# 볏짚재 콘크리트의 동결융해 저항성에 관한 실험적 연구

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

김 영 익* · 성 찬 용 · 김 경 태
Kim, Young Ik · Sung, Chan Yong · Kim, Kyung Tae

서 대 석 · 남 기 성 (충남대)
Seo, Dae Seuk · Nam, Ki Sung

**Abstract**

This experiment was on purpose to estimate freezing and thawing resistance concering with developing rice straw ash concrete which were mixed rice straw ash to cement as ratio of cement weight.

Freezing and thawing test was done by Method A of KS F 2456.

It could estimate change of original mass, pulse velocity and dynamic modulus of elasticity during test.

Test results showed that 5% filled rice straw ash concrete had the highest durability factor(DF) as 86 and from 5% to 7.5% filled rice straw ash concrete showed higher DF than normal cement concrete.

## Ⅰ. 서 론

콘크리트의 내구성이란 동결융해, 한서, 건조습윤 등이 반복하여 작용하는 기상 작용과 화학물질에 의한 침식작용, 중성화, 철근의 부식 등에 저항하여 오랜기간 동안 구조물이 견딜수 있는 성질이라고 할 수 있으며 콘크리트는 다른 건설재료에 비하여 내구성이 우수한 재료이며 장기간에 걸쳐서 콘크리트 구조물의 내구성이 우수하다는 것이 입증되어 왔다.

그러나 최근에는 대규모 건설의 증가에 따른 대량 골재의 사용에 따른 양질의 천연골재의 부족과 건설기술의 진보, 향상에 따른 지금까지 경험하지 못한 새로운 분야에 사용되거나 심각한 조건의 환경에 사용되는 기회의 증가, 대기오염에 등에 의한 콘크리트의 내구성이 문제시되고 있으며, 환경문제와 함께 이를 해결할 수 있는 신소재 개발, 특히 산업 및 농업 부산물을 이용한 특수재료 개발에 심혈을 기울이고 있다[3].

1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1998년 10월 24일)

한편, 농업부산물인 볏짚은 쌀의 생산을 계속하는 한 매년 얻을 수 있는 무한 자원이기 때문에 농업부산물의 유효 이용 측면에서도 이의 활용법에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다.

따라서, 본 연구에서는 농업부산물을 이용하여 동결융해 저항성이 우수한 콘크리트를 개발하여 구조물의 내구성을 향상시키기 위한 기초 자료를 마련하는데 그 목적이 있다.

## Ⅱ. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 시멘트

S회사 제품으로서 산화칼슘이 63%, 규사가 21% 함유된 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

#### 나. 골 재

굵은골재는 최대입경이 10mm이하인 천연자갈을, 잔골재는 최대입경이 4.75mm이하인 천연모래를 사용하였다.

#### 다. 볏짚재

볏짚재(rice straw ash = RSA)는 볏짚을 태워 분쇄기로 미세한 입자를 만든 후 체분석을 하여 입경이 0.15mm이하이고, 단위중량이 0.275t/㎥인 것을 사용하였다.

#### 라. 고성능 감수제

혼화제는 콘크리트의 강도 증진과 유동성 확보를 위하여 음이온 계면 활성제인 나프탈렌 설폰산염을 주성분으로 하는 고성능 감수제를 사용하였다[2].

### 2. 공시체 제작

#### 가. 콘크리트 배합

볏짚재 콘크리트의 배합은 강도를 고려하여 볏짚재의 첨가량에 역점을 두었으며, 실용화 할 수 있는 강도를 나타내는 동시에 보통 시멘트 콘크리트보다 월등한 내구성을 발휘할 수 있는 배합비로 하였다. 이와같은 방법에 의하여 시멘트, 볏짚재, 잔골재 및 굵은골재 등의 배합비를 결정하였으며, 볏짚재를 결합재(시멘트+볏짚재) 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%를 사용하였다.

나. 공시체 제작 및 양생

볏짚재 콘크리트의 제작은 KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 잔골재와 굵은골재를 잘 혼합한 다음 시멘트와 볏짚재를 투입하는 순서로 하였으며, 몰드에 타설된 콘크리트는 양생상자에서 24시간 정치 후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생(20±1℃)을 하였다.

3. 시험방법

동결융해시험은 동결융해 시험용 공시체 60×60×240mm의 각주 공시체를 제작하여 재령 28일에 KS F2456 (급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 수중 급속 동결융해 시험을 하였으며 이때 공시체의 온도는 동결시 -18℃, 융해시 4℃가 되게 하였고 동결융해의 1사이클은 2시간 40분이 소요되었다. 시험동안 매 100사이클 간격으로 측정하였고, 동결융해의 반복이 700사이클이 되거나 상대동탄성계수가 60%이하로 될 때 시험을 완료하였으며, 상대 동탄성 계수 및 내구성 지수와 압축강도는 다음식으로 산출하였다.

가. 상대 동탄성계수

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

여기서, $P_c$ = 동결융해 C사이클 후의 상대동탄성계수 (%)

n = 동결융해 0사이클에서의 가로 1차 진동주파수

$n_1$ = 동결융해 C 사이클 후의 가로 1차 진동주파수

나. 내구성 지수

$$DF = PN / M$$

여기서, DF = 내구성 지수

P = N사이클에서의 상대 동탄성계수

N = 동결융해의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클수

M = 동결융해의 노출이 끝날때의 사이클수

다. 압축강도 추정

$$\sigma_c = \left(\frac{E_D}{1.83\times 10^4}\right)^2$$

여기서, $\sigma_c$ = 압축강도 (kgf/㎠)

$E_D$ = 동탄성계수 (kgf/㎠)

## Ⅲ. 결과 및 고찰

콘크리트의 동결은 물을 포함한 콘크리트가 동결하는 것에 의해 생기며, 콘크리트 구조물의 성능저하는 동결과 융해가 반복되는 것에 의해 촉진되고, 동해는 일반적으로 이 작용을 콘크리트에 반복해 주는 동결융해 시험에 의해 판정된다.

한편, 고유동화제를 사용한 볏짚재 콘크리트의 동결융해 시험결과를 나타내면 Fig.1,2,3,4,5,6과 같다.

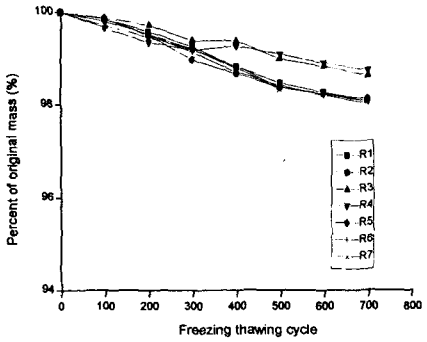


Fig.1. Mass loss for freezing and thawing cycle

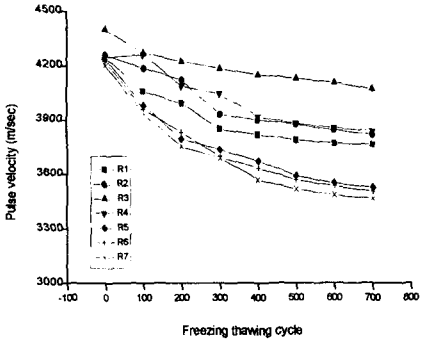


Fig.2. Pulse velocity for freezing thawing cycle

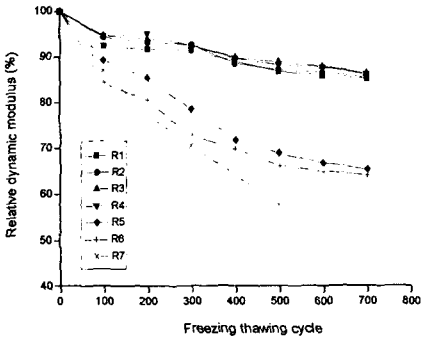


Fig.3. Relative dynamic modulus for freezing and thawing cycle

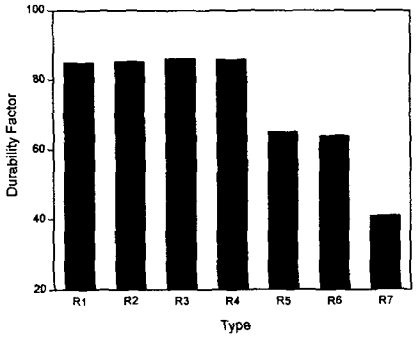


Fig.4. Durability factor after freezing thawing 700 cycle

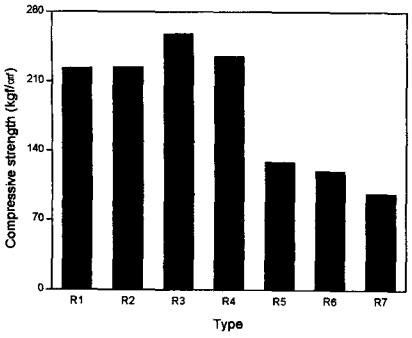


Fig.5. Compressive strength after freezing thawing 700 cycle

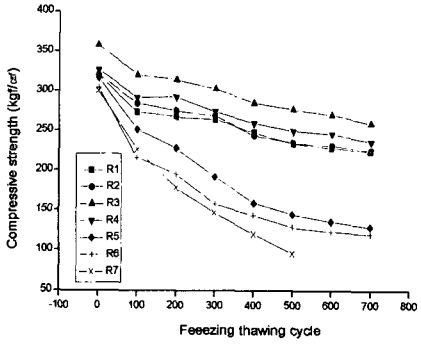


Fig.6. Compressive strength for freezing thawing cycle

동결융해 시험결과는 Fig.1,2,3,4,5,6에서 보는 바와 같이, 볏짚재 콘크리트의 중량 감소는 1.24~2.09%의 범위로써 배합비에 따라 차이가 나타났고, 보통 시멘트 콘크리트는 1.91%로 나타났으며, 시험 완료 후 표면 탈락 현상은 나타나지 않았다.

또한, 동결융해사이클이 증가함에 따라 초음파진동속도[4]는 모든 배합에서 감소하는 경향을 보였으며, 볏짚재의 혼입량이 2.5%, 5%, 7.5%인 볏짚재 콘크리트의 초음파진동속도 감소율은 7.47~10.24%로써 보통 시멘트 콘크리트의 감소율 11.30%보다 낮았고, 볏짚재를 5% 혼입한 콘크리트에서 가장 낮은 감소율을 나타내었으며, 볏짚재의 혼입량이 10%, 12.5%, 15%인 볏짚재 콘크리트의 감소율은 16.28~16.96%로써 보통 시멘트 콘크리트보다 높게 나타났다.

또한, 상대 동탄성계수는 동결융해 사이클이 증가하는 동안 모든 배합에서 감소하는 경향을 보였으며, 700사이클에서 볏짚재의 혼입량이 2.5%, 5%, 7.5%인 볏짚재 콘크리트의 상대 동탄성계수는 85.48~86.33%로써 보통 시멘트 콘크리트의 상대 동탄성계수 85.21%와 거의 유사하게 나타났고, 볏짚재를 5% 혼입한 콘크리트에서 가장 높은 값을 나타냈으며, 볏짚재의 혼입량이 10%, 12.5%인 볏짚재 콘크리트는 각각 65.34%, 64.08%로써 매우 낮게 나타났고, 15% 혼입한 볏짚재 콘크리트는 목표 사이클인 700사이클에 도달하지 못하고 500사이클에서 상대 동탄성계수가 60% 이하로 감소하였다.

또한, 동결융해 저항성을 나타내는 내구성 지수[1]는 볏짚재를 15% 혼입한 R7을 제외한 모든 배합에서 상대 동탄성계수와 같은 값을 나타냈으며, R7은 41.26의 내구성 지수를 나타냈다.

한편, 동결융해 700 사이클 후 압축강도는 동결융해 시험전의 압축강도에 비해 모든 배합에서 감소하였으며, 볏짚재를 2.5%, 5%, 7.5% 혼입한 볏짚재 콘크리트는 압축강도 감소율이 27.60~29.68%로써 보통 시멘트 콘크리트의 감소율 29.78%에 비해 약간 낮았고, 볏짚재를 10%, 12.%, 15% 혼입한 볏짚재 콘크리트는 59.17~67.67%로써 강도의 저하가 크게 나타났다.

이와 같이 볏짚재를 7.5%이하로 혼입한 콘크리트가 보통 시멘트 콘크리트보다 동결융해 저항성이 크게 나타난 것은 미세한 볏짚재가 콘크리트 내부의 공극을 적절히 채워 투수를 적게 하여 침투수에 의한 동결로 인하여 발생되는 콘크리트 내부의 팽창을 억제하였기 때문으로 생각된다.

한편, 볏짚재의 혼입량이 7.5% 이상인 콘크리트의 동결융해 저항성이 작게 나타난 것은 결합력이 없는 볏짚재의 증가로 인하여 동결융해의 반복작용시 콘크리트 내부 조직의 결합력 감소에 의한 것으로 생각된다.

## Ⅳ. 결 론

이 연구는 볏짚재와 시멘트 및 천연골재와 고유동화제를 사용한 볏짚재 콘크리트를 개발하여 동결융해에 대한 저항성을 실험적으로 구명한 것으로써, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 중량감소율은 볏짚재 콘크리트가 1.24~2.09%의 범위로써 배합비에 따라 차이가 나타났으며 보통 시멘트 콘크리트의 중량감소율은 1.91%로 나타났다.
2. 초음파진동속도의 감소율은 볏짚재를 2.5%, 5%, 7.5% 혼입한 콘크리트에서 7.47~10.24%로써 보통 시멘트 콘크리트의 감소율 11.30%보다 작게 나타났으며, 볏짚재를 10%이상 혼입한 콘크리트는 16.28~16.96%로써 크게 나타났다.
3. 상대동탄성계수는 볏짚재를 2.5%, 5%, 7.5% 혼입한 콘크리트에서 85.48~86.33%로써 보통 시멘트 콘크리트의 85.71%와 거의 유사하였고, 볏짚재의 혼입량이 10%이상 증가한 경우에는 급격히 감소하였으며, 15% 혼입한 콘크리는 목표사이클에 도달하지 못하였다.
4. 내구성지수는 볏짚재를 5% 혼입한 콘크리트가 86.33으로써 가장 높게 나타났으며, 15% 혼입한 콘크리트는 41.26으로써 가장 작게 나타났다.
5. 압축강도의 감소는 볏짚재를 2.5%,5%,7.5% 혼입한 콘크리트에서 29.68~27.60%로써 보통 시멘트 콘크리트의 29.78%와 거의 유사하였으며, 볏짚재를 10%, 12.5%, 15% 혼입한 콘크리트는 59.17~67.67%로써 강도의 저하가 뚜렷하게 나타났다.
6. 시멘트량의 일부로서 적정량의 볏짚재를 혼입하여 볏짚재 콘크리트를 제조할 경우 동결융해 저항성이 보통 시멘트 콘크리트보다 우수할 뿐만 아니라, 농업부산물의 재활용으로 인한 경제적 측면에서도 많은 기여를 할 것이다.

## 참 고 문 헌


1. A. M Neville., 1995, Properties of concrete, 4rd Ed., Longman Malaysia, London : 666~674.
2. A. M. Brandt., 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. K. Sakai, N. Banthia, O.E. Gjorv, 1995, Concrete under severe conditions, Proceedings of the International Conference on Concrete under Servere