

## 재생골재를 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성

문대중<sup>1)\*</sup> · 팽우선<sup>1)</sup> · 문한영<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>한양대학교 토목공학과

(2001년 9월 28일 논문접수, 2002년 3월 5일 심사완료)

## Freeze and Thaw Durability of Concrete Using Recycled Aggregates

Dae-Joong Moon<sup>1)\*</sup>, Woo-Seon Paeng<sup>1)</sup>, and Han-Young Moon<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Civil Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

(Received September 28, 2001, Accepted March 5, 2002)

### ABSTRACT

Utilization of demolished-concrete as recycled aggregate has been researched for the purpose of substituting for insufficient natural aggregate, saving resources and protecting environment. There, however, are some problems not only the large difference of qualities in recycled aggregates but also a little deterioration of mechanical properties in recycled aggregate concrete in comparison with that of natural aggregate concrete.

In this study, the test results of freeze and thaw durability of concrete with demolished-concrete recycled aggregate(DRA) are as follows. Improvement of crushing process is an important assignment because that adhered mortar on source-concrete recycled aggregate(SRA) and DRA highly affects the qualities of recycled aggregate. The compressive strength of recycled aggregate concrete was not highly different in comparison with that of control concrete. But the resistance to penetration of Cl in recycled aggregate concrete was shown smaller than that of control concrete because of adhered mortar on recycled aggregate. The resistance to freezing and thawing of recycled aggregate concrete was highly different due to adhered mortar on recycled aggregate, and durability factor of concrete with NA-SRA and DRA was more decreased than that of control concrete. On the other hand, durability factor of concrete with AA-SRA was larger than that of control concrete. It, therefore, is necessarily required that recycled aggregate including adequate entrained air should be used for satisfying the freeze and thaw durability of recycled aggregate concrete.

**Keywords:** source-concrete recycled aggregate, demolished-concrete recycled aggregate, entrained air, durability factor, freeze and thaw durability

### 1. 서 론

최근 경제발전에 힘입어 생활수준이 크게 향상됨으로써 이로 인하여 발생하는 쓰레기, 생활 및 산업 폐기물이 크게 증가하여 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 특히 건설폐기물 중 콘크리트구조물의 노후화, 성능저하 및 용도, 목적의 변경 등으로 인하여 구조물의 해체에 의해 발생하는 폐콘크리트량이 급증하고 있는 실정이다. 환경부 통계(1999년)에 따르면 폐콘크리트량은 연간 1,400만톤 정도 발생되었으며, 향후 20년 이후에는 이미 건설된 아파트 또는 신도시의 개발 등에서 발생하는 건설폐기물이 현재의 10배 정도 크게증가할 것으로 추정하고 있다<sup>1)</sup>.

지금까지는 이들 폐콘크리트를 도로포장의 보조재료 또는 매립용 등으로 사용 내지는 폐기되어 왔으나, 점차 급

증하는 건설폐기물을 처리할 수 있는 매립지의 부족뿐만 아니라 폐기물의 처리비용이 큰 부담이 되고 있다.

그래서 일부 선진국에서는 폐콘크리트를 자원의 유효이용 및 환경보전의 차원에서 콘크리트용 골재로서 재활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>2-4)</sup>. 우리나라에서도 근년에 와서 양질의 천연골재 부족현상의 해소 및 자연생태계의 유지 등을 목적으로 콘크리트 기술자들 사이에는 폐콘크리트를 콘크리트용 재생골재로 재활용화하기 위한 연구에 관심을 나타내고 있다<sup>5-8)</sup>.

한편, 폐콘크리트 재생골재는 천연골재와는 달리 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 흡수율의 변동이 크기 때문에 콘크리트용 골재로서 소요의 품질을 유지하기 위해서는 매우 어려움이 있다<sup>9,10)</sup>. 또한, 재생골재를 사용한 콘크리

\* Corresponding author

Tel : 02-2282-3356 Fax : 02-2292-3356

E-mail : moondaejoong@yahoo.co.kr

트는 강도 및 동결융해에 대한 내구성이 보통콘크리트보다 크게 떨어지는 문제점이 지적되고 있다<sup>11,12)</sup>. 특히, 재생골재 사용 콘크리트의 동결융해 저항성이 좋지 않은 이유는 재생골재에 부착된 모르타르량 및 모르타르의 공극 구조에 의하여 크게 영향을 받기 때문으로 알려져 있으나, 현단계에서는 이와 관련된 연구성과는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 재생골재를 콘크리트용 골재로 재활용하기 위한 연구의 일환으로 재생골재의 품질, 재생골재 사용 콘크리트의 압축강도, 염화물 이온 침투 저항성 및 동결융해 저항성을 (1) 실제 콘크리트 구조물의 해체 시에 발생하는 폐콘크리트를 파쇄하여 제조한 폐콘크리트 재생골재 2종류, (2) 실험실에서 AE제의 유무에 따른 2종류의 모재 콘크리트를 파쇄하여 각각 제조한 모재콘크리트 재생골재 4종류 및 (3) 부순돌만을 사용한 콘크리트에 대하여 실시한 실험결과에 대하여 비교, 고찰하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

비중 3.15, 분말도 3,200 cm<sup>2</sup>/g인 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.

#### 2.1.2 화학혼화제

리그닌설펜산-폴리올 복합체가 주성분인 감수제(이하 WRA), 폴리카르본산-에테르계 복합체가 주성분인 고성능 AE감수제(이하 HWRA), 알킬아릴설펜산 화합물계 음이온 계면활성제가 주성분인 AE제(이하 AEA) 및 공기조절제(air controlling admixture, 이하 ACA)를 사용하였다.

#### 2.1.3 천연골재

잔골재는 비중 2.64, 흡수율 2.63%인 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 부순돌(이하 CS)를 사용하였다.

#### 2.1.4 모재 및 폐골재의 제조

(1) 모재골재 : 압축강도 500 kgf/cm<sup>2</sup> 정도로 AE제를 혼합하여 제조한 콘크리트(AE source-concrete, 이하 AE 모재콘크리트 또는 ASC)를 Fig. 1과 같은 파쇄공정을 거쳐 제조한 골재를 AE 모재골재(AE source-concrete recycled aggregate, 이하 AA)라 정의하였다. 또한, AE제를 사용하지 않은 500 kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 콘크리트(Non-AE source-concrete, 이하 Non-AE 모재콘크리트 또는 NSC)로 제조한 골재를 Non-AE 모재골재(Non-AE source-concrete recycled aggregate, 이하 NA)라 하였으며, AE 및 Non-AE 모재골재를 총칭하여 모재골재(source-concrete recycled aggr

egate, 이하 SRA)로 정의하였다. AE 및 Non-AE 모재콘크리트(이하 모재콘크리트)의 시험체는 10×10×30 cm 크기의 입방체로 제작하였다.

모재골재의 파쇄공정은 Fig.1과 같이 조 파쇄기(jaw crusher)와 임팩트 파쇄기(impact crusher)로 파쇄한 것을 1단계 파쇄공정(이하 process 1), 1단계 파쇄공정에서 포라우더(porouder)로 각각 2단계 및 3단계 파쇄한 것을 2단계 및 3단계 파쇄공정(이하 process 2 and 3)이라 하였다. 본 연구에 사용된 모재골재는 1단계 및 3단계 파쇄공정을 거쳐 제조한 골재를 말한다.

(2) 폐골재 : 폐콘크리트를 조 파쇄기로 1단계 파쇄한 후 철금속과 비철금속을 분리한 후 임팩트 파쇄기로 파쇄한 폐골재(demolished-concrete recycled aggregate, 이하 DRA1)와 철금속과 비철금속을 분리하여 파쇄한 후 비중선별방법으로 골재에 부착된 모르타르를 제거한 폐골재(이하 DRA2)이며, 이 두 종류의 골재를 총칭하여 폐골재(이하 DRA)라 정의하였다. 모재 및 폐골재를 총칭하여 재생골재(recycled aggregate)라 하였으며, 재생골재 및 부순돌의 물리적 성질은 Table 1과 같다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 골재의 물성시험

굵은골재의 비중 및 흡수율 시험(KS F 2503), 입도시험(KS F 2502), 파쇄시험(KS F 2541) 및 안정성 시험(KS F 2507)을 실시하였다. 한편, 모재 및 폐골재에 부착된 모르타르량을 알아보기 위하여 재생골재를 건조로에서 105±5 °C로 건조시켜 10% 염산수용액에 침지하여 모르타르를 완전히 제거한 후, 24시간 노 건조시켜 침지전·후의 골재중량 비를 모르타르 부착률로 나타내었다.

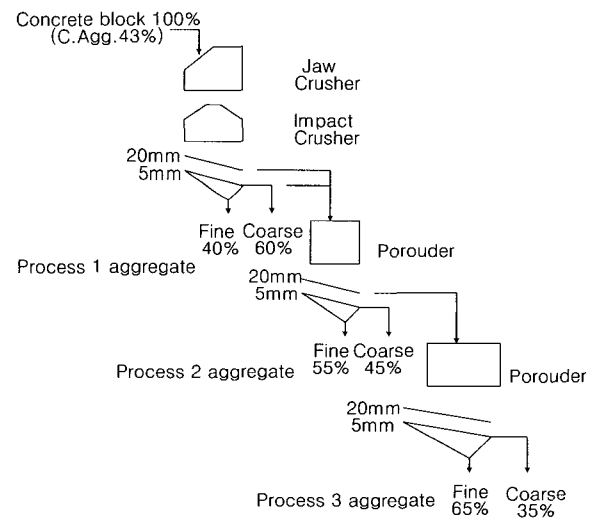


Fig. 1 Crushing process of SRA

### 2.2.2 콘크리트의 압축강도 시험

콘크리트의 압축강도 시험방법(KS F 2405)에 의하여 실시하였다.

### 2.2.3 염화물 이온 촉진침투 시험

재령 28일 동안 수중 양생한  $\alpha 10 \times 20$  cm의 원주형 공시체를 두께 5cm의 시험편으로 절단하여 전기적 촉진방법(ASTM C 1202)에 의하여 실시하였다.

### 2.2.4 콘크리트의 동결융해 시험

$10 \times 10 \times 40$  cm의 각주형 공시체를 제작하여 재령 28일 동안 수중양생한 후, 급속동결, 융해 방법( ASTM C 666, A법)에 의하여 실시하였다. 측정사이클은 공시체의 중심 온도를  $5^{\circ}\text{C}$ 에서  $-18^{\circ}\text{C}$ 로 하강 및 상승한 것을 1사이클로 하여 300사이클까지 동결융해를 반복하였으며, 30사이클마다 동탄성계수, 길이변화 및 중량변화를 측정하였다. 또한, 내구성지수는 상대동탄성계수와 사이클수를 이용하여 다음 식 (1)로 구하였다.

$$DF = P(N/300) \quad (1)$$

여기서, DF : Durability factor

P : Relative dynamic modulus of elasticity at N cycles (%)

N : 300 cycles or number of cycles at which P is reduced to 60 percent of the original value

## 2.3 콘크리트의 배합

### 2.3.1 모재콘크리트의 배합

모재콘크리트의 배합은 Table 2와 같다.

### 2.3.2 모재 및 폐골재 사용 콘크리트의 배합

AE 모재콘크리트를 파쇄한 2종류의 AE 모재골재, Non-AE 모재콘크리트를 파쇄한 2종류의 Non-AE 모재골재 및 2 종류의 폐골재를 사용한 콘크리트의 배합은 물-시멘트비 55 %로 고정하여 Table 3과 같이 정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 재생골재의 품질

Table 1 Physical properties of recycled aggregates and crushed stone

Type of aggregate	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Soundness (%)	Crushing value of 10 tonf (%)	Adhered mortar (%)
CS	2.65	0.94	6.48	9.1	3.57	0
AA1	2.41	5.58	6.57	48.3	5.19	55.0
AA3	2.50	3.91	6.39	18.4	1.73	32.4
NA1	2.44	5.57	6.67	47.0	3.65	55.7
NA3	2.47	5.07	6.60	28.1	2.06	45.5
DRA1	2.57	5.57	6.92	50.2	5.36	41.8
DRA2	2.56	3.76	7.07	17.3	3.30	26.4

Table 2 Mixture proportions of source-concrete

Source concrete	W/C (%)	Slump (cm)	Air (%)	Unit weight( $\text{kg}/\text{m}^3$ )				Admixture(C×%)			Compressive strength( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )
				W	C	S	G	HWRA	WRA	ACA*	
ASC	45.0	10.0	4.0	170	378	749	1004	0.9	-	-	425
NSC	45.0	2.0	1.2	175	388	769	1031	0.8	-	0.002	569

Table 3 Mixture proportions of recycled aggregate concrete

Gmax (mm)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight( $\text{kg}/\text{m}^3$ )				Admixture(C×%)		Slump (cm)	Air (%)	Type of aggregate
			W	C	S	G	WRA	AEA			
20	55	46.0	165	300	847	998	0.25	0.026	5.1	7.0	CS
20	55	46.0	160	291	857	924	0.25	0.024	4.8	8.5	AA1
20	55	44.0	157	285	826	1,001	0.25	0.020	5.0	7.0	AA3
20	55	45.7	160	290	851	939	0.25	0.016	4.7	8.5	NA1
20	55	43.5	156	284	817	996	0.25	0.016	4.1	8.0	NA3
20	55	44.0	160	291	803	1,018	0.25	0.020	4.1	7.0	DRA1
20	55	44.0	160	291	803	1,014	0.25	0.020	4.0	7.5	DRA2

모재 및 페콘크리트를 각각 파쇄한 재생골재의 품질을 파악하기 위하여 골재별 비중 및 흡수율을 측정하는 결과를 나타낸 것이 Fig. 2이다. 이 그림에서 부순돌의 비중이 2.65인데 비하여 재생골재의 비중은 2.50 전후의 값을 나타내었으며, 폐골재의 비중이 2.56 및 2.57로서 모재골재에 비하여 약간 큰 값을 알 수 있었다.

한편, 재생골재의 흡수율은 부순돌에 비하여 최대 6배 정도의 큰 값을 나타내었으며, 재생골재의 흡수율이 크게 상이한 이유는 재생골재에 부착된 모르타르량의 다소에 의한 영향 때문으로 생각된다. 재생골재에 부착된 모르타르량은 파쇄공정에 따라 크게 영향을 받기 때문에 파쇄공정 단계별 부착 모르타르량을 측정하여 모르타르의 부착률과 비중 및 흡수율과의 관계로 나타낸 것이 Fig. 3이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 재생골재에 부착된 모르타르의 부착률이 증가함에 따라 비중은 선형적으로 감소하였으나, 흡수율은 크게 증가하는 경향을 나타내었다. 그 이유는 재생골재에 부착된 모르타르가 다공성일 뿐만 아니라 천연골재보다 품질이 떨어지기 때문으로 생각된다.

한편, 재생골재의 품질을 평가하기 위한 한 수단으로 안정성 및 파쇄값 시험결과를 골재종류별로 정리한 것이 Fig. 4이다. 재생골재의 파쇄값은 파쇄공정의 단계에 따라 크게 상이함을 알 수 있으며, 파쇄공정 단계가 많은 AA3 및 NA3 모재골재의 파쇄값은 부순돌보다 오히려 작은 값을 나타내었다. 이는 파쇄공정 단계를 많이 거침으로써 재생골재의 부착 모르타르량이 감소되었을뿐만 아니라 입형이 둥글게 형성된 탓으로 파쇄값이 작아졌다고 생각된다. 한편, 안정성시험에 의한 재생골재의 손실무게 백분율은 17~50 % 정도로서 부순돌 약 9 % 보다 월등히 큰 값을 나타내었으며, 재생골재의 파쇄공정 단계에 따라 파쇄값과 마찬가지로 손실무게 백분율도 크게 상이함을 알 수 있었다.

이상의 결과를 종합해 보면, 재생골재의 품질은 모재콘크리트 및 페콘크리트 제조시 사용되는 천연골재의 물성뿐만 아니라 재생골재에 부착된 모르타르의 부착률에 따라 크게 상이함을 알 수 있었다. 따라서, 소요 품질의 재생골재를 확보하기 위해서는 재생골재에 부착된 모르타르량을 최대한 줄일 수 있는 파쇄공정의 개선이 우선과제로 생각된다.

### 3.2 압축강도

모재콘크리트의 파쇄단계별 모재골재 4종류 및 폐골재 2종류와 부순돌만을 사용한 콘크리트의 재령 28일 압축강도를 비교한 것이 Fig. 5이다.

부순돌 사용 콘크리트(이하 보통콘크리트)의 압축강도가 약 400 kgf/cm<sup>2</sup> 정도임에 비하여 재생골재 사용 콘크리트의 압축강도는 재생골재의 종류에 따라 크게 상이하

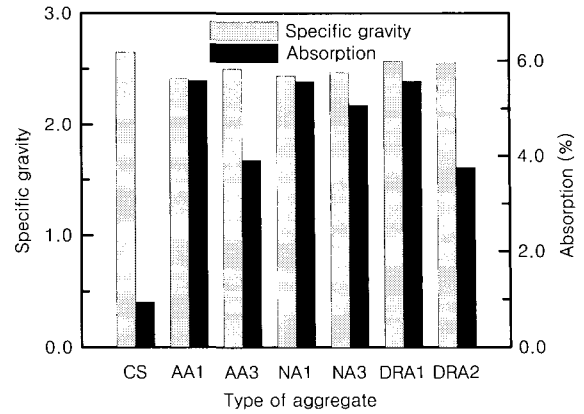


Fig. 2 Specific gravity and absorption of SRA and DRA

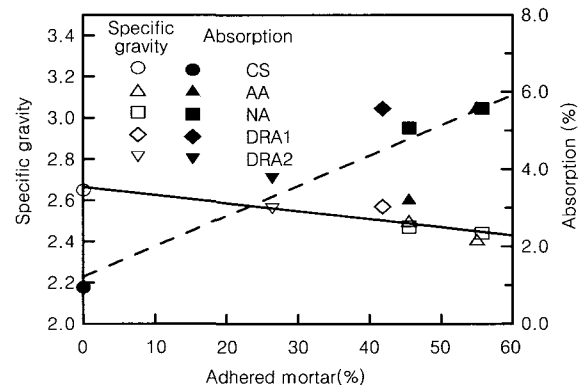


Fig. 3 Relationship between specific gravity, absorption and adhered mortar of SRA, DRA

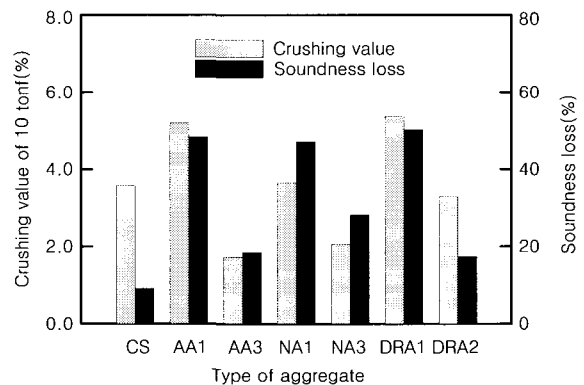


Fig. 4 Crushing value and soundness loss of SRA and DRA

였으며, 전반적으로 보통콘크리트보다 오히려 큰 값을 나타내었다.

특히, AE제를 사용하지 않은 콘크리트를 3단계로 파쇄하여 얻은 NA 모재골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 보통콘크리트보다 약 5 % 정도 증가한 값을 나타내었다.

한편, 페콘크리트를 파쇄하여 얻은 DRA2 폐골재 사용 콘크리트의 압축강도는 DRA1 폐골재 사용 콘크리트보다 약간 큰 값을 알 수 있다. 그 이유는 철금속과 비철금속을

분리하여 파쇄한 후 비중 선별방법으로 제조한 DRA2 폐골재에 부착된 모르타르가 충분히 제거되었기 때문으로 생각되며, 笠井 및 木村 등의 연구와도 비슷한 결과임을 알 수 있었다<sup>10,11)</sup>.

다시 말해서, 모재 및 폐콘크리트로 제조한 재생골재의 압축강도는 파쇄공정에 따라 재생골재의 품질 차이 뿐만 아니라 모재 및 폐콘크리트 제조시 사용된 천연골재의 품질에 따라서도 크게 상이하다고 하는 연구내용과도 유사한 결과임을 알 수 있다<sup>8~11)</sup>.

그러므로 재생골재 사용 콘크리트의 압축강도는 보통콘크리트와 비슷하므로 재생골재 사용 콘크리트를 현장구조물로 적용시 강도면에서는 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

### 3.3 동결융해 저항성

#### 3.3.1 모재골재 사용 콘크리트의 동결융해

재생골재 사용 콘크리트의 동결융해 저항성을 알아보기 위하여 AE제 사용 유무에 따른 모재골재를 사용한 콘크리트를 300사이클까지 동결과 융해를 반복하여 상대동탄성계수로 나타낸 것이 Fig. 6이다.

이 그림에서 AA 모재골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수는 모재콘크리트의 파쇄공정에 관계없이 부순돌을 사용한 콘크리트보다 큰 88% 정도의 좋은 결과를 나타내었다. 반면, NA 모재골재 두 종류 사용 콘크리트의 상대동탄성계수는 보통콘크리트에 훨씬 못 미치는 작은 값을 나타내었으며, 60%에서 NA 모재골재의 종류에 따라 각각 동결융해 사이클이 45 및 150 정도로 떨어졌음을 알 수 있다.

이와 같이 AA 모재골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수가 보통콘크리트보다 큰 이유는 AA 모재골재에 부착된 모르타르층의 연행공기 때문에 동결융해의 반복작용을 받은 AA 모재골재 성능의 변동이 작았기 때문으로 생각된다. 한편, NA 모재골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수가 크게 떨어지는 이유는 NA 모재골재에 부착된 모르타르는 연행공기가 없는 탓으로 동결융해의 반복작용에 의하여 NA 모재골재의 품질이 떨어진 탓으로 생각된다.

이번에는 AA 및 NA 모재골재 사용 콘크리트를 300사이클까지 동결융해를 반복하면서 매 30사이클마다 잔류변형을 측정하여 길이변화율로 정리한 것이 Fig. 7이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 AA 모재골재 두 종류 사용 콘크리트의 길이변화율은 보통콘크리트와 비슷하거나 오히려 작은 값을 나타내었으나, NA 모재골재 두 종류 사용 콘크리트의 길이변화율은 보통콘크리트보다 월등히 큰 값을 나타내었다. NA3 모재골재 사용 콘크리트의 길이변화율이 가장 크게 나타나는 이유는 첫째, NA 모재콘크리트의 파쇄공정의 단계가 많아 NA3 모재골재의 파쇄과정에서 NA 모재골재에 부착된 모르타르에 미세한 균열이

발생한 탓이며, 둘째 NA1 및 NA3 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.

한편, AA 및 NA 모재골재 사용 콘크리트를 300사이클까지 동결융해를 반복하면서 매 30사이클마다 콘크리트

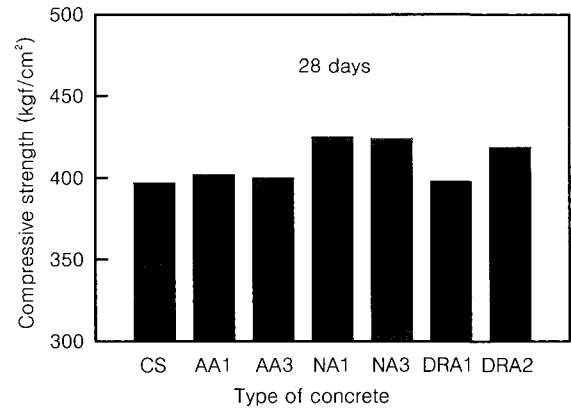


Fig. 5 Compressive strength of SRA and DRA concrete

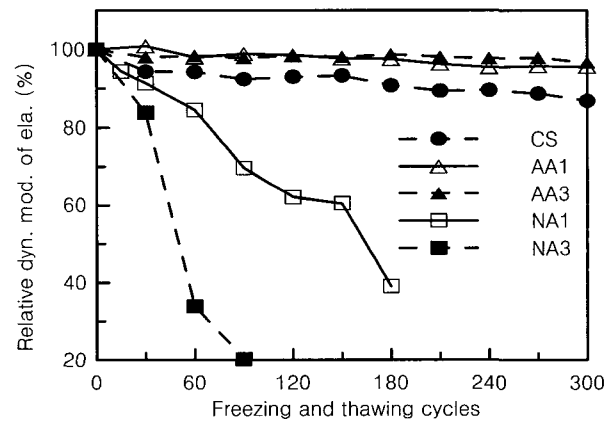


Fig. 6 Relative dynamic modulus of elasticity of SRA concrete

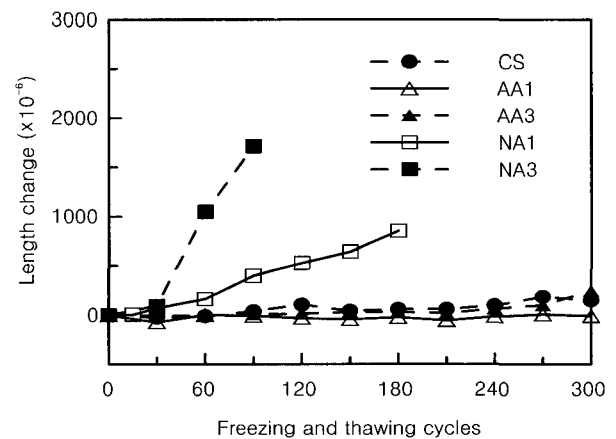


Fig. 7 Length change of SRA concrete

의 증량을 측정하여 증량감소율로 정리한 것이 Fig. 8이다.

모재골재 사용 콘크리트의 증량감소율은 골재종류에 따라 크게 상이하였으며, 동결융해 사이클이 증가함에 따라 증량감소율이 크게 증가함을 알 수 있다. 동결융해 300 사이클에서 증량감소율은 보통콘크리트 2.2 % 정도, AA 모재골재 사용 콘크리트는 파쇄공정에 관계없이 1 % 미만으로 보통콘크리트보다 훨씬 작은 값을 나타내었다.

한편, NA 모재골재 사용 콘크리트의 증량감소율이 큰 이유는 파쇄공정 단계에서 발생된 NA 모재골재에 부착된 모르타르의 균열이 동결융해의 반복작용으로 인하여 품질을 떨어뜨렸기 때문으로 생각된다.

이상의 실험결과에서 모재골재 사용 콘크리트의 종류별 동결융해 저항성에 큰 차이가 있는 이유는 모재콘크리트의 파쇄공정에 의한 영향보다는 오히려 모재골재에 부착된 모르타르의 공기연행 여부에 의한 영향이 크다고 생각되므로 모재콘크리트의 제조시 반드시 AE제의 사용이 선행되어야 한다고 생각된다.

### 3.3.2 폐골재 사용 콘크리트의 동결융해

실제 콘크리트 구조물 해체시 발생하는 폐콘크리트를 파쇄한 2 종류 폐골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수, 길이변화율 및 증량감소율을 각각 정리한 것이 Fig. 9~11이다.

폐골재 사용 콘크리트의 동결융해 300사이클까지 상대동탄성계수를 나타낸 것이 Fig. 9로서, 보통콘크리트의 상대동탄성계수가 300사이클에서 87 % 정도인데 비하여 DRA1 및 DRA2 폐골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수 60 %일 때 동결융해 사이클은 각각 40 및 120 정도로 나타났다.

한편, 폐골재 사용 콘크리트의 동결융해 300사이클까지의 길이변화율을 정리한 것이 Fig. 10으로서, 보통콘크리트의 길이변화율은 동결융해 사이클의 증가에 관계없이 거의 변화가 없었다. 그러나, DRA1 및 DRA2 폐골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수 60 % 이하가 되는 동결융해

사이클 40 및 120 정도에서 길이변화율은 각각  $700$  및  $600 \times 10^{-6}$  정도의 큰 값을 나타내었다.

또한, 폐골재 사용 콘크리트의 증량감소율을 정리한 것이 Fig. 11이며, DRA1 및 DRA2 폐골재 사용 콘크리트의 동결융해 사이클 60 및 150에서 각각 증량감소율은 0.6 및 1.0 % 정도를 나타내었으나, 상대동탄성계수가 60 % 이하가 되었으므로 더 이상 측정이 불가능하였다. 그러나, 보통콘크리트의 증량감소율은 초기 동결융해 사이클에서는 폐골재 사용 콘크리트와 큰 차이가 없었으나, 동결융해

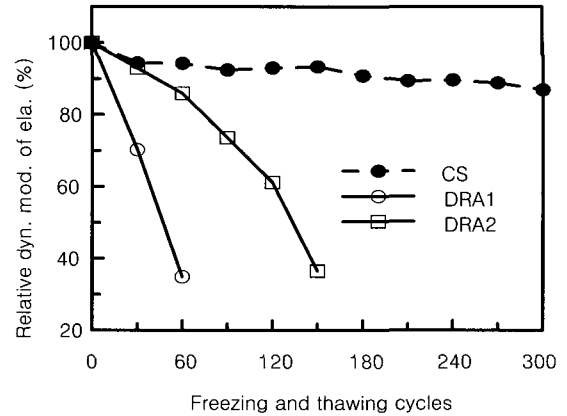


Fig. 9 Relative dynamic modulus of elasticity of DRA concrete

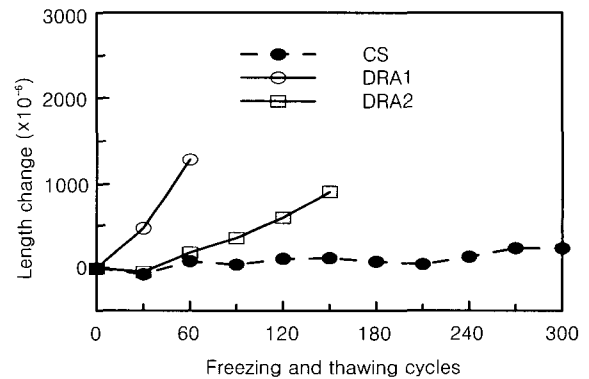


Fig. 10 Length change of DRA concrete

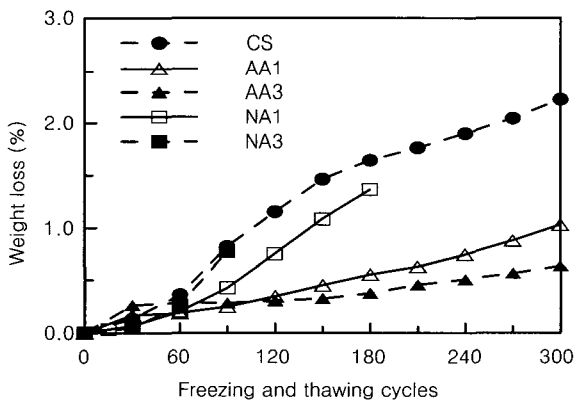


Fig. 8 Weight loss on SRA concrete

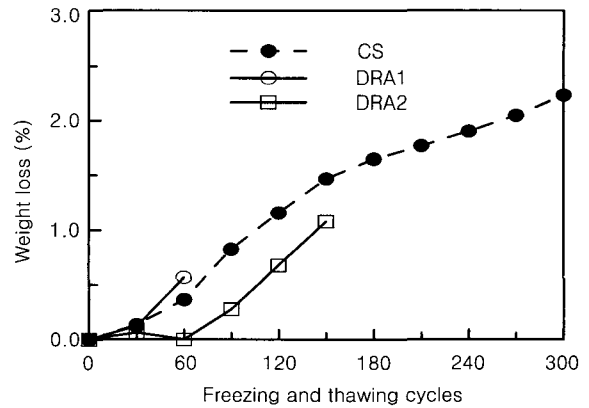


Fig. 11 Weight loss on DRA concrete

사이클 300에서는 중량감소를 2.2 % 정도로 다소 크게 나타냈다.

폐골재 사용 콘크리트의 동결융해 저항성은 NA 모재 골재 사용 콘크리트와 비슷한 경향을 나타내었으나 보통 콘크리트보다 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 적기 때문인 것으로 생각된다.

### 3.3.3 모재 및 폐골재 사용 콘크리트의 동결융해 특성

모재 및 폐골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수 및 사이클수를 이용하여 각각 구한 내구성 지수를 정리한 것이 Fig. 12이다. 이 그림에서 AA 모재골재 사용 콘크리트의

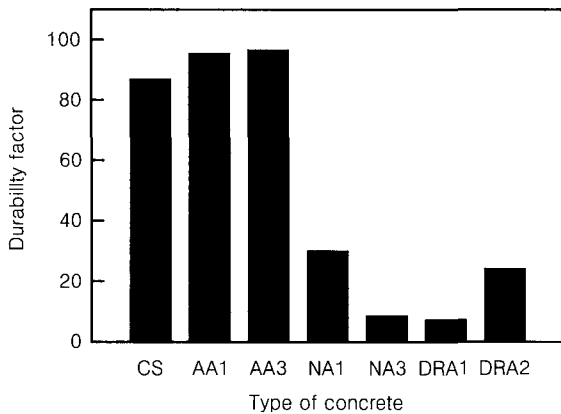


Fig. 12 Durability factor of SRA and DRA concrete

내구성 지수는 90 이상으로 보통콘크리트보다 약간 큰 값을 나타내었으나, NA 모재 및 폐골재 두 종류를 각각 사용한 콘크리트의 내구성 지수는 40 이하로 월등히 작은 값을 나타내었다.

그래서 모재 및 폐골재 사용 콘크리트를 포함한 7종류 콘크리트의 내구성 지수와 압축강도, 통과전하량 및 길이 변화율과의 관계로 나타낸 것이 Fig. 13이다.

Fig. 13 (a)에서 알 수 있듯이 모재 및 폐골재 사용 콘크리트의 내구성지수와 압축강도와의 사이에는 보통콘크리트와는 달리 상관관계를 찾아볼 수 없었다. 다시 말해서, 모재 및 폐골재 사용 콘크리트의 압축강도가 증가함에도 불구하고 내구성지수는 오히려 크게 떨어지는 반비례 관계를 나타내었다. 특히, NA3 모재골재 사용 콘크리트의 압축강도가 AA 모재골재 사용 콘크리트보다 20 % 정도 큼에도 불구하고, 내구성 지수는 월등히 작게 나타났다.

한편, 모재 및 폐골재 사용 콘크리트의 길이변화율과 내구성 지수와의 관계로 나타낸 것이 Fig. 13 (b)로서 AA 모재골재 사용 콘크리트의 내구성 지수와 길이변화율은 보통콘크리트와 유사하였으나, NA 모재 및 폐골재 사용 콘크리트의 내구성 지수는 작을 뿐만 아니라 길이변화율은  $500 \times 10^{-6}$  이상으로 크게 나타났다.

이상의 실험결과를 종합해 볼 때, AA 모재골재 사용 콘크리트의 동결융해 저항성은 보통콘크리트보다 좋았으나, NA 모재 및 폐골재 사용 콘크리트의 동결융해 저항성은 보통콘크리트에 비교하여 월등히 떨어지는 문제점이 있었다. 그러므로 재생골재 사용 콘크리트의 동결융해 반복작용에 대한 저항성을 확보하기 위해서는 콘크리트의 적정 공기량(4~6 %)만으로는 만족할 수 없으며, 적정 연행공기를 가지는 재생골재의 사용 및 적절한 파쇄공정을 거친 재생골재의 사용이 필요하다고 생각된다.

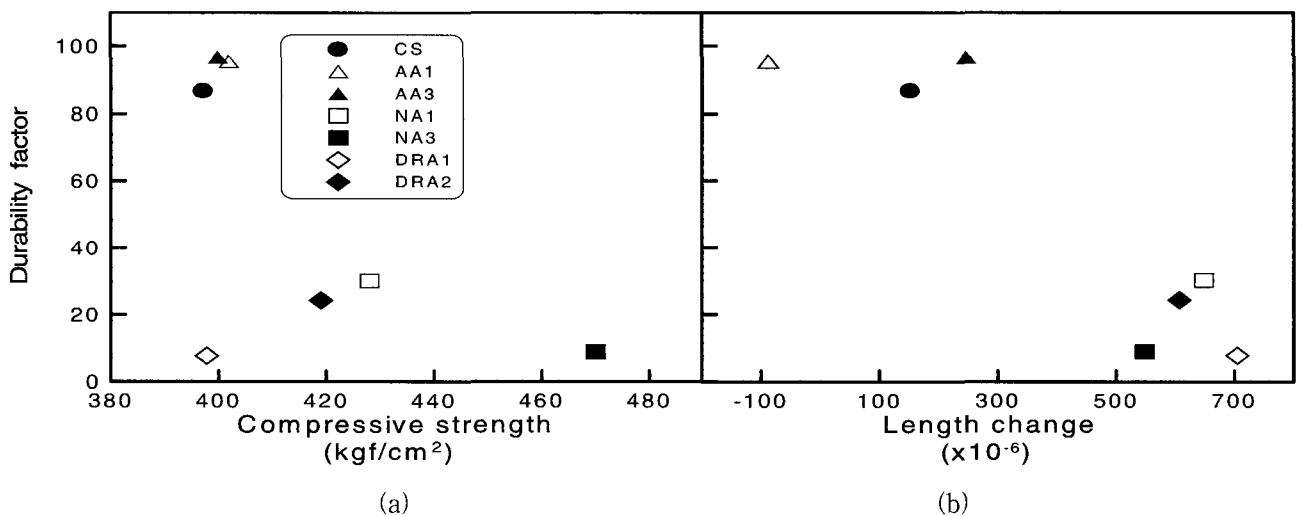


Fig. 13 Relationship between compressive strength, length change and durability factor of recycled aggregate concrete

1) 재생골재의 흡수율은 모르타르 부착물의 대소에 따라 부순들에 비하여 최대 6배 정도의 큰 값이었으며, 파쇄 값 및 안정성시험에 의한 손실무게 백분율은 파쇄공정의 단계에 따라 크게 상이하였다. 즉, 소요 품질의 재생골재를 확보하기 위해서는 부착 모르타르량을 줄일 수 있는 파쇄공정이 선행되어야 한다.

2) 재생골재 사용 콘크리트의 역학적 성질이 재생골재에 부착된 모르타르량에 의하여 크게 좌우되는 결과로 동일한 배합조건에서 NA3 모재골재 사용 콘크리트의 압축강도는 보통콘크리트보다 약 20 % 정도 큰 값이었으나, AA 모재 및 폐골재 사용 콘크리트는 보통콘크리트와 비슷한 압축강도를 나타내었다.

3) AA 모재골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수는 보통콘크리트보다 약간 큰 값이었으며, 길이변화율 및 중량감소율도 작게 나타났다. 그러나, NA 모재골재 사용 콘크리트의 상대동탄성계수는 60 %에서 각각 동결융해 사이클이 45 및 150 정도로서 보통콘크리트보다 훨씬 작은 값이었으며, 길이변화율은 월등히 큰 값을 나타내었다.

4) 폐골재 두 종류 사용 콘크리트의 동결융해 저항성은 부착 모르타르량에 따라 약간 상이하였으나, NA 모재골재 사용 콘크리트와 비슷한 경향을 나타내었다. 이는 폐골재에 부착된 모르타르에 연행공기가 적은데 기인되었을 뿐만 아니라 파쇄과정에서 부착된 모르타르에 미세한 균열이 발생하였기 때문이라고 생각된다.

5) 재생골재 사용 콘크리트의 동결융해 저항성은 콘크리트의 적정 공기량만으로는 만족할 수 없으며, 재생골재에 부착된 모르타르의 연행공기 포함유무에 따라 크게 상이하였으므로 동결융해 저항성을 개선시키기 위해서는 적정 연행공기를 가진 재생골재의 사용 및 적절한 파쇄공정을 거친 재생골재의 사용이 필수적이라 생각된다.

1. 김무한, “재생골재의 현황 및 재활용방안,” 한국콘크리트학회지, 제9권 6호, 1997. 12, pp.11~17.
2. Henrichsen A., “Use of Recycled Aggregates in Europe,” International Workshop on Recycled Concrete, JSPS 76 Committee on Construction Materials, 2000.9, pp.1~8.
3. Vazquez E., “Recycling of Aggregates in Spain,” International Workshop on Recycled Concrete JSPS 76 Committee on Construction Materials, 2000.9, pp.27~41.
4. 長瀧 重義, “建設材料のリサイクル方法の總合的檢討,” 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.
5. 김무한 외 3명, “재생골재 콘크리트의 화학안정성에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 논문집, 제11권 4호, 1999.8, pp.13~20.
6. 송하원 외 2명, “폐콘크리트부터 재생된 골재의 합리적 평가에 관한 연구,” 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 5호, 2000. 10, pp.3~12.
7. 구봉근 외 3명, “플라이애시를 혼합한 재생골재 콘크리트의 강도 및 동결융해 특성,” 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 1999.11, pp.241~244.
8. 한천구 외 4명, “재생골재의 품질에 따른 재생 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구,” 대한건축학회 학술발표회 논문집, 제18권 1호, 1998.4, pp.923~928.
9. 長瀧 重義, 佐伯 龍彦, 飯田 一彦, “再生骨材を用いたコンクリートの諸特性,” セメント・コンクリート論文集, No. 52, 1998, pp.462~467.
10. 笠井哲郎 外 1名, “原コンクリートの品質が再生骨材コンクリートの諸物性に及ぼす影響,” 콘크리트工學年次 論文集, Vol. 23, No. 1, 2001, pp.241~246.
11. 木村由香 外 2名, “コンクリート再生骨材の諸性質,” 콘크리트工學年次論文集, Vol. 23, No. 1, 2001, pp.247~252.
12. 文大重 外 3名, “再生骨材コンクリートの耐久性,” 第54回セメント 技術大會講演要旨, セメント協會, 2000. 5, pp.426~427.

## 요 약

천연골재 부족현상의 해소, 자원절약 및 환경보존 등의 목적으로 폐콘크리트를 재생골재로 재활용하기 위한 연구가 진행되고 있으나, 재생골재의 품질변동이 클 뿐만 아니라, 재생골재 사용 콘크리트의 역학적 성질이 보통콘크리트와 비교하여 다소 떨어지는 문제점이 지적되고 있다.

본 연구에서는 폐골재 사용 콘크리트의 동결융해 저항성을 파악하기 위하여 실시한 일련의 실험결과를 요약하면 다음과 같다. 모재 및 폐골재에 부착된 모르타르량의 다소에 따라 재생골재의 품질이 크게 좌우되므로 파쇄공정의 개선이 매우 중요한 과제로 생각된다. 재생골재 사용 콘크리트의 압축강도는 보통콘크리트와 비교하여 큰 차이가 없었으나, 염화물 이온 침투성은 재생골재에 부착된 모르타르량 때문에 보통콘크리트보다 크게 떨어짐을 알 수 있었다. 재생골재 사용 콘크리트의 동결융해 저항성은 재생골재에 부착된 모르타르의 연행공기량에 따라 크게 상이하였으며, NA 모재 및 폐골재 사용 콘크리트의 내구성지수는 보통콘크리트에 비하여 월등히 떨어졌으나, AA 모재골재 사용 콘크리트는 오히려 큰 값을 알 수 있었다. 그러므로 재생골재 사용 콘크리트의 동결융해 저항성을 향상시키기 위해서는 적정량의 연행공기를 포함한 재생골재의 사용이 반드시 요망된다.

**핵심용어 :** 모재골재, 폐골재, 연행공기, 내구성 지수, 동결융해 저항성