

# 벼짚재 콘크리트의 물리·역학적 특성

## Physical and Mechanical Properties of Rice Straw Ash Concrete

성 찬 용\* · 김 영 익\*  
Sung, Chan Yong · Kim, Young Ik

### Abstract

This study examines the physical and mechanical properties of the concrete using rice straw ash. Materials used for this experiment are rice straw ash, normal portland cement, superplasticizer, natural sand and gravel.

Test results show that the unit weights of concrete using rice straw ash were decreased 1~3% and the highest strengths were achieved by 5% filled rice straw ash concrete, with increase of compressive strength by 19%, tensile strength by 53% and bending strength by 16%, as compared with those of the normal cement concrete. The strength ratio of rice straw ash concrete was higher than that of the normal cement concrete. Also, the durability against sulfuric acid 5% solution was increased with increase of the content of rice straw ash. It was 1.33 times of the normal cement concrete by 10% filled rice straw ash concrete and 1.47 times by 15% filled rice straw ash concrete, respectively

Accordingly, rice straw ash concrete will greatly improve the properties of concrete.

### I. 서 론

근래 각종 산업 분야에서 기술발전과 더불어 건설분야에서의 시공기술도 비약적인 발전을 하고 있으며, 대규모의 건설 공사와 구조물의 대형화, 고강도화에 따른 고성능 콘크리트의 제품이 요구되고 있다. 또한 콘크리트 구조물의 내구성에 대한 관심이 고조되고 있으며, 환경문제와 함께 이를 해결할 수 있는 신소재 개발, 특히 산업 및 농업 부산물을 이용한 특수재료 개발에 심혈을 기울이고 있다.<sup>3)</sup>

콘크리트의 성질을 개선시키기 위한 콘크리트

용 혼화제로는 AE제, 감수제, 고유동화제 등이 사용되고 있으며, 특히 고유동화제는 단위수량을 적게하여 감수효과에 의한 내부 조직이 치밀한 고강도의 콘크리트를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 시공성 확보를 위하여 사용되고 있다.

한편, 산업부산물과 폐기물인 플라이 애쉬, 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 연구되고 있다.<sup>3,5)</sup>

또한, 농업부산물인 벼짚은 쌀의 생산을 계속

\*충남대학교 농과대학

키워드 : 벼짚재 콘크리트, 고성능 감수제, 단위수량, 강도, 내산성.

하는 한 매년 얻을 수 있는 무한 자원이기 때문에 농업부산물의 유효 이용 측면에서도 이의 활용법에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

따라서, 본 연구에서는 성능이 우수한 콘크리트를 개발하기 위하여 벚짚재와 고성능 감수제를 사용한 콘크리트의 단위중량, 압축강도, 인장강도, 휨강도, 내산성 등의 공학적 특성을 실험적으로 구명하여 내산성을 요하는 콘크리트 구조물에 활용하기 위한 기초 자료를 마련하는데 그 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통포틀랜드시멘트이며, 이의 물리적 성질 및 화학적 성분은 Table 1 및 2와 같다.

**Table 1. Physical properties of normal port-land cement**

Specific gravity	Setting time (hrs-min)		Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		
	Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	5-7	7-20	194	216	323

**Table 2. Chemical compositions of normal port-land 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 굵은 골재는 금강유역에서 채취한 천연골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

#### 다. 벚짚재

본 실험에 사용된 벚짚재(rice straw ash=RSA)는 벚짚을 태워 분쇄기로 미세한 입자를

**Table 3. Physical properties of aggregate**

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

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

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

만든 후 체분석을 하여 입경 0.15mm이하, 단위중량 252kgf/m<sup>3</sup>인 것을 사용하였으며, 이의 화학적 성분은 Table 4와 같다.

#### 라. 고성능 감수제

본 실험에 사용된 혼화제는 콘크리트의 강도증진과 유동성 확보를 위하여 음이온 계면활성제인 나프탈렌 설폰산염을 주성분으로 하는 고성능 감수제로서<sup>2)</sup> 이의 일반적 성질은 Table 5와 같다.

**Table 5. General properties of superplasticizer**

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

#### 마. 공업용 시약

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

## 2. 공시체 제작

### 가. 콘크리트 배합

벚짚재 콘크리트의 배합은 강도를 고려하여 벚짚재의 첨가량에 역점을 두었으며, 실용화 할 수

Table 6. Mix proportions of rice straw ash concrete

(Unit : wt. %)

Mix type	Cement	Natural sand	Natural gravel	Rice straw ash	Super plasticizer	W/(C+RSA)	Slump(cm)
R1	17.100	33.130	49.770	0.000	0.17	48	8±1
R2	16.603	33.160	49.811	0.426	0.17	49	
R3	16.067	33.205	49.882	0.846	0.17	50	
R4	15.368	33.324	50.062	1.246	0.17	54	
R5	14.789	33.415	50.153	1.643	0.17	58	
R6	14.202	33.488	50.281	2.029	0.17	62	
R7	13.617	33.568	50.412	2.403	0.17	68	

있는 강도를 나타내는 동시에 보통 시멘트 콘크리트보다 월등한 내산성을 발휘 할 수 있는 배합비로 하였다. 이와같은 방법에 의하여 시멘트, 벚짚재, 잔골재 및 굵은골재 등의 배합비를 결정하였으며, 벚짚재를 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 약 1% 사용하였으며, 이의 배합설계는 Table 6과 같다.

나. 공시체 제작 및 양생

벼짚재 콘크리트의 제작은 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 잔골재와 굵은골재를 잘 혼합한 다음 시멘트와 벚짚재를 투입하는 순서로 하였으며, 몰드에 타설된 콘크리트는 양생상자 (21℃, 습도 96±2%)에서 24시간 정치 후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생(20±1℃)을 하였다.

3. 시험방법

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

1. 단위중량시험은 경량성을 파악하기 위하여 실시하였으며, 각 배합비별로  $\phi 150 \times 300$ mm인 공시체의 표면건조포화상태의 중량과 체적을 측정하여 산출하였다.

2. 압축 및 인장강도시험은  $\phi 75 \times 150$ mm, 휨강도시험은  $60 \times 60 \times 240$ mm의 시험체를 제작하여 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)와 KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험방법) 및 KS F 2408(콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 측정하였다.

3. 내산성시험은 표건상태의  $\phi 50 \times 100$ mm의 공시체를 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 5% 용액에 침적한 후 부식된 표면을 철솔로 닦아내어 표면건조포화상태의 중량차이로 내산성을 비교하였다. 콘크리트는 중량이 25%이상 감소하면 원래의 제거능을 발휘 할 수 없으므로 보통 시멘트 콘크리트의 중량이 25%이상 감소하였을 때를 기준으로 하여 각각의 벚짚재 콘크리트에 대한 내산성을 비교하였다. 또한 용액의 균질성을 위하여 1주마다 용액을 교체하여 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 단위중량

벼짚재 콘크리트는 시멘트량의 일부로 벚짚재를 사용하였기 때문에 중량이 감소하고, 배합비에 따라 차이가 있으며, 각 배합비에 따른 시험결과를 비교하면 Table 7과 같다.

Table 7에서 보는 바와 같이 벚짚재 콘크리트의 단위중량은 2,293~2,231kgf/m<sup>3</sup>의 범위로서 보통 시멘트 콘크리트의 단위중량 2,302kgf/m<sup>3</sup>의 99~97% 정도로 1~3% 정도 감소되었는데, 이와같은 단위중량 감소의 주요 원인은 시멘트의

**Table 7. Test results of rice straw ash concrete**

Mix type	Unit weight (kgf/cm <sup>2</sup> )	Strength(kgf/m <sup>2</sup> )		
		Compressive	Tensile	Bending
R1	2,302	289	26	69
R2	2,293	308	28	73
R3	2,282	345	40	80
R4	2,273	316	38	75
R5	2,253	289	35	74
R6	2,240	280	32	72
R7	2,231	270	30	70

일부 대응으로 단위중량이 월등히 가벼운 벚짚재를 사용하였기 때문이며, 벚짚재의 사용량이 증가할수록 단위중량이 감소하는 경향을 보였다.

## 2. 강 도

### 가. 압축강도

압축강도는 배합설계의 기준이 될 뿐만 아니라, 타설시 거푸집의 제거시기를 결정할 수 있는 기준이 된다. 보통 시멘트 콘크리트와 역학적 성질이 다소 다른 벚짚재 콘크리트의 압축강도는 벚짚재의 혼입량에 따라 다르며, 각 배합비에 따른 압축강도를 비교하면 Table 7과 같다.

Table 7에서 보는 바와같이 벚짚재 콘크리트의 압축강도는 270~345kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로서, 벚짚재의 혼입량에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

또한, 벚짚재 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트의 압축강도 289kgf/cm<sup>2</sup>에 비해 R2~R4까지는 크게 나타났으나, 시멘트 대응으로 벚짚재를 10% 이상 첨가한 R5~R7은 압축강도가 같거나 감소되었는데, 이는 벚짚재를 시멘트 대응으로 사용할 때 배합비를 결정하는데 매우 중요한 결과라 할 수 있다.

한편, 시멘트 대응으로 벚짚재를 5% 첨가한 R3에서 압축강도가 가장 크게 나타났고 보통 시멘트 콘크리트의 압축강도보다 19% 정도 크게 나타났는데 이는 벚짚재의 주성분이 강도증진의 목적으로 사용되는 실리카흙과 같은 SiO<sub>2</sub>로서 이

것이 콘크리트중의 Ca(OH)<sub>2</sub>와 결합하여 C-S-H의 결합물을 형성하여 강도증진에 기여한 것으로 생각되며,<sup>7)</sup> 미세립의 벚짚재가 콘크리트 내부의 공극을 적절히 채워 충진에 의한 강도 증진의 효과가 나타난 것으로 생각된다.<sup>6)</sup>

또한, 보통 시멘트 콘크리트보다 압축강도가 작게 나타난 R5~R7은 결합재로 사용되는 시멘트의 양은 감소되고 결합력이 없는 벚짚재의 양이 증가되어 콘크리트 내부 조직의 결합력 감소에 따른 결과라 생각된다.

### 나. 인장강도

벚짚재 콘크리트의 인장강도 시험결과를 비교하면 Table 7과 같다. Table 7에서 보는 바와 같이 벚짚재 콘크리트의 인장강도는 28~40kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로서 보통 시멘트 콘크리트의 인장강도 26kgf/cm<sup>2</sup>에 비해 모든 배합에서 크게 나타났다.

한편, 인장강도가 가장 크게 나타난 R3은 40kgf/cm<sup>2</sup>으로서, 보통 시멘트 콘크리트의 인장강도보다 53% 정도 크게 나타났는데, 이와같이 벚짚재를 5% 혼입한 벚짚재 콘크리트는 압축강도와 휨강도도 증가하지만 인장강도가 더욱 크게 증가함을 알 수 있었다.

또한, 보통 시멘트 콘크리트의 인장강도는 압축강도의 1/11인데 비하여 벚짚재를 5% 이상 혼입한 벚짚재 콘크리트는 1/8~1/9로서 보통 시멘트 콘크리트가 높은 인장력에 저항하지 못하여 심한 균열 및 전단 등을 일으킴을 방지할 수 있는 상당히 중요한 역학적 특성이 있음을 알 수 있었다.

### 다. 휨강도

콘크리트의 휨강도는 도로나 활주로와 같이 직접 휨응력을 받는 포장판 및 콘크리트관 등의 설계기준강도에 이용되고 이들 콘크리트의 품질관리, 콘크리트의 휨균열발생 예측 등의 공학적 성질을 판단하는 기준에 이용되고 있으며, 벚짚재 콘크리트의 휨강도 시험결과를 비교하면 Table 7에서 보는 바와 같이 모든 배합설계에서 인장강

도와 유사한 경향을 나타내었으며, 벚짚재 콘크리트의 휨강도의 범위는 70~80kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로서 보통 시멘트 콘크리트의 휨강도 69kgf/cm<sup>2</sup>에 비해 모든 배합에서 크게 나타났다.

또한, 휨강도가 가장 크게 나타난 R3은 80kgf/cm<sup>2</sup>으로서, 보통 시멘트 콘크리트의 휨강도보다 16% 정도 크게 나타났다.

라. 강도비

벚짚재 콘크리트의 압축강도와 인장강도 및 휨강도에 대한 배합별 강도비를 나타내면 Table 8과 같다.

강도비는 역학적 성질을 구명하는데 필요한 요소중의 하나이며, 벚짚재 콘크리트의 각 강도비  $\sigma_v/\sigma_c$ 는 0.091~0.126의 범위이고,  $\sigma_b/\sigma_c$ 는 0.232~0.259 범위이며,  $\sigma_t/\sigma_b$ 는 0.384~0.507의 범위로서, 보통 시멘트 콘크리트의 강도비( $\sigma_v/\sigma_c=0.090$ ,  $\sigma_b/\sigma_c=0.238$ ,  $\sigma_t/\sigma_b=0.377$ )보다 대체적으로 크게 나타났는데, 이러한 결과는 사용한 벚짚재 콘크리트가 압축강도와 휨강도도 증가하지만 인장강도가 보통 시멘트 콘크리트의 강도보다 상대적으로 크기 때문이다.

Table 8. Strength ratio of rice straw ash concrete

Mix type	$\sigma_v/\sigma_c$	$\sigma_b/\sigma_c$	$\sigma_t/\sigma_b$
R1	0.090	0.238	0.377
R2	0.091	0.237	0.384
R3	0.126	0.232	0.500
R4	0.120	0.237	0.507
R5	0.121	0.256	0.473
R6	0.114	0.257	0.444
R7	0.114	0.259	0.428

마. 내산성

콘크리트 구조물의 성능저하 현상의 원인 중 하나가 황산염 반응(Sulfate attack)에 의한 것으로서 지하수 및 흙에는 자연발생적인 황산염들이 존재하며 특히, 점토질 흙에는 많은 황산염들이 함유되어 있어 콘크리트 구조물이 이런 환경

Table 9. Mass loss of concrete cylinders immersed in 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution (Unit : %)

Mix type	Immersed period(days)		
	21	28	31
R1	25.70	39.64	43.53
R2	22.52	37.36	40.57
R3	20.68	35.16	38.35
R4	19.57	32.15	36.62
R5	15.77	25.55	31.28
R6	14.09	22.96	27.86
R7	12.41	22.03	26.75

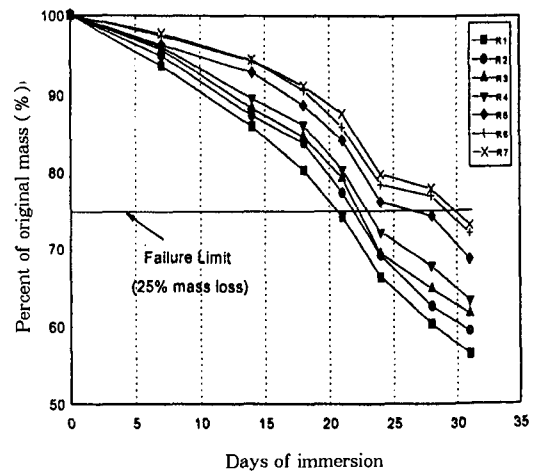


Fig. 1. Mass loss of concrete cylinders immersed in 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution

에 접하여 황산염에 노출 될 경우 반복된 건조과정을 통하여 많은 양의 황산염이 구조물에 축적되어 콘크리트의 성능저하가 발생하게 된다.<sup>4)</sup>

한편, 벚짚재 콘크리트의 내산성시험은 1주에 2회 측정하였으며, 보통 시멘트 콘크리트와 벚짚재를 결합재량의 10%를 혼입한 R5 및 15% 혼입한 R7의 중량 감소가 25% 이상인 때의 시험 결과를 나타내면 Table 9 및 Fig. 1과 같다.

Table 9 및 Fig. 1에서 보는 바와 같이 벚짚재 콘크리트의 내산성은 벚짚재의 혼입량이 많을수록 증가되었으며, 벚짚재를 혼입하지 않은 보통 시멘트 콘크리트는 황산 5% 용액에 침적한 후

21일만에 최초중량의 25% 이상이 감소한 반면, 벚짚재를 10% 혼입한 벚짚재 콘크리트는 28일만에, 15% 혼입한 벚짚재 콘크리트는 31일만에 최초중량의 25% 이상이 감소하였다.

한편, 황산침적에 의한 콘크리트의 중량감소 원인은 콘크리트 성분중의 수산화 칼슘과 황산이온과의 결합으로 콘크리트가 팽창하여 콘크리트의 표면이 탈락함으로써 중량이 감소되며, 벚짚재를 10% 혼입한 콘크리트와 15% 혼입한 콘크리트의 내산성이 보통 시멘트 콘크리트보다 각각 1.33배와 1.47배 크게 나타난 것은 벚짚재의 주성분이 SiO<sub>2</sub>로서 산 및 알칼리에 침식되지 않는 화학적 특성으로 황산이온의 침투를 억제하였기 때문이라 생각된다.<sup>7)</sup>

#### IV. 결 론

이 연구는 벚짚재와 시멘트 및 천연골재와 고유동화제를 사용한 벚짚재 콘크리트를 개발하여 그 물리·역학적 특성을 실험적으로 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단위중량은 배합설계에 따라 2,293~2,231 kgf/m<sup>3</sup>으로서 보통 시멘트 콘크리트에 비해 1~3% 정도 감소하였다.
2. 각 강도는 벚짚재를 시멘트 대응으로 5% 혼입한 콘크리트에서 가장 크게 나타났으며, 보통 시멘트 콘크리트의 강도보다 압축강도는 19%, 인장강도는 53%, 휨강도는 16% 증가하였다.
3. 강도비는 모든 배합에서 보통 시멘트 콘크리트보다 대체적으로 크게 나타났으며, 벚짚재 콘크리트는 압축강도와 휨강도도 증가하지만 인장강도의 증가가 상대적으로 크게 나타났다.
4. 내산성은 벚짚재의 혼입량이 많을수록 증가

되었으며, 벚짚재를 10% 혼입한 콘크리트와 15% 혼입한 콘크리트의 내산성은 내구성에 있어서 보통 시멘트 콘크리트보다 각각 1.33배와 1.47배 크게 나타났다.

5. 시멘트량의 일부로서 적정량의 벚짚재를 혼입하여 벚짚재 콘크리트를 제조할 경우 물리·역학적 특성이 보통 시멘트 콘크리트보다 우수할 뿐만 아니라, 농업부산물의 재활용으로 인한 경제적 측면에서도 많은 기여를 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. Neville, A. M., 1995, Properties of concrete, 4rd Ed., Longman Malaysia, London, 666~674.
2. Brandt, A. M., 1995, Cement-based composites : Materials, Mechanical Properties and Performance, E & FN Spon, 66.
3. 성찬용, 1997, 왕겨재 콘크리트의 개발 및 그 공학적 성능에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지, 39(5), 55~63.
4. 한국콘크리트학회, 1997, 최신콘크리트공학, 한국콘크리트학회, 453~476.
5. Swamy, R. N., 1986, Cement replacement materials (concrete technology and design), Surrey University Press, 3, 171~196.
6. Al-Khalaf, Moayad N. and Yousif, Hana A., 1984, Use of rice husk ash in concrete, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 6(4), 263~275.
7. Wolfgang Czernin., 1980, Cement chemistry and physics for civil engineers, Wiesbadener Graphische Betriebe GmbH, 10~17.