

폐주물사를 혼입한 콘크리트의 동결-융해 저항성에 관한 실험적 연구

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

용석응* 이주형* 홍창우* 윤경구** 박제선***
Yong Suk-Ung Lee Joo-Hyung Hong Chang-Woo Yun Kyong-Ku 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°C and 4°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.

1. 서 론

주물공장 부산물인 폐주물사는 그 물량이 매년 증가하고 있으며, 여러 해 동안 누적되었고 아울러 부산물의 처리에 많은 비용을 지출하고 있다. 산업부산물인 폐주물사를 콘크리트를 조성하는 재료의 일부로 치환되어 건설재료로 활용될 경우, 매립에만 의존되어오던 폐기물 처리비용을 절감할 수 있고 환경문제에도 일익을 할 수 있으리라 기대된다.

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

*정회원, 강원대학교 공과대학 대학원

**정회원, 한국도로공사 책임연구원

***정회원, 강원대학교 공과대학 토목공학과 교수

저항성에 관한 연구가 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 폐주물사 콘크리트의 내구특성을 파악하기 위하여 폐주물사를 각각 일정 비율의 잔골재로 치환한 시편에 대해 동결-융해 실험(ASTM C 666 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. 실험재료 및 실험방법

2.1 실험재료

(1) 폐주물사(Waste Foundry Sand)

산업폐기물인 폐주물사를 잔골재에 대체하여 혼화재로서 사용하였으며, 폐주물사는 고온의 열처리 과정을 거친 후 생성되므로 화학적으로 매우 안정되어 있으며 담갈색의 색상을 띠고 있다. 폐주물사의 일반적 물리·화학적성질은 Table. 1와 같다.

Table. 1 Chemical and Physical 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	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 비중이 2.65인 최대치수 25mm 레미콘용 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 비중이 2.61의 강원도 홍천강 유역에서 채취한 천연 강모래를 사용하였다.

(3) AE 제

국내 S사 제품인 빈폴레진계 AE제를 사용하였으며, 비중은 1.025 ± 0.005 이고, 색상은 담갈색의 색상을 갖는 재료를 사용하였으며, 시멘트 단위중량에 일정비율 첨가하여 사용하였다.

2.2 실험방법

압축강도시험은 재령 14일과 28일에 따라 실시하였으며, 동결-융해에 대한 저항 시험은 ASTM C 666 B Type에 따라 한 사이클을 4시간으로 하였으며, 공시체 중심에서의 온도를 4℃에서 -18℃로 하강시키고 다시 4℃로 상승시키는 것을 반복하였다. 각 공시체의 동탄성계수는 초기치의 40% 손실될 때까지 또는 300사이클까지 진행하였다. 매 23사이클 동결-융해 처리 후 한 번씩 공시체를 꺼내어 외형관찰 및 동탄성계수를 측정하고 다시 동결-융해 싸이클을 진행을 계속 시켰다. 동결-융해 처리 1사이클의 시험 방법은 Fig. 1과 같다.

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

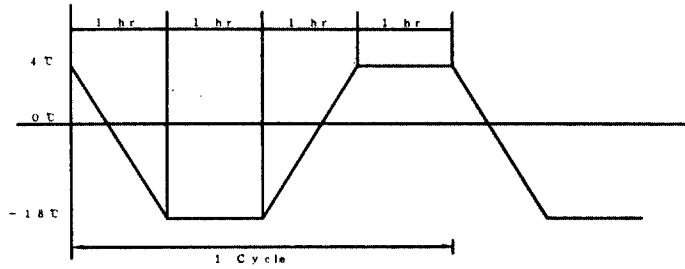


Fig. 1 A Freezing and Thawing cycle

3. 결과분석 및 고찰

3.1 압축강도 특성

(1) AE제에 따른 변화

AE제를 사용하지 않은 경우를 우선 살펴보면, Fig. 2과 Fig. 3에서와 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 40, 50%의 물-시멘트비에서 압축강도의 증진을 기대할수 있었고, 50% 치환시에는 압축강도의 발현 효과가 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 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 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 입도분포 때문인 것으로 판단된다. 즉, 폐주물사의 입도분포가 작은 미세입자로 구성되어 있어서 폐주물사를 잔골재의 일부 치환한 배합에서는 폐주물사의 치환율이 커질수록, 잔골재율이 커져서 강도가 저하한 것으로 판단된다.

아울러, AE제를 첨가했을 때는 폐주물사의 치환율에 따른 압축강도는 증가하는 것으로 나타났는데, 이것은 폐주물사 내의 탄소성분이 연행 공기량을 감소시켜 콘크리트 내부조직이 치밀해져 강도가 증가된 것으로 사료된다.

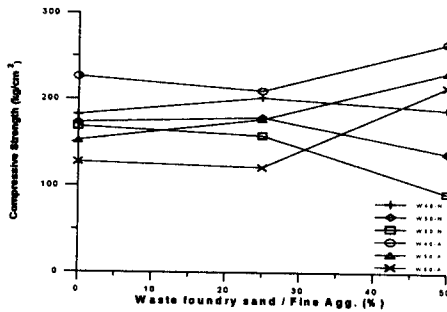


Fig. 2 Compressive strength at 14days

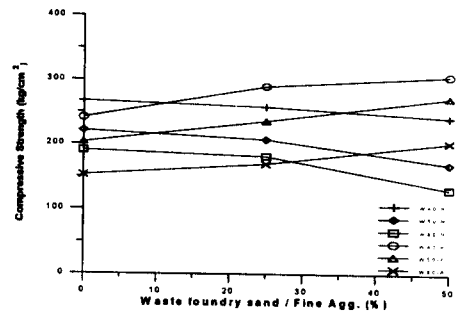


Fig. 3 Compressive strength at 28 days

3.2 동결-융해 저항성

(1) 상대동탄성계수 변화

폐주물사를 잔골재의 일부 치환한 콘크리트의 물-시멘트비에 따른 동결-융해의 저항 특성은 Fig. 4의 (a)와 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. 4의 (b)와 같이 나타났다. 물-시멘트비가 60%인 경우에서 폐주물사 치환율이 25%, 0%에서는 100 cycle 이전에서 동탄성계수가 60% 이하가 되었지만 폐주물사 치환율이 50%에서는 115 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. 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. 4의 (a)와 (b)를 비교하면 알 수 있듯이, 물-시멘트비가 40%에서는 AE제의 사용 여부에 상관없이 300 cycle에서도 상대동탄성계수가 90%이상을 유지하였으며, 물-시멘트비가 60%에서는 100 cycle 이내에서 상대동탄성계수가 60%이하로 내려가는 경향을 보여 물-시멘트비가 높거나 낮을 때에는 AE제의 영향을 적게 받는 것으로 나타났다. 그러나 물-시멘트비가 50%에서는 AE제를 첨가하지 않았을 경우 200 cycle이내에서 상대동탄성계수가 60%

이하가 되었으며, AE제를 첨가하였을 경우에는 250 cycle에서 상대동탄성계수가 60% 이하가 되었는 데 이는 AE제에 의해 연행된 공기는 동결시 콘크리트 내부에서 발생되는 파괴 간극수압을 흡수해 주기 때문에 동결-융해 저항성을 향상시키는 것으로 판단된다.

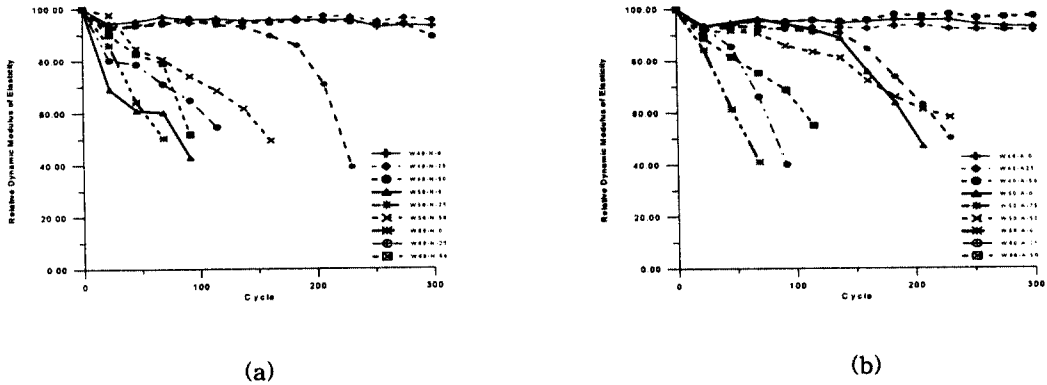


Fig. 4 Change of relativity dynamic modulus

(2) 내구성 지수 변화

각변수에 대한 내구성 지수는 Table. 2에서 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.

Table. 2 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	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, 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 나타났다으며, 이것은 폐주물사가 콘크리트 압축강도 증진에 좋은 영향을 주는 것으로 나타났다.
- 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 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 물-시멘트비가 50%에서 폐주물사 치환율 증가에 따른 동결-융해 저항성이 크게 향상되는 것으로 나타났다.
- 4) 폐주물사 콘크리트 제작시 동결-융해 저항성 향상과 강도증진을 위해서는 AE제를 필수적으로 사용해야 되는 것으로 나타났다.
- 5) 동결-융해 저항특성 분석 결과 폐주물사를 혼입한 콘크리트는 동결-융해 저항성이 우수하므로 폐주물사 콘크리트가 동결-융해 저항성이 우수하며 동해가 예상되는 구조물에 사용 가능한 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

- (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) Ceoff 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, pp416-421
- (7) 이승한, 한영섭, 정용욱, “괴상석탄재와 폐주물사를 혼입한 경량모르타의 특성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회, 학술발표논문집, 제9권, 2호, 1997. 11, pp223-228