

# 폐주물사를 혼입한 콘크리트의 동결-융해 저항성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Freeze-Thaw Resistance  
of Concrete Incorporating Waste Foundry Sand



윤경구\*

Yun Kyong-Ku



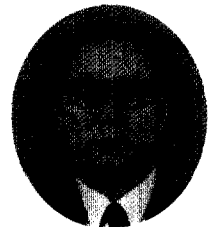
이주형\*\*

Lee Joo-Hyung



홍창우\*\*

Hong Chang-Woo



박제선\*\*\*

Park Je-Seon

## ABSTRACT

Concrete structures has been deteriorated by the freezing and thawing due to temperature gap. This study was conducted to evaluate durability of concrete which are increasingly demanded recently. Therefore the research of durability must be executed for application of waste foundry sand concrete real structures. Concrete durability properties incorporating waste foundry sand was performed with the variable of W/C ratio, Sand/Waste foundry sand ratio and Air entrainment-Non air entrainment. Cylinder specimens were made and subjected to freezing and thawing cycle at  $-18^{\circ}\text{C}$  and  $4^{\circ}\text{C}$ . Dynamic modulus of elasticity were evaluated as F/T cycle increase.

The results show that strength of concrete is increased the W/C ratio decrease, the Sand/Waste foundry sand ratio increase when the concrete contains AE agent and decreasing W/C ratio and AE concrete makes improved resistance of freezing and thawing improved. Especially, resistance of freezing and thawing is improved by Fine aggregate/Waste foundry sand ratio which is 50%, 25%, 0% in a row. Therefore it is turn out the waste foundry sand could be applied to concrete from the experiment.

Keywords : waste foundry sand, freezing and thawing, resistance, durability,  
air-entrainment

\* 정희원, 한국도로공사 책임연구원

\*\* 정희원, 강원대학교 공과대학 토목공학과

\*\*\* 정희원, 강원대학교 공과대학 토목공학과 교수

·본 논문에 대한 토의를 1998년 12월 30일까지 학회로  
보내주시면 1999년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

주물공장 부산물인 폐주물사는 그 물량이 매년 증가하고 있으며, 여러 해 동안 누적되었고 아울러 부산물의 처리에 많은 비용을 지출하고 있다. 또한 이로 인해 초래되는 환경오염의 영향은 무시할 수 없는 실정이다. 따라서 산업부산물인 폐주물사를 콘크리트를 조성하는 재료의 일부로 치환하여 활용할 경우, 매립에만 의존되어오던 폐기물 처리비용을 절감할 수 있고 환경문제에도 이익을 할 수 있으리라 기대된다.

우리나라의 경우 폐주물사를 이용한 재활용 연구방안은 극히 미흡한 상태이나 최근의 연구동향을 살펴보면, 폐주물사를 잔골재의 일부로 치환할 경우 보통 강도를 요구하는 콘크리트에 비해 압축강도 증진효과를 얻을 수 있으며<sup>(1)</sup>, 혼입량이 증가할수록 공극충진 효과를 얻는다.<sup>(6)</sup> 또한 폐주물사는 고온의 열처리 과정에서 생성되므로 화학적으로 매우 안정되어 있고 잔골재 치환율의 변화가 강도발현에 영향을 미치는 것으로 나타났다.<sup>(1)</sup>

그러나 콘크리트의 연구가 과거에는 강도를 중심으로 되어왔지만 근래에 들어서는 내구성의 중요성이 대두되고 있다. 콘크리트 구조물은 자연적인 혹은 인위적인 온도의 상승, 강하로 인하여 동결-융해 작용을 받게 되어 콘크리트의 구조물의 성능저하로 인하여 구조물의 기능에 대하여 의문이 제기되고 있어 동결-융해 저항성에 관한 연구가 요구되고 있다. 따라서 폐주물사를 콘크리트에 재활용하기 위해서는 동결-융해 실험을 통한 내구특성에 관한 연구가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 폐주물사 콘크리트의 내구특성을 파악하기 위하여 폐주물사를 각각 일정 비율의 잔골재로 치환한 시편에 대해 동결-융해 실험(KS F 2456, B Type)을 통한 동결-융해 저항성을 파악하고자 하였으며, 재령 14일과 28일에 압축강도 실험을 수행하여 주물공장의 부산물인 폐주물사를 건설용 콘크리트 재료로서 재활용하기 위한 연구의 일환으로 진행되었다.

## 2. 실 험

### 2.1 실험개요

본 연구는 폐주물사를 혼입한 콘크리트가 동결-융해 작용을 받았을 경우 그 저항특성을 파악하기 위해서 단위잔골재량에 대한 폐주물사를 일정 비율 0, 25, 50%로 각각 치환하고, 실내시험과 현장조건을 충분히 고려하여 물-시멘트비 40, 50, 60%로 변화시켜 연구를 수행하였다.

일정량의 AE제를 첨가하여 제작한 콘크리트에 대해서 AE제를 첨가하지 않은 콘크리트를 동결-융해 저항 시험을 통해 저항성을 비교하고 그 저항성의 개선효과를 알아보려고 하였다. 압축강도 실험은 재령 14일과 28일에 KS F 2405에 따라 실시하였고, 동결-융해 실험은 KS F 2456(ASTM C 666) B Type에 따라 한 사이클을 4시간으로 하였으며, 공시체 중심에서의 온도를 4℃에서 -18℃로 떨어뜨리고 다시 4℃로 상승시키는 것을 반복하였다. 각 공시체는 300사이클을 원칙으로 수행하나 상대동탄성계수가 60% 이하인 경우 시험을 종료하였다.

### 2.2 실험재료

#### (1) 폐주물사(Waste Foundry Sand)

이 실험에 사용된 폐주물사는 화학적 조성중 대부분을 차지하는 SiO<sub>2</sub>가 87.3%로 일반적으로 시멘트 매트릭스 내에서 칼슘옥사이드와 결합하여 규산삼석회를 생성하는데, 이 규산삼석회는 시멘트 강도발현에 중요한 성분으로 나타난다. 폐주물사는 고온의 열처리 과정을 거친 후 생성되므로 화학적으로 안정되어 있으며 암갈색의 색상을 띠고 있다.

폐주물사의 일반적 화학성질은 Table 1와 같다. 폐주물사는 Fig. 1과 같이 표준입도 곡선에는 부합되지는 않았지만 폐주물사를 잔골재의 일부로 사용하는데 있어서 현장에서 사용의 편리성을 고려하여 보정하지 않고 잔골재의 일정 치환율로 사용하였다.

Table 1 Chemical and Physical Properties of Foundry Sand

(Unit:%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I	Size (mm)	Specific Gravity	Absorption	Fineness Modulus
87.3	5.03	1.29	0.15	0.01	0.37	0.42	1.56	0.47	0.03	2.91	<1.18	2.43	1.63	1.15

## (2) 시멘트 및 골재

이 실험에서는 국내 H사 제품으로 비중이 3.12인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 굵은골재는 강원도 춘천지역에서 생산되는 최대치수 25mm인 레미콘용 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 강원도 홍천강 유역에서 채취한 천연 강모래를 사용하였다.

골재의 물리적 성질은 Fig. 1, Table 2와 같이 골재의 입도분포는 표준입도곡선 내에 있는 것으로 나타났으며, 잔골재, 굵은골재의 조립률 모두 시방서 규정된 범위내에 있는 것으로 나타났다

## (3) AE 제

국내 S사 제품인 빈줄레진계 AE제를 사용하였으며, 비중은  $1.025 \pm 0.005$ 이고, 색상은 담갈색의 색상을 갖는 재료를 사용하였으며, 시멘트단위중량에 일정비율 첨가하여 사용하였다.

Table 2 Physical Properties of Aggregate

Classification	Size (mm)	Specific Gravity (20°C)	Absorption (%)	Fineness Modulus
Coarse Aggregate	<25	2.65	1.01	7.00
Fine Aggregate	<5	2.61	0.87	2.52

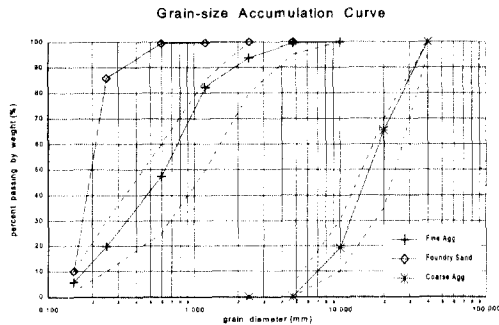


Fig. 1 Gradations of Aggregate Used

## 2.3 실험방법 및 범위

폐주물사의 치환율에 따른 동결-융해 저항특성을 파악하기 위해 본 연구에서는 폐주물사를 잔골재에 대하여 0, 25, 50%로 치환하였으며 콘크리트 강도에 크게 미치는 것으로 알려져 있는 물-시멘트비를, 현장에서 일반적으로 사용하고 있는 경우 중에서 40, 50, 60%로 선택하여 사용하였으며, 동결-융해시험에 있어 연행공기의 역할을 확인하기 위해 AE제를 사용 여·부 등 크게 세가지 유형의 변수를 주요 실험변수로 하여 콘크리트 배합을 실시하였다. 본 연구에서 사용한 배합표는 Table 3과 같다.

슬럼프는 소정의 작업성을 확보하기 위하여  $8 \pm 2$ cm로 미리 정하였으며, 콘크리트의 비빔은 굵은골재와 잔골재를 투입하고 30초간 건비빔을 한 후, 시멘트를 투입한 후 1분간, 그리고 혼합수를 넣고 2분간 비빔을 실시하였다. 다짐은 탁상식 진동기로 2층다짐을 실시하였으며, 타설직후 상온에서 1일간 경화시켰고, 탈형 후  $23 \pm 2$ °C의 양생수조에서 14일과 28일 동안 수중양생을 실시하였다. 각 요인별로  $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 8개 제작하여 각 3개씩은 14일과 28일 압축강도를, 각 2개씩은 재령 14일에 동결-융해시험을 실시하였다.

압축강도시험은 재령 14일과 28일에 KS F 2405에 따라 실시하였으며, 동결-융해에 대한 저항 시험은 KS F 2456(ASTM C 666)B-Type에 따라 한 사이클을 4시간으로 하였으며, 공시체 중심에서의 온도를 4°C에서 -18°C로 하강시키고 다시 4°C로 상승시키는 것을 반복하였다. 각 공시체의 동탄성계수는 상대동탄성계수가 60% 이하가 될 때까지 또는 300사이클까지 진행하였다. 동결-융해 처리 1사이클의 시험 방법은 Fig. 2와 같다.

Table 3 Mixing Design of Concrete

Specimen Series	Waste foundry sand/Fine Agg. (%)	W/C (%)	S/A (%)	Water	Cement	Fine Agg.	Waste Foundry Sand	Coarse Agg.	AE	Air Content (%)
W40-N-0	0	40	32	193	484	540	-	1151	-	2.0
W50-N-0		50	35	193	386	623	-	1151	-	2.1
W60-N-0		60	37	193	320	676	-	1151	-	2.4
W40-A-0		40	32	169	424	534	-	1151	0.170	4.0
W50-A-0		50	34	169	338	605	-	1151	0.135	4.4
W60-A-0		60	36	169	282	653	-	1151	0.113	4.5
W40-N-25	25	40	32	193	484	405	135	1151	-	1.4
W50-N-25		50	35	193	386	467.2	155.8	1151	-	1.9
W60-N-25		60	37	193	320	507	169	1151	-	2.0
W40-A-25		40	32	169	424	400.5	133.5	1151	0.170	3.2
W50-A-25		50	34	169	338	453.7	151.3	1151	0.135	3.9
W60-A-25		60	36	169	282	489.7	163.3	1151	0.113	3.8
W40-N-50	50	40	32	193	484	270	270	1151	-	1.4
W50-N-50		50	35	193	386	311.5	311.5	1151	-	1.8
W60-N-50		60	37	193	320	338	338	1151	-	1.7
W40-A-50		40	32	169	424	267	267	1151	0.170	2.8
W50-A-50		50	34	169	338	302.5	302.5	1151	0.135	3.2
W60-A-50		60	36	169	282	326.5	326.5	1151	0.113	3.5

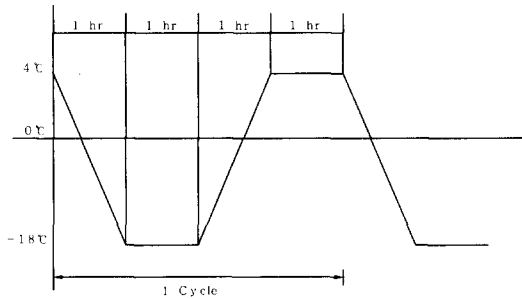


Fig. 2 A Freezing and Thawing cycle

### 3. 결과분석 및 고찰

#### 3.1 압축강도 특성

재령 14일과 28일에서의 압축강도는 Table 4와 같다. 또한 공기량의 변화는 AE제를 혼입하지 않았을 경우 1.4~2.4%로 나타났고, AE제를 혼입하였을 때는 2.8~4.5%로 나타났다. 폐주물사의 치환율이 증가할수록 공기량이 다소 낮게 나타났는데, 이것은 폐주물사 내의 탄소성분과 폐주물사가 미세입자로 되어 있기 때문에 공기 연행량을 감소시켰기 때문으로 판단된다. 이러한 공기량 변화는 다음과 같이 강도발현 특성에 영향을 미친 것으로 판단된다.

#### (1) AE제에 따른 변화

AE제를 사용하지 않은 경우를 우선 살펴보면, Fig. 3과 Fig. 4에서와 같이 재령 14일에서는 폐주물사의 치환율이 25%일 때가 압축강도가 치환율 0%에 비해 강도증진의 효과를 보였으나, 치환율이 50%로 변화하면서 강도의 감소를 보였다. 한편, 표준양생을 시킨 재령 28일에는 치환율이 증가함에 따라서 압축강도의 증진효과는 나타나지 않았다.

AE제를 혼입한 경우, 재령 14일에서는 폐주물사의 치환율이 25%일 때 물-시멘트비의 변화에 따라 50%의 물-시멘트비에서 압축강도의 증진을 기대할 수 있었고, 50% 치환시에는 모든 물-시멘트비에서 압축강도의 발현효과가 크게 증가하였다. 또한, 재령 28일에서는 물-시멘트비의 변화에 따라 각 경우에 대한 강도의 차이는 있으나, 치환율이 증가함에 따라 압축강도가 증가했다.

#### (2) 상대강도의 변화

AE제를 사용하지 않았을 경우의 치환율 0%를 기준강도(Control)로 하였을 때 압축강도의 변화를 살펴보면, 상대강도는 Table 4에서와 같

Table 4 Strength Test Result of Specimen

Specimen Series		14 Days			28 Days		
		Mean	Std.Dev	Relative Strength	Mean	Std.Dev	Relative Strength
Control	W40-N-0	182	9.18	1.00	267	11.47	1.00
	W50-N-0	173	10.21	1.00	221	8.50	1.00
	W60-N-0	168	13.47	1.00	190	6.60	1.00
	W40-N-25	202	13.89	1.11	258	13.64	0.97
	W50-N-25	179	27.78	1.03	207	10.50	0.94
	W60-N-25	158	17.21	0.94	181	10.20	0.95
	W40-N-50	189	12.39	1.04	242	13.07	0.91
	W50-N-50	138	6.65	0.80	169	11.78	0.76
	W60-N-50	92	8.96	0.55	131	8.99	0.69
	W40-A-0	226	3.40	1.24	241	13.77	0.90
	W50-A-0	152	4.50	0.88	203	12.55	0.92
	W60-A-0	127	13.59	0.76	152	9.57	0.80
	W40-A-25	210	13.37	1.15	290	9.53	1.09
	W50-A-25	177	12.68	1.02	236	3.74	1.07
	W60-A-25	121	4.92	0.72	169	7.26	0.89
	W40-A-50	266	7.79	1.46	307	13.96	1.15
	W50-A-50	232	8.99	1.34	273	10.71	1.24
	W60-A-50	215	9.98	1.28	203	15.51	1.07

이 재령 14일에서는 폐주물사 치환율이 25%로, 물-시멘트비가 40%, 50%, 60%일 때 1.24배, 0.88배, 0.76배로 물-시멘트비의 증가에 따라 감소하였고, 폐주물사 치환율이 50%로, 물-시멘트비가 40%, 50%, 60%일 때 1.46배, 1.34배, 1.28배의 상대강도를 나타내며 강도가 크게 증가되었다.

재령 28일에는 치환율이 증가함에 따라 상대강도 값이 기준강도와 유사하게 나타났으나, AE제를 사용하여 치환율이 변화하면서 상대강도가 크게 증가하였다. 또한, 폐주물사의 치환율이 0%에서는 연행 공기량 증가로 인해 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.

또한 AE제를 사용하였을 경우, 상대강도의 변화는 Table 4 에서와 같이 재령 14일에서는 폐주물사 치환율이 25%일 때, 물-시멘트비가 40%, 50%, 60%으로 변화하면서 1.11배, 1.03배, 0.94배로 전반적으로 증진의 효과가 있는 것으로 나타났으며, 폐주물사 치환율이 50%일 때, 물-시멘트비가 40%, 50%, 60%에서는

1.04배, 0.80배, 0.55배로 전체적으로 강도가 감소되었다. 재령 28일에는 치환율이 증가하면서, 25%의 경우 상대강도가 유사한 강도를 나타내고 있으나, 50%경우 상대강도 값이 낮게 나타났다.

따라서, AE제를 첨가하지 않았을 때는 폐주물사의 치환율에 따른 압축강도의 증진은 나타나지 않았고, 이는 폐주물사의 입자가 미세입자로 되어 있고 폐주물사를 배합시 기건상태로 밖에 사용할 수 밖에 없었기 때문에 치환율이 증가할수록 콘크리트의 유동성이 감소되었다. 이로 인하여 폐주물사가 콘크리트 내부에 골고루 분포되지 않아 강도가 저하한 것으로 판단된다.

아울러, AE제를 첨가했을 때는 폐주물사의 치환율에 따른 압축강도는 증가하는 것으로 나타났는데, 이것은 폐주물사 내의 탄소성분이 공기연행량을 감소시켜<sup>(2)</sup> 콘크리트 내부조직이 치밀해졌으며 연행공기가 콘크리트의 유동성을 회복시켜서 폐주물사가 효과적으로 콘크리트의 공극을 채워졌기 때문에 강도가 증가된 것으로 사료된다.

산정된 구속수비에 대해 5단계로 구분하여 물/결합재 용적비를 산정하도록 하였다.

### (3) 상대동탄성계수 변화

폐주물사를 잔골재의 일부 치환한 콘크리트의 물-시멘트비에 따른 동결-융해의 저항 특성은 Fig. 9와 같다. 물-시멘트비 40%일 때 동결-융해 반복주기 300cycle이 지나도 상대동탄성 계수가 90%이상의 수준으로 일정하게 유지되는 것으로 나타났으며, 물-시멘트비 60%일 때 100cycle 이전에서 상대동탄성계수가 60%이하로 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 물-시멘트비가 낮아질수록 콘크리트 강도가 증가하고 표면손상도가 급격히 감소하여 동결-융해 저항성이 증가한 것으로 사료된다. 즉 콘크리트 강도가 증가하면 동결-융해 작용으로 인한 내부 팽창압력에 저항할 수 있는 인장강도가 증가하여 동결-융해 저항성이 증가하는 것으로 판단된다.

폐주물사에 치환율에 따른 동결-융해 저항특성은 Fig. 10과 같이 나타났다. Fig. 10과 같이 물-시멘트비가 60%인 경우에서 폐주물사 치환율이 25%, 0%에서는 100 cycle 이전에서 동탄성계수가 60% 이하가 되었지만 폐주물사 치환율이 50%에서는 109 cycle에서 동탄성계수가 60% 이하로 내려가 동결-융해 저항성이 우수한 것으로 나타났으며, 물-시멘트비가 50%인 경우에는 폐주물사의 치환율 50%인 경우가 25%, 0%에 비해 동결-융해 저항성이 약간 우수한 것으로 나타났다.

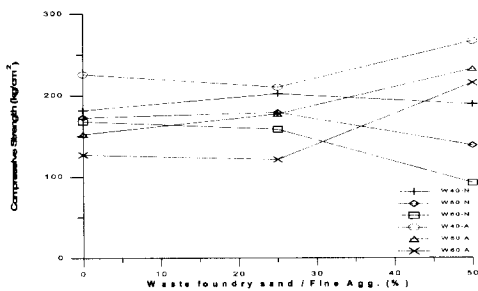


Fig. 3 Effect of WFS's substitution ratio into compressive strength at 14 days

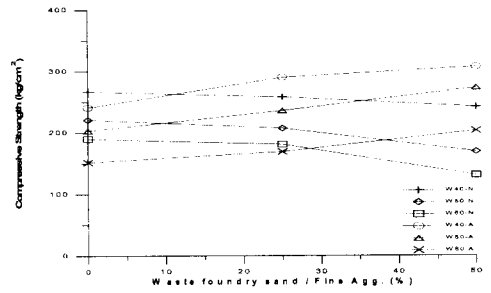


Fig. 4 Effect of WFS's substitution ratio into compressive strength at 28 days

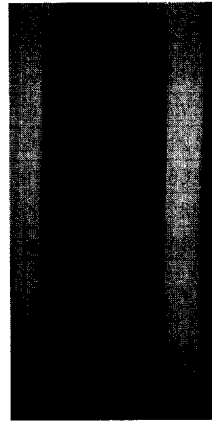


Fig. 5 Cracking

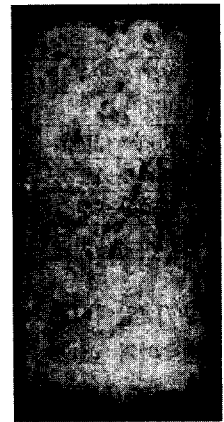


Fig. 6 Swelling

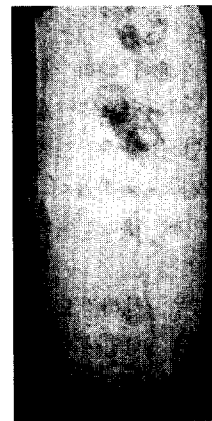


Fig. 7 Scaling

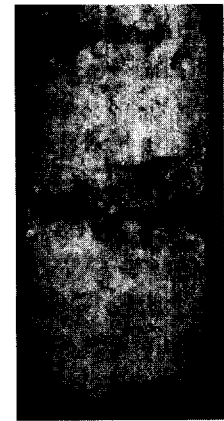


Fig. 8 Beakage

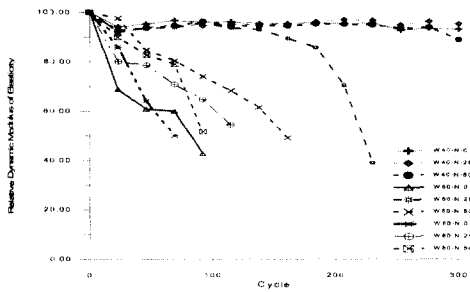


Fig. 9 Change of relative dynamic modulus (without AE)

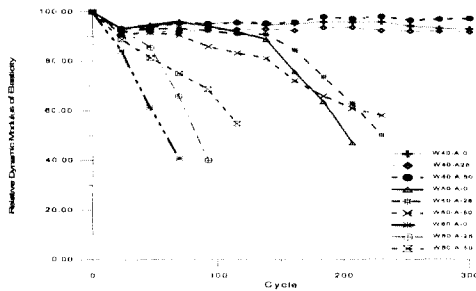


Fig. 10 Change of relative dynamic modulus (with AE)

물-시멘트비가 40%에서는 폐주물사의 치환율이 50%, 0%에서 동탄성계수가 90%이상을 유지하여 동결-융해 손상을 받지 않은 것으로 나타났으며 동결-융해 저항성이 우수한 것으로 나타났다.

폐주물사의 치환율에 따른 동결-융해 저항성은 폐주물사의 치환율이 증가할수록 즉, 50%, 25%, 0% 순으로 우수한 것으로 나타났다. 이는 폐주물사의 치환율이 증가할수록 연행공기량은 약간 감소하였지만, 폐주물사 치환율이 증가할수록 콘크리트 강도가 크게 증가하기 때문에 동결-융해 저항성이 폐주물사의 치환율이 증가할수록 우수한 것으로 나타났다.

AE제의 사용 여부에 따른 동결-융해의 저항특성은 Fig. 9와 Fig. 10을 비교하면 알 수 있듯이, 물-시멘트비가 40%에서는 AE제의 사용 여부에 상관없이 300cycle에서도 상대동탄성계수가 90%이상을 유지하였으며, 물-시멘트비가 60%에서는 100cycle 이내에서 상대동탄성계수가 60%이

하로 내려가는 경향을 보여 물-시멘트비가 높거나 낮을 때에는 AE제의 영향을 적게 받는 것으로 나타났다. 그러나 물-시멘트비가 50%에서는 폐주물사 치환율이 25%를 제외하고 AE제를 첨가하지 않았을 경우 200 cycle이내에서 상대동탄성계수가 60% 이하가 되었으며, AE제를 첨가하였을 경우에는 250 cycle에서 상대동탄성계수가 60% 이하가 되었는데 이는 AE제에 의해 연행된 공기는 동결시 콘크리트 내부에서 발생하는 파괴 간극수압을 흡수해 주기 때문에 동결-융해 저항성을 향상시키는 것으로 판단된다.

### (3) 내구성 지수 변화

각변수에 대한 내구성 지수는 Table 6과 Fig. 11에서 보여진 것과 같이, 물-시멘트비가 40%일 때는 300 Cycle이 지나도 내구성 지수가 90% 이상으로 거의 동해의 손상을 받지 않는 것으로 나타났으며, AE제를 혼입한 경우가 혼입하지 않는 경우에 비해 내구성 지수가 높게 나타났다. 특히 물-시멘트비가 50%일 때 전반적으로 폐주물사의 치환율이 높아질수록 내구성 지수가 크게 나타나 폐주물사 콘크리트가 내구성이 좋은 것으로 사료된다. 이와 같은 결과는 폐주물사의 치환율이 동결-융해 저항성에 좋은 영향을 미치고 있으며, 물-시멘트비, AE제 또한 동결-융해 저항성에 영향을 미치는 중요한 변수로 나타났다.

## 4. 결론

폐주물사를 혼입한 콘크리트의 내구특성 파악을 위해, 폐주물사의 잔골재 치환율, 물-시멘트비, AE제 사용 여부를 주요 변수로 하여 동결-융해 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) AE제를 혼입한 경우에 있어서 폐주물사의 치환율이 증가할수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타났으며, 이것은 폐주물사가 콘크리트 압축강도 증진에 좋은 영향을 주는 것으로 나타났다.

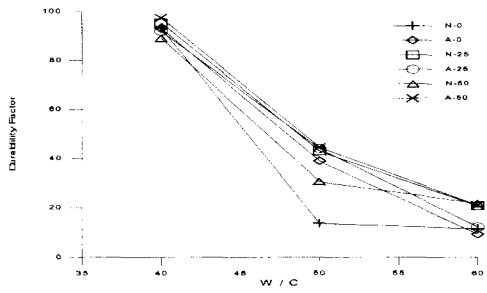


Fig. 11 Change of Durability Factor with W/C

- 2) 물-시멘트비 40%인 경우, 상대동탄성계수가 300 cycle 에서도 90% 이상을 유지하고 있어 동결-융해 저항성이 매우 우수한 것으로 나타났으며, 물-시멘트비가 60%인 경우에는 100 cycle 이전에 상대동탄성계수가 60% 이하로 내려가 동결-융해 저항성이 매우 나쁜 것으로 나타나 물-시멘트비가 동결-융해 저항성에 중요한 변수로 나타났다.
- 3) 폐주물사의 치환율이 0%, 25%, 50% 로 증가할수록 동결-융해 저항성이 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 물-시멘트비가 50%

에서 폐주물사 치환율 증가에 따른 동결-융해 저항성이 좋은 영향을 주는 것으로 나타났다.

- 4) 폐주물사 콘크리트 제작시 동결-융해 저항성 향상과 강도증진을 위해서는 AE제를 사용하는 것이 효과적으로 나타났으며 목표 연행공기량을 확보하기 위해서는 충분한 예비실험을 통하여 AE제량을 결정해야 되는 것으로 나타났다.
- 5) 동결-융해 저항특성 분석 결과 폐주물사를 혼합한 콘크리트는 동결-융해 저항성이 다소 우수하므로 동해가 예상되는 구조물에 사용 가능한 것으로 나타났다.

### 감사의 글

본 연구는 과학재단 지정 석재복합신소재 제품 연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음

Table 5 Results of condition evaluation by freezing and thawing cycle

Specimen Series	Cycle									
	46	69	92	138	161	184	207	230	300	
W40-N-0										
W50-N-0	C		B							
W60-N-0	C	B								
W40-A-0										
W50-A-0				C		S				
W60-A-0		S	B							
W40-N-25										
W50-N-25							W	S		
W60-N-25			S	B						
W40-A-25					C		S			
W50-A-25						W		S		
W60-A-25		C	B							
W40-N-50										
W50-N-50			C	W		B				
W60-N-50		C	B							
W40-A-50										
W50-A-50				C			S			
W60-A-50		S		B						

note) C - Cracking W - Swing S - Scalling B - Breakage



Table 6 Durability Factor

Specimen Series	Finishing Cycle	Relative dynamic modulus(%)	Durability factor DF(%)
W40-N-0	300	93.17	93.2
W50-N-0	69	60.15	13.8
W60-N-0	58	60.00	11.6
W40-A-0	300	93.14	93.1
W50-A-0	184	63.62	39.0
W60-A-0	46	61.33	9.40
W40-N-25	300	95.37	95.4
W50-N-25	215	60.00	43.0
W60-N-25	104	60.00	20.8
W40-A-25	300	93.14	93.1
W150-A-25	220	60.00	44.0
W60-A-25	61	60.00	12.3
W40-N-50	300	89.06	89.1
W50-N-50	138	61.51	28.3
W60-N-50	109	60.00	21.8
W40-A-50	300	97.36	97.4
W50-A-50	230	58.11	44.6
W60-A-50	106	60.00	21.1

## 참 고 문 헌

1. 박제선, 윤경구, 김태경, 백민경, "폐주물사를 혼입한 콘크리트의 적정배합설계", 한국콘크리트학회지, 제9권 6호, 1997, 12.
2. M.Pigeon and R. Pleau, "Durability of Concrete in Cold Climates", E&FN SPON, 1995.
3. Geoff Mays, "Durability of Concrete Structures", E&FN SPON, 1992
4. Tarun R. Naik and Shiw S. Singh, "Application of Foundry By-Product Materials in Manufacture of Concrete and Masonry Products" ACI Material Journal, January-February 1996.
5. 오병환, 정원기, 강승희, 유성원, "고품질 시공을 위한 고내구성 콘크리트의 개발 및 실용화 연구", 건설교통부, 94 연구개발사업 최종보고서, 1996, 10
6. 이상범, 김광우, 이석홍, 조희원, 정규동, "고강도 경량골재 콘크리트의 동결-융해 저항 특성", 한국콘크리트학회, 학술발표논문집, 제9권, 2호, 1997, 11, pp416-42
7. 이승한, 한영섭, 정용욱, "과상석탄재와 폐주물사를 혼입한 경량모르타의 특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회, 학술발표논문집, 제9권, 2호, 1997, 11, pp223-228
8. Ahmed E. Ahmed and A.El-Kour, "Properties of Concrete Incorporating Natural and Crushed Stone Very Fine Sand", ACI Materials Journal, July-August, 1989.

## 요 약

콘크리트 구조물은 자연적인 혹은 인위적인 온도의 승, 강하로 인하여 동결-융해 작용을 받게 되어 구조물의 성능저하를 야기시킨다. 현대에 들어서면서 콘크리트의 내구특성을 파악하기 위한 연구적 요구가 증가되고 있다. 따라서 폐주물사 콘크리트를 실제 구조물에 적용하기 위해서는 내구특성에 대한 연구가 반드시 이루어져야 한다. 폐주물사를 혼입한 콘크리트의 내구특성을 파악하기 위한 동결-융해 실험은 폐주물사의 잔골재 치환율, 물-시멘트비, AE제 사용 여부를 주요 변수로 하여 실시하였다. 원형공시체를 제작하여, 동결-융해 시험기에 넣어 -18~4℃로 급속 동결-융해를 진행시키면서 매23사이클마다 동탄성계수를 측정하였다.

실험결과 AE제를 첨가했을 때 물-시멘트비가 적을수록, 폐주물사의 치환율이 클수록 전반적으로 강도가 증가하는 것으로 나타났으며, 물-시멘트비가 증가함에 따라, AE제를 사용한 콘크리트가 동결-융해 저항성이 증가하는 것으로 나타났다. 특히 폐주물사 치환율이 50%일 때가 동결-융해 저항성이 가장 좋은 것으로 나타났으며 그 다음으로 25, 0% 순으로 저항성이 좋은 것으로 나타났다. 따라서 폐주물사 콘크리트가 내구성이 우수한 것으로 나타나 폐주물사를 콘크리트에 재활용 할 수 있는 것으로 나타났다.

(접수일자 : 1998.2 24)