

왕겨재를 혼입한 콘크리트의 동결융해 저항성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Resistance of Concrete Included
Rice Husk Ash against Rapid Freezing and Thawing

이 준 구* · 박 광 수 · 이 응 찬(농진공) · 김 한 중(서울대)
Lee, Joon Gu · Park, Kwang Su · Lee, Eung Chan · Kim, Han Joong

Abstract

After researching the physical properties of the concrete included Rice Husk Ash(RHA concrete) and workability of fresh concrete admixed RHA, we have tested durability of RHA-concrete against freezing and thawing in the winter using rapid freezing and thawing test method(KS F 2456). There are two hypotheses to explain the failure mechanism of a freezing and thawing action. First, the hydraulic pressure in the pores of freezing concrete make an internal stress of concrete structures outbreking micro crack in the face of concrete. Second, Frost action causing damage to cement paste repeatedly come from soil frost action, freezing water in the capillaries. Initial Relative Dynamic Modulus of Elasticity (DME) was biggest in case of unit binder weight 600kgf/m³ and relative dynamic modulus of elasticity increased until 300cycles. In general, initial relative DME was proportional to unit binder weight. Relative DME was decreased in proportion to unit binder weight in the case of 300, 400, 500kgf/m³, but relative DME of the others remained more than 90% until 300 cycles. It was not good effect of intermixed RHA to concrete in case of below unit binder weight 300kgf/m³ and the resistance of freezing and thawing was not good either.

I. 서론

농업토목 구조물의 대다수는 물이나 습한 환경 하에 놓여있으며, 비관개시기인 겨울철에는 동결융해 작용에 의한 손상을 받기 쉽다. 또한 대다수의 수리구조물은 습한 흙이나 물에 포화된 상태로 유지되며, 그늘진 곳에 설치되는 경우가 많아 동결융해작용으로 인한 내구성저하가 발생한다. 콘크리트 내부의 공극수가 얼어서 수압이 높아지면, 미세균열이 발생되고 결국 표면의 콘크리트부터 서서히 탈락하는 경우를 흔히 볼 수 있다. 콘크리트는 동결과 융해의 반복되는 심한 환경을 겪는 동안 역학적 기능감퇴와 내구성의 저하가 발생하게된다. 그러나 콘크리트는 역학적 특성에 비해 내구적 특성을 평가하기란 쉽지 않다.

현장구조물에서의 탄성계수 감소는 콘크리트 구조물이 저온에 노출되어 반복되는 동결과 융해 작용을 받을 때 뿐 만 아니라 낮은 품질의 콘크리트 사용과 사용하중에 노출되기 전에 발생하는 건조수축으로 인한 미세균열, 피로하중, 과다하중, 이런 인자들의 조합으로부터 발생한다. 이와같이 여러 가지요인이 복합적으로 증첩되어 작용하기 때문에 현장구조물의 동결융해에

1999년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1999년 10월 16일)

대한 저항성을 정량적으로 평가하기란 쉽지 않다. 콘크리트의 내구성은 많은 시험시간이 경과 하여야 그 특성을 알 수 있기 때문에 연구자들은 단기간에 그 성질을 알아보고자 다양한 촉진형 실험을 실시하고 있다. 특히 콘크리트의 동결과 융해에 대한 저항성을 평가하기 위해서 동결 융해 실험법을 사용하고 있다.

그러나 동결융해로 인한 콘크리트의 파괴모드를 규명하기 위한 많은 연구가 있어왔지만, 콘크리트가 동해에 의해 파괴될 때 간격계수(spacing factor)의 역할과 공극수(pore water)가 어는 동안 발생하는 수압발생 기구에 대해서는 아직 명확하게 밝혀져 있지는 않다. 최근 Panchenko¹⁾는 콘크리트 공극수의 동결로 인하여 발생하는 수압의 크기는 잘 알려진 개념인 물리학과 콜로이드화학에 근거하여 간극길이에 대한 동결저항의 선형 의존성을 전제로 한 수학적 개념을 도입하여 예측할 수 있다고 하였다. 그러므로 콘크리트의 동결융해 저항특성을 바탕으로 저항성이 큰 콘크리트를 제작할 수 있다면, 내구성을 확보한 구조물을 시공하도록 함으로써 향상된 사용성을 갖는 구조물을 시공할 수 있게 되고, 잦은 개·보수로 인한 국고의 지출을 막을 수 있으며, 용수손실을 줄이고, 사용연한을 늘릴 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 농어촌진흥공사에서 연구하고 있는 콘크리트용 혼화재료로서의 왕겨재²⁾를 역학적 측면이나 시공성 보다는 이를 혼입한 콘크리트의 동결융해 저항성에 대하여 촉진형 실내 실험을 통해 내구성을 평가하는데 주안점을 두었다. 또한 동결융해에 의한 손상을 입기 쉬운 농업토목 콘크리트 수리구조물에 사용될 수 있는 동결융해 저항성이 큰 콘크리트 배합비를 찾아내는데 있다.

II. 시험재료 및 방법

2.1 사용재료

가. 시멘트

시멘트는 시중에서 구입한 보통 포틀랜드 시멘트(A사 제품)를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 1과 같다.

나. 골재

본 연구에 사용된 골재시료로서 잔골재는 남한강(경기 여주)산 하천사, 굵은골재는 안성(경기)산 부순돌을 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 각각 Table 2 및 Table 3과 같다.

다. 혼화제

본 연구에 사용된 혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 나프탈렌계의 고성능 AE감수제(표준형, K사)로서 그 품질특성은 Table 4와 같다.

라. 혼화재

혼화재료는 왕겨재를 사용하였는데 이는 왕겨를 고온(600℃)소각 후 불밀을 통해 미세분쇄한 것으로, 고분말 왕겨재와 고성능감수제를 혼입한 콘크리트는 점성을 갖으며 유동성을 확보하고 있기 때문에 재료분리저항성이 강하면서 시공성을 갖출 수 있다. 왕겨재 성분의 90%정도가 SiO₂로 실리카흙과 비슷하며 이를 혼입한 콘크리트의 역학적 특성은 실리카흙을 혼입한 콘크리트보다 우수한 것으로 본 연구기관에서 기 실험을 통하여 규명한 바 있으며 본 연구에서는 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 동결융해 저항성에 관한 실험을 그 목적으로 하고 있으며 품질특

성은 Table 5와 같다.

Table 1 Physical Properties of Cement

Types of Cement	Specific Gravity	Setting Time		Fineness of Cement (cm ² /g)	Compressive Strength(kgf/cm ²)		
		Initial Setting(min)	Final Setting(hr)		σ_3	σ_7	σ_{28}
Ordinary Portland Cement	3.14	227	6.16	3,338	193	223	311

Table 2 Physical Properties of Fine Aggregate

Types	Specific Gravity	Absorption (%)	Unit Weight (tf/m ³)	Passing Sieve No. 200 (%)	Fineness Modulus
River Sand (YOU-JU)	2.55	1.08	1.558	1.8	2.69

Table 3 Physical Properties of Coarse Aggregate

Types	Size of Max Aggregate(mm)	Specific Gravity	Absorption (%)	Unit Weight (tf/m ³)	Fineness Modulus	Rate of Abrasion (%)
Crushed Stone (ANSUNG)	19	2.71	0.6	1.551	6.57	28.5

Table 4 Properties of Chemical Admixtures

Specific Gravity	pH	Rate of Solidity (%)	Standard amount (%) (Cement Weight)	Main Component	Remarks
1.21	8	41	0.2 ~ 2.0	Sodium salt of a sulfurnate naphthalene	Liquid

Table 5 Properties of Chemical Admixtures

Types of Admixtures	Specific Gravity	Fineness (m ² /g)	Remarks
Rice Husk Ash	2.06	16.67	Combusting Dongjin Rice Husk and Milling it

2.2 실험방법

왕겨재를 혼입한 콘크리트와 플레인 콘크리트의 동결융해 저항성을 측정하기 위해 단위결합재량 300, 400, 500, 600kgf/m³에 대해서 각주형 시험체를 제작하고 표준양생하여 재령 14일에 동결융해시험을 시작하여 동탄성계수를 측정하였다.

동결융해 시험법(KS F 2456)은 수중동결융해의 A방법과 공기중동결 수중융해의 B방법의 2종류가 있으며 일일 6회~8회 동결융해를 반복한다. 본 연구에서는 B방법을 사용하였다.

A방법은 물에 가라앉은 상태에서 콘크리트를 동결융해시키는 것으로, 이 방법에는 시험조, 가열액조, 냉각액조를 필요로 하는 구조식과 시험조에 열교환기로 가열 또는 냉각한 블라인(Bline - 염수가 다량으로 녹아있는 물)을 제어유입시키는 1조식이 있다.

B방법에는 냉각을 공기 중에서 행하고, 온수에 의해 가열하여 융해한다. 시험조건은 A방법에 비하면 꽤 편리한 편이다. 시험체의 중심온도가 $-18 \pm 2 \sim +5 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 되도록 관리한다.

Table. 9 Comparison of two procedures of freezing and thawing testing method

Testing Methods		Maximum Temp.	Minimum Temp.	The Needing time of thaw (For one cycle)	One period (1 cycle)
Procedure A	Freezing in the water	-18±2℃	+5±2℃	More than 25%	3~4hr
	Thawing in the water				
Procedure B	Freezing in the air	-18±2℃	+5±2℃	More than 20%	3~4hr
	Thawing in the water				

동결융해 사이클은 공시체의 온도를 2~4시간 사이에서 교대로 4℃에서 -18℃로 떨어뜨리고, 다음에 -18℃에서 4℃로 상승시키는 방법으로 300주기를 원칙으로 하나 300주기 이내 일지라도 상대동탄성계수가 60%이하인 경우 시험을 종료하였다.

사용할 시험체는 10.1×7.7×41.2cm 각주형을 사용하였으며 14일 양성한 후 6±3℃의 상태로 옮겨 가로(중방향) 1차 주파수 시험을 하고 무게와 치수를 측정하고 동결융해시험을 실시하였다. 동결융해사이클이 36사이클을 초과하지 않은 범위의 간격으로 융해상태에서 실험장치로부터 공시체를 꺼내 진동주파수 측정시험을 실시하였다.

동탄성계수측정은 공명진동에 의한 콘크리트의 동탄성계수측정법(KS F 2437)을 따랐다. 구동회로는 진동수가 가변인 발전기, 증폭기 및 구동단자로 되어 있다. 발전기의 진동수가 500~10000Hz의 범위에 있는 것을 표준으로 하며, 진동수의 검정에는 음극선 역전류검출관(Oscil-loscope)과 표준발전자를 사용하였다. 측정방법은 공시체의 양 끝 자유단부에 발전기와 픽업장치를 접촉시키는 종진동 방법을 택하였다. 또한 동탄성계수와 상대동탄성계수의 크기는 아래의 식으로 구하였다.

Table 10 Used Formulas table

동탄성계수(KS F 2437참고)	상대동탄성계수	내구성 지수
$E_d = C_1 W f_1^2$	$P_c = (n_1^2/n^2) * 100$	DF = PN/M
단, $C_1 = 408 * 10^{-5} \frac{L}{A} (s^2/cm^2)$		

Table 11 Concrete Mixture table and physical test results

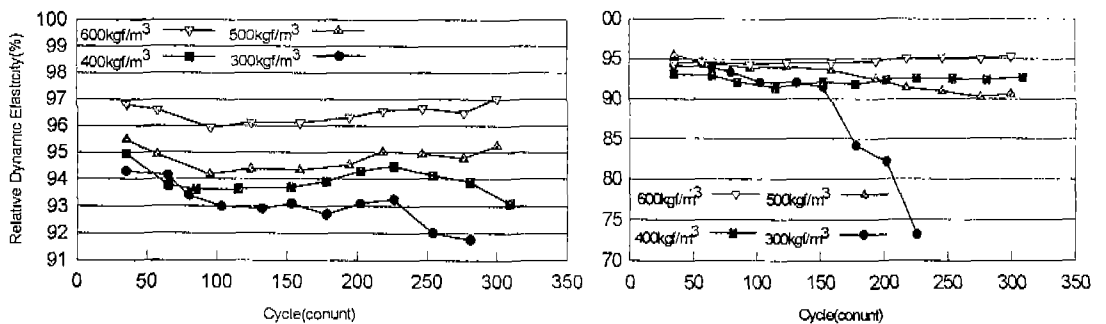
Admix-ture	Unit Binder (kgi/m³)	W/B (%)	Admixture Containing Ratio (%)	S/a (%)	Slump (cm)	Unit Weight (kg/m³)					Chemical Admixture (B×%)	Air	Compressive Strength			Flexural Strength
						W	C	AD	S	G			7day	28day	14day	
OPC	300	61.1	0	44	9.0	183.3	300	0	797	1053	1.30	2.9	156	298	49	
	400	43.7	0	40	8.5	175	400	0	700	1090	1.20	2.9	363	459	73	
	500	34.0	0	40	8.5	169.8	500	0	672	1047	1.20	2.8	416	543	80	
	600	30.0	0	35	11.5	179.1	600	0	550	1061	1.20	2.9	504	652	95	
RHA	300	61.1	10	44	9.0	183.3	270	30	797	1053	1.40	2.9	173	330	52	
	400	43.7	10	40	9.0	175	360	40	700	1090	1.25	2.8	343	512	75	
	500	34.0	10	40	9.0	169.8	450	50	672	1047	1.35	3.0	473	513	83	
	600	30.0	5	35	12.0	179.1	570	30	550	1061	1.30	2.8	520	617	86	

Table 12 Relative Dynamic Modulus of Elasticity for plain concrete

300kgf/m ³	cycle	400kg/m ³	cycle	500kg/m ³	cycle	600kg/m ³	cycle
94.29	35	94.96	35	95.49	35	96.82	35
94.13	65	93.76	65	94.91	57	96.59	57
93.40	80	93.62	85	94.18	95	95.94	95
93.00	103	93.64	115	94.37	124	96.12	124
92.90	132	93.70	153	94.34	159	96.12	159
93.11	153	93.91	178	94.53	194	96.31	194
92.70	178	94.30	202	95.03	218	96.57	218
93.10	202	94.47	226	94.93	246	96.66	246
93.25	226	94.13	254	94.78	276	96.48	276
92.00	254	93.89	281	95.24	300	97.03	300
91.76	281	93.10	309	-	-	-	-

Table 13 Relative Dynamic Modulus of Elasticity for RHA concrete(raion : 10%)

300kgf/m ³	cycle	400kg/m ³	cycle	500kg/m ³	cycle	600kg/m ³	cycle
94.21	35	93.08	35	95.52	35	94.49	35
93.92	65	92.89	65	94.59	57	94.65	57
93.35	80	92.09	85	93.86	95	94.34	95
92.06	103	91.37	115	94.01	124	94.53	124
92.02	132	92.09	153	93.59	159	94.53	159
91.42	153	91.83	178	92.44	194	94.72	194
84.18	178	92.32	202	91.34	218	95.11	218
82.08	202	92.54	226	90.92	246	95.15	246
73.23	226	92.51	254	90.2	276	95.07	276
-	254	92.36	281	90.58	300	95.34	300
-	281	92.7	309	-	-	-	-



(Ordinary Portland Cement)

(Rice Husk Ash - 10%)

Fig. 8 Relative Dynamic Modulus of Elasticity for each Unit Binders

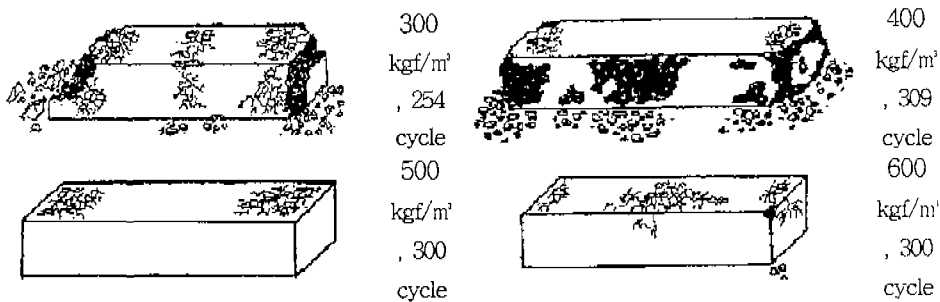


Fig. 9 Fracture figures damaged by freezing and thawing action for each unit binders (RHA - 10%)

III. 결과분석 및 고찰

Table 12, 13에 플레인 콘크리트와 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 사이클에 따른 상대 동탄성 계수 측정 결과를 나타낸 것이다. 플레인 콘크리트는 단위결합재량이 600kgf/m³에서 초기 상대 동탄성계수가 가장 크며 단위결합재량이 300kgf/m³에서 가장 작다(Fig. 11). 두가지 경우 모두 600kgf/m³에서는 사이클이 커질수록 상대동탄성계수는 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 300kgf/m³-10%의 경우를 제외하고 초기 동탄성계수가 300사이클이 경과할 때까지 0.3~5%의 상대동탄성계수 감소로 나타났다. 역학적 측면에서 가장 유리한 최적의 혼입량을 넣은 왕겨재 혼입콘크리트중 결합재량 300kgf/m³인 경우 150사이클을 기준으로 현저히 떨어지는 것으로 나타났으며 254사이클에서는 동탄성계수를 측정할 수 없을 만큼 열화되었다(Fig. 9). 단위 결합재량 400, 500, 600kgf/m³의 경우 왕겨재를 혼입한 콘크리트가 동결융해 300사이클을 받을 때까지 상대동탄성계수 90이상을 유지하는 것으로 나타났으나, 단위결합재량 300kgf/m³에서는 왕겨재 혼입효과가 역학적 측면에서 플레인 콘크리트에 비해 떨어졌던 것³⁾과 같이 동결융해 저항성 측면에서도 낮은 것으로 나타났다. 동결융해 저항성 실험에 많은 시간이 소요되지만 반복적인 실험을 통해 동결융해 저항성이 큰 공극구조를 갖는 콘크리트 배합비를 찾아야 할 것으로 사료된다.

IV. 결론

단위결합재량별(300, 400, 500, 600kgf/m³) 플레인 콘크리트와 역학적 측면에서 왕겨재를 최적으로 혼입한 콘크리트를 동결융해 시험하여 내구성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 콘크리트의 표준양생의 경우 단위결합재량이 클수록 동결융해 저항성이 큰 것으로 나타났다.
- 2) 동결융해저항성실험(KS F 2456)은 14일 재령에서 초기동탄성계수를 측정하고 습윤상태로 동결융해실험을 실시한 경우에는 단위결합재량이 600kgf/m³인 경우, 동결융해 300사이클에서의 상대동탄성계수가 초기 동탄성계수보다 오히려 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 역학적 측면에서 가장 유리한 혼입율로 만들어진 왕겨재 혼입콘크리트의 단위결합재량별

동결융해 실험을 실시한 결과 300사이클까지 90%이상의 상대동탄성계수를 갖는 것으로 나타났다.

왕겨재를 혼입한 결합재를 사용한 경우에 동결융해 저항성이 높은 공극구조를 갖는 콘크리트의 배합비와 양생방법을 다각적인 검토를 통해 찾아내기 위해 보다 지속적인 연구가 있어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) Panchenko, 1997, "Some Aspects of the Concrete Frost Resistance.", ACI International Conference, Australia.
- 2) 윤상대, 박광수, 박승재, 이준구, 1997, 콘크리트용 혼화재료로서의 왕겨활용에 관한 연구, 농어촌 진흥공사 농어촌 연구원
- 3) 배수호, 정영수, 박광수, 이준구. 1999, "콘크리트용 혼화재의 특성에 관한 실험적 연구" 콘크리트학회지 제11권 2호
- 4) H.OLMEZ and Z.HEREN, 1992, "Making a Pozzolanic Rice-Husk Ash and its Use in Acid Resistance Cements", Istanbul Conference
- 5) 杉田修一・庄谷征美, 1995, "ポゾラン材としてのモミカ" ら灰の有効利用に關する基石礎的研究, 土木學會論文集, pp.43~52, 11.
- 6) R.G. Smith and G.A. Kamwanja, 1986. "The Use of Rice Husks for Making a Cementitious Material", Building Research Establishment, pp.1~6, Oct.,
- 7) 한국산업규격 KS F 2456 "급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법"
- 8) 한상목, 최세규, 김생빈, 1998. 2 "고강도 경량콘크리트의 동결융해 저항성에 대한 실험적 연구", 콘크리트 학회지 제 10권 1호 pp. 125~132
- 9) 이용호, 1994. 2. "공기량 및 물-시멘트비에 따른 콘크리트의 동결융해 특성에 관한 실험적 연구", 서울대학교 대학원, 공학석사 학위논문
- 10) 김진근, 김훈, 노재호, 1995. 10. "공명주기식 동탄성계수를 이용한 초기재령 콘크리트의 역학적 성질 예측", 콘크리트 학회지 제7권 5호.