

폐주물사를 혼입한 콘크리트의 내구특성에 관한 연구

박제선* · 윤경구** · 이주형*** · 용석응****

Durability Characteristics of Concrete Incorporating Waste Foundry Sand

Park Je-Seon* · Yun Kyong-Ku** · Lee Joo-Hyung*** · Yong Sok-Ung****

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate durability of concrete which are increasingly demanded recently. 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°C and 4°C . Dynamic modulus of elasticity were evaluated as F/T cycle increase.

The results show that 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.

1. 서론

급속한 산업화와 경제성장으로 산업폐기물인 폐주물사의 양이 매년증가하고 있으며, 이로 인해 초래되는 환경오염은 심각한 사회문제화 되고 있다. 이러한 산업폐기물인 폐주물사를 잔골재로 치환한 콘크리트가 건설 재료로 활용 될 경우, 그 동안 매립에만 의존하여 지출하던 막대한 폐기물 처리비

용도 절감할 수 있고, 환경문제 해결에도 일익을 할 수 있으리라 기대된다.

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 된다. 따라서 콘크리트의 구조물의 동결-융해 작용에 대한 파괴 사례 분석과 원인 규명에 대한 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서는 폐주물사를 각각 일정 비율의 잔골재로 치환한 콘크리트의 동결-융해를 통한 내구성을 검토하는 것인데, 주물공장의 부산물인 폐주물사를 건설용 콘크리트 재료로서 재활용하기 위한 연구의 일환이다.

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사
** 한국도로공사 책임연구원, 공학박사
*** 강원대학교 토목공학과 대학원, 박사과정
**** 강원대학교 토목공학과 대학원, 석사과정

2. 실험

2.1 실험재료

(1) 시멘트

본 실험에서는 국내 H사 제품으로 비중이 3.12인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

(2) 폐주물사(Waste Foundry Sand)

본 실험에 사용된 주물사는 화학적 조성중 대부분을 차지하는 SiO₂가 87.3%로 일반적으로 시멘트 매트릭스 내에서 칼슘옥사이드와 결합하여 규산삼석회를 생성하는데 이 규산삼석회는 시멘트 강도 발현에 중요한 성분으로 나타난다. 폐주물사는 고온의 열처리 과정을 거친 후 생성되므로 화학적으로 매우 안정되어 있으며 암갈색의 색상을 띠고 있다.

폐주물사의 일반적 화학성질은 Table 1와 같다.

Table 1. Chemical Properties of Foundry Sand

(Unit:%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
87.3	5.03	1.29	0.15	0.01	0.37	0.42	1.56	0.47	0.03	2.91

(3) 골재

본 실험에서 사용된 굵은골재는 강원도 춘천지역에서 생산되는 최대치수 25mm인 레미콘용 쇠석을 사용하였으며, 잔골재는 강원도 홍천강 유역에서 채취한 천연 강모래를 이용하였다.

골재의 물리적 성질은 Fig 1, Table 2와 같다.

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

(4) AE 제

국내 S사 제품인 AE제를 사용하였으며, 비중은

1.025±0.005이고, 색상은 담갈색의 색상을 갖는 재료를 사용하였으며, 시멘트 단위중량에 일정비율 첨가하여 사용하였다.

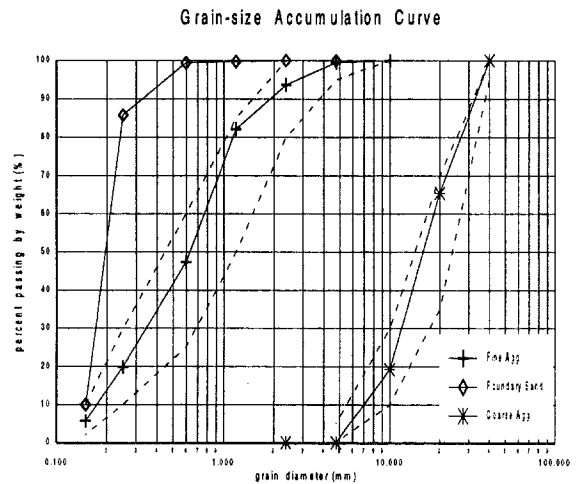


Fig 1. Gradations of Aggregate Used

2.2 실험방법 및 범위

폐주물사의 치환율에 따른 동결-융해 저항특성을 파악하기 위해 본 연구에서는 폐주물사의 잔골재 치환율, 물-시멘트비, AE제 사용 여부를 주요 실험변수로 하여 콘크리트 배합을 실시하였다. 슬럼프 값을 8±2cm로 하였으며, 콘크리트의 비빔은 굵은골재와 잔골재를 투입하고 30초간 건비빔을 한 후, 시멘트를 투입한 후 1분간, 그리고 물을 넣고 2분간 비빔을 실시하였다. 다짐은 탁상식 바이브레이터로 2층다짐을 실시하였으며, 양생은 14일 동안 25°C 수중양생을 실시하였다.

각 요인별로 $\phi 10 \times 20$ cm의 원주형 공시체를 8개 제작하여 각 3개씩은 14일과 28일 압축강도를, 2개는 동결-융해시험을 실시하였다.

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 떨어뜨리고 다시 4°C로 상승시키는 것을 반복하였다. 각 공시체의 동탄성계수는 초기치의 40% 손실될 때까지 또는 300사이클까지 진행하였다. 동결-융해 처리 1사이클의 시험 방법은 Fig 2.과 같다.

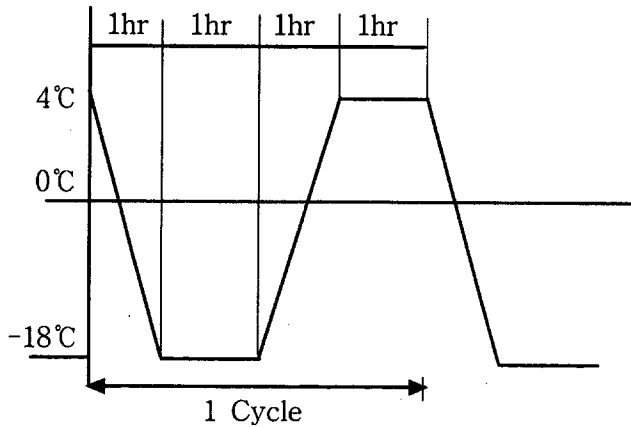


Fig 2. A Freezing and Thawing cycle

매 23사이클 동결-융해 처리 후 한 번씩 공시체를 꺼내어 동탄성계수를 측정하고 다시 동결-융해 사이클을 진행을 계속 시켰다.

동탄성 계수는 ELE사 제품 고유진동수 측정기를 이용하여 측정하였으며 여기에서 얻은 고유진동수를 다음 식으로 동탄성 계수를 계산하였다.

$$E_D = 40.81632 \times l^2 \times n^2 \times \rho \times 10^{-7} (\text{kg/cm}^2)$$

l = 시편의 길이(cm)

n = 시편의 고유진동수(Hz)

ρ = 시편의 밀도(g/cm^3)

3. 결과분석 및 고찰

폐주물사를 잔골재로 치환한 콘크리트의 강도 특성은 Table 3과 같다. 표에서 보여주고 있듯이 AE제를 첨가했을 때 W/C비가 적을수록, 폐주물사의 치환율이 클수록 전반적으로 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 폐주물사의 주성분인 SiO_2 의 영향과 AE제를 사용했을 때 다짐성이 좋아져서 콘크리트 조직이 치밀해져 강도가 증가된 것으로 사료된다. 하지만 AE제를 첨가하지 않았을 때는 폐주물사의 치환율에 따른 강도는 약간 감소하는 것으로 나타났다.

공기량은 AE제를 혼입하지 않았을 때는 1.4~2.4%로 나타났으며 AE제를 혼입하였을 때는 3.4~4.2%로 나타났다. 특히 폐주물사의 치환율이 증가할수록 공기량이 다소 낮게 나타났다. 이것은 폐주물사의 분말도가 높기 때문에 공기량이 작게 나타난 것으로 사료된다.

폐주물사 콘크리트의 W/C비에 따른 동결-융해의 저항 특성은 Fig 3과 같다. W/C비에 따른 동결-융해 저항성은 일반적으로 알려진 것과 같이 W/C비가 적을수록 저항성이 큰 것으로 나타났으며 W/C비가 40%일 때는 300cycle이 지나도 거의 손상이 없는 것으로 나타났다. W/C비가 60%일 때는 100cycle 이전에서 상대동탄성계수가 60%이하로 떨어지는 것으로 나타나 W/C비가 동결-융해에 중요한 변수로 나타났다.

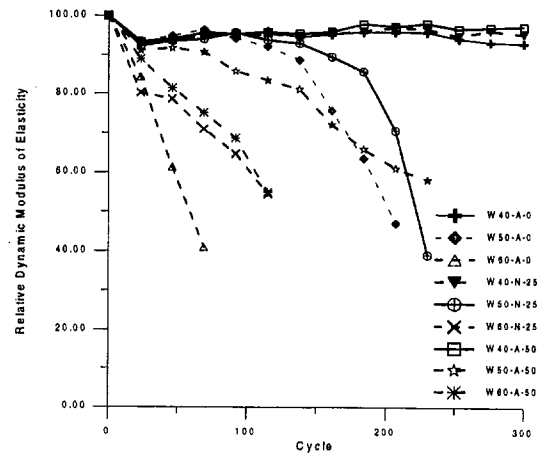


Fig 3. Change of relative dynamic modulus (W/C)

AE제의 사용 有·無에 따른 동결-융해의 저항 특성은 Fig 4와 같이 나타났다. AE제에 의해 연행된 공기는 동결-융해시 파괴 간극수압을 흡수해 주기 때문에 동결-융해 저항성을 향상시키는 것으로 나타났다.

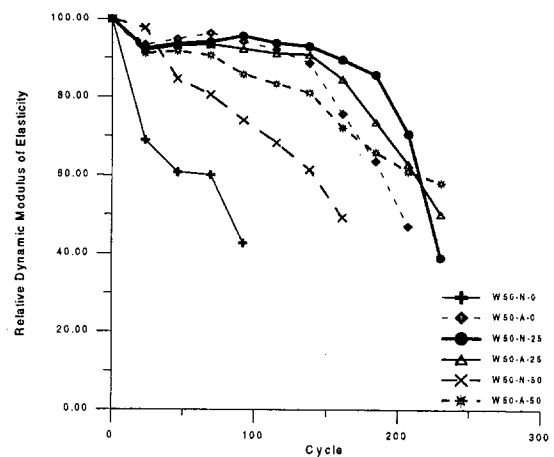


Fig 4. Change of relative dynamic modulus (AE제 사용 有·無)

폐주물사의 치환율에 따른 동결-융해 저항특성은 AE제를 혼입하지 않았을 때는 Fig 5.와 같이 나타났다. 치환율이 50%일 때 동결-융해 저항성이 가장 좋은 것으로 나타났으며 25%, 치환하지 않았을 때 순으로 저항성이 좋은 것으로 나타났다. 이러한 경향으로 폐주물사를 일정 비율 치환할 때 동결-융해 저항성을 기대할 수 있으리라 사료된다.

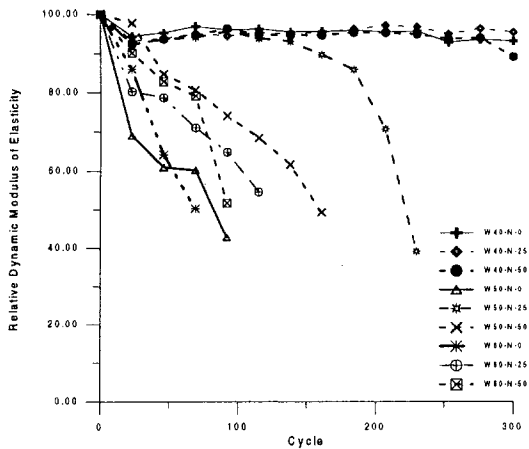


Fig 5. Change of relative dynamic modulus (Fine Agg. : Waste Foundry Sand)

폐주물사의 치환율에 따른 동결-융해 저항특성은 AE제를 혼입했을 때는 Fig 6.와 같이 나타났다. 치환율이 50%일 때 동결-융해 저항성이 가장 좋은 것으로 나타났으며 25%, 치환하지 않았을 때 순으로 저항성이 좋은 것으로 나타났다. 이것은 폐주물사가 동결-융해 저항성에 좋은 영향을 미친다는 것을 보여주고 있다. 한편 W/C비가 40%, 치환율이 25%인 시편이 동결-융해 저항성이 다소 낮게 나왔는데 이것은 콘크리트 품질관리 및 실험의 오차로 판단되어진다.

각변수에 대한 내구성 지수는 Table 4.와 같이 나타났다. 여기서 알 수 있듯이, W/C비가 40%일 때는 300 Cycle이 지나도 내구성 지수가 90% 이상으로 거의 동해의 손상을 받지 않는 것으로 나타났다으며, AE제를 혼입한 경우 혼입하지 않는 경우에 비해 내구성 지수가 높게 나타났다. 또한 전반적으로 폐주물사의 치환율이 높아질수록 내구성 지수가 크게 나타났다.

이와 같은 결과는 폐주물사의 치환율이 동결-융해 저항성에 영향을 미치고 있으며, W/C비, AE제 또한 동결-융해 저항성에 영향을 미치는 중요한 변수로 나타났다.

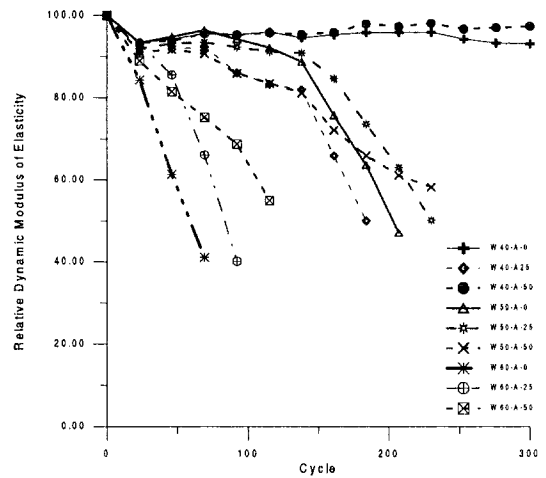


Fig 6. Change of relative dynamic modulus (Fine Agg. : Waste Foundry Sand)

Table 4. Durability Factor

실험변수 \ 내용	종결Cycle (회)	상대동탄성 계수(%)	내구성지수 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	169	60.00	33.8
W50-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	30.6
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

4. 결 론

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

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

2) W/C비가 적을수록, AE제를 사용했을 때가 내구성이 우수한 것으로 나타나고 있다.

3) 동결-융해 저항성은 폐주물사의 치환율이 50%, 25%, 0% 순으로 좋은 것으로 나타났으며, 이것은 폐주물사 콘크리트가 동결-융해 저항성이 우수하며 구조물에 사용 가능한 것으로 나타났다.

4) 향후 과제로는 내구성 실험인 투수실험과 길이변화를 실시하여 더 구체적인 내구특성을 제시하는데 있다.

의 최적배합설계를 위한 기초적 연구”, 강원대학교 산업기술연구소, 1996.

- [7] 이상범 외 4명, “고강도 경량골재 콘크리트의 동결 융해 저항 특성”, 한국콘크리트학회, 제9권, 2호, 1997.
- [8] 이승한 외 2명, “괴상석탄재와 폐주물사를 혼입한 경량모르타의 특성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회, 제9권, 2호, 1997.
- [9] Ahmed E. Ahmed and A.EI-Kour, “Properties of Concrete Incorporating Natural and Crushed Stone Very Fine Sand”, ACI Materials Journal, July-August, 1989.

감사의 글

“본 연구는 강원대학교 석재복합 신소재 제품 연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.”

참고문헌

- [1] M. Pigeon and R. Pleau, “Durability of Concrete in Cold Climates”, E&FN SPON, 1995.
- [2] Ceoff Mays, “Durability of Concrete Structures”, E&FN SPON, 1992
- [3] 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.
- [4] 오병환 외 4명, “고품질 시공을 위한 고내구성 콘크리트의 개발 및 실용화 연구”, 건설교통부, 94 연구개발사업 최종보고서, 1996.
- [5] 김태경 외 1명, “폐주물사를 혼입한 콘크리트

Table 3. Strength Test Result of Specimen

A	B	C	Compressive Strength (Kg/cm ²)					
			14 Day			28 Day		
-	-	-	169	224	152	252	248	300
			182			267		
-	-	o	173	195	150	239	199	224
			173			221		
-	-	+	173	140	192	185	185	199
			168			190		
-	+	-	244	216	218	260	229	233
			226			241		
-	+	o	178	127	152	210	165	213
			152			196		
-	+	+	139	108	134	185	143	127
			127			152		
o	-	-	185	219	201	255	276	243
			202			258		
o	-	o	166	218	154	178	252	192
			179			207		
o	-	+	181	152	140	167	185	191
			158			181		
o	+	-	166	146	248	288	353	280
			187			307		
o	+	o	172	154	204	237	191	280
			177			236		
o	+	+	115	120	127	108	121	104
			121			111		
+	-	-	166	216	187	274	229	222
			189			242		
+	-	o	89	102	89	95	117	115
			93			109		
+	-	+	104	83	88	138	146	108
			92			131		
+	+	-	257	276	265	318	331	280
			266			307		
+	+	o	261	283	256	261	261	297
			252			273		
+	+	+	218	192	236	208	172	229
			215			203		

A : [Fine Agg. : Waste Foundry Sand] B : AE제 C : [W/C]