

재생굵은골재 사용 콘크리트의 내동해성 향상을 위한 연구

A Study on Improvement for Freeze and Thaw Durability of Concrete Using Recycled Coarse Aggregate

김 용 직* 문 한 영** 문 대 중***
Kim, Yong Jik Moon, Han Young Moon, Dae Joong

ABSTRACT

A research for recycling the demolished-concrete as concrete aggregate has been concerned in all over the world. There, however, are some problems that qualities of recycled aggregates are not only largely different, but also mechanical properties of recycled aggregate concrete decrease a little in comparison with that of natural aggregate concrete.

In this study, the resistance of freezing and thawing of concrete using source-concrete recycled aggregate(SRN) and demolished-concrete recycled aggregate(DRA) was investigated. Futhermore a research for improvement of freeze and thaw durability of recycled aggregate concrete was performed. Relative dynamic modulus of elasticity of SRN and DRA recycled aggregate concrete was dropped 60% before 150 of freezing and thawing cycle, and was much lower than that of control concrete. Relative dynamic modulus of elasticity of recycled aggregate concrete was increased to decrease water-cement ratio, but the freeze and thaw durability of recycled aggregate concrete was not enough improved. Futhermore, when metakaolin and silica fume were repalced, the freeze and thaw durability of recycled aggregate concrete containg metakaolin was more improved than that of silica fume.

1. 서론

콘크리트 구조물의 해체에 따른 폐 콘크리트 량은 점차 증가하고 있으며, 이를 콘크리트용 골재로 재활용하고자 하는 자원리사이클링에 대한 연구는 세계적인 관심사가 되고 있다.⁽¹⁻³⁾ 그러나 이들 폐 콘크리트를 파쇄한 콘크리트용 재생골재는 시멘트 페이스트 또는 모르타르가 부착되어 있으므로 부착정도에 따라 재생골재의 품질이 크게 달라지는 문제점이 있다. 즉, 재생골재를 분류해 보면 천연골재, 천연골재에 모르타르가 일부 부착된 골재 및 모르타르만의 골재 3종류로서 이들 재생골재는 비중 및 흡수율 등의 품질변동이 크다. 또한, 재생골재를 사용한 콘크리트는 재생골재에 부착된 모르타르량 및 모르타르의 공극구조에 의하여 크게 영향을 받기 때문에 재생골재에 부착되어 있는 모르타르의 영향으로 강도뿐만 아니라 동결융해에 대한 내구성이 보통콘크리트보다 크게 떨어지는 문제점이 지적되고 있다.^(4,5)

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

** 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

*** 정회원, 한양대학교 산업과학연구소 연구원

본 연구에서는 재생골재를 사용한 콘크리트의 동결융해에 대한 저항성을 개선시키기 위하여 물-시멘트비 변화에 따른 크리트의 배합영향과 실리카흄 및 메타카올린 초미립 분말의 혼화재 사용에 대한 영향을 실험을 통하여 비교, 고찰하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 혼화재 : 비중 3.15, 비표면적이 $3,200\text{cm}^2/\text{g}$ 인 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 혼화재로서는 SiO_2 가 90%, 비표면적이 $200,000\text{cm}^2/\text{g}$ 인 실리카흄(SF)과 $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ 가 90% 정도이고 비표면적이 $120,000\text{cm}^2/\text{g}$ 인 메타카올린(MK)을 사용하였다.

2.1.2 골재 : 잔골재는 비중 2.64, 흡수율 2.63%인 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수 20mm, 비중 2.65, 흡수율 0.94%인 부순돌을 사용하였다.

2.1.3 모재 및 폐 골재 : 콘크리트의 압축강도가 $500\text{kgf}/\text{cm}^2$ 정도의 중강도(Medium strength) 정도의 연행공기가 포함되어 있지 않은 모재 콘크리트(source-concrete)를 파쇄한 모재 골재(Non-AE Source-concrete recycled aggregate, 이하 SRN)를 제조하였다.

파쇄공정에 따른 모재 골재를 조 파쇄기(Jaw crusher)와 임팩트 파쇄기(Impact crusher)로 파쇄하여 1단계 모재 골재(SRN1), 다시 포라우더(Porouder)로 각각 파쇄하여 3단계 모재 골재(SRN3)라 하였다.

한편, 폐 골재는 조파쇄기로 1단계 파쇄한 후 철 금속과 비철금속을 분리한 후 임팩트 파쇄기로 파쇄(Process A1)한 폐 골재(Demolished-concrete recycled aggregate, 이하 DRA1)와 철 금속과 비철금속을 분리하여 파쇄한 후 비중 선별방법(Process A2)으로 골재에 부착된 모르타르를 제거한 폐 골재(이하 DRA2)이다. 모재 및 폐 골재와 부순돌의 물리적 성질은 표1과 같다.

Table 1 Physical properties of recycled aggregates and crushed stone

Type of aggregate	SCS* (kgf/cm ²)	Specific gravity	Absorption (%)	Soundness (%)	Crushing value of 10ton (%)	F.M.	Adhered mortar (%)
CS	-	2.65	0.94	9.1	3.57	6.48	0
SRN1	500	2.44	5.57	47.0	3.65	6.67	55.7
SRN3		2.47	5.07	28.1	2.06	6.60	45.5
DRA1	-	2.57	5.57	50.2	5.36	6.92	41.8
DRA2	-	2.56	3.76	17.3	3.30	7.07	26.4

2.2 실험방법

콘크리트의 동결융해 시험 : $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ 의 각주형 공시체를 제작하여 재령 28일에서 수중동결 수중융해 방법으로 ASTM C 666에 준하여 실시하였다. 측정사이클은 공시체의 중심온도를 $5 \sim -18^\circ\text{C}$ 로 하강 후, $-18 \sim 5^\circ\text{C}$ 로 상승하는 것을 1사이클로 하여 300사이클까지 동결융해를 반복하였으며, 30사이클마다 동탄성계수, 길이변화 및 중량변화를 측정하였다.

2.3 콘크리트 배합

콘크리트의 배합은 물-시멘트비를 30, 40 및 55%로 정하였으며, 실리카흙 및 메타카올린은 시멘트 단위중량에 10%를 혼합하였다. 슬럼프는 8±2cm, 공기량은 4.5±0.5%로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 재생굵은골재 콘크리트의 동결융해 특성

Non-AE 모재 콘크리트를 파쇄한 모재 골재를 사용한 콘크리트의 상대동탄성계수를 정리한 것이 Fig. 1이다. 이 그림에서 Non-AE 모재 골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수는 파쇄공정에 관계없이 보통 콘크리트에 훨씬 못 미치는 작은 값을 나타내었으며, 동결융해 180 사이클 이전에 60% 이하로 떨어지고 있음을 알 수 있다. SRN 모재골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수가 크게 떨어지는 이유는 SRN 모재골재에 부착된 모르타르는 연행공기가 없는 탓으로 동결융해의 반복작용에 의하여 NA 모재골재의 품질이 떨어진 탓으로 생각된다. 또한, SRN 모재콘크리트의 파쇄공정의 단계가 많아 SRN3 모재골재의 파쇄과정에서 SRN 모재골재에 부착된 모르타르에 미세한 균열이 발생한 탓이며, SRN 모재콘크리트에 AE제를 사용하지 않은 탓으로 생각된다. 그러므로 재생골재 사용 콘크리트의 소요의 동결융해 저항성을 유지하기 위해서는 모재콘크리트에 적정량의 AE제 사용과 더불어 지나친 파쇄공정을 피하는 것이 필수적인 요건으로 생각된다.

실제 콘크리트 구조물 해체시 발생하는 폐 콘크리트를 파쇄한 폐 골재를 사용한 콘크리트의 동결융해 특성을 알아보기 위하여 2 종류의 폐 골재를 사용한 콘크리트의 상대동탄성계수를 정리한 것이 Fig. 2이다. 보통콘크리트의 상대동탄성계수가 300사이클에서 87 % 정도인데 비하여 DRA1 및 DRA2 폐골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수 60 %일 때 동결융해 사이클은 각각 40 및 120 정도로 나타났다. 즉, 폐골재 사용 콘크리트의 동결융해 저항성은 SRN 모재골재 사용 콘크리트와 비슷한 경향을 나타내었으나 보통콘크리트보다 훨씬 좋지 않았으며, 그 이유는 폐골재에 부착된 모르타르에 연행공기가 적은 탓에 기인되었다고 생각된다. DRA1 및 DRA2 폐골재 사용 콘크리트의 동결융해 저항성이 약간 상이한 이유는 폐골재에 부착된 모르타르량이 각각 41.8 및 26.4 %로서, DRA2 폐골재에 부착된 모르타르량이 작은 탓으로 생각된다.

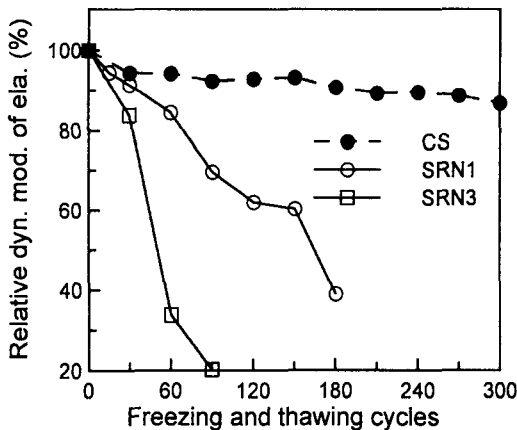


Fig. 1 Relative dynamic modulus of elasticity on concrete with SRN

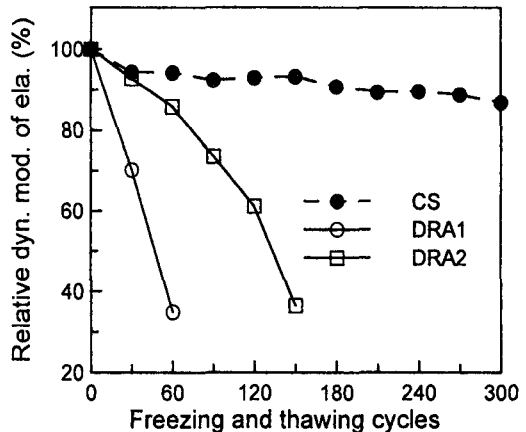


Fig. 2 Relative dynamic modulus of elasticity on concrete with DRA

3.2 물-시멘트비에 의한 재생골은골재 콘크리트의 내동해성 개선

재생골재를 사용한 콘크리트의 동결융해에 대한 저항성은 재생골재에 부착되어 있는 모르타르의 량 및 모르타르의 공극구조에 의하여 천연골재를 사용한 콘크리트에 비하여 크게 저하되는 문제점이 있었다.

그러므로 재생골재를 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성을 향상시키기 위한 일환으로 물-시멘트비를 감소시켜 콘크리트의 동결융해에 대한 실험결과를 상대동탄성계수로 정리한 것이 Fig. 3 및 Fig. 4이다.

연행공기를 포함하지 않은 모래콘크리트를 파쇄하여 얻은 모래골재로 제조한 콘크리트의 상대동탄성계수를 정리한 것이 Fig. 3이다. 이 그림에서 물-시멘트비를 감소시키므로써 콘크리트의 상대동탄성계수는 증가하였으나, 물-시멘트비 30%로 감소시켜도 동결융해 사이클 270 이전에 60% 이하로 떨어지는 결과로서 물-시멘트비 55%의 천연골재로 제조한 콘크리트보다 좋지 않은 결과를 얻었다.

또한, 실제 콘크리트를 해체시 발생하는 폐 콘크리트를 파쇄하여 얻은 폐 골재로 제조한 콘크리트의 상대동탄성계수를 정리한 것이 Fig. 4이다. 이 그림에서도 물-시멘트비를 감소시키므로써 콘크리트의 조직이 치밀해지므로 콘크리트의 상대동탄성계수가 증가하였으나, DRA1 폐 골재를 사용한 콘크리트는 물-시멘트비 40% 및 30% 감소시킬 경우 동결융해 사이클이 150 및 240에서 상대동탄성계수가 60% 이하로 떨어지는 문제점이 있었다. DRA2 폐 골재를 사용한 콘크리트는 물-시멘트비를 40% 감소시키므로써 동결융해 사이클 300에서 상대동탄성계수가 60% 정도로 내동해성이 상당히 개선되는 효과가 있었다. 즉, 이와같이 폐골재 종류에 따라 콘크리트의 상대동탄성계수가 물-시멘트비 감소함에 따라 크게 차이가 나는 이유는 DRA2 폐골재에 부착되어 있는 모르타르량이 DRA1 폐골재에 비하여 작을 뿐만 아니라 안정성 손실률이 작으므로 동결융해에 의한 골재의 손상이 작아졌기 때문으로 생각된다.

이상의 결과에서 물-시멘트비를 감소시키므로써 콘크리트 내부의 신모르타르 조직이 치밀해져 동결융해에 대한 저항성을 얼마간 향상시킬 수는 있으나, 동결융해 반복작용에 의해 재생골재에 부착되어 있는 모르타르량 및 공극구조의 영향으로 재생골재가 손상을 입게 되므로 물-시멘트비를 감소시키므로써 재생골재 콘크리트의 내동해성을 충분히 향상시키는 효과를 기대하기는 어렵다고 생각된다.

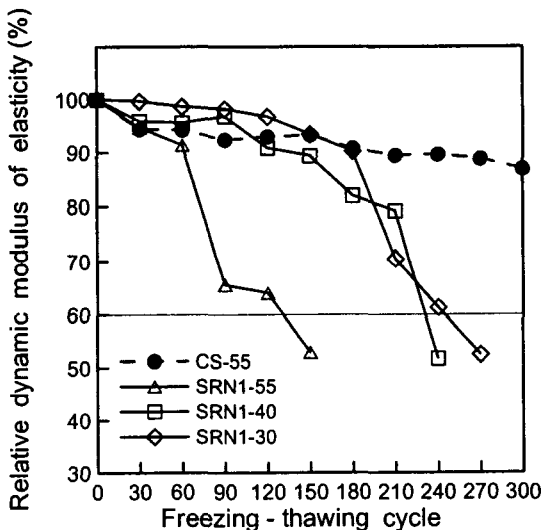


Fig. 3 Relative dynamic modulus of elasticity on concrete with SRN according to W/C

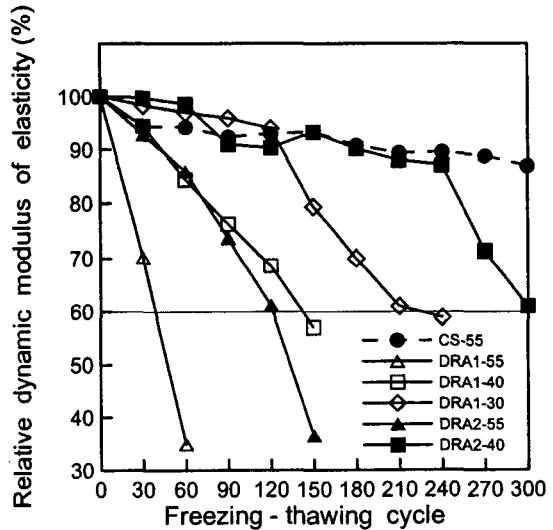


Fig. 4 Relative dynamic modulus of elasticity on concrete with DRA according to W/C

3.3 혼화제 혼합에 의한 재생골은골재 콘크리트의 동결융해 개선

포졸란 활성반응이 크고 초미립 분말의 실리카흙 및 메타카올린 사용하여 재생골재를 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성을 검토하기 위하여 콘크리트의 동결융해에 대한 실험결과를 상대동탄성계수로 정리한 것이 Fig5~Fig.7이다.

Fig. 5는 물-결합재비 55%의 경우 SRN1 모재골재를 사용한 콘크리트의 상대동탄성계수를 정리한 그림이다. 이 그림에서 실리카흙 및 메타카올린을 사용하므로써 콘크리트의 상대동탄성계수가 60%로 되는 동결융해 사이클이 혼화제를 사용하지 않은 콘크리트에 비하여 약간 증가하였으며, 두 종류 혼화제를 사용한 콘크리트 모두 비슷한 경향을 나타내었다.

Fig. 6은 물-결합재비를 30%로 한 경우 SRN1 모재골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수를 정리한 그림이다. 이 그림에서 메타카올린을 사용한 콘크리트는 동결융해 사이클 300에서 상대동탄성계수가 60% 이상으로 혼화제를 혼합하지 않은 콘크리트에 비하여 큰 값을 나타내었으나, 실리카흙을 사용한 콘크리트는 동결융해 사이클 180이전에 상대동탄성계수가 60% 이하로서 혼화제를 혼합하지 않은 콘크리트에 비하여 좋지 않은 결과를 얻었다. 즉, 메타카올린을 사용할 경우 초미립분말의 충전효과와 아울러 실리케이트 및 알루미늄이트계 수화물에 의한 포졸란 활성반응으로 콘크리트의 내부조직이 동결융해 저항성이 향상되었다고 판단되나, 이에 대해서는 충분한 연구검토가 필요하다고 생각된다.

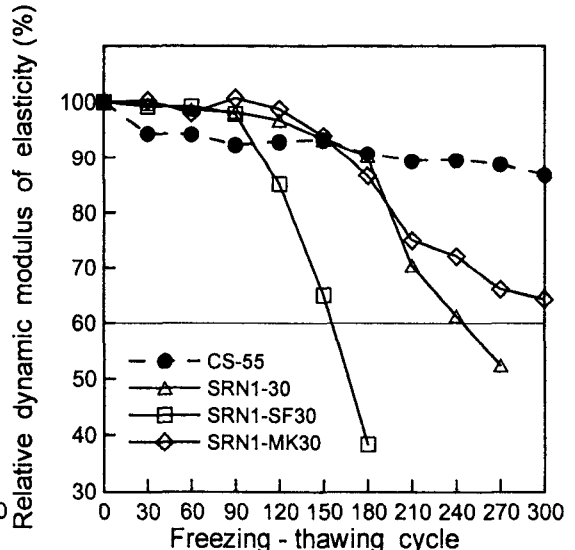
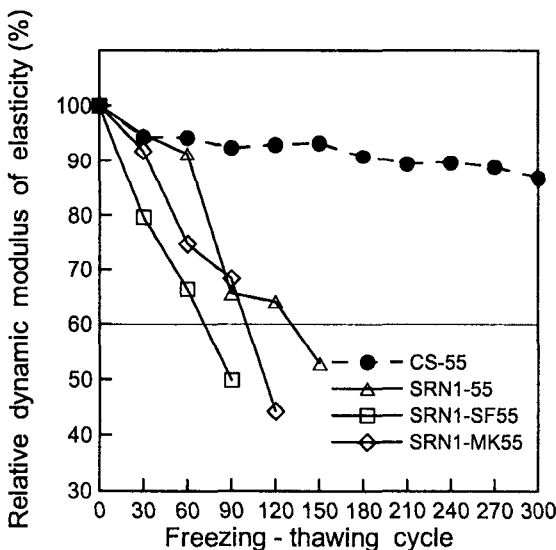


Fig. 5 Relative dynamic modulus of elasticity on concrete with SRN according to mineral admixture(W/Mc=55%) Fig. 6 Relative dynamic modulus of elasticity on concrete with SRN according to mineral admixture(W/Mc=30%)

다음은 메타카올린을 혼합하고 폐 콘크리트를 파쇄하여 얻은 폐골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수를 정리한 것이 Fig. 7이다.

이 그림에서 콘크리트의 상대동탄성계수는 메타카올린을 혼합하고 물-결합재비를 55%로 한 경우 동결융해 사이클 180에서 60% 정도를 나타내었으며, 물-시멘트비를 30%로 감소시킨 경우 동결융해 사이클 300에서 약 65%로 동일 물-결합재비에 대하여 메타카올린을 혼합하므로써 콘크리트의 상대동탄성계수가 증가되었다.

이상의 본 실험결과에서 재생골재 콘크리트의 동결융해 저항성은 물-결합재비 저감 및 메타카올린과 실리카흙의 혼화제 사용함에 있어서 큰 효과는 얻지 못했다. 즉, 재생골재 콘크리트의 내동해성을 개선

하기 위해서는 재생골재 자체에 의한 영향이 동결융해에 크게 작용하므로 재생골재의 소요품질을 확보하는 것이 필요할 뿐만 아니라 콘크리트의 소요품질을 개선하기 위해서도 충분한 연구검토가 요망된다.

4. 결론

(1) 모재골재 및 폐골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수는 물-시멘트비 55%의 경우 부순골재를 사용한 콘크리트에 비하여 훨씬 못 미치는 값으로 동결융해 사이클이 150 이전에 60%이하로 떨어지는 문제점이 있었다. 이는 재생골재에 부착되어 있는 모르타르량 및 부착모르타르 내부에 충분한 연행공기가 포함되어 있지 않았기 때문으로 생각된다.

(2) 모재골재 및 폐골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수는 물-시멘트비를 40 및 30%로 감소시키므로써 물-시멘트비 55%에 비하여 증가하여 DRA2 폐골재를 사용한 경우 물-시멘트비를 40%로 감소시키므로써 동결융해 사이클 300에서 상대동탄성계수가 60% 이상의 개선효과가 있었다. 그러나 SRN1 모재 및 DRA1 폐골재 사용 콘크리트의 동결융해 저항성은 충분히 개선되지 않았다.

(3) 모재골재 및 폐골재 사용 콘크리트의 내동해성을 개선하기 위하여 메타카울린 및 실리카흄을 혼합하여 검토한 결과 메타카울린을 혼합한 콘크리트가 실리카흄 혼합 콘크리트에 비하여 내동해성 개선 효과가 얼마간 컸으며, 콘크리트의 상대동탄성계수는 혼화제를 혼합하지 않은 콘크리트에 비하여 약간 개선 되어 물-결합재비 30%에서는 동결융해 사이클 300에서 60% 이상을 나타내었다.

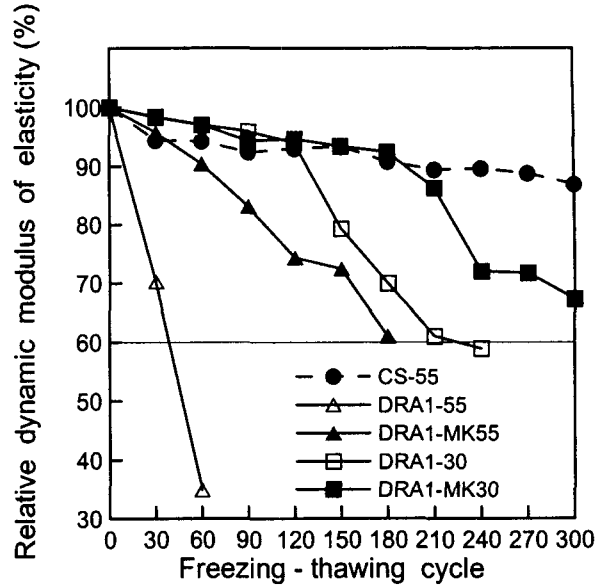


Fig. 7 Relative dynamic modulus of elasticity on concrete with DRA according to mineral admixture(W/Mc=30%)

참 고 문 헌

1. A. Henrichsen, "Use of Recycled Aggregates in Europe", International Workshop on Recycled Concrete, JSPS 76 Committee on Construction Materials, 2000.9, pp.1-8.
2. 長瀧 重義, "建設材料のリサイクル方法の總合的検討", 日本學術振興會 建設材料 第76委員會, リサイクル, 1997, pp.1-7.
3. 구봉근 외 3명, "플라이애시를 혼합한 재생골재 콘크리트의 강도 및 동결융해 특성", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 1999.11, pp.241-244.
4. 문대중, 문한영, 재생골재를 사용한 콘크리트의 내동해성, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 2001.11, pp.85-88.
5. 문대중, 문한영, 재생골재의 품질평가 및 재생골재 콘크리트의 강도특성, 대한토목학회 논문집, 제 22권 제1-A호, 2002.1, pp.141-150.