

# 패분 콘크리트의 비파괴 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Nondestructive Properties of Crushed Oyster Shell Concrete

성 찬 용\* · 서 대 석\*\* · 민 정 기\*  
Sung, Chan Young · Seo, Dae Seuk · Min, Jeong Ki

### Abstract

This study is performed to evaluate experimentally the nondestructive properties of the concrete that is treated with crushed oyster shell powder of 0.15mm or smaller in diameter.

The ultrasonic pulse velocity of crushed oyster shell concrete(COSC) is in the range of 4,110~4,267m/s, and the dynamic modulus of elasticity of COSC range from  $288 \times 10^3$  to  $318 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ . The ultrasonic pulse velocity and dynamic modulus of elasticity are similar to those of normal portland cement concrete. The highest ultrasonic pulse velocity and dynamic modulus of COSC are measured at the 2.5% addition rate by weight of crushed oyster shell powder. The acid-resistance is increased with increase of the content of crushed oyster shell powder. The acid-resistance of COSC with 15% addition rate by weight of crushed oyster shell powder is 1.6 times greater than that of normal portland cement concrete.

It is concluded that the addition of crushed oyster shell powder to normal portland cement concrete contributed to improve the nondestructive properties of concrete.

### I. 서 론

인구의 급증과 산업이 발달함에 따라 각종 오염 물질과 폐기물 및 부산물로 자연 환경이 심각하게 오염되어 환경문제는 이 시대의 가장 중요한 현안 문제 중의 하나로 대두되고 있다. 이러한 환경 오염의 원인이 되는 부산물과 폐기물을 처리하기 위

한 연구가 진행되어 왔으며, 그 일환으로 콘크리트 분야에서는 플라이 애시, 고로슬래그, 왕겨재, 벚꽃재 등의 산업부산물과 페타이어, 폐콘크리트 등의 폐기물을 콘크리트 혼화재료로 사용하여 콘크리트의 성질을 개선시키기 위한 연구가 진행되고 있다.<sup>1,2,5,7)</sup>

또한, 우리 나라의 수산물 중 패류의 양식은 주

\*충남대학교 농과대학

\*\*충남대학교 대학원

키워드 : 패분콘크리트, 초음파진동속도, 동탄성계수, 내산성

로 굴, 피조개, 바지락 등이며, 그 패각은 채취 후 대부분 그 부근에 버려지고 있다. 우리 나라의 양식어업의 30%를 차지하는 패류의 생산량 중 굴은 전세계 생산량의 15.5%에 달하며, 1996년의 해양수산부의 어업량 통계를 살펴보면 약 21만 톤 가량으로 그 중 일부는 양식용을 위한 채묘용으로 사용되고 대부분이 바다나 해안에 폐기되고 있다.

한편, 패분의 주성분을 이루는 탄산칼슘과 실리카질 성분은 콘크리트의 수화반응과 포졸란 반응을 일으키므로, 수화열, 강도, 수밀성, 화학저항성, 내구성 등 콘크리트의 성능을 향상시킬 수 있다.<sup>8)</sup>

따라서, 본 연구는 수산업의 부산물인 패류의 껍질을 혼합한 콘크리트의 초음파진동속도, 동탄성계수, 내산성 등을 구명하여, 그 성능이 보통 시멘트 콘크리트 보다 우수한 콘크리트를 활용하기 위한 기초 자료를 얻는데 그 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 시멘트

본 실험에 사용한 시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트이며, 물리적 성질 및 화학 성분은 Table 1 및 2와 같다.

Table 1. Physical properties of normal portland cement

Specific gravity	Setting time (h-min)		Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		
	Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	3~7	7~20	194	216	323

Table 3. Physical properties of aggregate

Classification		Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	F.M	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )
Course aggregate	Rounded river gravel	4.76~10	2.66	2.59	7.26	1,452
Fine aggregate	Natural sand	0.595~4.75	2.61	2.34	2.32	1,476

Table 2. Chemical composition of normal portland cement

(Unit: %)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

#### 나. 골재

본 실험에 사용한 잔골재 및 굵은골재는 금강유역에서 채취한 천연골재이며, 물리적 성질은 Table 3과 같다.

#### 다. 패 분

본 실험에 사용한 패분은 충청남도 서해안에서 채취한 굴껍질로 표면의 해초등 유기물은 철술로 제거한 뒤 직경이 2~4cm되게 부수어 수조에 이틀간 넣어 염분을 제거한 후 110±5°C의 건조기에서 24시간 동안 건조시켜 0.15mm 이하가 되게 분쇄한 것을 사용하였으며, 패분의 물리적 성질 및 화학 성분은 Table 4 및 5와 같다.

Table 4. Physical properties of crushed oyster shell

Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )	Size (mm)	Colour	Specific gravity (20°C)	Specific surface area (cm <sup>2</sup> /gf)
997	< 0.15	White	2.31	4,889

Table 5. Chemical composition of crushed oyster shell (Unit: %)

SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ig. loss
60.47	39.05	0.39	0.02	0.02	0.01	0.04

라. 황 산

콘크리트의 내산성시험은 순도 99%인 황산 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)을 5%용액으로 조제하여 사용하였다.

2. 공시체 제작

가. 콘크리트 배합

패분 콘크리트의 배합은 강도를 고려하고 패분의 혼입량을 변수로 하여 시멘트, 패분, 잔골재 및 굵은골재 등의 배합비를 결정하였던 바, 패분을 결합재(시멘트+패분)중량의 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, 15%등 7종류의 배합비로 하였으며, 이의 배합설계 결과는 Table 6과 같다

Table 6. Mix design of crushed oyster shell concrete (Unit: kgf/m<sup>3</sup>)

Type	Cement	Sand	Gravel	Oyster shell	Water	S/a (%)	Slump (cm)
S1	372	754	1,131	0	192	40	8±1
S2	361	747	1,121	9	192		
S3	352	743	1,115	18	192		
S4	343	742	1,113	27	193		
S5	334	740	1,110	37	193		
S6	325	738	1,107	46	193		
S7	316	736	1,104	55	193		

나. 공시체 제작 및 양생

패분 콘크리트의 제작은 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 잔골재와 굵은골재를 잘 혼합한 다음 시멘트와 패분을 투입하는 순서로 하였으며, 몰드에 타설된 콘크리트는 양생 상자 (20±1°C, 습도 96±2%)에서 24시간 정치 후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생(20±1°C)하였다.

3. 시험방법

시험은 다음과 같이 KS에 규정된 방법에 준하여 재령 28일에 측정하였으며, 3회 반복 시험한

것의 평균값을 실험결과치로 하였다.

가. 초음파진동속도시험은 ø150×300mm의 공시체를 BS 1881 Part 203(Recommendation for the measurement of ultra sonic pulse velocity in concrete)에 준하여 측정하였으며, 다음 식으로 초음파진동속도를 산출하였다.

$$P \cdot V = \frac{L}{D \times 10^{-6}}$$

여기서,

$P \cdot V$  = 초음파 진동속도(m/s)

$D$  = 측정치(s)

$L$  = 공시체 길이(m)

나. 동탄성계수시험은 ø150×300mm의 공시체의 길이방향 양면에 중앙에 종진동에 의한 공면진동을 측정하는 영국의 C.N.S.사의 ERUDIT MIKI (resonant frequency test system)를 사용하여 BS 1881 Part 209(Recommendation for the measurement of dynamic modulus of elasticity)에 준하여 측정하였으며, 다음 식으로 동탄성계수를 구하였다.

$$D.M = DWn^2$$

여기서,

$D.M$  = 동탄성계수 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$D = 519.4 \times 10^{-5} L/d^2$  (s<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>)

$W$  = 공시체의 중량 (kgf)

$n$  = 측정치 (1/s)

$L$  = 공시체의 길이 (cm)

$d$  = 공시체의 직경 (cm)

다. 내산성시험

내산성시험은 재령 28일의 ø75×150mm인 시험체를 표면건조포화상태로 순도 99%인 황산 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 5%용액에 침적한 후 표면을 철솔로 부식된 부분만 닦아내어 표면건조포화상태의 중량

차이로 내산성을 비교하였다. 또한, 용액의 균질성을 위하여 1주일마다 용액을 교체하여 사용하였으며 24시간 간격으로 측정하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 가. 초음파진동속도

초음파진동속도시험은 콘크리트의 비파괴시험의 하나로 초음파의 종파를 부재나 구조물에 방사하여 전파된 시간으로부터 얻어지는 전파속도에 의해 콘크리트의 성능을 평가하는 방법이며, 노후한 구조물이나 화재로 손상을 입은 구조물의 안전진단과 음향기기를 만드는 목재의 재질을 분석하는 데도 사용된다.<sup>6)</sup>

패분을 혼입한 콘크리트의 초음파진동속도에 대한 시험결과를 비교하면 Table 7과 같다.

이 결과에서 알 수 있듯이 패분을 혼입한 콘크리트의 초음파진동속도는 4,110~4,267m/s의 범위로 나타났으며, 보통 시멘트 콘크리트의 초음파진동속도와 비교해서 S2와 S3에서는 0.3~0.5% 정도 크게 나타났는데 이는 콘크리트 내부의 공극을 적절히 채워 초음파진동속도를 방해하는 요인이 감소되었기 때문이라고 생각되며, S4~S7에서는 1.2~3.1% 정도 작게 나타났는데 이는 결합력이 없는 패분이 적정량 이상 혼입되어 콘크리트 내부 조직의 치밀성이 감소되었기 때문이라 생각된다.

Table 7. Ultrasonic pulse velocity of crushed oyster shell concrete

Type	Ultrasonic pulse velocity (m/s)
S1	4,244
S2	4,267
S3	4,259
S4	4,191
S5	4,145
S6	4,129
S7	4,110

#### 나. 동탄성계수

콘크리트의 비파괴 성능시험방법 중의 하나인 동탄성계수시험은 하중을 가하지 않고 전파를 공시체의 상대편에서 방사하여 측정된 주파수를 사용하여 동탄성계수를 구하는 것으로, 일반적으로 탄성계수가 작으면 재료의 변형량이 크고, 탄성계수가 크면 대체로 강도가 크게 나타난다는 것을 의미한다.<sup>4)</sup>

패분을 혼입한 콘크리트의 동탄성계수에 대한 시험결과를 비교하면 Table 8과 같다. 이 결과에서 알 수 있는 바와 같이 패분을 혼입한 콘크리트의 동탄성계수는 보통 시멘트 콘크리트에 비하여, S2와 S3에서는 1~3%정도 크게 나타났으며, 2.5% 혼입한 S3에서 가장 크게 나타났다. 이와 같은 원인은 적정량의 패분을 혼입할 경우, 미세립인 패분이 콘크리트 내부의 밀도를 증가시켜 전파 속도를 감소시키는 저해 요인이 감소되었기 때문이라 생각된다. 그리고, S4~S7의 동탄성계수는 보통 시멘트 콘크리트보다 2~7%정도 작게 나타났는데, 이는 결합력이 없는 패분이 적정량 이상 혼입되어 콘크리트 내부 조직의 치밀성이 감소되었기 때문이라 생각된다.

Table 8. Dynamic modulus of elasticity of crushed oyster shell concrete

Type	Dynamic modulus of elasticity ( $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ )
S1	308
S2	318
S3	311
S4	302
S5	298
S6	296
S7	288

#### 다. 내산성

시멘트 콘크리트 구조물은 황산염 반응에 의해 성능의 저하가 일어나고, 지하수, 토양, 산성비 등

Table 9. Mass loss ratio of crushed oyster shell concrete

(Unit : %)

Type	Immersed period(days)						
	20	23	25	27	29	30	32
S1	25.16	26.13	27.21	28.36	29.97	31.06	32.27
S2	24.31	25.03	26.43	28.03	29.76	30.64	31.26
S3	23.65	24.39	25.14	26.63	27.81	29.34	30.82
S4	22.18	23.67	24.39	25.27	26.43	27.19	29.48
S5	21.76	22.07	23.66	24.46	25.15	26.03	28.42
S6	19.81	21.92	22.79	23.18	24.26	25.87	26.68
S7	18.43	19.61	21.06	23.07	23.97	24.56	25.83

에 황산염들이 존재하며 특히, 점토질의 토양에는 다량의 황산염들이 포함되어 있어, 이러한 장소에 콘크리트가 노출되는 경우 콘크리트는 성능 저하를 일으키게 된다.<sup>3)</sup>

Table 9와 Fig.1에서 보는 바와 같이 패분을 혼입한 콘크리트의 내산성은 패분의 혼입량이 증가할수록 증가되었으며, 보통 시멘트 콘크리트는 황산 5% 용액에 침적한 후 20일만에 최초중량의 25% 이상이 감소한 반면, 5%, 10%, 15% 혼입한 패분 콘크리트는 25일, 29일, 32일만에 최초중량의 25% 이상이 감소하였다. 이와 같이, 패분을 5%, 10%, 15% 혼입한 콘크리트의 내산성이 보통 시멘트 콘크리트보다 각각 1.25배, 1.45배, 1.6배 정도 크게 나타난 것은 패분의 주성분인 SiO<sub>2</sub>는 황산이온(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)에 침투가 일어나지 않고 콘크리트

의 미소공극을 충전시켜 침투를 억제하는 작용을 하였기 때문이라 생각된다.

#### IV. 결 론

이 연구는 보통 포틀랜드 시멘트와 천연골재 및 패분을 혼입한 콘크리트의 비파괴 특성을 구명한 것으로, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 보통 시멘트 콘크리트의 초음파진동속도와 비교해서 패분을 2.5%와 5% 혼입한 콘크리트에서는 0.3~0.5% 정도 크게 나타났고, 7.5% 이상 혼입한 콘크리트에서는 1.2~3.1% 정도 작게 나타났다.

2. 패분 콘크리트의 동탄성계수는 보통 시멘트 콘크리트의 동탄성계수보다 패분을 2.5%와 5% 혼입한 콘크리트에서는 1~3% 정도 크게 나타났고, 7.5% 이상 혼입한 콘크리트에서는 2~7% 정도 작게 나타났다.

3. 패분 콘크리트의 내산성은 보통 시멘트 콘크리트에 비하여 패분의 혼입량이 증가할수록 내산성이 크게 나타났으며, 5%, 10%, 15% 혼입한 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 각각 1.25배, 1.45배, 1.6배 정도 크게 나타났다.

4. 시멘트량의 일부로 적정량의 패분을 혼입하여 콘크리트 재료로 사용할 경우, 비파괴 성능 및 내산성이 보통 시멘트 콘크리트보다 우수할 뿐만

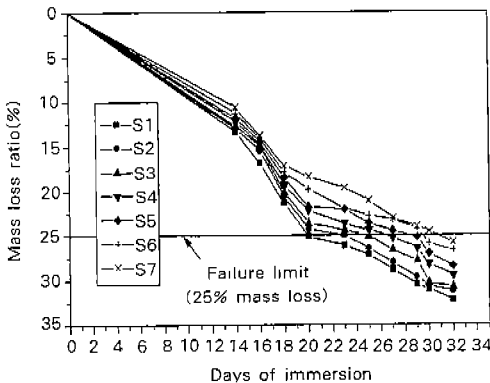


Fig. 1. Mass loss ratio of crushed oyster shell concrete

아니라, 수산부산물의 활용측면에서도 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

1. 성찬용, 1997, 왕겨재 콘크리트의 개발 및 그 공학적 성능에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지, 39(5), pp. 55~63.
2. 성찬용 외1인, 1998, 벼짚재 콘크리트의 물리·역학적 특성, 한국농공학회지, 40(4), pp. 103~108.
3. 한국콘크리트학회, 1997, 최신콘크리트공학, 한국콘크리트학회 : 453~476.
4. Malhotra, V. and Carino, N. J., 1991, Handbook on nondestructive testing of concrete, CRC Press, pp. 50~83.
5. Moayad, N. Al-Khalaf. and Yousift, Hana A., 1984, Use of rice husk ash in concrete, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 6(4), pp. 263~275.
6. R. A. Blake, Jr., 1990, Test method (ultrasonic nondestructive evaluation techniques for composite materials), Technomic publishing Company, pp. 57~78.
7. Swamy, R. N., 1986, Cement replacement materials (concrete technology and design), Surrey University Press, 3, pp. 171~196.
8. Wolfgang Czernin., 1980, Cement chemistry and physics for civil engineers, Wiesbadener Graphische Betriebe Gmbh, pp. 10~55.