시험체의 용적(cm³)

공극률은 5-10mm 골재를 사용한 경우의 다공성 콘크리트가 10-20mm, 20-30mm 골재를 사용한 경우보다 낮게 나타났다. 이것은 골재의 치수가 작은 경우, 밀실하게 다져지게 때문에 공극이 좁아지기 때문이다. 5-10mm 골재를 사용한 다공성 콘크리트의 공극률은 Fig. 2와 같이 공극률이 12%-24% 범위이고, 10-20mm 골재를 사용한 경우는 20%-33% 범위이고, 20-30mm 골재를 사용한 경우는 23%-35% 범위로 나타났다. 해조류의 착생이 용이하도록 매우 높은 공극을 형성한 것을 알 수 있다.

Table 4 Suggested mix design

Cement (Loess)	Coarse Aggregate	AE Agent	Water Mix to 0-20mm Slump
320kg/m ³ (30kg/m ³)	966kg/m ³	2.25kg/m ³	approx. 80kg/m ³

Table 5 Compressive strength

Stripping Strength (24 hours)	7 Day Strength	28 Day Strength	Void Ratio
1MPa	Excess of 2MPa	4MPa	Over 28%

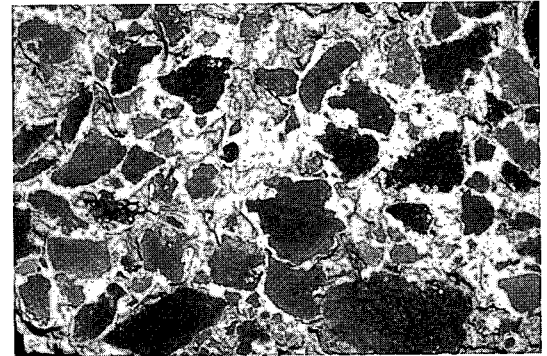


Photo 1 Photograph of volcanic scoria concrete

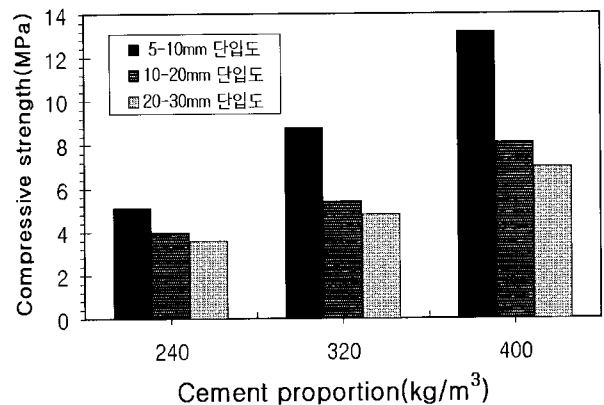


Fig. 1 Relationship between compressive strength and cement proportion according to aggregate sizes in case of W/C=25%

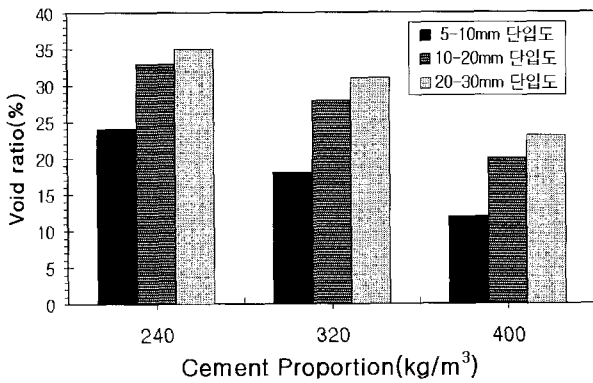


Fig. 2 Relationship between void ratio and cement proportion according to aggregate sizes in case of W/C=25%

4. 수중 관찰 및 해석

비교조사를 위해 다공성 송이 콘크리트 시편과 일반 콘크리트 시편을 각각 12개(25X50cm) 해중에 투입하였다. 조사기간은 2004년 04월 09일부터 2005년 03월 18일까지 약 1년간 조사를 하였다. 시편은 제주도 서귀포시 서귀포 항 남쪽 500m 지점의 녹도(문섬)에 설치하였다. Fig. 3과 같이 녹도 북서쪽 Site 1 지역과 Site 2 지역을 선정 시험시편을 해중 설치하여 조사하였다. 수중 조사는 Site 1 지역과 Site 2 지역 각각 30회씩 총 60회 35시간 잠수조사를 수행하였다.

조사지역의 환경은 Site 1 지역에서는 시험시편 설치 시 수중 조건이 수직절벽에 가까운 경사각도로 이루어진 상태라 시험시편 설치가 용이하지는 않았지만 수심 12m와 25m에 일조량을 많이 받을 수 있고 포자 부착이 용이하도록 수평각을 유지시켜 설치하였다. 수중 생태환경은 조간대가 잘 발달되었고 12m까지는 무성한 해조지역으로 형성되었고, 수심 40m까지는 연산호 군락으로 형성되어 있다. 특히, 수심 12m를 경계로 하며 조군락(감태)과 산호군락의 경계가 확실한 구분으로 나누어져 있어서 타종의 생존이 거의 없는 특이한 환경조건이다. 조류는 남해안의 특성상 심하지는 않지만 최근 서귀포의 항만 확장공사로 조도(세섬)에서 녹도(문섬)를 향하여 축조된 방파제로 인하여 조류의 병목현상이 갑자기 심하게 나타나고 있으며, 수온은 년 평균 14°C에서 25°C정도로 제주도에서도 평균수온이 가장 높은 지역이고, 파도는 녹도 지역 중 가장 파도의 크기가 작으며 안정된 지역이다. Site 2 지역은 시험시편 설치 시 수중 조건이 15m까지는 경사각 45° 이고 26m까지는 수직절벽에 가까운 경사각도로 이루어진 상태이고 시험시편은 수심 12m의 절벽 흠에 끼우고 26m 위치에서는 수평각을 유지시켜 설치하였다. 수중 생태환경은 조간대가 잘 발달되었고 15m까지는 무성한 해조지역으로 형성되었고, 수심 30m까지는 연산호 군락으로 형성되어 있다. 조류와 파고는 Site 1 지역보다 조금 더 심한 지역이다.

수중부유물과 수중시야를 조사한 결과 일별과 계절별로 각 구분을 한다면 일출 이후 가장 수중 혼탁도가 좋을 때 수

중시야가 10m~15m로 시작하여 점차적으로 일몰시가 가까워질수록 2m~3m 까지 나빠지기도 한다. 계절별로는 수온이 높은 6월 부터 10월까지가 시야가 나쁜 편이다.

수면에서 12m까지는 모자반과 감태의 군락지역으로서 해조류 및 패류의 부착현황 및 성장현상을 관찰하였다. 그리고 수심 15m~17m 지역에서는 수초군락과 연산호의 경계지역으로 패류와 고등류의 부착 및 산란에 관한 조사를 하였고, 수심 25m~27m 지역에서는 연산호의 군락지역으로서 연산호의 생태 및 번식에 관한 조사가 수행되었다.

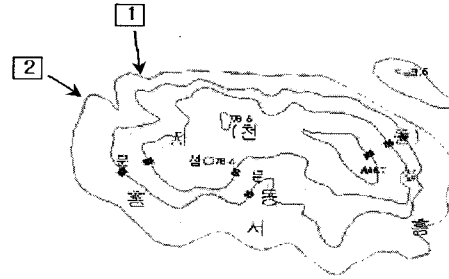


Fig. 3 Map showing locations of study area at Nokdo coast of Jeju island

Table 6 List of photographs of porous specimen and plain concrete specimen during tul Dresden

Photo	Site	Description	Depth	Date
Photo 2	1	(a) Installation of porous specimen	15m	04.04.09
	2	(b) Installation of plain concrete specimen	12m	04.04.09
Photo 3	1	(a) Spawning of shellfish in the porous specimen	15m	04.05.13
	2	(b) Spawning of shellfish in the porous specimen	12m	04.05.15
Photo 4	1	(a) Soft coral adhered to the porous specimen	25m	04.09.17
		(b) Soft coral grown up on the porous specimen		05.03.16
Photo 5	2	(a) seaweed adhered to the porous specimen	12m	04.09.17
		(b) Seaweed grown up on the porous specimen		05.03.16
Photo 6	2	(a) Seaweed planting its roots deeply in the porous specimen	12m	05.03.16
		(b) Seaweed flourishing on the porous specimen		
Photo 7	2	(a) Moss growing on the plain concrete specimen	12m	04.09.17
		(b) Plain concrete specimen after one year		05.03.16

Photo 2는 다공성 시편과 일반콘크리트 시편의 투하 후 전경 사진을 나타내고 있다. Photo 3은 다공성 시편 상면에 패류 산란 전경(a)과 다공성 시편 상면에 고등류 산란 전경(b)을 나

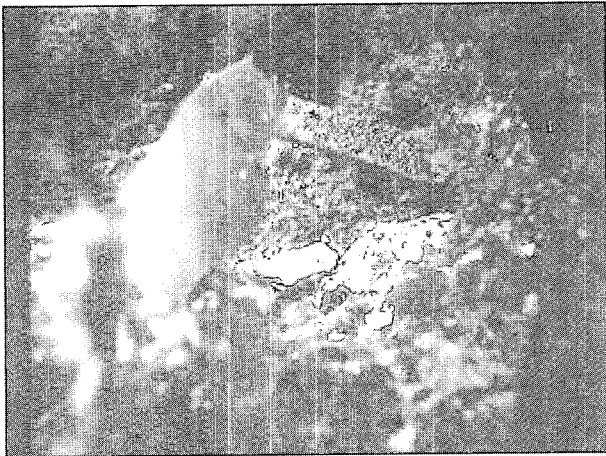


(a)

Photo 2 Installation of porous and plane concrete specimen

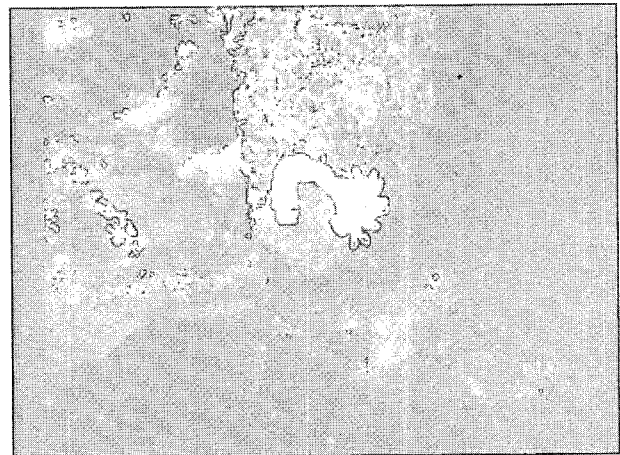


(b)

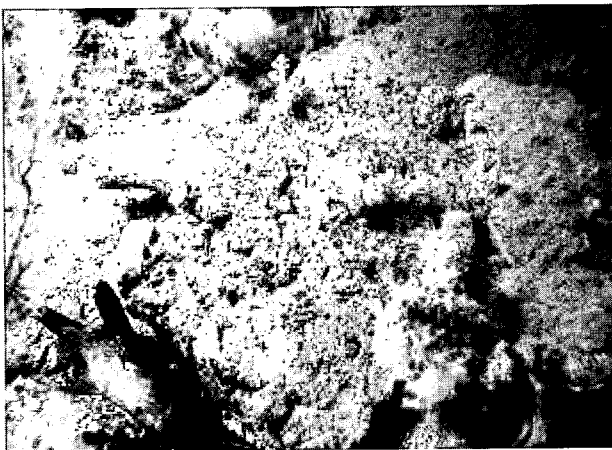


(a)

Photo 3 Spawning of shellfish in the porous specimen



(b)

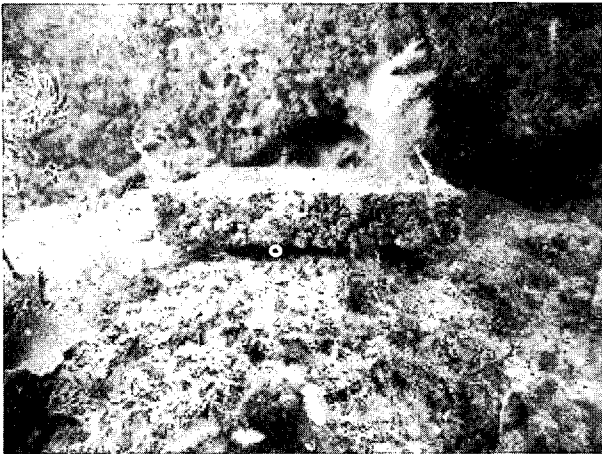


(a)

Photo 4 Coral adhered and grown up on the porous specimen



(b)



(a)
Photo 5 Seaweed grown up on the porous specimen



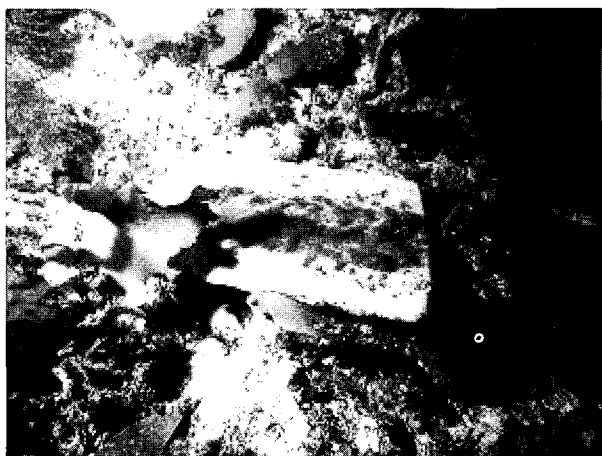
(b)



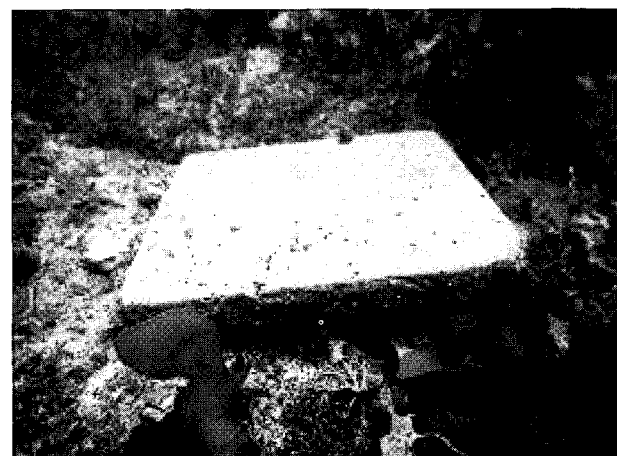
(a)
Photo 6 Seaweed flourishing on the porous specimen



(b)



(a)
Photo 7 Plain concrete specimen after one year surveying



(b)

타내고 있다. Photo 4는 다공성 시편에 작은 연산호가 부착된 전경(a)과 연산호가 성장하는(b)는 사진을 나타내었다. Photo 5는 크기 2cm의 작은 모자반 껍이 부착된 사진(a)과 11m의 모자반이 성장하는 사진(b)을 나타내었다. Photo 6은 다공성 시편에 모자반 뿌리가 완벽히 착상한 사진(a)과 다공성 시편 상면에 모자반이 숲을 이룬 사진(b)을 나타내고 있다. Photo 7은 일반콘크리트 시편에 이끼가 발달하는 사진(a)과 1년 후의 사진(b)을 나타내고 있다.

2004년 4월~5월 수중관찰에서 Site 1 지역과 Site 2 지역의 다공성 시편에서는 고등류의 산란이 수차례 관찰된 것으로 보아 고등류의 산란시기 입을 관찰 하였고 일반콘크리트 시편은 이끼류만 일부 성장이 관찰되었다. 6월~7월 관찰 상태는 다공성 시편에서 갈색의 이끼류가 일부 관찰되었고, 일반콘크리트 시편에서는 녹색 이끼류가 성장이 빠르게 진행 되는 것이 관찰되었다. 8월~9월 관찰 상태는 수차례 태풍으로 Site 1~2지역 12m의 시험시편이 유실 또는 파괴되어 재설치를 하였다. 8월 말 Site 1 지역의 25m에 설치한 다공성 시험시편에서 연산호의 작은 폴립 껍이 서서히 자라기 시작했고 9월초 Site 2 지역 12m에 위치한 다공성 시편에서는 모자반의 껍이 자라기 시작하였다. 일반콘크리트 시편이 9월 태풍의 영향으로 녹색 이끼류가 70% 이상 없어졌으며, 10월~11월 관찰 상태는 다공성 시편에서 10월 초 발생한 태풍에도 아무 영향을 받지 않았다. Site 1 지역의 25m 수심에서의 다공성 시편은 산호가 이상 없이 잘 자라는 모습이 관찰되었고, Site 2 지역의 12m 위치에 설치한 다공성 시편에 모자반이 잘 자라고 있는 것을 관찰하였다. 일반콘크리트 시편에서는 녹색 이끼류가 거의 없어진 상태를 관찰하였다. 2005년 3월의 관찰 상태는 Site 1 지역 25m 지점에 설치한 다공성 시편에서 성장하는 연산호는 완전히 성장하여 주변에 산호들과도 구분할 수 없을 만큼 자랐고 Site 2 지역 12m 위치에 설치된 다공성 시편에서 자라는 모자반은 길이가 11m 이상 성장한 것으로 관찰되었고 Site 1~2 지역의 일반콘크리트 시험시편은 이끼류가 면적대비 5% 이내로 관찰되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 제주송이를 사용한 다공성 콘크리트의 강도 특성과 어초 재료로서의 활용가능성에 관하여 실험적 연구를 수행하였다. 시편을 해중에 설치한 후 1년간의 모니터링을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 다공성 콘크리트의 배합비는 결합재 320kg/m³, 송이 골재 966kg/m³, AE감수제 2.25kg/m³, 그리고 물 80kg/m³로 제조되는 경우 압축강도 5MPa 이상 그리고 공극률 28% 이상을 확보할 수 있다고 판단된다.
- (2) 고로슬래그 시멘트와 혼화제로 황토미분말을 사용하기 때문에 시험체의 pH가 9이하로 나타나며 해조류의 착상에 유리한 조건을 갖추고 있다.
- (3) 수중조사 결과, 일반 콘크리트 시편에는 패류나 고등류가 부착이나 산란을 하지 않았지만, 다공성 콘크리트 시편에는 패류

나 고등류가 산란하기 때문에 어초 재료로서 유리한 조건을 가지는 것으로 판단된다.

- (4) 분홍 연산호가 다공성 콘크리트 시편에 쉽게 착생한다는 것은, 무수한 공극과 원적외선 방사 등의 송이골재 자체의 특성과 시편의 다공구조 때문인 것으로 판단된다.
- (5) 모자반의 뿌리가 다공성 재료에 쉽게 착생하는 것은 자연상태의 착생 조건 보다 더욱 견고한 지지기반을 제공하는 것으로 판단된다.
- (6) 수중관찰 결과, 송이 다공성 콘크리트 시편은 연산호나 패류의 착생을 목적으로 한, 어초 재료로서의 역할을 충분히 수행한다고 판단된다. 향후, 대규모 실험을 통해 그 효과를 검증하는 연구가 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- 김문훈, 홍종현, 박기영, 정동영 (2002). "재생골재 콘크리트를 사용한 인공어초 제조기술", 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp 699-702.
- 산업자원부 GR 품질규격 (2001). 재활용 골재 콘크리트 인공어초(GR F 4022).
- 성찬용, 윤준노 (2002). "폐석과 석분을 사용한 식생 콘크리트의 특성", 한국농공학회논문집, 제44권, 제3호, pp 85-91.
- 이준우 (2003). 식생 콘크리트의 pH 저감방안에 대한 실험적 연구, 영남대학교 대학원 석사학위논문.
- 일본수산자원보호협회 (1978). 인공어초의 이론과 실제(I)(II).
- 제종길, 이형근, 신상호 (2003). 경기도 연안 인공어초의 수중관찰, 한국수중과학기술, pp 9-26.
- 제주대 해양과학연구소 (2003). 2002, 2001년 해중림 조성용 인공어초 효과 조사보고서.
- 제주지역 특허정보지원센터 (2003). 인공어초의 기술동향 및 특허분석.
- 카키모토 히로시 (2003). "외국의 인공어초", 한국수중과학기술 논문집, pp 37-47.
- 홍종현, 김문훈, 우광성 (2003). "인공어초 개발을 위한 재생골재 콘크리트의 실험적 연구", 한국해양공학회논문집, 제17권, 제4호, pp 16-22.
- 홍종현, 김문훈, 고성현, 우광성 (2004). "인공어초용 재생골재 콘크리트의 최적 배합설계 모델", 한국해양공학회논문집 제18권, 제1호, pp 53-62.
- 황혜주 (2003). "황토재료가 동식물의 성장에 미치는 영향에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집 구조계, 제19권, 제7호, pp 103-110.
- 해양수산부 (2002). 인공어초 향후실태 및 개선방안 보고서.
- Bohnsack, J.A. and Sutherland, D.L., (1985). "Artificial Reef Research : a Review with Recommendations for future Priorities", Journal of Marine Science, Vol 37, pp 11-39.

2005년 4월 14일 원고 접수

2005년 7월 19일 최종 수정본 채택