

# 벼짚재 콘크리트의 탄성 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Elastic Properties of Rice Straw Ash Concrete

성 찬 용\* · 김 영 익\* · 민 정 기\*  
Sung, Chan Yong · Kim, Young Ik · Min, Jeong Ki

### Abstract

This study is performed to evaluate the elastic properties of rice straw ash concrete using rice straw ash, cement, natural sand, gravel and superplasticizer.

The following conclusions are drawn:

The ultrasonic pulse velocity is in the range of 4,084~4,336m/s, which has showed about the same compared to that of the normal cement concrete. The highest ultrasonic pulse velocity is showed by 5% rice straw ash filled rice straw ash concrete. The dynamic and static modulus of elasticity is in the range of  $294 \times 10^3 \sim 347 \times 10^3$  and  $266 \times 10^3 \sim 328 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ , respectively. It is showed about the same compared to that of the normal cement concrete. The Poisson's number of rice straw ash concrete is less than that of the normal cement concrete.

### I. 서 론

근래 각종 산업 분야에서의 기술발전과 더불어 건설분야에서의 시공기술도 비약적인 발전을 하고 있으며, 콘크리트가 환경조건이 열악한 곳에 사용되는 기회가 증가되면서 고성능 콘크리트의 제품이 요구되고 있다. 또한 콘크리트 구조물 내구성에 대한 관심이 고조되고 있으며, 환경문제와 함께 이를 해결할 수 있는 신소재 개발, 특히 산업 및 농업 부산물을 이용한 특수재료 개발에 심혈을 기울이고 있다.

한편, 산업부산물과 폐기물인 플라이 애시, 페타이어, 폐콘크리트 등이 콘크리트 제품이나 골재

등에 일부 사용되고 있으며, 농업부산물인 왕겨재가 고강도 매스 콘크리트에서 수화열의 감소, 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창의 감소, 내구성 증진 등의 목적으로 연구 되고 있다.<sup>1,2,3,5,7,9)</sup>

한편, 우리 나라는 약 105만 ha의 농지에서 벼 농사를 짓고 있으며, 여기서 생산되는 부산물인 벼짚은 퇴비, 사료 등 부가가치가 낮은 용도로 사용되고 있다. 이에 농업부산물인 벼짚은 쌀의 생산을 계속하는 한 매년 얻을 수 있는 무한 자원이기 때문에 부산물의 유효 이용 측면에서도 이의 활용에 관한 연구가 필요하다 하겠다.

따라서, 본 연구는 시멘트량의 일부 대응으로 벼짚재를 사용한 벼짚재 콘크리트를 개발하여 초

\*충남대학교 농과대학

키워드 : 벼짚재 콘크리트, 초음파진동속도, 탄성계수, 응력-변형률, 탄성 특성

음파진동속도, 동탄성계수, 정탄성계수, 푸아송수, 응력-변형을 등의 탄성 특성을 실험적으로 구명하여, 벚짚재 콘크리트를 구조물에 유익하게 활용하기 위한 기초자료를 마련하는데 그 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 시멘트

본 실험에 사용된 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	3 days	7 days	28 days
3.15	3-7	7-20	194	216	323

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 사용된 잔골재 및 굵은골재는 금강유역에서 채취한 천연골재를 사용하였으며, 공시체 제작을 10cm×20cm 볼드로 하였기 때문에 굵은골재의 크기에 따른 영향을 최소화 하기 위해 굵은골재의 최대 크기를 10mm 이하로 하였으며, 물리적 성질은 Table 3과 같다.

#### 다. 벚짚재

본 실험에 사용된 벚짚재는 벚짚이 완전 연소되

Table 3. Physical properties of aggregate

Item	Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )
Fine aggregate	0.15~4.75	2.62	2.35	2.35	1,471
Coarse aggregate	4.76~10	2.64	2.62	7.28	1,449

어 탄소성분(carbon)이 모두 손실되지 않도록 하기 위하여 태우는 도중에 임의로 소각을 중지시켜 불완전연소가 되도록 하여 유기성분과 무기성분을 함유할 수 있도록 조절하였으며, 분쇄기로 미세한 입자를 만든 후 체분석을 하여 입경이 0.15mm 이하인 것을 사용하였고, 절대 건조상태에서 골재의 단위 용적중량 시험방법(KS F 2505)인 지깅(jigging) 시험에 의해 3층 25회 두드린 후의 단위 중량은 252kgf/m<sup>3</sup>이었다.

또한, 벚짚재의 성분은 유기성분인 탄소함량이 48%이었으며, 무기물 함량이 52%인 벚짚재의 화학성분은 Table 4와 같다.

Table 4. Chemical composition of rice straw ash (Unit : %)

SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Ig. loss
88.6	0.85	0.73	6.20	3.58	0.04

#### 라. 고성능 감수제

본 실험에 사용된 혼화제는 콘크리트의 강도 증진과 유동성 확보를 위하여 음이온 계면 활성제인 나프탈렌 설폰산염을 주성분으로 하는 고성능 감수제이며, 일반적 성질은 Table 5와 같다.

Table 5. General properties of superplasticizer

Specific gravity (20°C)	pH	Color	Freezing point (°C)	Principal ingredient	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )
1.20	9±1	Dark brown liquid	-2	Naphthalene sulphonate	1,190

Table 6. Mix design of rice straw ash concrete

Type	Maximum size of coarse aggregate (mm)	Slump (cm)	W/C (%)	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )				
				Water	Cement	Fine aggregate	Coarse aggregate	Fine aggregate
							mm-mm	mm-mm
R1	10	8±1	48	196.8	410.0	794.4	4.76~10	0.15~4.75
R2			49	200.3	398.4	795.8		
R3			50	203.1	385.7	796.8		
R4			54	215.4	368.9	799.7		
R5			58	228.8	355.0	802.2		
R6			62	241.5	340.8	803.8		
R7			68	261.5	326.9	805.7		

## 2. 공시체 제작

### 가. 콘크리트 배합

벼짚재 콘크리트의 배합은 콘크리트 내부의 조직을 치밀하게 하여 하중의 작용시 탄성 특성이 보통 시멘트 콘크리트보다 우수할 뿐만 아니라, 실용화 할 수 있는 강도를 나타낼 수 있는 배합비로 하였으며, 특히 보통 시멘트 콘크리트와의 비교를 위하여 보통 시멘트 콘크리트의 시멘트량에 대해 일정량의 벼짚재를 치환하여 동등 비교가 될 수 있도록 시멘트, 벼짚재, 산골재 및 굵은골재 등의 배합비를 결정하였으며, 벼짚재를 결합재(시멘트+벼짚재) 중량의 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, 15% 혼입한 R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7 등 7가지 종류의 배합비로 하였다.

또한, 콘크리트의 강도증진과 유동성 확보를 위하여 고성능 감수제를 결합재 중량의 1% 사용하였으며, 이의 배합설계는 Table 6과 같다.

### 나. 공시체 제작 및 양생

벼짚재 콘크리트의 제작은 KS F 2403 (콘크리트의 제작 방법)에 준하여 잔골재와 굵은골재를 잘 혼합한 다음 시멘트와 벼짚재를 투입하는 순서로 하였으며, 몰드에 타설된 콘크리트는 양생상자(21°C, 습도 96±2%)에서 24시간 정치 후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생(20±3°C) 하였다.

## 3. 시험방법

시험은 다음과 같이 KS에 규정된 방법에 준하여 재령 28일에 측정하였으며, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 실험 결과치로 하였다.

### 가. 초음파진동속도시험

초음파진동속도시험은 Ø150×300mm인 공시체에 영국 C.N.S사의 PUNDIT를 사용하여 계기의 디지털 숫자가 안정된 후 시험체의 아래와 위 중앙에 직경 50mm의 변환기를 그리이스를 발라 단자와 공시체면에 공극이 생기지 않도록 부착하여 BS 1881 Part 203(콘크리트의 초음파진동속도 측정방법)에 준하여 측정하였으며 다음 식으로 산출하였다.

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

여기서, P·V = 초음파진동속도 (m/s)

D = 측정치 (s)

L = 공시체길이 (m)

### 나. 동탄성계수시험

동탄성계수시험은 Ø150×300mm인 공시체의 길이방향 양면 중앙에 증진동에 의한 공명진동을 측정하는 영국 C.N.S사의 ERUDIT MIKI(resonant

frequency test system) 측정기를 사용하여 BS 1881 Part 209(콘크리트의 동탄성계수 측정방법)에 준하여 측정한 후, 다음 식으로 산출하였다.

$$D \cdot M = DWn^2$$

- 여기서,  $D \cdot M$  = 동탄성계수 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- $W$  = 공시체의 중량 (kgf)
- $n$  = 측정치(1/s)
- $D = 519.4 \times 10^{-5} L/d^2$  (s<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>)
- $L$  = 공시체의 길이 (cm)
- $d$  = 공시체의 직경 (cm)

다. 응력-변형률시험

응력-변형률을 측정하기 위하여  $\phi 150 \times 300$ mm 인 공시체의 횡방향과 종방향에 비선형성이 0.06% 이고, Hysteresis가 0.09%인 게이지를 부착하여 하중재하에 따른 공시체의 변형량을 측정하였으며, 여기서 얻어진 곡선으로부터 정탄성계수 및 푸아송 수를 구하였다.

III. 결과 및 고찰

시험을 통하여 얻어진 결과를 요약하면 Table 7 과 같다.

1. 초음파진동속도

초음파진동속도시험은 콘크리트 내에 pulse를 공시체의 종방향으로 방사하여, 이것이 전달되는 시간으로부터 콘크리트의 품질을 검사하는 비파괴 시험의 일종으로 고체재료의 밀도나 탄성특성에 크게 의존하며, 특히 콘크리트 구조물의 밀도, 공극, 균열 등의 분석과 음향기기를 만드는 목적의 재질을 분석하는 곳에도 사용된다.<sup>8)</sup>

한편, 벚짚재 콘크리트의 초음파진동속도에 대한 시험결과를 비교하면 Table 7과 같다.

이 결과에서 보는 바와 같이 벚짚재 콘크리트의 초음파진동속도는 4.084~4.336m/s로써, 보통 시멘트 콘크리트의 초음파진동속도와 유사하게 나타났다.

또한, R2~R6의 초음파진동속도는 보통 시멘트 콘크리트보다 크게 나타났고, R7은 작게 나타났으며, 벚짚재를 5% 혼입한 콘크리트에서 가장 크게 나타났는데, 이러한 결과는 벚짚재가 콘크리트 내부의 공극을 적절히 채워 초음파진동속도를 저해하는 요인이 감소되었기 때문이며, 벚짚재를 15% 혼입한 콘크리트에서 초음파진동속도가 작게 나타난 것은 결합력이 없는 벚짚재가 적정량 이상 혼입되어 콘크리트 내부 조직의 치밀성이 감소되었

Table 7. Test results of rice straw ash concrete

Type	Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Pulse velocity (m/s)	Dynamic modulus of elasticity ( $\times 10^3$ kgf/cm <sup>2</sup> )	Static modulus of elasticity ( $\times 10^3$ kgf/cm <sup>2</sup> )	Poisson's		Strain ( $\times 10^{-3}$ )	
					Ratio	Number	Longitudinal	Horizontal
R1	289	4,098	327	280	0.20	5.05	0.391	0.077
R2	308	4,120	330	313	0.22	4.64	0.394	0.085
R3	345	4,336	347	328	0.22	4.60	0.431	0.094
R4	316	4,201	334	313	0.23	4.23	0.402	0.095
R5	289	4,120	310	294	0.23	4.35	0.396	0.091
R6	280	4,100	295	274	0.23	4.39	0.413	0.094
R7	270	4,084	294	266	0.22	4.58	0.426	0.093

기 때문이라 생각된다.

## 2. 동탄성계수

동탄성계수시험은 전혀 하중을 가하지 않고 진동을 공시체의 상대편에 방사하여 Hz를 측정하여 동탄성계수를 구하는 방법으로, 동결융해저항성을 나타내는 내구성지수의 계산 및 산,알칼리 등의 화학약품에 의한 저항성, 화재에 의한 콘크리트의 열화 상황 등 콘크리트 성능시험에 사용되는 비파괴시험방법이다.<sup>6)</sup>

한편, 콘크리트는 강도뿐만 아니라 변형성이 중요한 요소인데, 탄성계수에 의해 이러한 재료의 변형성능이 평가되며 일반적으로 탄성계수가 작으면 재료의 변형량이 크고, 탄성계수가 크면 대체적으로 강도가 크다는 것을 의미한다.

벧짚재 콘크리트의 동탄성계수에 대한 시험결과는 Table 7에서 보는 바와 같이 R2~R4의 동탄성계수는  $330 \times 10^3 \sim 347 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 보통 시멘트 콘크리트의  $327 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ 보다 크게 나타났으며, 벧짚재를 5% 혼입한 R3에서 가장 크게 나타났다. 이와 같은 원인은 적정량의 벧짚재를 혼입할 경우, 미세립의 벧짚재에 의한 공극충전으로 콘크리트 내부의 밀도를 증가시켜 전파 속도를 감소시키는 저해 요인이 감소하였기 때문으로 생각된다.

한편, R5~R7의 동탄성계수는  $294 \times 10^3 \sim 310 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 보통 시멘트 콘크리트보다 작게 나타났는데, 이와 같은 결과는 결합력이 없는 벧짚재가 적정량 이상 혼입되어 콘크리트 내부 조직의 치밀성이 감소되었기 때문이라 생각된다.

## 3. 정탄성계수와 푸아송수

### 가. 정탄성계수

벧짚재 콘크리트의 정탄성계수, 푸아송비, 푸아송수, 종변형을 및 횡변형을 시험결과를 나타내면 Table 7과 같다.

Table 7에서 보는 바와 같이 벧짚재 콘크리트의

정탄성계수는  $266 \times 10^3 \sim 328 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 R2~R5는 보통 시멘트 콘크리트의 정탄성계수  $280 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ 의 100~117%, R6~R7은 95~98%의 수준에 이르고 있어 R2~R5는 보통 시멘트 콘크리트보다 변형성이 비교적 작다는 것을 알 수 있으며, R6~R7은 비교적 크다는 것을 알 수 있다.

또한, 보통 시멘트 콘크리트에서 압축강도가 클수록 탄성계수가 증가하는 것과 마찬가지로 벧짚재를 혼입한 콘크리트에서도 압축강도가 클수록 탄성계수도 크게 나타났으며, 이를 도시하면 Fig. 1과 같다.

한편, 정탄성계수에 대한 동탄성계수의 비는 Table 8에서 보는 바와 같이 각 배합설계에 따라 3~10% 정도 정탄성계수보다 동탄성계수가 크게 나타났는데, 이는 보통 시멘트 콘크리트의 동탄성계수는 정탄성계수에 비하여 20~40% 정도 크며, 재령이 증가하면 정탄성계수에 대한 동탄성계수의 비는 증가하고 정탄성계수가 커질수록 정탄성계수와 동탄성계수의 값이 거의 동일하게 된다는 연구와 유사한 결과라 하겠다.<sup>5)</sup>

Table 8. Ratio of dynamic to static modulus

Type	Dynamic / Static (%)
R1	116
R2	105
R3	105
R4	103
R5	105
R6	107
R7	110

### 나. 푸아송수

Table 7에서 보는 바와 같이 벧짚재 콘크리트의 푸아송수는 4.23~4.64 정도로 보통 시멘트 콘크리트의 푸아송수 5.05보다 작게 나타났으며 벧짚재의 혼입률에 따른 푸아송수의 일정한 특성은 나타나지 않았다. 이러한 결과는 Table 7에서 보는바와 같이 벧짚재를 혼입한 콘크리트의 압축강도 증

진으로 인한 길이방향의 변형이 상대적으로 작게 나타난 반면 벚짚재의 혼입량이 증가할수록 횡방향의 변형은 증가하여 보통 시멘트 콘크리트에 비해 벚짚재 콘크리트에서 중변형률에 대한 횡변형률의 비가 크게 나타났기 때문이라 하겠다.

#### 4. 응력-변형률

벼짚재 콘크리트의 응력-변형률 곡선은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 응력의 초기단계에서는 벚짚재의 혼입량에 관계없이 응력이 증가함에 따라 변형률도 거의 비슷한 크기로 증가하였으며, 응력이 100kgf/cm<sup>2</sup>에 도달한 이후에는 벚짚재의 혼입량이 10% 이하인 콘크리트는 응력이 증가하여 최대 응력에 도달하는 순간까지 변형률이 곡선으로 증가하였으며, 벚짚재를 12.5% 이상 혼입한 콘크리트에서는 응력이 최대응력에 도달하는 순간까지 변형률이 거의 직선에 가깝게 증가하였다.

이와 같이 벚짚재를 10% 이하로 혼입한 콘크리트의 응력-변형률이 곡선으로 나타난 것은 벚짚재의 주성분이 SiO<sub>2</sub>로, 이 성분이 콘크리트 중의 Ca(OH)<sub>2</sub>와 결합하여 C-S-H 결합물의 형성과 미세립의 벚짚재가 콘크리트 내부의 공극을 적절히 채워 충전에 의한 강도증진으로 인하여 변형률이 감소하였기 때문이라 생각된다.

한편, 벚짚재를 12.5% 이상 혼입한 콘크리트의 응력-변형률 곡선이 거의 직선에 가깝게 나타난

것은 결합재로 사용된 시멘트의 양은 감소되고 결합력이 없는 벚짚재의 양이 증가되어 콘크리트 내부 조직의 결합력이 감소되어 변형률이 증가하였기 때문이라 생각된다.

#### IV. 결 론

이 연구는 벚짚재와 시멘트 및 천연골재와 고유동화제를 사용한 벚짚재 콘크리트를 개발하여 탄성 특성을 실험적으로 구명한 것으로, 이 연구를 통해 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 벚짚재를 혼입한 콘크리트의 초음파진동속도는 특정한 단위결합재량에서는 배합비에 따라 4,084~4,336m/s로 보통 시멘트 콘크리트와 유사하게 나타났으며, 벚짚재를 5% 혼입한 콘크리트에서 가장 크게 나타났다.

2. 동탄성계수는 특정한 단위결합재량에서는 배합비에 따라 294×10<sup>3</sup>~347×10<sup>3</sup>kgf/cm<sup>2</sup>으로 보통 시멘트 콘크리트와 유사하게 나타났으며, 벚짚재를 5% 혼입한 콘크리트에서 가장 크게 나타났다.

3. 정탄성계수는 특정한 단위결합재량에서는 배합비에 따라 266×10<sup>3</sup>~328×10<sup>3</sup>kgf/cm<sup>2</sup>으로 보통 시멘트 콘크리트와 유사하게 나타났고, 벚짚재를 5% 혼입한 콘크리트에서 가장 크게 나타났으며, 동탄성계수는 정탄성계수보다 3~10% 정도 크게 나타났다.

4. 벚짚재 콘크리트의 푸아송수는 4.23~4.64 정도로 보통 시멘트 콘크리트의 푸아송수 5.05보다 작게 나타났다.

5. 응력-변형률 곡선은 벚짚재를 10% 이하로 혼입한 콘크리트의 초기강도에서는 직선에 가깝게 나타났으며, 후기강도에서는 곡선으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. 성찬용, 1997, 왕겨재 콘크리트의 개발 및 그 공학적 성능에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지, 39(5), pp. 55~63.

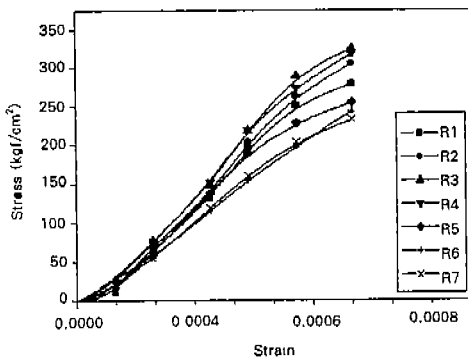


Fig. 1. Stress-strain curve of rice straw ash concrete

2. Blake, Jr, R. A., 1990, Test methods (ultrasonic nondestructive evaluation techniques for composite materials), Technomic Publishing Company, pp. 57~58.
3. Boateng, A. A and Skeete, D. A., 1990, Incineration of rice hull for use as a cementitious material : The Guyana Experience, Cem. Concrete Research, 20(5), pp. 795~802.
4. Erik J. Sellevold., 1987, The function of condensed silica fume in high strength concrete, Proceeding of Simposium on Utilization of High Strength Concrete, Stavanger Norway, pp. 39~50.
5. Malhotra, V. M. and Carino, N. J., 1991, Handbook on nondestructive testing of concrete, CRC Press, pp. 50~83.
6. Neville., 1981, Properties of concrete, Pitman Publishing Limited, London, pp. 605~635.
7. Swamy, R. N., 1986, Cement replacement materials (concrete technology and design), Surrey University Press, 3, pp. 171~196.
8. Swamy, R. N., 1992, The alkali-silica reaction in concrete, Blackie and Son Ltd, pp. 72~92.
9. Topcu, B. and Guncan, N. F., 1995, Using waste concrete as aggregate, An International Journal of Cement and Concrete Research, 25(7), pp. 1,385~1,390.