

재생콘크리트의 강도발현 및 동결융해 저항성 특성

Resistance of Freeze-Thaw and Strength
Development of Recycled Concrete



이진용*

Lee, Chin Yong



이인대**

Lee, In Dae



김광우***

Kim, Kwang Woo



배성용****

Bae, Sung Yong

ABSTRACT

The strength and freeze-thaw test were carried out in order to use recycled aggregate as crushed aggregate in concrete. The recycled concrete had a lower flexure and compressive strengths than ordinary concrete, but the inclusion of fly ash shows similar results in both concretes. The resistance of freeze-thaw was strongly influenced by W/C ratio, content of recycled aggregate and fly ash, and it was also found that the resistance was higher when W/C ratio and fly ash content was lower, and was superior when replacement level of recycled aggregate reached to 80% .

Keywords : Strength, Freeze-thaw, Recycled aggregate, W/C ratio, Fly ash

* 정희원, 동아건설산업(주) 기술연구소 책임연구원

** 정희원, 동아건설산업(주) 기술연구소 책임연구원

*** 정희원, 강원대학교 농공학과 부교수

**** 정희원, 영남대학교 토목공학과 박사과정

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

1. 서 론

최근 들어 국내에서는 건축재개발의 활성화, 지하이용의 증대 등에 따라 건설공사 현장에서 발생하는 건설산업폐기물은 연간 전체 산업폐기물량의 40% 이상을 차지하고 있다. 그 중 상당량에 이르는 것으로 추정되는 재활용 대상 건설 폐재(토사, 폐콘크리트, 폐아스팔트콘크리트, 폐벽돌)에서 토사를 제외하고는 재활용량이 미미하다. 일부 건설폐기물은 불법 투기가 성행하여 심각한 주변환경오염을 일으키고 있으므로 정부는 적극적인 규제에 나서는 한편 건설폐재에 대한 재활용 정책을 마련하고 있으며, 산업계 및 학계에서도 재활용에 관련된 많은 연구를 하고 있다. 그러나 폐콘크리트의 재활용기술개발이 뒤떨어져 있으며, 특히 폐콘크리트 파쇄할때 생성되는 재생 골재를 콘크리트 생산에 활용하는 방안에 대하여 국내에서는 극히 일부를 제외하고는 연구 실적이 전무한 실정이다^(1,2,3).

본 연구에서는 폐콘크리트로부터 생산된 재생 굵은골재를 쇄석골재 대신하여 콘크리트에 활용하기 위하여 재생콘크리트의 각종 강도특성 및 동결융해저항성을 측정하여 폐콘크리트의 재활용에 따라 수반되는 제특성에 관한 연구자료를 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 실 험

2.1 결합재

결합재는 S사에서 생산된 1종 보통포틀랜드시멘트와 산업부산물물을 재활용하기 위한 목적으로 플라이애쉬를 사용하였으며, 화학적 및 물리적특성은 Table 1과 같다.

Table 1 Properties of binder

항목 종류	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig. loss (%)	비 중	비표 면적 (cm ² /g)
시멘트	20.57	5.64	3.26	63.1	3.35	2.11	1.21	3.15	3,150
플라이 애쉬	52.09	25.36	12.90	2.58	1.37	00.7	3.7	2.15	4,230

2.2 골재

콘크리트의 골재는 깨끗하고, 단단하며, 내구성 및 적절한 입도를 가진 것을 사용하여야 한다. 본 실험에서 사용된 잔골재는 충청남도 공주 금강하류에서 채취한 잔골재를 사용하였다. 그리고 굵은 골재는 경기도 용인에서 생산된 최대치수 25mm인 쇄석골재와 다양한 구조물에서 수거된 폐콘크리트로 부터 파쇄된 25mm인 재생굵은골재를 사용하였으며, 골재의 물리적특성은 Table 2와 같다.

Table 2 Properties of aggregate

종류	생산지	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	단위중량 (kg/cm ³)	마모 감량 (%)	안정성 (%)
잔골 재	공주 금강	2.61	1.20	2.58	1,512	-	-
굵은 골재	용인	2.70	0.84	6.62	1,646	20.0	3.80
재생 굵은 골재	대전	2.35	3.87	6.41	1,451	31.0	7.90

2.3 실험개요

본 실험에서는 콘크리트의 물·시멘트비가 0.5와 0.4로 Table 3과 같이 배합하였다. 물·시멘트비가 0.5인 콘크리트에 대해서 재생굵은골재의 대체율을 각각 0, 20, 40, 60, 80, 100%로 하였으며, 특히 재생골재혼입율이 60%인 경우에는

플라이애쉬를 시멘트 중량비로 0, 10, 20, 30%로 대체하여 콘크리트의 공기량, 슬럼프를 측정하고 압축강도는 $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ 의 공시체, 휨강도는 $10 \times 10 \times 55 \text{cm}$ 의 공시체를 제작하여 실험하였다.

Table 3 Mix proportion

물/시멘트 (%)	배합비, kg/m^3						
	물 (kg)	시멘트 (kg)	플라이애쉬 (kg)	잔골재 (kg)	굵은골재 (kg)		
					천연골재	재생골재	대체율 (%)
40	185	463	0	708	996	0	0
		463	0	708	796	200	20
		463	0	708	598	398	40
		417	63				
		337	126				
		274	189				
		463	0	708	398	598	60
		463	0	708	200	776	80
		463	0	708	0	996	100
50	195	463	0	770	930	0	0
		463	0	770	744	186	20
		370	93				
		463	0	770	0	930	100

동결융해의 공시체($\phi 10 \times 20 \text{cm}$)는 2주간 21°C 의 물에서 수중양생을 시켰으며, 초기 동탄성계수를 측정후 동결융해 처리도중 일정기간마다 동탄성계수를 측정하여 이를 기준으로 하여 동결융해에 따른 동탄성계수의 변화를 비교하였다. 동결융해 시험은 KS F 2456에 의거 수중급속동결융해시험(A방법)으로 수행하였으며, 상대동탄성계수는 초기동탄성계수에 대한 시험후 동탄성계수비와 사이클이 300이면 실험을 완료하는데 그전에 상대동탄성계수가 60%이하이면 실험을 종료하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축강도

재생굵은골재를 이용한 콘크리트의 강도변화를 알아보기 위하여 물·시멘트비가 0.59인 콘크리트에 쇄석골재 대신 재생굵은골재를 각각 0, 20, 40, 60, 80%(RA0, RA20, RA40, RA60, RA80, RA100) 까지 대체하여 강도의 변화를 알아보았으며, 또한 재생굵은골재를 60% 대체한 콘크리트에 플라이애쉬를 30%까지 첨가하여 콘크리트의 강도발현을 측정하였다. 실험결과(Fig. 1)에 의하면 재생콘크리트는 재생굵은골재의 대체량이 증가할수록 초기 및 장기강도가 쇄석골재만 사용하여 만든 콘크리트보다 감소하였으며, 재령 28일에서 최대 150kg/cm^2 까지 강도차이를 보여주고 있다. 재생콘크리트의 강도발현비율은 보통콘크리트와 같이 재령 7일과 28일에서 가장 크게 나타났으나, 재령 180일에서 강도증가비율이 급격히 둔화하였다. 이러한 경향은 시멘트 수화작용이 활발히 일어나는 초기보다 7일과 28일 사이에 재생굵은골재가 재생콘크리트의 압축강도에 많은 영향을 미친 것으로 간주된다⁽⁴⁾.

Fig. 2는 플라이애쉬를 시멘트대체재로 재생굵은골재와 같이 배합하며 만든 재생플라이애쉬 콘크리트의 강도발현을 나타내고 있다. 산업부산물인 플라이애쉬를 콘크리트에 사용함으로써 품질면에서 조금 떨어지나, 건설폐기물과 산업부산물(플라이애쉬)을 함께 재활용함으로써 자원절약은 물론 환경오염을 감소시키는 역할이 기대된다. 플라이애쉬를 0, 10, 20, 30% 혼입한 재생콘크리트의 초기강도는 플라이애쉬혼입율이 증가함에 따라 28일이전 강도는 최고 45%정도 낮게 발현되었지만, 장기강도에서는 오히려 최고 7%정도 향상되었다. 재생플라이애쉬 콘크리트는 초기에 (3일) 강도차이를 현저하게 보이는 보통콘크리트와 달리 플라이애쉬의 대체율이 높아질수록 7일 이후의 강도비율이 상대적으로 높아지는 것을 보여주고 있다. 이것은 플라이애쉬가 골재의

종류에 관계없이 포졸란 반응을 일으키므로서 재생콘크리트 강도발현에 영향을 미친 것으로 간주된다⁽⁵⁾.

3.2 휨강도와 압축강도의 관계

Fig. 3은 재생콘크리트와 보통콘크리트의 휨 및 압축강도비의 상관관계를 표시한 것이다. 일반적으로 재생콘크리트의 휨과 압축강도관계곡선의 기울기는 보통콘크리트에 비하여 약간 완만하고⁽⁶⁾, 휨강도가 낮으므로 압축강도로 휨강도를 추정하는 경우, 재생콘크리트의 압축강도가 월등히 높아야 보통콘크리트와 동등한 휨강도를 얻을 수 있는 것을 보여주고 있다

3.3 재생콘크리트의 동탄성계수특성

Fig. 4 와 Table 4에 의하면 플라이애쉬를 혼합하지 않고 물·시멘트비가 0.4로 일정한 경우 재생굵은골재 대체율이 증가할수록(0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%) 상대동탄성계수는 높아졌으며, 또한 재생굵은골재를 100% 대체하고 물·시멘트비가 0.4인 경우 동결융해 사이클수는 물·시멘트비가 0.5인 경우보다 다소 높은 것으로 나타났다.

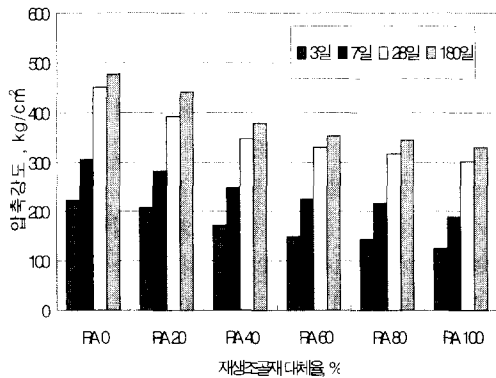


Fig.1 Strength development of recycled concrete

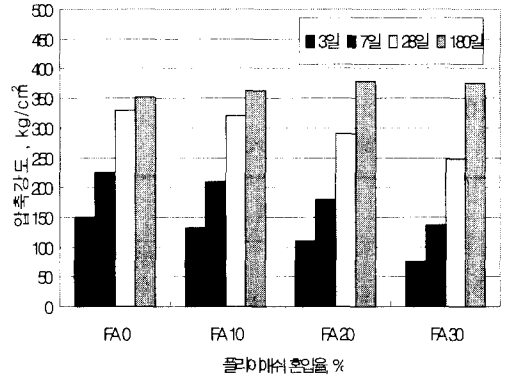


Fig.2 Strength development of recycled concrete containing fly ash (Replacement level : 60%)

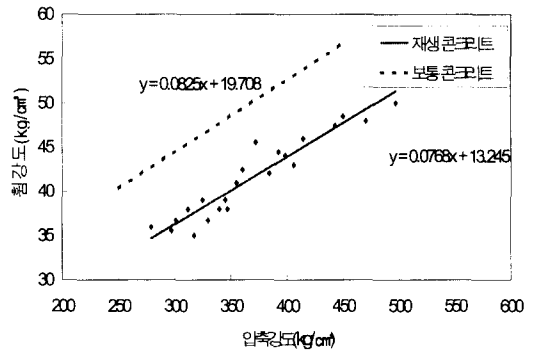


Fig. 3 Relationship between flexure strength and compressive strength

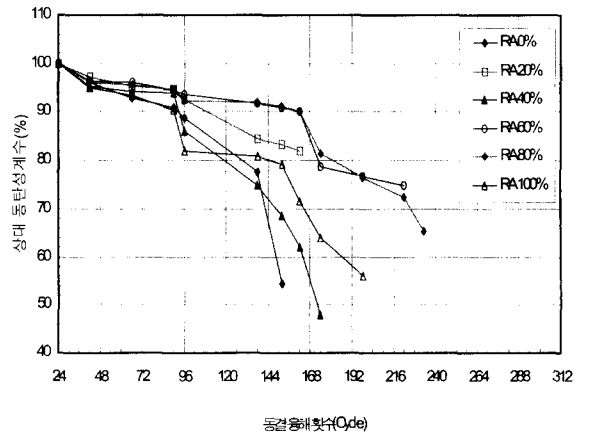


Fig. 4 Relative elastic modulus vs freeze · thaw cycle relationship for recycled concrete

동결융해와 밀접한 관계가 있는 공기량 측정시험에서도 재생콘크리트의 공기량은 재생골은골재량이 증가할수록 증가하였다.

Fig. 5은 재생골은골재 대체비율에 따른 압축강도 및 동결융해 사이클의 반복횟수를 보여주고 있다.

Table 4 Various results test and freeze-thaw cycle of recycled concrete

W/C	재생골재 대체율 (%)	플라이 애쉬 혼입율 (%)	공기량 (%)	압축강도 (28일, kg/cm ²)	F/T (cycle)
0.4	0	0	3.0	497	152
	20	0	3.1	470	162
	40	0	3.2	443	174
		10	2.5	432	76
		20	1.9	415	52
		30	1.2	377	24
	60	0	3.4	414	222
	80	0	3.6	406	233
100	0	3.8	398	198	
0.5	0	0	2.8	450	141
	20	0	3.0	392	153
		20	1.0	352	24
100	0	3.5	301	144	

시험결과에 의하면 재생골재의 대체비율이 증가할수록 압축강도는 낮아졌으나, 동결융해 반복 사이클 수는 재생골은골재 대체율이 증가함에 따라 증가되어 재생골은골재 대체율 80%까지 꾸준히 증가하다가 완전히 재생골은골재만으로 생산된 100%에서는 다시 낮아지는 경향을 보였다. 그렇지만 재생골은골재 대체율이 80%까지에서는 동결융해 저항 사이클이 증가하는 경향을 나타냈고 오히려 100%에서는 60%나 80%보다는 낮아지는 경향을 나타냈지만 이것은 재생골은골재 대체율 0%~40%에서 보다 높은 값이다. 따라서 이는 재생콘크리트가 보통콘크리트보다 동결융해 저항성이 큰 것을 보여주므로서 재생골은골재는 콘크리트의 동결융해 저항성을 향상시키는데 기여함이 관찰되었다.

또한 압축강도와 동결융해 저항성을 비교해본 결과 압축강도 증가는 동결융해 저항성과 관계가 없음을 Fig. 6를 통해 보여주고 있다.

동결융해 사이클의 변화에 따른 콘크리트의 특성

은 변화한다. 이것은 콘크리트의 표면에 균열 이외에 부풀어 오르는 현상(Swelling)이 나타나거나 부분적으로 꺾질이 벗겨지는 현상(Scaling) 등의 상태 변화가 나타나기 시작하기 때문이다. 대부분의 경우 동결·융해로 인해 표면에 균열이나 Swelling 등이 발생하기 시작하면 오래있지 않아 공시체의 동탄성계수가 급격히 떨어져 초기치의 60%이하가 되거나 또는 완전 파괴되어 더 이상 동탄성계수의 측정이 불가능하게 된다. 따라서 본 실험에서는 공시체가 파괴되었거나, 동탄성계수가 초기치 60%이하로 되는 경우까지만 측정하였다.

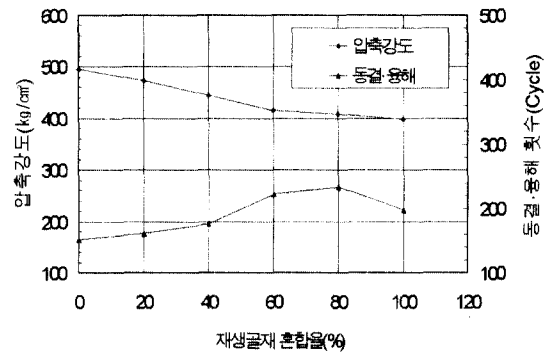


Fig. 5 Influence of recycled aggregate on compressive strength and freeze-thaw cycle

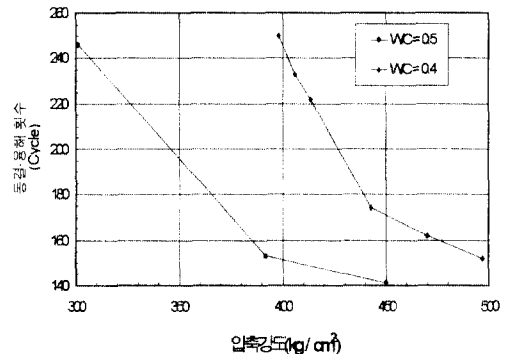


Fig.6 Relationship between compressive strength and cycles (freeze · thaw)

그리고 동일한 물·시멘트비가 0.4들 중에서 보통콘크리트보다 재생골은골재 대체율이 비교적

높은 콘크리트(40%, 60%, 80%)에서 표면의 상태 변화가 늦게 발생하였다(동결융해 사이클이 높음). 또한 물·시멘트비가 0.5인 콘크리트에서 보면 재생골은골재 대체비율이 낮은 콘크리트와 비교하여 재생골은골재로만 만든 콘크리트의 표면에 상태 변화가 늦게 발생하였다.(동결융해 사이클이 더 높음). 따라서 재생골은골재가 대체된

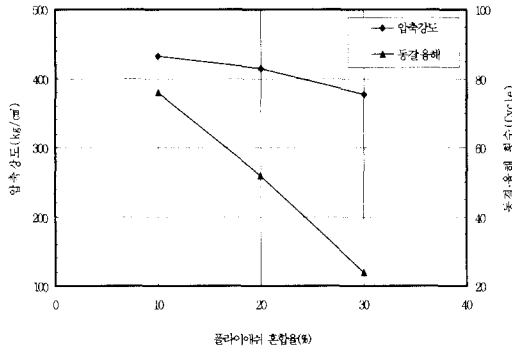


Fig.7 Effect of fly ash content on compressive strength and freeze-thaw cycle

콘크리트의 동결융해 저항성이 상대적으로 높은 것을 알 수 있다⁽⁸⁾.

플라이애쉬가 콘크리트의 내구성에 미치는 영향은 많은 문헌을 통하여 내구성을 증진시키는 효과가 있으나 동결융해의 경우에는 오히려 그 저항성을 감소시키는 역할을 하는 것으로 알려져 있다⁽⁷⁾. 재생골재와 플라이애쉬와의 관계를 실험을 통하여 플라이애쉬를 첨가한 경우 콘크리트의 동결·융해 저항성은 크게 낮아지는 것으로 나타났다. 즉, 플라이애쉬를 시멘트 량에 각각 10, 20, 30% 첨가한 경우 재생골은골재 함유비율이 같은 40%의 플라이애쉬를 첨가하지 않은 경우보다 동결융해 사이클이 크게 줄어든 것을 알 수 있었다. 특히 그림 7에서 보여주듯이 동결융해 사이클은 플라이애쉬 혼입율이 증가에 따라서도 현격히 줄어들어, 플라이애쉬 30% 첨가 경우 초기 24 사이클만에 공시체가 완전 파괴되었다. 그리고 플라이애쉬의 증가는 압축강도도 감소시키는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 단순히 플라이애쉬를 첨가함으로써 강도가 떨어진 것이

외에도 미립자의 플라이애쉬가 콘크리트내의 공기량을 감소시키므로 동결융해의 횟수를 감소시킨 것으로 간주된다.

4. 결론

재생콘크리트의 압축강도, 휨강도 및 동결융해 저항성의 특성을 보통콘크리트와 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 재생콘크리트는 재생골은골재 대체율이 증가할수록 압축강도 및 휨강도는 저하하였으나, 플라이애쉬를 혼입한 경우에는 보통콘크리트에 비교하여 장기강도가 향상되었다.

2) 재생콘크리트의 휨/압축강도비에서 기울기와 절편이 보통콘크리트에 비하여 낮기 때문에 비록 동등한 압축강도인 경우에도 재생콘크리트의 휨강도가 보통콘크리트에 비하여 낮았다.

3) 재생콘크리트는 물·시멘트비가 0.5보다 낮은 0.4인 경우가 동결융해저항성이 우수한 것으로 관찰되었고 재생골은골재 혼입량이 증가할수록 보통콘크리트보다 동결융해저항성이 증가하였다. 이는 재생골재 혼입에 따른 공기량이 증진하고, 이들 공극이 동결융해에 내부응력을 이완시켜주는 역할을 하기 때문인 것으로 사료된다.

4) 플라이애쉬의 사용은 재생콘크리트의 장기강도 향상에는 유리한 것으로 나타났으나 초기강도 감소와 동결융해저항성의 현저한 저하를 가져오는 것으로 나타났다. 이는 미세 분말의 플라이애쉬 입자가 공극을 메워 동결융해저항성을 크게 저하시키기 때문인 것으로 보여진다.

참고 문헌

- (1) 김광우, 박계선, 폐콘크리트의 재활용 미국 FHWA 시범프로젝트 (DP#47)의 소개, 대한토목학회지 10월호, 1992.
- (2) 김무한, 국내 폐기콘크리트 발생량의 예측 및 재생골재로의 이용전망에 관한 연구 (건축부문 폐기콘크리트를 중심으로), 대한건축학회 학술발표회 논문집, pp425-430, 1993, 4.
- (3) 이진용, 재생콘크리트의 강도발현 및 건조수축특성

- 연구, 한국콘크리트학회 12월호, 1997, pp 213-220
- (4) 이진용, 이인대, 재활용골재의 도로성토재로서의 적 합성 연구, 대한토목학회 논문집, 제16권 pp. 131-138
- (5) 이진용, PFA 함유량이 높은 콘크리트의 강도발현에 관한연구, 콘크리트학회지, Vol. 7, No. 1, pp126-135, 1995.2
- (6) 콘크리트 표준시방서, 1994
- (7) Y. Kasai, Reuse of Demolition waste, Vol. 2, 1988.
- (8) J. D. Merlet, P. Pimienta " Mechanical and physico-chemical properties of concrete produced with coarse and fine recycled concrete aggregates. Proceedings of Third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry held in Odense, Denmark. 24-27 October 1993, pp343-354.

요 약

폐콘크리트로부터 생산된 재생굵은골재를 쇄석골재 대신하여 콘크리트에 활용하기 위하여 압축강도, 휨강도의 특성 및 동결융해저항성을 측정하였다. 쇄석골재를 재생굵은골재로 일정비율 대체한 재생콘크리트는 보통콘크리트에 비하여 압축 및 휨강도가 낮았으며, 플라이애쉬 혼입한 재생콘크리트는 보통콘크리트와 비슷한 강도변화를 나타냈다. 동결융해저항성은 물·시멘트비, 재생굵은골재 대체율 그리고 플라이애쉬의 첨가량에 따라 차이점을 보였으나, 물·시멘트비가 낮을수록 플라이애쉬 혼입량이 적을수록 그리고 재생굵은골재 대체율이 80%일 때 저항성이 가장 우수한 것으로 나타났다.

(접수일자 : 1998.2.20)