

재생 콘크리트를 이용한 소도로 시험포장

Field Application of Recycled Concrete for a Low Volume Road Pavement

김광우¹⁾, 류능환²⁾, 박용철³⁾, 최영규⁴⁾
Kim, Kwang-Woo, Ryu, Neung-Hwan, Park, Yong-Chul, Choi, Young-Kyu

Abstract

This study evaluated characteristics and performance of recycled concrete as a pavement which was constructed on a low volume road. The recycled concrete was prepared by replacing a half of coarse aggregate with recycled aggregate. Natural sand from a source was used as fine aggregate together with admixtures such as plasticizer and fly ash (0.8% and 5% by wt. of cement, respectively). The length, thickness and width of the pavement were 100mm, 20cm and 3m, respectively. From construction experience, it was found that workability and finishability of the recycled concrete mixture were relatively poor, but strengths were satisfactory. Flexural strength, compressive strength and elastic modulus at 28 days were approximately 45Kg/cm², 250Kg/cm², and 240,000 Kg/cm², respectively. The pavement could be constructed by hand without much difficulty. The surface was finished smoothly by wet fabric and only minor cracks were found on the surface.

I 서론

사계절이 뚜렷하고 장마철 강수량이 큰 우리나라에서 비포장 도로는 매우 큰 문제거리가 되어 왔다. 즉, 장마 직후는 파손과 세굴 등으로 노면이 크게 거칠어져 차량소음이 거의 어려운 상태가 되며, 이른봄 해빙기는 짙어서 걸터다니기도 힘든 상태가 된다. 이는 골목길까지 다 포장된 도시지역에 비하여 상대적으로 落後된 농어촌 지역에 더 심각하다. 또한 이는 산악 지역의 각종 소도로까지 거의 100% 포장된 선진국들에 비하여 아직 우리나라가 낙후된 실정임을 나타내는 것이 더 이의 시급한 해결을 위해서는 보다 경제적인 재료에 의한 포장의 개발이 필요한 실정이다.

이에 본 연구는 폐콘크리트를 재활용하여 제조한 재생콘크리트가 소도로 포장에 이용될 수 있는지를 평가하기 위한 연구의 일환으로 수행되었다. 특히 본 연구는 그간의 연구⁴⁻¹⁰⁾를 경험으로하여 농촌지역의 소도로에 시험포장을 수행하고 그 결과로부터 실용성을 확인하는데 목적이 있다.

특히 국내에서 막대한 량의 발생으로 그

처분에 문제가 되고 있는 폐콘크리트의 농촌 도로에의 재활용은 환경 및 자연보호는 물론 경제적인 포장을 건설하는 일거양득의 효과를 가져올 수 있을 것으로 기대된다.

또한 본 연구에서는 특수한 장비나 기술 없이도 시공자가 손쉽게 포장을 건설할 수 있도록 재생콘크리트의 Workability를 조정하여 수작업으로 시험포장을 시공하였으며 그 과정에서의 문제점과 시공후 재료의 특성을 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

재생콘크리트 (Recycled Concrete)용 재생골재 (Recycled Aggregate)는 문헌 7에 제시된 폐콘크리트(Waste Concrete) Source C에서 수집된 것을 사용하였다. 재생골재란 폐콘크리트를 일정 크기 이하로 파쇄한 입자들로 각종 물성은 표 1에 제시되었으며, 기타 특성은 문헌 7에 상세히 제시되었다. 사용된 재생골재는 표준입도규정에 맞도록 40mm와 25mm를 적절한 비율로 혼합한 것이며 본 연

1 강원대학교 농공학과 부교수

2 강원대학교 농공학과 교수

3 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원

4 강원대학교 대학원 석사과정

구의 시험포장에 사용된 재생콘크리트는 콘크리트 내의 굵은골재를 50%는 재생골재로, 50%는 일반 쇄석골재로 (Virgin Crushed Aggregate)로 대체하고 잔골재는 모두 천연 모래로 사용한 것이다.

다. 이는 재생콘크리트의 성능을 평가함에 있어서 일반 콘크리트와의 특성을 비교하기 위한 목적으로 시행된 것이다. 따라서 6m구간의 일반 콘크리트는 일반적으로 많이 사용되는 $\sigma_{28}=180\text{Kg/cm}^2$ 콘크리트를 사용하였다.

Table 1. Properties of Recycled Aggregates

Max. Size	SSD Specific Gravity	Absorption (%)	Abrasion (%)
25mm	2.29	7.48	45.70
40mm	2.31	6.99	44.10

2. 방법

가. 포장 설계

재생골재를 이용한 포장의 설계는 건설부 도로포장 설계 시공 지침(1991)을 기준으로 하고 이에 현장 조건과 현지 실정을 감안하여 수행하였다. 또한 재생콘크리트 포장 표준의 설계도 주어진 시험 및 조사 결과치와 상기 지침에 의하여 수행되었다. 시험 포장의 폭은 3m로 연결되는 기존 도로포장의 폭과 같이 맞추어 시행하였다. 포장의 두께는 20cm로 하였는데 이는 현장의 지반상태, 교통량, 재료의 불확실성 등을 고려하여 충분한 공용성을 낼 수 있도록 설계된 값이다. 또한 보조기층은 현장 조사결과 지지력이 매우 높고 물 빠짐도 양호하여 바닥 고르기를 하는 차원에서 폐콘크리트 재생골재를 노상의 패인 부분에 넣고 다져 표준 시공전 마무리 하였다. 이에 대한 상세한 내용과 각종 설계서 및 계산 방법, 시험 결과 등은 문헌 7에 제시되었다.

나. 시험포장시공

강원도 춘천시 신동면 의암리 마을 안길 100m를 재생콘크리트를 이용하여 시험포장 하였다. 이 도로는 하천 변의 막석다짐 형태의 비포장으로 개설된지 십수년 이상된 도로로서 차량 소통이 일일 수십 대 정도로 영농장비 및 마을에서 생산되는 농산물을 운반하기 위한 소형 트럭 등이 다닌다.

그림 1, 2는 각각 시공전 현장의 모습과 현장의 포장 형태를 보여주는 개략도 이다. 시험 포장 총 100m 구간 중 6m는 일반 콘크리트를 사용하였으며 폐콘크리트를 사용한 재활용 콘크리트를 타설한 구간은 94m 이었

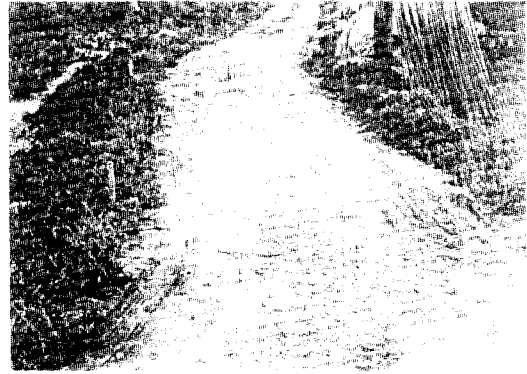


Fig. 1. Condition of road bed before Paving

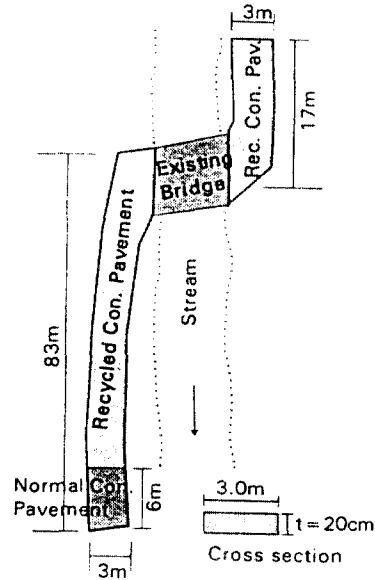


Fig. 2. Schematic Illustration of Designed Experimental Pavement

포장을 시공할 현장을 측량하고 고르기와 다지를 한 후 거푸집을 설치하였다. 재생콘크리트는 배합설계로부터 결정된 표 2에 따라 한 레미콘 회사의 협조로 플랜트에서 제조하였다.

Table 2. Mix-design of recycled concrete

W/C	Slump before/ after adding plasticizer (Cm)	Unit Weight (Kg/m ³)								
		Water	Cement	Fly Ash	Plasticizer	Natural Sand	Virgin Coarse Agg.		Recycled Coarse Agg.	
							25mm	40mm	25mm	40mm
0.40	6.5/16±2	163	388	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) 8. Time of Transportation = 15 min. 9. Time and Date of Construction = 8:00~12:00AM, 1995. 9. 15. 10. Other = Plasticizer added to the mix in truck 2-3min. before casting									

재생콘크리트 제조시 플랜트에는 플라이애쉬를 공급할 수 있는 라인이 없어 잔골재 운반 컨베이어 벨트 위에 플라이애쉬 소정량을 수작업으로 공급하였다. 콘크리트 운반 거리는 약 10km(10분 소요) 이었으며 트럭이 현장에 도착 후 대기(약 5분내) 하는 동안 레미콘 트럭에 소정량의 유동화제를 첨가하여 1~2분간 강제 혼합하였다.



Fig. 3. Casting Recycled Concrete by Hand in the Field

III. 결과 및 고찰

1. 재생콘크리트 시험 포장

가. 현장 시공성

혼합된 콘크리트는 준비된 현장에 타설되었으며 하단부에 8번선 메쉬 (철망)를 깔고 수작업으로 다지고 (그림 3) 표면 마무리를 젖은 헝겊으로 수행하였다(그림 4). 재활용 콘크리트는 같은 반죽 질기라도 더 작업하기 어려웠으며 특히 표면 마무리는 어려웠다. 즉, 재활용 콘크리트는 Workability 및 Finishability가 일반 콘크리트보다 더 나쁜 것으로 판명되었는데 이는 외국의 연구^{1, 11, 12, 13)}와 유사한 결과이다. 이는 흡수율이 크고 표면이 거친 재생골재의 존재와 비중이 낮은 유기물이 섞인 때문인 것으로 보여졌다.

하지만 이는 부분적인 현상이며 전반적으로는 일반 콘크리트를 수작업으로 타설할수 있는 사람이면 누구나 다소 다르기는 하지만 시공은 가능하였다. 즉, 시공상 공법의 어려

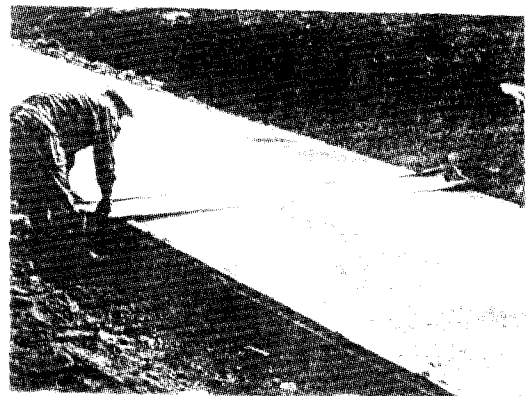


Fig. 4. Finishing Surface by Wet Fabric

움보다는 사용할 재료의 특성 시험과 그에 근거한 배합설계만 적절히 이루어지면 큰 문제는 없는 것으로 보여졌다.

나. 양생 및 코어 채취

시공 후 7일간 양생을 거쳐 양옆의 거푸집을 제거하였다. 시기적으로 9월 중순이어서 지역의 기온이 15~25°C이었으므로 매우 양생이 잘되었다. 표면의 상태는 전반적으로 양호하였으며 경사진 구간에서 미세한 균열이 횡방향으로 부분적으로 나타났고 재생골재가 충분히 묻히지 않은 곳에 다소의 곰보가 있었을 뿐이었다. 전 구간에 걸쳐 8m 간격으로 신축 조인트를 8mm 두께의 콘크리트 커터로 횡방향으로 절단하였다.

타설 24시간 후인 다음날부터 5일간 매일 1회씩 오후 1~2시경 양수기를 이용하여 옆에 있는 개울로부터 물을 끌어올려 충분히 뿌려 주었다. 또한 완성된 포장에서 3주 후에 코어채취기를 이용하여 전 구간에 걸쳐 직경 10cm의 코어를 12개 채취하였다(그림 5). 채취된 코어에서는 콘크리트의 내부에 붉은 벽돌, 아스콘, 발포 폴리스타이렌폼 등이 들어 있음을 확인 할 수 있었다.

다. 현장 타설 콘크리트의 강도

현장 시험시공 결과 재생골재의 농어촌 도로포장에의 이용은 매우 바람직한 것으로 판정되었다. 우선 강도상 포장에서 채취한 코어공시체와 현장에서 제조한 공시체를 이용하여 압축강도를 측정된 결과 코아공시체의 경우 250Kg/cm²이상, 현장 제조 공시체의 경우 300Kg/cm²이상 매우 우수하게 나타났다. 코아공시체의 경우 이는 문헌 7에서의 배합설계에서의 배합강도와 일치하고 있어 시공이 양호하게 되었음을 알 수 있었다.

현장에서 시공 당일 타설시 샘플로 제조된 공시체는 코아공시체보다 강도가 높았다. 이는 제조시 공시체를 규정에 따라 충분히 다졌고 실험실에서 양생하였기 때문에 강도가 높은 반면, 재생콘크리트는 현장 시공성이 나쁜 점과 나아가 공시체를 채취하는 과정에서 콘크리트의 원통형 면에 다소 훼손이 있는 점 등 때문에 코어 공시체 강도가 상대적으로 낮은 것으로 추정되었다.

· 압축강도 대 인장강도 및 휨강도의 비율은 각각 평균 9% 및 18% 였는데 이는 앞의 배



Fig. 5. Completed recycled pavement and field coring.

합설계시 공시체의 강도에서도 나타났던 현상이다. 탄성계수는 240,000Kg/cm² 이상 인 것으로 나타나 매우 양호한 상태였다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 압축강도를 고려하면 배합설계시 물-시멘트 비를 다소(약 3~5%) 높일 수 있을 것으로도 생각되나 현장의 시공성이 나쁜 점과 그로 인해 코아공시체의 강도가 낮은 점등을 고려한다면 일단 현재의 배합을 적용하는 것이 적합할 것으로 보여진다.

한편 공사 구간 중 일반 콘크리트(설계 강도 180Kg/cm²) 타설 구간에서 채취한 코어에 대한 압축강도는 재생콘크리트에 비하여 매우 낮았다. 이는 유동화제 및 플라이애쉬 없이 물-시멘트 비를 0.55이상으로 설정하여 목표슬럼프치를 12cm로 타설한 일반 콘크리트인데 레미콘 회사의 배합설계 강도 보다 다소 낮은 값이었다.

2. 실용성 및 경제성 평가

지금까지의 실험실 및 현장 타설 재활용 콘크리트에 대한 시험 성과를 종합해 본 결과 재생콘크리트는 농어촌 및 도시 이면 도로의 포장 재료로서 충분한 이용 가치가 있는 것으로 판명되었다. 한편 시공법은 기존의 콘크리트 재료를 사용한 공법을 거의 그대로 적용 할 수 있어 일반적으로 쉽게 시공 할 수 있었다.

Table 3. Comparison of Strength of Recycled and Normal Concretes

Type	Normal Concrete	Recycled Concrete			
	Compressive Strength	Compressive Strength	Split Tensile Strength	Flexural Strength	Elastic Modulus
Casted Specimen	189.9	303.3	30.2	54	2.41×10^9
Core Specimen	174.1	252.0	21.0	-	2.20×10^9

다만 공법상 배합 설계시 플라이애쉬 및 유동화제를 첨가 배합하는 과정은 시방 규정이 없는 관계로 본 연구에서 제시 한대로 수행하면 가능 할 것으로 사료되며, 이를 위해 향후 연구가 있어야 될 것으로 사료된다.

또한 그간 문제로 대두되었던 재생골재의 확보 및 유기 불순물의 선별 문제는 각 지방자치 단체에서의 자구 노력에 힘입어 전국적으로 많은 재활용 플랜트가 설치되었다. 또한 중간처리업의 등장으로 재생골재 생산이 늘어나고 있어 그 해결 가능성이 매우 밝다 하겠다.

또한 본 연구에서와 같이 재활용 재료의 사용은 저렴한 가격으로 포장을 건설하여 같은 예산이라도 보다 많은 도로를 포장할 수 있다는 이점이 있다. 골재의 구입 가격이 해마다 상승함은 물론 전국적으로 볼 때 막대한 량의 골재가 소도로 포장에 필요한 실정임에 재활용 재료의 사용은 천혜의 부존자원이 빈약한 우리 실정을 감안할 때 분명한 해결책의 하나가 될 수 있다.

실제 가격 면에서 본 연구에 사용된 천연골재와 재생골재를 비교해 보면 '95년말 현재 천연쇄석 굵은골재는 톤당 8,000 ~ 10,000 원(춘천지역 산지) 인데 비하여 재생골재는 톤당 2,000원(춘천, 대전)으로 쇄석골재의 20 ~ 25% 수준이다. 이를 이용하여 재생콘크리트를 제조할 경우 본 연구의 배합 설계 기준에 의한다면 1m^3 의 콘크리트 제조에 약 4,000원 정도의 원가 하락 요인이 되며 레미콘 한 트럭을 사용할 경우 약 25,000원 정도의 원가가 저하된다.

하지만 이는 단지 현재까지의 연구 결과인 천연골재를 50% 재생골재로 대체하는 경우 일 뿐 앞으로 재활용 비율을 더 높여 70 ~ 80%로 한다면 그 차이는 더 클 것이다.

또한 이는 골재 사용량에 따른 단순 비교이나 문헌 7의 결과에서 제시하였듯이 동결-융해에 따른 재생콘크리트의 강도 및 내구성이 더 우수한 점을 고려하고, 외국에서도 언급하고 있듯이 환경 보호 및 자원 절약을 고려한다면 경제적 이득은 더 클 것이다²⁾.

IV. 결 론

재생콘크리트에 의한 시험포장과 그로부터 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구에서 제조된 재생콘크리트에 의한 포장은 전반적으로 슬럼프가 좋아 일반 콘크리트를 수작업으로 타설할 수 있는 사람이면 누구나 시공이 가능하였다.
2. 경화후 표면의 상태는 전반적으로 양호하였으며 경사진 구간에서 약간의 균열이 횡방향으로 부분적으로 나타났는데 이는 타설시 혼화제량의 미세 조정으로 유동성을 조절하면 제어 할 수 있을 것으로 보여진다.
3. 압축강도를 측정된 결과 코아공시체의 경우 $250\text{Kg}/\text{cm}^2$ 이상, 현장 제조 공시체의 경우 $300\text{Kg}/\text{cm}^2$ 이상 탄성계수는 모두 $240,000\text{Kg}/\text{cm}^2$ 이상인 것으로 나타나 매우 양호한 상태였다.
4. 이상의 결과를 종합해 볼 때 강도 상으로 재생콘크리트는 소도로의 포장 재료로써 충분한 이용 가치가 있는 것으로 판명되었다. 한편 시공 측면에서도 시공법은 기존의 콘크리트 재료를 사용한 공법을 거의 그대로 적용 할 수 있어 일반적으로 쉽게 시공 할 수 있음을 알 수 있었고 경제적으로 잇점이 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

- 1) Bergren, J. V., Britson, R. A. (1977), "Portland Cement Concrete Utilizing Recycled Pavement," Iowa Department of Transportation, Division of Highways, Office of Materials.
- 2) Frondistou-Yannas, S. and Itoh, T. (1977), "Economic Feasibility of Concrete Recycling," Journal of Structural Engineering Div., ASCE, pp. 885-899.
- 3) 건설부 (1991), 도로포장설계 · 시공지침.
- 4) 김광우, 김주인, 김기성 (1995), "재생콘크리트의 휨변형과 파괴 특성," 한국농공학회 논문집 제 37권 4호, 1995. 8.
- 5) 김광우, 도영수, 김진영, 박용철 (1995), "콘크리트 폐기물을 재활용한 콘크리트의 제조 및 품질 특성 연구," 동아그룹 창립 50주년 기념 동아건설논문상 수상 논문집.
- 6) 김광우, 류능환, 박용철 (1995), "농촌도로 포장재료로써 재생콘크리트의 특성" 한국농공학회 논문집에 제출.
- 7) 김광우 외 9인 (1995), "폐콘크리트 및 아스팔트를 재활용한 농어촌도로 포장공법의 개발," 농림수산부연구보고서, 강원대학교.
- 8) 김광우, 이봉학, 도영수. (1992). "재생콘크리트의 동결 응해 저항성과 변형 특성," 콘크리트학회논문집, 제 4권 4호.
- 9) Kim, K. W., Lee, B. H., Park, J. S. and Doh, Y. S. (1992). "Performance of Crushed Waste Concrete as Aggregate in Structural Concrete," Utilization of Waste Materials in Civil Engineering Construction, ASCE, New York.
- 10) 이봉학, 김광우, 박제선, 김진영, (1995) "재생 폐콘크리트의 성능 향상에 관한 연구," 콘크리트 학회지, 제 7권 2호, pp. 136-145
- 11) "Recycling portland cement Concrete," (1985), Demonstration Project Program: DP#47, FHWA, US Department of Transportation
- 12) Sri Ravindraiah, and Tam, C. T. (1988), "Method Improving the Quality of Recycled Aggregate Concrete," Proc., 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall.
- 13) Yrjanson, W. A. (1989), "Recycling of Portland Cement Concrete Pavements," NCHRP Syn. '154, TRB, December.