

소 도로포장 재료로서 재생콘크리트의 역학적 특성

Mechanical Characteristics of Recycled Concrete as a Pavement Material for Low-Volume Road



김광우*

Kim, Kwang-woo



류능환**

Ryu, Neung-Hwan



박용철***

Park, Yong-Chul

요 약

본 연구는 소도로 포장용 재료로서 재생콘크리트의 역학적 특성과 성능을 규명하였다. 재생콘크리트는 굵은 골재의 반을 재생골재로 대체하여 제조되었고 이와 함께 천연 잔골재와 유동화제 그리고 플라이애쉬(각각 시멘트 중량의 0.8% 및 5%)가 사용되었다. 실험을 통하여 재령 28일 재생콘크리트의 휨강도, 압축강도, 탄성계수 및 파괴인성은 약 45kg/cm^2 , 250kg/cm^2 , $230,000\text{kg/cm}^2$ 및 $0.863\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 으로 나타났고 또한 6개월 지난 후 이 압축강도 및 파괴인성이 크게 향상되었다. 결론적으로 재생콘크리트는 역학적으로 도시나 농촌지역 소도로의 콘크리트 포장 재료로 충분히 적용 가능한 특성을 가진 것으로 판단되었다.

Abstract

This study evaluated mechanical characteristics and performance of recycled concrete as a pavement material for use in low volume road. The recycled concrete was prepared by replacing a half of coarse aggregate with recycled coarse aggregate. Natural sand

* 정회원 강원대학교 농공학과 부교수
** 강원대학교 농공학과 교수
*** 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원

• 본 논문에 대한 토의를 1996년 12월 30일까지 학회로 보내주시면 1997년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

from a source was used as fine aggregate together with admixtures, such as plasticizer and fly ash (0.8% and 5% by wt. of total binder, respectively). From experimental evaluation, it was found that flexural strength, compressive strength, elastic modulus and fracture toughness of recycled concrete at 28 days were approximately 45Kg/cm², 250Kg/cm², 230,000 Kg/cm², and 0.863MPa.m¹, respectively. Long term strength and fracture toughness were improved significantly at the age of 6 months. In conclusion, mechanical properties of the recycled concrete were acceptable for use as concrete pavement materials in low-volume roads in rural and urban areas.

Keywords : recycling, recycled concrete, pavement material recycled aggregate

1. 서 론

국내에서 폐콘크리트의 재활용은 다소 생소한 문제로 인식되고 있다. 매년 전국적으로 재건설 및 재개발 등에서 많은 량의 폐콘크리트가 발생함에도 대부분이 버려지고 있으며, 극히 일부에서만 재활용을 위한 노력을 통해 이용되고 있다. 그것도 아직 복토재나 보조기층재료 등으로 재활용이 시도되고 있을 뿐 이를 다시 콘크리트로 재활용하는 것은 연구 및 시험사업 정도로만 이루어지고 있는 실정이다. 폐콘크리트를 다시 콘크리트 재료로 재활용함에 있어 중요한 문제점으로 제기되는 것은 재생된 콘크리트의 소요 강도상의 의문점이다. 따라서 본 연구에서는 사전 시험을 거쳐 결정된 천연 굵은골재와 재생 굵은골재를 5:5로 넣은 재생콘크리트를 제조하고 이것이 소도로 포장 재료로서 사용할 수 있는 역학적 특성을 지니는지 여부를 판정하기 위하여 수행되었다.

도시지역에서 발생하는 폐콘크리트는 대부분 처리비용을 내고 중간처리장에 넘기게 된다. 그러면 중간처리장에서는 이를 파쇄·선별하여 재생골재(recycled aggregate)로 생산하게 되며 이를 저렴한 가격으로 판매하거나 자체적으로 처리한다¹⁾. 한데 대도시지역에서 중간처리장에 넘기는 처리비용은 톤당 일만원이 훨씬 넘어 매우 비싼 실정이다. 이러한 과도한 비용의 부담은 폐콘크리트 등을 불법으로 투기하는 현상을 유발하여 환경을 훼손시키는 사례가 늘고 있다. 따라서 본 연구와 같은 폐콘크리트의 재활용 연구는 폐콘크리트가 다시 콘크리

트로 재생될 수 있는 값어치 있는 건자재임을 보여 주는 물론 재생콘크리트(recycled concrete)의 특성을 새롭게 인식시키는 계기를 마련해 줄 것이다.

이에 본 연구의 목적은 폐콘크리트를 파쇄하여 얻은 재생골재를 사용하여 제조한 재생콘크리트의 중요한 역학적 특성을 측정하여 소도로 포장용 재료로 사용 가능성을 평가하는 것이다. 이를 위해 재생콘크리트로 실내실험은 물론 소도로에 시험포장을 수행하였으며 그중 재료적인 측면에서 역학적 특성에 대한 연구 결과를 본 논문에서 제시하였으며, 실용성 및 경제성 등에 있어서의 분석 내용은 타 문헌²⁾을 통하여 보여주고 있다.

2. 재생콘크리트의 제조

2.1 기존의 연구결과 요약

지금까지 선진국에서의 연구 결과³⁻¹⁰⁾ 및 국내에서의 연구 결과¹¹⁻¹⁵⁾에 의하면 재생 굵은골재는 천연 굵은골재에 비하여 비중이 낮은 2.3~2.5 정도이며 따라서 흡수율도 5~7%이고, 마모율도 높아 40% 내외를 보였다. 하지만 비교적 유기 불순물의 함량이 낮고 그것의 분리가 가능해서 도로의 기층 및 보조기층은 물론 콘크리트용 굵은골재로 이용이 가능한 것으로 나타났다.

반면에 재생 잔골재는 유기 불순물 함량이 많고 미분의 함량이 높아 흡수율이 매우 크며(10% 내외) 이를 콘크리트용 잔골재로 사용할 때 물-시멘트 비 조절, workability 조절에 어려움이 크고 수

축 팽창이 매우 커져 균열 발생의 원인이 되었다. 따라서 일부 연구에서는 이를 소량만 사용할 것을 제시하였고 다수는 아예 잔골재를 모두 천연 잔골재로 사용할 것을 제시하였다. 따라서 재생 잔골재는 콘크리트용 잔골재보다는 블록 등의 제조나 복토재 및 차단 층용의 재료 등으로 사용하는 것이 바람직한 재활용 방법으로 알려져 있다.

재생 굵은골재를 사용한 재생콘크리트의 경우 무혼화제시 압축강도가 같은 배합의 일반 콘크리트보다 낮아 80% 이하의 수준으로 나타났다. 또한 탄성계수도 낮아 하중제하에 따른 변형률이 상대적으로 크며 파괴인성도 낮게 나타났다. 이는 재생골재의 몰탈 부분과 새로운 몰탈과의 접착이 불량해 파괴시 균열 진전이 이 접착 면을 따라 쉽게 진행되는 데 기인하는 것으로 분석되었다.

그러므로 외국의 여러 연구자들은 이러한 결함을 보완하기 위하여 물-시멘트 비의 조절, 배합설계의 조정, 혼화재료의 첨가 등의 방법을 사용하였다. 사용된 혼화재료는 fly ash가 가장 많았으며 그 외에 감수제 효과를 내는 유동 화제(plasticizer), 고강도화를 위한 실리카흄 등을 이용하였다. 본 연구 책임자의 기존 연구¹¹⁻¹⁵⁾에서도 fly ash의 사용 비율을 조절하며 품질 향상의 연구를 수행하였으며 그 결과 비교적 높은 강도의 재생콘크리트를 제조할 수 있었고, 총내대 김무한 교수의 연구¹⁶⁾에서는 재생골재의 최대 크기를 20mm로 하고 물-시멘트 비를 40% 정도로 하여 유사한 결과를 얻었다.

따라서 본 연구에서도 지금까지의 문헌 조사와 사전 연구 결과를 토대로 재생콘크리트의 제조에 fly ash를 사용하였고, 유동화제를 workability 향상 및 감수를 통한 강도증진을 목적으로 소량 첨가하여 사용하였다.

2.2 재료

2.2.1 재생골재

본 연구에서는 강원도 춘천시(source A), 경기도 남양주시(source B), 대전광역시(source C) 등 3 곳에서 폐콘크리트로부터 제조한 재생 굵은골재(recycled coarse aggregate)를 수집하여 필요 시험을 KS 규정에 따라 수행하였다. 굵은골재 최대

치수는 도로포장 콘크리트 규격에서 제시한 40mm로 하였으며 생산 체계에 따라 25mm와 40mm로 구분하여 수집하였으며 각 산지별 재생골재의 물성 검사 결과는 표 1과 같다.

Table 1 Physical properties of recycled aggregates by source

Max. Size	SSD Specific Gravity			Absorption (%)			Abrasion (%)		
	Source A	Source B	Source C	Source A	Source B	Source C	Source A	Source B	Source C
25mm	-	-	2.29	-	-	7.48	-	-	45.70
40mm	2.42	2.40	2.31	4.94	6.10	6.99	43.18	45.30	44.10

본 연구에서의 재생골재도 기존의 연구 결과에서와 마찬가지로 흡수율, 마모율이 천연골재보다 높았고 비중은 낮았다. 이 중 source A의 재생골재는 용액에서 철거된 폐콘크리트로부터 제조된 것으로 비교적 기존 굵은골재의 함량이 큰 것으로 나타났으며 입형이 불량하였고, source B의 재생골재는 유기물 함량이 높고 입도 선별이 불완전하였다. 또한 이 두 종은 플랜트에서 상분화된 골재로의 생산 체계가 미흡한 상태여서 필요한 만큼을 가져다 실험실에서 다시 체가름하여 40mm 이상은 제외하는 등 당장 콘크리트 제조에 다량으로 사용하기에는 어려움이 있었다.

한편 source C는 비교적 비중이 낮았으나 商品

Table 2 Contents (%) of recycled aggregates from waste concrete

Contents	Size	
	25mm	40mm
Cement Concrete	94.67	96.85
Asphalt Concrete	3.34	1.56
Red Brick	1.82	1.64
Others(Glass, Tile, etc)	0.17	0.05
Total (%)	100.00	100.00

Table 3 Organic materials contained in recycled aggregates

Contents	Size	
	25mm	40mm
Weight of Sample	3,000g	3,000g
Weight of Organic Material	24.0g	39.9g
Content of Organic Material	0.80%	1.33%

用 재생골재로 생산되어 입도 구분이 좋고 생산 라인에서 수작업으로 유기물을 1차 선별하여 그 함량도 비교적 낮았다. 따라서 본 연구에서는 이를 사용하였으며 이 재생골재에서 유기물을 제거한 구성 성분은 표 2와 같고, 재생골재에 포함된 유기물 함량 조사 결과는 표 3과 같았다.

2.2.2 천연골재

재생 콘크리트는 배합설계시 재생 굵은골재와 천연 굵은골재를 50 : 50으로 섞는 것을 목표로 하였다. 이것은 기존 연구 결과¹¹⁻¹⁴⁾를 토대로 얻어진 비율이며 천연 굵은골재로는 화강암 쇄석으로 최대치수 40mm와 25mm를 사용하였고, 천연 잔골재는 자연산 모래를 사용하였다. 천연 잔골재 및 굵은골재에 대한 물리적 성질은 표 4와 같고, 입도 분포는 재생 굵은골재와 함께 그림 1에 제시되었다.

천연골재와 재생골재를 50 : 50으로 혼합하는 과정에서 각 골재별 25mm와 40mm의 혼합 비율은 합성 입도를 결정하는데 매우 중요하다. 즉 이 4가지 합성 골재의 입도 분포가 포장 콘크리트 입도 규정에 적합하도록 조정하기 위하여 골재 혼합용 프로그램을 사용하였다. 이 프로그램에 대한 상세한 설명은 El Kholly¹⁸⁾에 제시되어 있으며, 4종류의 골재로 혼합된 합성 입도를 그림 1에서 보여준다.

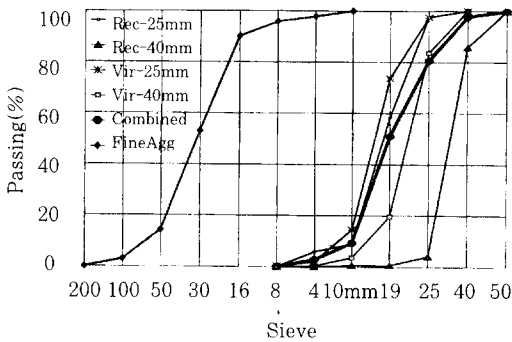


Fig. 1 Gradation of aggregate

Table 4 Physical properties of virgin aggregate

Aggregate	Max. Size	SSD SG	Absorption(%)	Abrasion(%)	F.M.
Fine Agg.	-	2.59	1.94	-	2.80
Coarse Agg.	40mm	2.62	1.03	30.14	-
	25mm	2.60	0.70	32.03	-

2.2.3 시멘트 및 혼화재료

재생콘크리트의 제조에는 보통 포틀랜드 시멘트 (국내 S사 제품)를 사용하였다. 사용된 fly ash는 삼표산업을 통해 구입한 충남 서천 화력 산으로 제시된 특성은 표 5와 같다. 또한 workability의 증진을 위하여 유동화제(plasticizer)를 사용하였는데 이는 국내 S사 제품으로 액상의 수용성 혼화제였다.

2.3 재생콘크리트의 배합설계 및 시험 방법

2.3.1 배합설계

콘크리트 표준 시방서의 도로포장용 배합 방법에서는 일반 도로용 콘크리트의 28일 목표 휨강도를 45Kg/cm² 이상으로 제시하고, 포장용 장비를 사용할 경우 슬럼프 값을 2.5cm, 수작업시 6.5cm로 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 여러 가지 여건을 고려하여 소도로 포장용 콘크리트의 목표 휨강도를 일반 도로보다 낮게 40kg/cm²로 설정하였다. 그리고 재생골재의 품질이 일반 골재에 비하여 불량하며 불순물이 많이 함유되어 이것으로 제조되는 재생콘크리트의 강도에 불확실성(uncertainty)이 크므로 변동 계수(coefficient of variation)를 비교적 높은 16%로 추정하고 이로부터 증가 계수 $\alpha = 1.15$ 를 곱해 배합 휨강도를 46kg/cm²로 설정하였다.

또한 포장공사시 슬럼프 6.5cm는 작업이 어려워 인부들이 현장에서 물을 첨가하는 경우가 많으므로 비합리적이다. 따라서 본 연구에서는 현장에서 시공시 수작업을 할 것으로 가정하고 적정 작업 가능 슬럼프 값을 16cm 정도로 설정하였다. 그래서 레미콘 공장에서 생산되어 유동화제 첨가 이전의 슬럼프를 6.5cm, 그리고 유동화제 첨가 후 슬럼프를 16±2cm로 설정하여 실험실에서 물-시멘트 비와 유동화제 첨가량을 사전 실험을 통하여 얻었다. 따라서 물-시멘트 비를 40%로 하고 주어진 천연골재와 재생골재를 각각 50% 사용하는 것을 목표로 하여 배합설계를 수행한 결과 표 6과 같이 각 재료의 배합량을 얻었다.

이 표에서 보듯이 fly ash는 결합재 총량의 약 5%. 유동화제는 w/c를 고정한 상태에서 현장에서

Table 5 Physical and chemical properties of fly ash

SiO ₂	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Moisture	Ig.Loss	Shirking rate	Stability(%)	Fineness
58.2%	87.7%	1.1%	0.3%	0.1%	3.5%	0.023%	0.02	4.650cm/g

Table 6 Mix design of recycled concrete

W C+Fly Ash	Slump before/ after adding plasticizer (Cm)	Unit Weight (Kg/m ³)								
		W	C	Fly Ash	Plasti- cizer	Natural Sand	Virgin Coarse Agg.		Recycled Coarse Agg.	
							25mm	40mm	25mm	40mm
0.40	6.5/16±2	16	3388	20	3.10	605	398.0	137.0	349.0	190.0
Note 1. Designed Flexural Strength = 40kg/cm ² 2. Mix Flexural Strength = 46kg/cm ² 3. Cement = Normal Portland Cement 4. FM of Fine Aggregate = 2.80 5. Coarse Aggregates = Recycled(50%) + Virgin(50%) 6. Air Void of Coarse Agg. =7.23%(Recycled), less than 1% (Virgin) 7. Admixtures = Fly Ash, Plasticizer (LIGACE-F)										

의 적정 workability(slump = 16±2cm)를 얻기 위해 예비 실험을 통하여 시멘트 량의 증량비 0.8%로 결정되었다.

2.3.2 시험 방법

본 연구에서의 시험 항목은 28일 압축강도, 동결-융해에 따른 압축강도 저하, 휨강도, 압축 탄성 계수, 파괴인성 및 재령 6개월 압축강도와 파괴인성 시험 등이다. 휨강도를 제외한 모든 공시체는 원통형(15×30cm) 공시체를 사용하였으며 휨강도용 보는 12×12×52cm (지간 48cm)로 하여 각각 3개씩 제조하였으며 3점 재하시험을 하였다.

도로상에서 동결-융해에 손상을 받은 콘크리트는 강도 저하가 나타날 것으로 보고 시험 포장된 재생 콘크리트에 대해 동결-융해 전후, 그리고 동결-융해 반복 횟수 등 2가지 측면에서 압축강도의 변화를 고찰하였다. 이를 위해 상기 배합에 의한 시험 포장 현장(춘천시 신동면 의암리 소도로 길이 100m, 폭 3m, 두께 20cm)에서 공시체를 9개 만들어 이중 3개를 무작위로 뽑아 무처리 수중양생하고 그리고 나머지 6개는 동결-융해에 사용하였다. 1 사이클은 하루로 각각 12시간씩 그 지역 최저에 해당하는 -25℃에서의 동결과 그에 대응하는 +25

℃에서 융해가 일어나도록 하였다. 공시체는 제작 2일만에 탈형하여 재령 14일까지 수중 양생 후 동결-융해 처리하였다. 무처리 공시체는 재령 28일에, 동결-융해 공시체는 계획된 각 사이클의 융해 후(14, 60 사이클) 3개씩 공시체를 무작위로 추출하여 압축강도를 측정하였다.

휨강도는 보 공시체에 대하여, 파괴인성 측정을 위해서는 휨강도 시험용과 같은 공시체에 콘크리트 컷터로 초기균열비(a₀/W) 0.3의 초기균열(Notch)을 만들어 각각 3점 재하시험을 하였다. 파괴인성은 Kirihaloo & Nallathambi¹⁹⁾가 개발하고 RILEM Technical Committee 89-FMT²⁰⁾가 추천한 Effective Crack Model(ECM)을 이용하여 계산하였다. 휨강도 및 파괴인성 측정시의 하중의 수직재하 속도는 초당 2.6kg으로 공시체가 파괴에 이를 때까지 일정하게 가했다.

3. 결과 및 고찰

3.1 재생콘크리트의 강도 특성

표 6의 배합에 따라 재생콘크리트 공시체를 실험실에서 제조하여 28일 수중 양생 후 압축강도 및

Table 7 Strength properties of concrete

Curing	Slump		Flexural	Compressive	Elastic
	Without Plasticizer	With Plasticizer	Strength (kg/cm ²)	Strength (kg/cm ²)	Modulus (kg/cm ²)
Moisture Curing (28-day at 25°C)	6.5cm	16.2cm	45.42	49.4	2.31×10 ⁵
Field Curing (28-day)	"	"	-	252.0	2.20×10 ⁵
Field Curing (6 months)	"	"	-	370.6	2.41×10 ⁵

휨강도를 측정된 결과는 표 7과 같다. 제조된 재생 콘크리트의 휨강도는 28일 양생 후 45.4kg/cm²로 배합설계에서 목표로 한 46kg/cm²와 비슷하게 나타났다으며 압축강도는 249.4kg/cm²로 매우 양호하였다.

또한 시험포장에서 시공 28일과 6개월만에 각각 3개의 코어를 채취하여 압축강도를 측정된 결과 평균값이 252 및 370.6kg/cm²로 나타나 시간이 지남에 따라 강도가 크게 향상된 것을 알 수 있었다. 이는 사용된 fly ash의 영향으로 해석되나, 탄성계수는 2.2×10⁵kg/cm²에서 2.41×10⁵kg/cm²로 약 9.5% 증가된 것으로 나타났다. 이와 같이 fly ash 첨가 재생콘크리트의 탄성계수가 장기적으로 큰 변화가 없는 것은 fly ash가 탄성계수에 영향을 덜 미친다는 증거이다. 더구나 이는 fly ash 혼입량을 크게 증가시켰음에도 탄성계수의 변화가 미세하게 나

Table 8 Fracture toughness test result

Type	Recycled Concrete (28 days)			Recycled Concrete (6 months)		
KIC (MPa.m ^{1/2})	0.964	0.779	0.847	1.052	1.043	1.192
Mean	0.863			1.096		

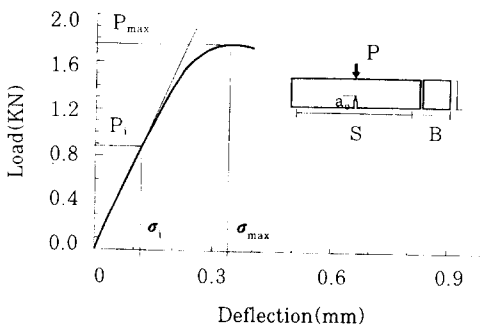


Fig. 2 A Load-deflection curve and P_i , d_{pi} , P_{max} , d_{pmax}

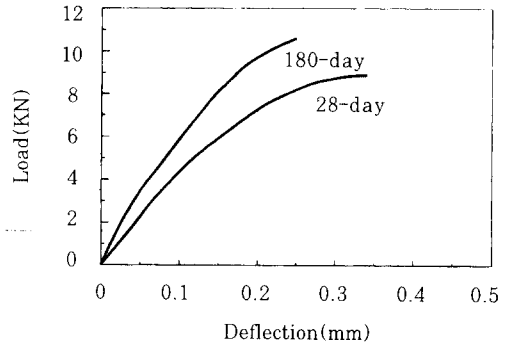


Fig. 3 Load deflection curves of recycled concretes

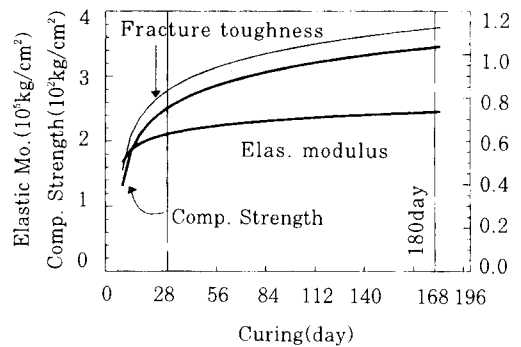


Fig. 4 Comp. stress, elastic modulus and K_{IC} changes by curing day

타났던 기존 연구결과¹⁷⁾과 비교할 때 관심 있게 보아야 할 점이라 하겠다.

3.2 재생콘크리트의 파괴인성

콘크리트의 유효 균열 모델 (ECM)을 임계응력 확대계수(파괴인성: Fracture toughness, K_{IC}) 계산에 이용하였다. 이 방법은 Griffith의 관계식에 근거하여 개발되어 취성재료 균열 전방의 프로세스 지역의 비선형 거동을 고려하도록 수정된 것이다¹⁹⁾. 이는 그림 2에서와 같이 3점 재하 시험으로부터 얻어진 하중-처짐 곡선으로부터 P_{max} , d'_{max} , P_i , d_{pi} 를 구하고 이를 이용하여 파괴인성을 구하는 방법이다.

재생 콘크리트의 파괴인성(K_{IC})을 측정된 결과는 표 8과 같으며, 대표적인 하중 처짐 곡선을 그림 3에 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 28일 하중-

처짐 곡선의 기울기는 6개월 재령 보다 현저히 낮으며, 이는 장기강도의 증가에 따라 파괴인성도 증가됨을 나타내는 것이라 할 수 있다. 그림 4는 이와 같은 변화를 대수 회귀분석을 통하여 나타낸 것인데 압축강도와 파괴인성이 유사한 변화를 보인 반면 탄성계수는 거의 수평이어서 그 변화의 차이를 잘 나타내 주고있다.

어떤 재료의 파괴인성치는 그 재료가 급속 파괴(Fast Fracture)에 대하여 견디는 능력을 나타내는 지수이므로 이 결과로 볼 때 본 연구에서 제조된 재생 콘크리트는 초기에는 낮은 파괴 저항력을 지니나 장기적(6개월)으로 볼 때 상당히 향상(27%)됨을 알 수 있었다.

한편 기존의 연구^{14,17)}에서 나타난 재령 28일에 유사한 배합의 일반 콘크리트의 파괴인성치 1.02~1.04와 비교해볼 때 재생콘크리트는 재령 28일에서는 83~85%, 6개월이 되면 105~107%로 나타났다. 이와 같이 재생콘크리트의 강도나 파괴인성이 초기에 일반 콘크리트에 비하여 더 낮음은 재생골재의 사용으로 인한 취약 부분(유기물질 및 기공이 큰 벽돌 파쇄 입자 등)이 내재하기 때문인 것으로 보여지나 시간이 지남에 따라 크게 향상되는 것은 매우 흥미로운 결과로서 향후 연구해 볼 과제라 할 수 있다.

3.3 동결-융해 처리후 압축강도 비교

재생콘크리트 공시체를 동결-융해 처리 후 압축강도를 측정하여 재생콘크리트의 동결-융해에 따른 강도변화를 비교하였다. 표 9의 시험 결과에서 보듯이 공시체를 동결-융해 처리한 결과 압축강도가 같은 재령의 무처리 공시체에 비하여 14사이클에서는 다소 낮게, 60 사이클에서는 다소 높게 나타나 결과적으로는 크게 차이가 나지 않았는데 이는 비교적 공극이 큰 재생골재가 내재하므로 재생콘크리트가 동결-융해에 강하다는 과거의 연구 결과^{11,13)}와 유사하다. 더구나 사이클수의 증가로 강도가 오히려 향상되었는데, 이는 재생콘크리트가 손상을 입지 않고 사이클 수의 증가와 함께 재령이 증가하기 때문인 것으로 추정된다. 즉, 60사이클은 재령 74일에 해당되는데 재생콘크리트는 장기강도가 크

Table 9 Freezing-and-thawing resistance of recycled concrete (Unit: kg/cm²)

Treatment	Control	Freezing-and-Thawing	
	28 days	14 cycles	60 cycles
Compressive strength	303.3	295.2	317.2

게 향상되므로 그간의 강도 증가가 동결-융해에 의한 손상 보다 더 큰 것에 기인하는 듯 하였다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서 수행한 폐콘크리트를 소도로포장용 콘크리트 재료로의 재활용은 국내에서는 처음 시도되는 일로써 본 논문에서는 재생콘크리트의 역학적 특성에 관한 연구 결과를 제시하였다. 한편 재생골재의 가격은 일반골재의 1/4~1/5로써 이를 이용하여 콘크리트를 제조할 경우 직접비용의 비교에서도 충분히 이득이 있는 것으로 분석되고 있는데 이는 타 문헌²⁾에 보다 상세히 제시되어 있으며, 역학적 특성에 대한 요약 및 결론은 아래와 같다.

1. 재생 굵은골재에는 폐콘크리트 외에 시멘트 벽돌, 붉은 벽돌, 아스콘 등도 첨가되어 흡수율, 마모율이 천연골재보다 높았고 비중은 낮아 천연골재와 일정 비율로 혼합하여 사용이 가능하였다.

2. 배합설계시 재생 굵은골재는 지금까지 본 연구팀의 연구 결과를 토대로 전체 굵은골재 량의 50%를 섞는 것을 목표로 하였으며, fly ash는 결합재 량의 5%, 유동화제는 w/c를 고정한 상태에서 slump 값으로부터 0.8%로 정한 결과 수작업 현장에서 적정 workability 16±2cm를 얻었다.

3. 제조한 공시체를 이용하여 각종 강도를 측정한 결과 휨강도는 45kg/cm² 이상, 압축강도는 σ_{28} \approx 250kg/cm² 로 나타났고, 탄성계수는 220,000kg/cm² 이상으로 매우 양호한 상태였으나 파괴인성은 0.863MPa.m^{1/2}로 비교적 낮았다. 그러나 6개월후 압축강도 및 파괴인성이 크게 향상되었는데 이는 fly ash의 사용에 따른 효과인 것으로 보이나 보다 정확한 규명을 위해서는 향후 더 연구가 수행되어야 할 것으로 보여진다.

4. 공시체를 동결-융해 처리 후 시험한 결과 압축강도에 큰 변화가 없었는데 이는 재생골재의 공극이 큰점과, 장기강도 증가가 동결-융해에 의한 손상을

보다 큰 것에 기인하는 것으로 보여진다.

5. 이상의 결과를 종합해 볼 때 본 연구에서 제조한 재생콘크리트는 역학적 특성상 도시의 이면도로 및 농촌도로 등 소도로 포장에 충분히 실용 가능성이 있는 것으로 판정되었다. 하지만 이는 사용된 재생골재에 대한 결과이므로 타 현장에서의 적용 시는 해당 재생골재에 대한 충분한 품질검사와 그에 적합한 재생콘크리트의 제조가 있어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 농림수산특정연구사업의 지원에 의하여 이루어진 연구결과입니다.

참 고 문 헌

1. "돈도 벌고 환경도 보호, 건축폐기물 재활용 한발개발 공사 대전변두리에 종합센터 설립." 동아일보 제 22979호 기사, 1995. 9. 26.
2. 김광우, 류능환, 박용철, "폐콘크리트를 재활용한 소도로 포장에 관한 연구." 한국농공학회 논문집, 제 38권 4호 (인쇄중), 1996.
3. Buck, A. D., "Recycled Concrete," Highway Research Record 430, HRB, pp. 1-8, 1973.
4. Forster, S. W., "The use of recycled PCC as aggregates in PCC pavements," FHWA, Office of Engineering and Highway Operation Research Development, Washington, D.C., 1985.
5. Hansen, T. C., "Recycling of Demolished Concrete and Masonry," Part 1, Report of Technical Committee 37 - DRC, RILEM, E & FN Spon, London, 1992, pp. 1-160.
6. Nixon, P.J., "Recycled Concrete as an Aggregate for Concrete - a Review," Materials and Structures, Vol. 11, No. 65, 1978, pp. 371-378.
7. "Recycling portland cement concrete", Demonstration Project Program: DP#47, FHWA, US Department of Transportation, 1985.
8. Schulz, R. R., "Processing of Building Rubble as Concrete Aggregate in Germany," Proc., 3rd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London, 1994
9. Sri Ravindrajah, and Tam, C. T., "Method Improving the Quality of Recycled Aggregate Concrete," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, 1988, pp. 575-584.
10. Yrjanson, W. A., "Recycling of Portland Cement Concrete Pavements," NCHRP Syn. 154, TRB, December 1989.
11. 김광우, 이봉학, 도영수, "재생콘크리트의 동결-융해 저항성과 변형 특성," 콘크리트학회논문집, 제 4권 4호, 1992
12. Kim, K. W., Lee, B. H., Park, J. S. and Doh, Y. S., "Performance of Crushed Waste Concrete as Aggregate in Structural Concrete," Utilization of Waste Materials in Civil Engineering Construction, ASCE, New York, 1992.
13. 김광우, 연규석, 이병덕, "재생콘크리트의 강도 특성상의 문제점," 콘크리트학회 학술발표회 논문집 제 7집, 충남대학교, 1992
14. 김광우, 김주인, 김기성, "재생콘크리트의 휨변형과 파괴 특성," 한국농공학회 논문집 제 37권 4호, 1995
15. 김광우, 도영수, 김진영, 박용철, "콘크리트 폐기물을 재활용한 콘크리트의 제조 및 품질 특성 연구" 동아그룹 창립 50주년 기념 동아 건설논문상 수상 논문집, 1995
16. 김무한, "건설산업폐기물의 리사이클링 시스템 및 재활용 기술 개발에 관한 연구," 충남대학교 산업기술연구소, 1995
17. 이봉학, 김광우, 박제선, 김진영, "재생 폐콘크리트의 성능 향상에 관한 연구," 콘크리트 학회지, 제 7권 2호, 1995, pp. 136-145.
18. El Kholy, F. A., "Aggregate Blending using Microcomputers," Report, Department of Civil Engineering, Clemson University, Clemson, SC, 1985
19. Karihaloo, B. L. and Nallathambi, P., "An Improved Effective Crack Model for the Determination of Fracture Toughness of Concrete," Cement and Concrete Research, Vol. 19, 1989, pp. 603-610.
20. "Fracture Mechanics Test Methods for Concrete," Technical Committee 89-FMT Report, RILEM, Ed. by Shah and Carpinteri, Chapman Hall, London, 1991, pp. 1-86.

(접수일자 : 1996. 5. 2)