

볏짚재 콘크리트의 동결융해 저항성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Freezing and Thawing Resistance of Rice Straw Ash Concrete

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

Abstract

The purpose of this experiment is to estimate freezing and thawing resistance of rice straw ash concrete.

Test results show that mass, pulse velocity and relative dynamic modulus of elasticity are gradually decreased with increase of freezing and thawing cycle. The durability factor(DF) is in the range of 85.48~86.33 in the rice straw ash concrete with 2.5%, 5%, 7.5% rice straw ash and higher than that of the normal cement concrete. But, DF of 10%, 12.5%, 15% rice straw ash filled rice straw ash concrete is in the range of 41.26~65.34 and lower than that of the normal cement concrete.

I. 서 론

콘크리트의 내구성이란 동결융해, 한서, 건조습윤 등이 반복하여 작용하는 기상 작용과 화학 물질에 의한 침식작용, 중성화, 철근의 부식 등에 저항하여 오랜기간 동안 구조물이 견딜 수 있는 성질이라고 할 수 있으며, 콘크리트는 다른 건설재료에 비하여 내구성이 우수한 것으로 알려져 있다.

그러나, 우리 나라는 겨울철에 밤과 낮의 기온차가 크고 구조물에 동결과 융해의 작용이 일년 중 약 4개월 동안 반복적으로 이루어지기 때문에 구조물의 동결융해 저항성에 대한 검토가 필요하다 하겠다.

이에 따라 근년에 이르러서는 콘크리트의 내구성을 개선시키기 위한 방안으로 신소재 개발, 특히 산업 및 농업 부산물을 이용한 특수재료 개발이 다각적으로 이루어지고 있다.^{1,7,8)}

한편, 우리 나라의 농지 230여만 ha 중, 약 105만 ha에 벼농사를 짓고 있으며, 여기서 생산되는 농업부산물인 볏짚이 연간 약 520만톤 정도로 추산된다. 이 볏짚은 퇴비, 사료, 펄프 등으로 쓰여져 왔으나, 최근에는 영농기술의 발달과 산업의 발달 및 경제성장의 결과, 농촌에서도 난방연료를 석유나 가스로 사용하고, 사료도 배합사료에 의존하고 있어 거의 퇴비로 사용하고 있는 실정이다. 이처럼 농업부산물인 볏짚은 쌀의 생산을 계속하

* 충남대학교 농과대학

** 충남대학교 농업과학연구소

키워드 : 볏짚재 콘크리트, 동결융해 저항성, 상대 동탄성 계수, 내구성 지수

벼짚재 콘크리트의 동결융해 저항성에 관한 실험적 연구

는 한 매년 얻을 수 있는 무한 자원이기 때문에 농업부산물의 유효이용 및 환경보호 측면에서도 이의 활용법에 관한 연구가 요구되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 농업부산물인 벚짚을 이용한 벚짚재 콘크리트를 개발하여 동결융해 저항성이 요구되는 구조물에 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, 화학 성분은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of normal portland cement (Unit : %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
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, 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Physical properties of aggregate

Item	Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus	Unit weight (kgf/m ³)
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

다. 벚짚재

본 실험에 사용된 벚짚재는 벚짚이 완전 연소되어 탄소성분(carbon)이 모두 손실되지 않도록 하

기 위하여 태우는 도중에 임의로 소각을 중지시켜 불완전 연소가 되도록 하여 유기성분과 무기성분을 함유할 수 있도록 조절하였으며, 분쇄기로 미세한 입자를 만든 후 체분석을 하여 입경 0.15mm 이하, 절대 건조상태에서 골재의 단위용적중량 시험방법(KS F 2505)의 지깅(jigging) 시험에 의해 3층 25회 두드린 후의 단위중량 252kgf/m³인 것을 사용하였으며, 화학 성분은 Table 3과 같다.

Table 3. Chemical composition of rice straw ash

(Unit : %)

SiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	lg. loss
88.6	0.85	0.73	6.20	3.58	0.04

라. 고성능 감수제

본 실험에 사용된 혼화제는 단위수량의 감소에 의한 콘크리트의 강도 증진과 내부의 조적을 치밀하게 하기 위하여 음이온 계면 활성제인 나프탈렌설폰산염을 주성분으로 하는 고성능 감수제로⁴⁾ 일반적 성질은 Table 4와 같다.

Table 4. General properties of superplasticizer

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

2. 공시체 제작

가. 콘크리트 배합

벼짚재 콘크리트의 배합은 강도 및 동결융해 저항성을 고려하고 벚짚재의 첨가량을 변수로하여 시멘트, 벚짚재, 잔골재 및 굵은골재 등의 배합비를 결정하였던바, 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, 고성능 감수제는 결합재 중량의 1% 사용

Table 5. Mix design of rice straw ash concrete

(Unit : wt.%)

Type	Cement	Natural sand	Natural gravel	Rice straw ash	Super plasticizer	W/(C+RSA)	Slump (cm)
R1	17.10	33.13	49.77	0.00	0.17	48	8±1
R2	16.60	33.16	49.81	0.43	0.17	49	
R3	16.07	33.20	49.88	0.85	0.17	50	
R4	15.37	33.32	50.06	1.25	0.17	54	
R5	14.79	33.42	50.15	1.64	0.16	58	
R6	14.20	33.49	50.28	2.03	0.16	62	
R7	13.62	33.57	50.41	2.40	0.16	68	

하였으며, 이의 배합설계 결과는 Table 5와 같다.

나. 공시체 제작 및 양생

벚짚재 콘크리트의 제작은 KS F 2403 (시험실에서 콘크리트의 압축 및 휨강도 시험용 공시체를 제작하고 양생하는 방법)에 준하여 잔골재와 굵은 골재를 잘 혼합한 다음 시멘트와 벚짚재를 투입하는 순서로 하였으며, 몰드에 타설된 콘크리트는 양생상자에서 24시간 정치 후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생(20±1°C) 하였다.

3. 시험방법

동결융해시험은 시험기 성능 관계로 60×60×240mm의 각주형 공시체를 제작하여 재령 28일에 KS F 2456 (급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 수중 급속 동결융해시험을

하였으며, 이때 공시체의 온도는 동결시 -18°C 융해시 4°C가 되게 하였고 동결융해의 1사이클은 2시간 40분이 소요되었다. 시험동안 매 100사이클 간격으로 측정하였으며, 동결융해의 반복이 700사이클이 되거나 상대 동탄성 계수가 60% 이하로 될 때 시험을 완료하였다. 동결융해시험장치의 개략도는 Fig. 1과 같고, 중량감소, 초음파진동속도, 상대 동탄성 계수 및 내구성 지수는 다음 식으로 산출하였다.

가. 중량감소시험

중량감소시험은 동결융해 매 100사이클 간격으로 중량을 측정하여 다음 식으로 산출하였다.

$$W = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \times 100$$

여기서,

- W = 동결융해 C 사이클 후의 중량감소율 (%)
- W₀ = 동결융해 0 사이클에서의 중량 (g)
- W₁ = 동결융해 C 사이클에서의 중량 (g)

나. 초음파진동속도시험

초음파진동속도는 60×60×240mm인 공시체에 PUNDIT를 사용하여 BS 4408(콘크리트의 초음파진동속도 측정방법)에 준하여 측정후 다음 식으로 산출하였다.

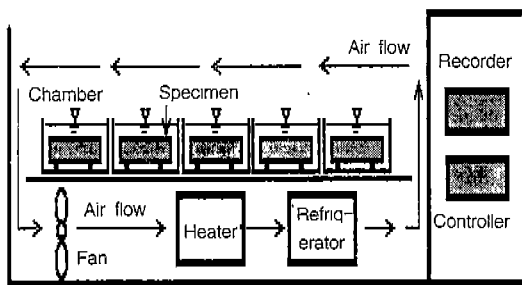


Fig. 1. Schematic of freezing and thawing test apparatus

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

여기서, $P \cdot V$ = 초음파진동속도 (m/s)

D = 측정치 (s)

L = 공시체 길이 (m)

다. 상대 동탄성 계수 시험

동탄성 계수는 60×60×240mm인 공시체의 길이방향 양면 중앙에 종진동에 의한 공명진동을 측정하여 BS 1881(콘크리트의 동탄성 계수 측정방법)에 준하여 측정하였으며, 시험장치는 Fig. 2와 같고, 상대 동탄성 계수는 다음 식으로 산출하였다.

$$P_c = (n_1^2/n^2) \times 100$$

여기서, P_c = 동결융해 C사이클 후의 상대 동탄성 계수 (%)

n = 동결융해 0사이클에서의 가로 1차진동 주파수

n_1 = 동결융해 C 사이클 후의 가로 1차진동 주파수

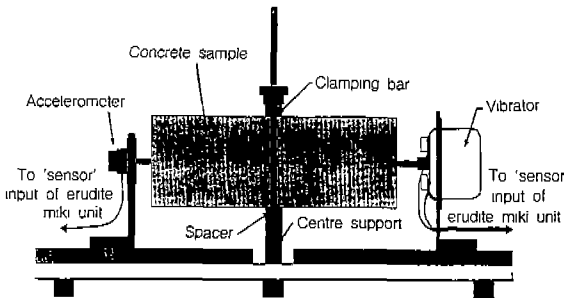


Fig. 2. Test bench setup for longitudinal mode tests

라. 내구성 지수

내구성 지수는 동결융해의 반복이 700cycle 또는 상대 동탄성 계수가 60% 이하(KS F 2456 급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)로 감소하였을 때 다음 식으로 산출하였다.

$$DF = PN / M$$

여기서, DF = 내구성 지수

P = N사이클에서의 상대 동탄성 계수 (%)

N = 동결융해의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수

M = 동결융해의 노출이 끝날 때의 사이클 수

III. 결과 및 고찰

콘크리트의 동해는 물을 포함한 콘크리트가 동결함으로써 생기며, 동결과 융해가 반복됨으로써 콘크리트의 성능이 저하되고, 동해정도는 일반적으로 이 작용을 콘크리트에 반복해 주는 동결융해 시험에 의해 판정된다.²⁾

본 연구에서 얻어진 벚짚재 콘크리트의 동결융해 시험결과는 Table 6 및 Fig. 3, 4, 5, 6과 같다.

1. 중량감소

동결융해시험이 진행되는 동안 콘크리트는 내·외부적으로 많은 변화가 일어나는데, 일반적으로 실리카흄을 사용한 콘크리트의 경우 공시체의 내부에 미세균열이 발생하게 되며, 플라이 애시나 고로 슬래그를 사용한 콘크리트의 경우 물과 직접적으로 접촉하는 공시체의 표면 탈락으로 중량의 감소가 발생하게 된다.⁵⁾

그러나, 동결융해시험동안 벚짚재 콘크리트의 중량 감소는 Table 6 및 Fig. 3에서 보는 바와 같이 1.24~1.96%의 범위로 배합비에 따라 약간의 차이가 나타났을 뿐, 시험 진행 동안 두드러진 표면 탈락 현상은 나타나지 않았으며 표면만 다소 거칠어지는 현상을 보였다.

이와 같이 벚짚재를 혼입한 콘크리트의 표면이 거칠어지는 것은 보통 시멘트 콘크리트와 달리 표면의 벚짚재가 물과 접촉하면서 동결융해의 반복 작용 시 시멘트와 완전히 결합되지 못한 일부가 소실되기 때문인 것으로 생각된다.

Table 6. Test results of freezing and thawing of rice straw ash concrete

Type	Final cycle number	Decrease ratio of weight(%)	Decrease ratio of pulse velocity (%)	Relative dynamic modulus of elasticity(%)	Durability factor
R1	700	1.91	11.30	85.21	85.21
R2	700	1.86	10.35	85.48	85.48
R3	700	1.36	7.47	86.33	86.33
R4	700	1.24	10.24	86.16	86.16
R5	700	1.91	16.77	65.34	65.34
R6	700	1.96	16.96	64.08	64.08
R7	500	1.65	16.28	57.76	41.26

2. 초음파진동속도

초음파진동속도는 콘크리트내에 초음파를 공시체의 종방향으로 방사하여, 이것이 전달되는 시간으로부터 콘크리트의 품질을 검사하는 비파괴시험의 일종으로서 재료의 밀도나 탄성특성에 크게 좌우되며, 특히 콘크리트 구조물의 밀도, 공극, 균열, 강도 등을 분석 추정하는 곳에 많이 사용된다.

한편, Table 6 및 Fig. 4에서 보는 바와 같이 동결융해 사이클이 증가함에 따라 초음파진동속도⁶⁾는 모든 배합에서 감소하는 경향을 보였으며, 벚짚재의 혼입량이 2.5%, 5%, 7.5%인 벚짚재 콘크리트의 초음파진동속도 감소율은 7.47~10.35%로서 보통 시멘트 콘크리트의 감소율 11.30%보다 낮았고, 벚짚재를 5% 혼입한 콘크리트에서 가장 낮은 감소율을 나타냈다. 이것은 벚짚재가 콘크리트의 내부 조직을 치밀하게 하여 공시체에 물의 침투를 억제하여 내부에서의 동결과 융해의 반복작용을 감소시켰기 때문이라 생각되며, 벚짚재의 혼입량이 10%, 12.5%, 15%인 벚짚재 콘크리트의 감소율은 16.28~16.96%로 보통 시멘트 콘크리트보다 높게 나타났는데 이는 결합력이 없는 벚짚재의 혼입량이 많아짐에 따라 동결과 융해의 반복작용시 조직의 치밀성이 감소하였기 때문이다.

3. 상대 동탄성 계수

일반적으로 콘크리트의 동탄성 계수는 응력-변형률 곡선에 의해 구해지며, 이는 구조 해석시 중

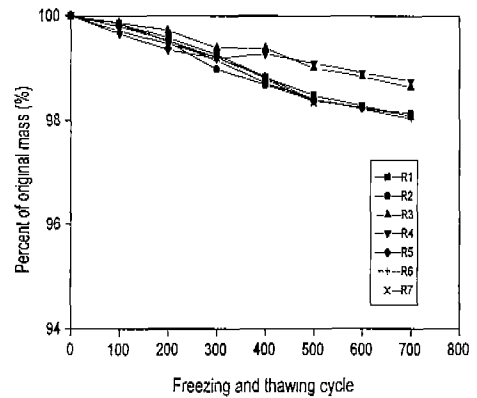


Fig. 3. Mass loss for freezing and thawing cycle

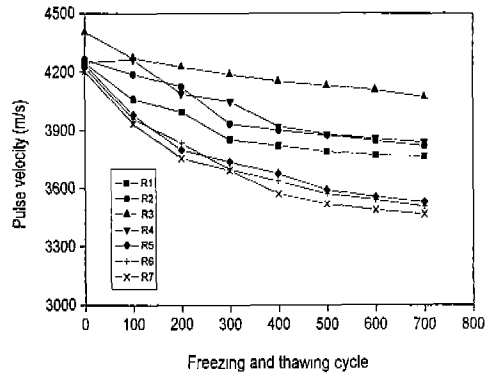


Fig. 4. Pulse velocity for freezing and thawing cycle

요한 요소이다. 그러나 동탄성 계수는 콘크리트의 내구성을 판단하는데 주로 이용된다.

본 실험에서 측정된 상대 동탄성 계수는 Table 6 및 Fig. 5에서 보는 바와 같이 동결융해 사이클

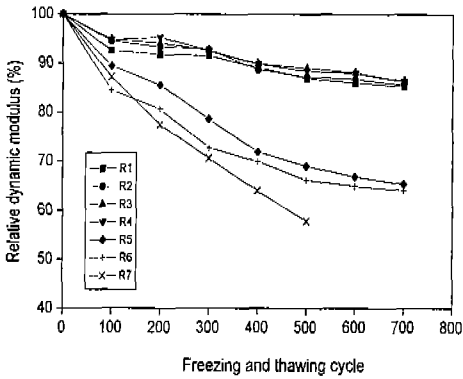


Fig. 5. Relative dynamic modulus for freezing and thawing cycle

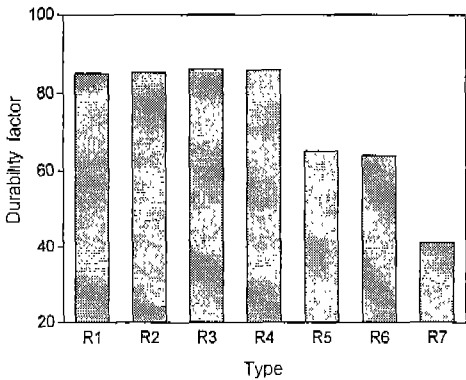


Fig. 6. Durability factor after freezing and thawing 700 cycles

이 증가하는 동안 모든 배합에서 감소하는 경향을 보였으며, 700사이클에서 벚짚재의 혼입량이 2.5%, 5%, 7.5%인 벚짚재 콘크리트의 상대 동탄성 계수는 85.48~86.33%로 보통 시멘트 콘크리트의 상대 동탄성 계수 85.21%와 거의 유사하게 나타났고, 벚짚재를 5% 혼입한 콘크리트에서 가장 높은 값을 나타냈으며, 벚짚재의 혼입량이 10%, 12.5%인 벚짚재 콘크리트는 각각 65.34%, 64.08%로 매우 낮게 나타났고, 15% 혼입한 벚짚재 콘크리트는 목표 사이클인 700사이클에 도달하지 못하고 500 사이클에서 상대 동탄성 계수가 60% 이하로 감소하였다.

이와 같이 벚짚재를 10% 이하로 혼입한 콘크리트는 미세립의 벚짚재가 콘크리트 내부의 공극을

채워 충전에 의한 강도 증진과 조직의 치밀성으로 동결융해 사이클이 진행되는 동안 낮은 상대 동탄성 계수의 감소를 나타냈으며, 벚짚재를 10% 이상 혼입한 콘크리트는 결합재로 사용되는 시멘트의 양은 감소되고 결합력이 없는 벚짚재의 양이 증가되어 콘크리트 내부 조직의 결합력 감소에 의해 동결융해 사이클이 진행되는 동안 상대 동탄성 계수가 크게 감소된 것으로 생각된다.

4. 내구성 지수

콘크리트의 동결융해 저항성은 물-시멘트비, 공기량 등에 많은 영향을 받으며 일반적으로 물-시멘트비가 작고, AE제를 사용하는 경우 동결융해 저항성이 우수한 것으로 알려져 있다.

한편, 콘크리트의 동결융해 저항성은 내구성 지수라는 값으로 나타내며 벚짚재를 혼입한 콘크리트의 내구성 지수는³⁾ Table 6 및 Fig. 6에서 보는 바와 같이 벚짚재를 15% 혼입한 R7을 제외한 모든 배합에서 상대 동탄성 계수와 같은 값을 나타내었다.

이와 같이 벚짚재의 혼입량에 따라 내구성 지수가 크게 차이가 나타났으며, 이는 벚짚재 콘크리트의 배합비를 결정하는데 있어서 중요한 자료라 할 수 있다.

IV. 결 론

이 연구는 벚짚재와 시멘트 및 천연골재와 고유 동화제를 사용한 벚짚재 콘크리트를 개발하여 동결융해에 대한 저항성을 실험적으로 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 중량감소율은 벚짚재 콘크리트가 1.24~1.96%의 범위로 배합비에 따라 차이를 보였으며, 보통 시멘트 콘크리트의 중량감소율은 1.91%로 나타났다.

2. 초음파진동속도의 감소율은 벚짚재를 2.5%, 5%, 7.5% 혼입한 콘크리트에서 7.47~10.35%로 보통 시멘트 콘크리트의 감소율 11.30%보다 작게

나타났으며, 벚짚재를 10%이상 혼입한 콘크리트에서는 16.28~16.96%로 크게 나타났다.

3. 상대 동탄성 계수는 벚짚재를 2.5%, 5%, 7.5% 혼입한 콘크리트에서 85.48~86.33%로 보통 시멘트 콘크리트의 85.21%와 거의 유사하였고, 벚짚재의 혼입량이 10% 이상인 경우에는 급격히 감소하였다.

4. 내구성 지수는 벚짚재를 5% 혼입한 콘크리트가 86.33으로 가장 높게 나타났으며, 15% 혼입한 콘크리트는 41.26으로 가장 작게 나타났다.

5. 시멘트량의 일부로 적정량의 벚짚재를 혼입하여 벚짚재 콘크리트를 제조하여 사용할 경우 동결융해 저항성이 보통 시멘트 콘크리트보다 우수할 뿐만 아니라, 농업부산물의 활용 측면에서도 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. 한국콘크리트학회, 1997, 최신콘크리트공학, 한국콘크리트학회, pp. 413-475.
3. Neville, A. M., 1995, Properties of concrete, 4rd Ed., Longman Malaysia, London, pp. 666-674.
4. Brandt, A. M., 1995, Cementbased composites : materials, mechanical properties and performance, E & FN Spon, pp. 66.
5. Hoff, G. C., 1995, Freezing and thawing of lightweight concrete, Proceedings of the International Conference on Concrete under Severe Conditions, CONSEC '95, pp. 129-138.
6. Kaufmann, J. and Studer, W., 1995, Scaling process on specimen surfaces in freezing and thawing test, Proceedings of the International Conference on Concrete under Severe Conditions, CONSEC '95, pp. 89-94.
7. Moayad, N. Al-Khalaf. and Yousif, Hana A., 1984, Use of rice husk ash in concrete, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, 6(4), pp. 241-248.
8. Swamy, R. N., 1986, Cement replacement materials (concrete technology and design), Surrey University Press, 3, pp. 171-196.