



재생골재의 도로적용을 위한 이물질 정량화 연구

An Impurity Quantitative Study for Pavement Application in Recycled Waste Aggregates

박 준 영* 조 윤 호** 임 남 웅***
Park, Jun Young Cho, Yoon Ho Lim, Nam Woong

Abstract

One way to recycle the construction wastes is to use the waste concrete aggregates as the pavement materials.

Although there are many studies and technical developments about waste concrete aggregates, the impurities produced in the process of the aggregate production prevent the use of the waste concrete aggregates in the pavement construction.

In this study, the impurities included in the recycled waste aggregates were classified into inorganic and organic ones according to their characteristics, and the influences of each impurities on the pavement performance were presented. It was also showed that the limit of impurity content in the lean concrete base through the correlation between the inorganic impurity content and the compressive strength, and that in the granular subbase layer through the correlation between the organic impurity content and the modified CBR.

In conclusion, it is possible to apply waste concrete aggregates for the pavement when inorganic impurity content is less than 10% in the lean concrete base, and organic impurity content is less than 2% in granular subbase.

Keywords : construction wastes, waste concrete, recycled waste aggregates, impurity content

요 지

건설폐기물의 재활용방법 중 하나는 폐콘크리트 재생골재를 도로포장재료로 활용하는 것이다. 하지만 재생골재에 대한 많은 연구와 기술개발에도 불구하고 생산공정에 포함된 이물질 때문에 실제 도로포장재료로의 적용은 미비한 실정이다.

본 연구에서는 재생골재내에 포함된 이물질의 특성에 따라 무기이물질과 유기이물질로 구분하였으며, 각 이물질이 포장 공용성에 미치는 영향을 제시하였다. 또한 재생골재내에 포함된 무기이물질 함유량과 압축강도와의 관계, 유기

* 비회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 조교수 · 공학박사

*** 정회원 · 중앙대학교 건설대학원 환경공학과 교수 · 공학박사



이물질 함유량과 수정 CBR과의 상관관계를 통하여 도로포장층인 린콘크리트 기층과 보조기층에 적용 가능한 이물질 함유기준을 제시하였다.

린콘크리트 기층에는 무기이물질 함유량 질량비 10% 이하, 입상재료 보조기층에는 유기이물질 함유량 부피비 2% 이하일 때 재생골재를 포장에 적용 가능한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 건설폐기물, 폐콘크리트, 재생골재, 이물질

1. 서론

급속한 경제발전 및 도시개발로 건설된 상업지구 및 주거단지가 노후화되고 기능을 상실함에 따라 재개발 및 재건축이 활발하게 진행되고 있다. 이로 인하여 폐콘크리트 등의 건설폐기물은 하루 평균 10만 톤 이상이 발생하며 그 양은 매년 증가하는 추세이다. 그림 1 (환경부, 2002). 지속적인 건설사업의 증가, 콘크리트 구조물의 대형화 및 각 지구별 신도시 건설로 천연골재의 소비량이 증가되고 있으나 환경과파의 원인이 되는 석산개발, 강사 및 해사 채취, 하천준설 등이 제한 받고 있으며 천연골재의 고갈로 인해 양질의 천연재료 공급이 원활하지 않은 실정이다. 건설폐기물은 그림 2에서와 같이 85%이상 재활용(환경부, 2002)되는 것처럼 보이지만 매립 등 저급의 용도로 사용될 뿐 실제 토목현장에는 적용되지 않고 있는 실정이다. 재생골재의 수요부족으로 재생골재 생산업체의 골재야적장은 포화상태이고 생산된 재생골재는 추가비용을 들여 매립하고 있는 실정이다.

이에 따라, 재생골재를 활용하기 위한 방안으로 많

은 연구가 진행되었다. 외국의 경우, 재생골재와 천연골재를 혼합 사용한 콘크리트는 천연골재를 사용한 콘크리트에 비하여 15~25%의 강도가 감소하였지만 혼화제의 사용으로 강도증가의 가능성을 발표하였고 (Chunhua, 1993), 간접인장강도의 비교실험에서는 80%의 강도를 얻을 수 있었다(Ravindrarah, 1985). 재생골재를 사용한 콘크리트는 낮은 강도에도 불구하고 포장 표층재료로 사용이 가능하며, 입도 기준을 만족한다면 아스팔트 포장이나 콘크리트 포장의 하부입상재료로 사용이 가능하다고 제안하였다(Chici, 1999). 국내의 경우, 재생 콘크리트 골재를 콘크리트 포장 공사구간의 기층과 보조기층에 적용한 후, FWD를 이용하여 구조적 안전성을 평가한 결과, 천연골재를 사용한 구간과 큰 차이를 나타내지 않았다(박태순 외, 1997). 재생골재 평가방법에 관한 연구에서는 재생골재가 천연골재와 다른 물리적 성질을 가지므로 재생골재에 적합한 평가기준이 필요하며 재생골재의 품질기준으로 흡수율, 비중, 마모감량, 실적률, 0.08mm체 통과량 등을 사용해야 한다고 주장하였다(송하원 외, 2000). 재생골재

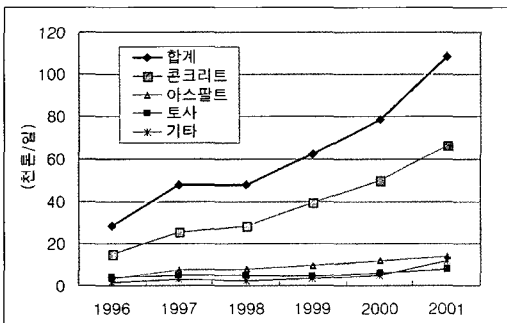


그림 1. 건설폐기물 발생량(환경부, 2002)

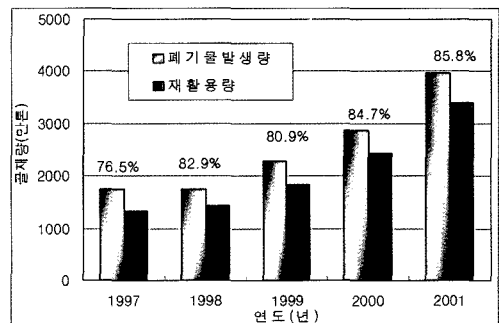


그림 2. 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 2002)



콘크리트의 역학적 특성에서 재생골재를 사용한 콘크리트가 천연골재 콘크리트에 비하여 약 70%의 압축강도를 갖고 있으며 재생골재를 깨끗이 세척한 후 사용하면 강도증진 효과를 볼 수 있었다(김문섭 외, 1997). 재생골재를 도로노반재료로 사용하기 위한 연구에서는 물리적 실험, 내구성 실험, 용출실험 등을 실시하였는데 재생골재는 지하수나 지반환경적으로 안전하고 요구강도와 투수성 기준을 만족하기 때문에 사용가능하다고 주장하였다(윤중수 외, 1998).

이런 연구결과에도 불구하고 현재 재생골재가 포장재료로써 활발하게 사용되지 않는 이유는 재생골재 내에 포함된 눈에 보이는 이물질 때문이다. 현행 폐기물 관리법에서는 성토재, 보조기층재, 도로기층재 또는 복토재로 재생골재를 재활용할 경우에는 재생골재 중에 포함되어 있는 이물질 함유량을 부피기준으로 1% 이하이어야 함을 정하고 있고 KS 규격에는 이물질 함유량 기준이 빠져있다. 이는 현재 생산되는 재생골재의 품질에 비하면 사용하기 어려운 기준이다. 재생골재 내에 포함된 눈에 보이는 이물질을 공학적으로 이해하고 도로포장 적용 가능한 이물질 함유량을 제시한다면 재생골재 활용에 대한 부정적인 인식을 바꿀 수 있다고 판단한다.

따라서, 본 연구에서는 폐콘크리트 재생골재 내에 포함되어있는 이물질을 정의하고 정의된 이물질이 포장에 미치는 영향에 대하여 정량화할 수 있는 실험법을 제안하였다. 또한 이물질이 포함된 재생골재를 도로포장의 린콘크리트 기층과 보조기층에 적용하기 위하여 이물질함량 기준을 제시하였다.

2. 이물질 정의 및 공용성 영향

건설폐기물에 의해 재활용된 재생골재 내에는 적벽돌, 아스팔트, 시멘트 덩어리, 나무, 천, 스티로폼 등과 같은 이물질이 포함되어 있다. 하지만, 현재 국내에서는 이러한 이물질에 대해 명확하게 정의하지 않고 있다.

이물질이 포장 공용성에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 이물질에 대한 명확한 정의가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 표 1과 같이 적벽돌, 페아스콘, 시멘트 덩어리, 타일, 철근 등은 일정한 강도나 지지력을 보유하고 있으며 부식성이 없으므로 무기이물질로 정의하였고, 부식성과 가연성이 있는 나무, 종이, 플라스틱, 천 등은 유기이물질로 정의하였다.

이물질은 건설폐기물의 종류와 재생골재 생산공정에 따라 그 종류와 함유량이 변하게 된다. 무기이물질은 골재와 이물질의 질량비로, 유기이물질은 골재와 이물질의 부피비로 측정하고자 한다. 무기이물질은 일정 무게를 골재와 비교 가능하나 유기이물질은 상대적으로 경량이기 때문에 부피비를 사용하는 것이 타당하다고 판단하였기 때문이다. 표 2는 국내에 생산되는 재생골재에 포함되어 있는 무기이물질과 유기이물질을 조사한 표이다. 무기이물질은 질량비 0.4~33.9%, 유기이물질은 부피비 0~4.1%의 범위에서 다양하게 분포한다(한국도로학회, 2004).

도로포장에서 재생골재를 적용하기 위해서 각각의 이물질이 하부재료에 미치는 영향에 대해서 알아본다. 린콘크리트 기층은 불투수층이고 상부 슬래브를 지지하기 위해 일정 강도를 보유하며 펌핑(pumping) 및

표 1. 재생골재 내에 포함되어 있는 이물질의 정의

구 분	종 류	특 성
무기이물질	적벽돌, 페아스콘, 시멘트 덩어리, 타일 등	입상재료 사용가능, 시간에 따라 형체변화 없음, 비가연성
유기이물질	나무, 종이, 플라스틱, 천 등	시간에 따라 부피 및 형체변화, 공학적 물성 정량화 시도 없음, 가연성



표 2. 재생골재에 포함된 이물질 함유량 (한국도로학회, 2004)

재생골재	성분	무기이물질					유기이물질
		골재	페아스콘	적벽돌	타일	총합	총합
재생골재 A	질량비(%)	97.8	1.1	0.7	0.4	2.2	0.0
	부피비(%)	97.4	1.2	0.9	0.5	2.6	0.0
재생골재 B	질량비(%)	99.6	0.3	0.1	0.0	0.4	0.0
	부피비(%)	99.4	0.3	0.1	0.0	0.4	0.1
재생골재 C	질량비(%)	66.0	33.1	0.8	0.0	33.9	0.1
	부피비(%)	68.6	30.1	1.0	0.0	31.1	0.4
DB사	부피비(%)	-	-	-	-	-	4.1
CC사	부피비(%)	-	-	-	-	-	1.3

단차(faulting) 현상을 방지하기 위해 사용된다(조 운호 외, 2002). 이러한 린콘크리트 기층에 이물질을 포함한 재생골재를 활용한다면 강도 저하가 가장 큰 문제점으로 예상된다. 유기이물질은 골재보다 상대적으로 매우 낮은 강도를 나타내므로 린콘크리트 기층의 강도에 치명적인 영향을 줄 것이다. 그러나 무기이물질의 경우 공학적 물성을 만족한다면 적정량 혼합은 가능할 것이다. 그림 3에서와 같이 린콘크리트 기층에 다량의 무기이물질이 포함되어 강도에 문제가 있을 경우 표층에서 전달되는 하중으로 인하여 파손이 발생하고 균열은 표층으로 확산된다. 그러므로 무기이물질이 포함된 재생골재를 린콘크리트에 적용하기 위해서는 기준강도를 유지할 수 있는 함량에 대한 연구가 필요하다.

도로포장에서 약 15~44cm의 두께를 차지하는 입상재료 보조기층은 구조적으로 교통하중을 분산시켜서 안전하게 하중을 노상에 전달하고 부분침하를 방지하며 지하수의 상승을 막아 동상에 의한 피해를 방지한다. 따라서 보조기층에 사용하는 입상재료는 충분한 지지력과 내구성을 가지고 있어야 한다(환경부, 2004). 재생골재 내의 이물질 중 무기이물질과 소량의 유기이물질은 보조기층의 지지력 확보에 있어 큰 영향을 미치지 않을 것이다. 그러나 그림 4에서와 같이 다량의 유기이물질은 포장에 커다란 결함을 가져올 수 있다. 유기이물질을 포함한 입상재료를 도로에 적용한 이후 유기이물질의 부피는 변화할 것이다. 시공 다짐시의 최적 함수량과 더불어 포장 파손시 상부로부터 침투하는 수분, 지하수의 영향으로

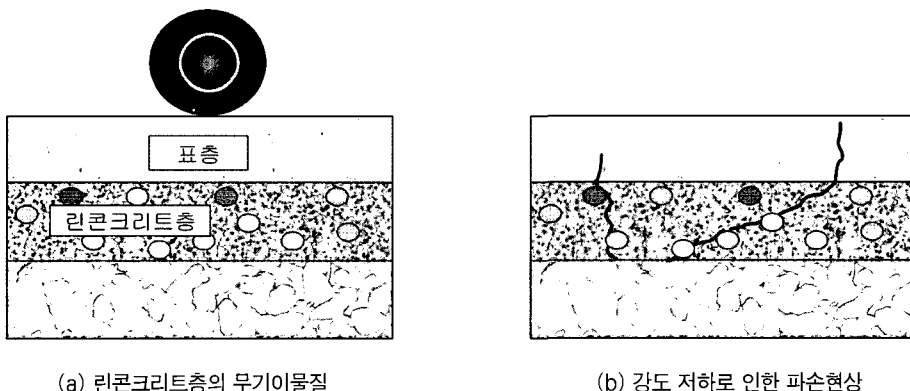


그림 3. 도로포장 린콘크리트 기층에서 무기이물질의 영향

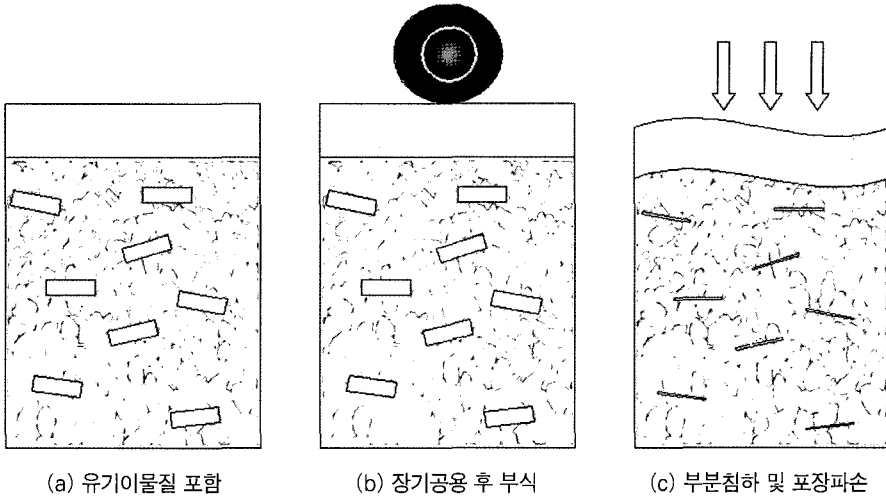


그림 4. 도로 포장 하부층에서 유기이물질의 영향

유기이물질은 부식될 우려가 있다. 이와 같이 보조기층에 함유된 유기 이물질이 부식되고 부피가 감소하면 이물질의 위치에 공동이 생기고 지지력이 저하되어 교통하중에 의한 파손을 유발시킬 것이다.

3. 이물질 정량화 방법

분리수거가 이루어지지 않는 국내 현실에서 건설 폐기물은 일정량의 무기이물질이 포함되어 있다. 무기이물질은 일정한 강도나 지지력을 보유하고 있기 때문에 다량의 이물질이 포함되지 않는 한 포장재료로 사용이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 플랜트에서 생산된 재생골재를 물로 세척하고 토사를 제거한 다음 육안으로 적벽돌, 폐아스콘, 시멘트 덩어리들을 분리하였다. 린콘크리트 공시체 제작 시 분리했던 무기이물질을 질량비 함유량에 따라 재령 7일 압축강도의 변화를 살펴보고 린콘크리트의 허용강도를 만족하는 최대 무기이물질 함유량을 찾았다. 린콘크리트 배합은 도로공사 표준시방배합을 사용하였다.

유기이물질은 각종 건축 및 토목구조물을 철거하고 재생산되는 과정에서 포함되는 것이다. 이런 유기

이물질은 입자자체의 파괴로 인해 지지력 저하를 일으키는 것도 있지만 장기적으로 내부에서 부식을 일으켜 침하를 발생시키게 된다. 이러한 유기이물질이 도로포장의 하부층에 사용될 경우 장기적인 측면의 지지력 저하를 가져올 수 있다. 따라서 본 연구에서는 지지력 저하를 실내에서 예측할 수 있도록 CBR 몰드 내에 부피비에 따른 유기이물질을 넣고 장기적인 이물질 부식과 동일한 효과를 얻을 수 있는 실험방법을 제안하였다.

유기이물질이 포장하부층에서 부식되는 것을 모사하기 위하여 단기부피감소가 가능한 재료를 선정하였다. CBR 몰드 다짐시 가상유기이물질은 최소부피감소를 유지해야 하며 짧은 실험시간 내에 장기간의 부피감소를 모사할 수 있어야 한다. 그림 5는 실제 가상유기이물질의 부피감소를 표시한 것이다. 사용된 가상유기이물질은 토목재료인 고강도 스티로폼을 이용하였다. 실험골재에는 가상유기이물질 이외의 유기이물질은 없어야하므로 유기이물질을 손으로 고르는 작업을 실시하였다. CBR 몰드 제작후 건조로에서 충분히 가열하면 몰드내의 이물질의 부피는 초기 이물질의 5% 이하의 부피로 감소한다. 나머지 95%의 공극은 포장하부의 유기이물질이 장기부식

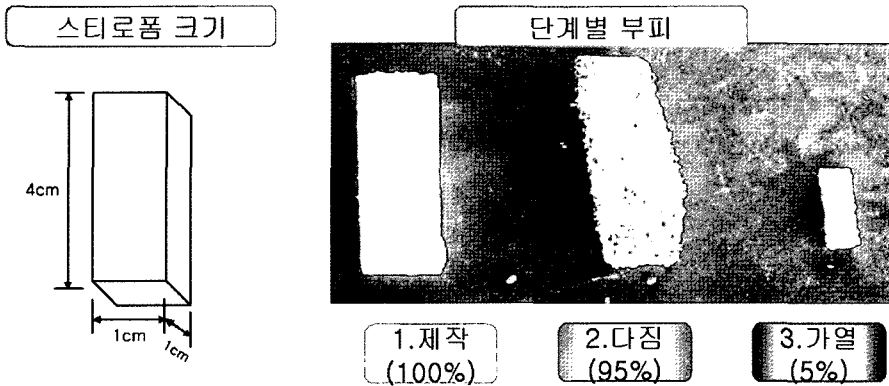
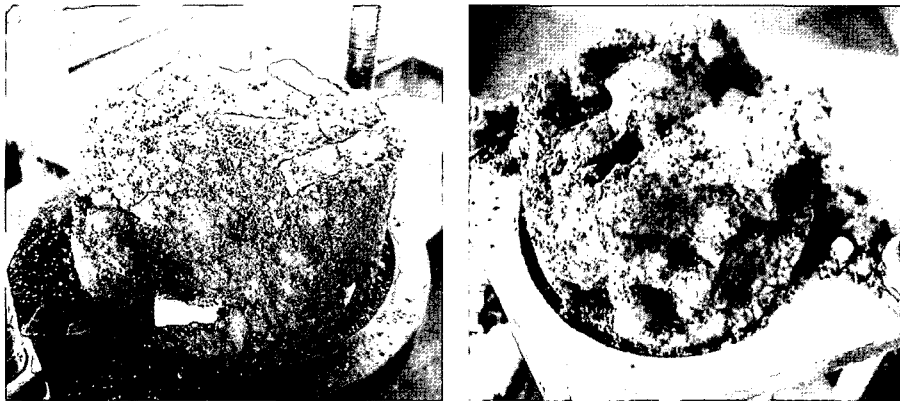


그림 5. 가상 유기이물질의 부피감소



(a) 다짐후 부피감소전

(b) 부피감소후(공극형성)

그림 6. CBR 몰드 내의 가상 유기 이물질 부피감소

하면서 발생하는 공극을 모사한다.

그림 6은 몰드 제작후 CBR 몰드내의 가상유기이물질과 가열후 부피감소로 인한 공극발생 모습이다. 공극이 형성된 CBR 몰드를 수침한 다음 관입실험을 통해 공극을 포함한 재생골재의 지지력을 측정한다. CBR 몰드 다짐시 유기이물질의 균일한 분포를 위해 5층 55회 다짐인 D 다짐을 사용하였으며 1층에서 3층 다짐후까지 이물질을 균일하게 첨가한다. 모든 실험순서는 KS F 2320 (한국산업규격, 2000)을 따르며, 몰드제작후 가열을 통해 이물질의 부피를 감소시키는 작업이 추가되었다.

재생골재를 지름 15cm 다짐몰드에 D 다짐한 후

지름 5cm 관입봉으로 관입실험을 실시하였다. CBR 실험에서 관입봉의 관입량에 따른 관입하중을 도식한 그림 7은 유기이물질이 지지력에 미치는 영향을 분명하게 보여주고 있다. A, B곡선의 경우 눈에 보이는 유기이물질을 모두 제거 하였음에도 약 26%의 지지력 저하가 발생함을 보여주고 있다. 이것은 몰드 내에 눈에 보이지 않는 유기이물질이 존재함을 의미한다. 눈에 보이는 유기이물질이 1%, 2% 포함된 C와 D 곡선은 약 60%, 약 66%의 지지력 감소가 발생하였다. 이는 눈에 보이는 유기이물질 1%와 2%에서 지지력 감소가 6% 차이로 상대적으로 적음을 알 수 있다. 그러므로 0~1%의 눈에 보이는 유기이

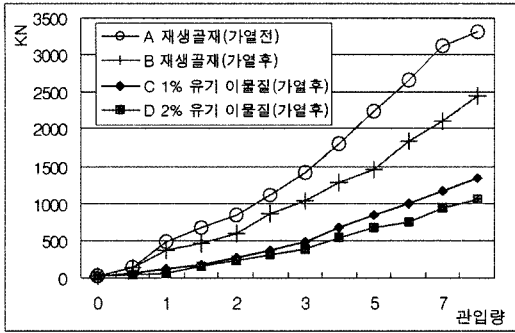


그림 7. 재생골재 유기이물질 함량에 따른 하중과 변위

물질에서 부식으로 인한 지지력 저하가 크게 발생됨을 알 수 있다.

반면 유기이물질의 함량에 따라 지지력은 저하되지만 시방기준을 만족한다면 일정량의 유기이물질이 포함된 재생골재는 보조기층용 재료로 사용할 수 있다.

4. 이물질 정량화 실험결과

이물질 정량화 실험에 사용된 재생골재의 기초물성과 입도는 표 3과 그림 8, 그림 9이다. 실험에 사

용된 재생골재의 기초물성은 시방기준을 모두 만족하였다. 이러한 재생골재를 린콘크리트의 굵은 골재만으로 사용하였고 보조기층재료는 각각의 재생골재를 적정혼합하여 시방입도에 만족하는 보조기층 재료로 만들어 사용하였다.

무기이물질 정량화 실험에서는 재생 굵은골재 최대 치수는 32mm, 물-시멘트 비는 100%를 사용하였다. 재생골재의 물성을 이용하여 ACI에서 제시하는 방법으로 배합설계를 진행하였고 무기이물질량은 실제 재생골재에 포함되어있는 무기이물질을 선별하여 질량비 0%, 10%, 25%로 첨가하였다. 재생 린콘크리트 압축강도 시험을 실시한 결과는 그림 10과 같다. 무기이물질 함유량이 10%일 때까지는 린콘크리트 기층의 시방기준인 7일 강도 50kg/cm²(건설교통부, 2003)을 만족하지만 25%일 때에는 강도기준을 만족하지 못함을 알 수 있다. 린콘크리트 적용시 강도 측면에서는 무기이물질 함유량이 질량비 10% 이내에서 적용 가능하다고 판단된다. 무기이물질 함량에 따른 강도저하의 추세는 확연히 보여주고 있으므로 향후 실내의 연구를 통해 보다 많은 데이터로 신뢰성 높은 수치를 찾아 내는 실험이 진행되어야 하겠다.

유기이물질 정량화 실험에서는 재생골재내에 포함되어있는 눈에 보이는 유기 이물질을 모두 제거하고

표 3. 적용 재생골재 물성결과와 시방기준

실험항목	단 위	시 방 기 준		실 험 결 과		실 험 방 법
		콘크리트용 재생골재	보조기층	린기층 (굵은골재)	보조기층	
이물질함유량	%	-	-	-	0.12	KS F 2576
모래당량	%	-	25이상	-	87	KS F 2340
마모감량	%	40이하	50이하	-	37.9	KS F 2508
최대진조밀도	g/cm ³	-	-	-	1.856	KS F 2312
최적함수비	%	-	-	-	13.0	KS F 2312
수정CBR	-	-	30이상	-	38	KS F 2320
소성지수	-	-	6이하	-	N.P.	KS F 2303
비중	-	2.2이상	-	2.38	2.28	KS F 2503
흡수율	%	37이하	-	4.3	5.63	KS F 2504
입자모양 판정 실적율	%	55이상	-	62.5	-	KS F 2505



그림 8. 재생 굵은골재 입도 (린콘크리트 기층)

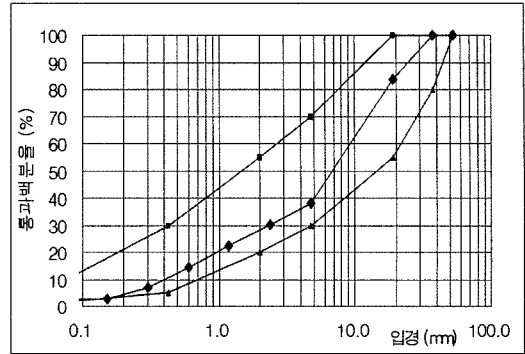


그림 9. 보조기층용 재생골재 입도

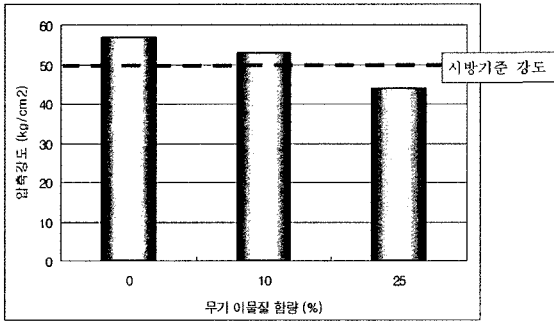


그림 10. 유기이물질 함량에 따른 7일 압축강도 비교

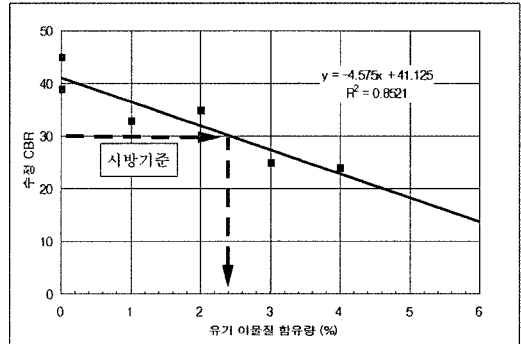


그림 11. 유기이물질 함량과 수정 CBR 비교

부피비 0~6%까지 다양한 양의 유기이물질을 첨가하여 건조로에 $16 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 24시간 가열한 후 수정 CBR 실험을 실시하였다. 그림 11은 유기이물질 함량에 따른 보조기층용 재생골재의 수정 CBR 값이다. 이를 회기분석한 결과 보조기층의 시방기준인 CBR 30(건설교통부, 2003)일 때 유기이물질 함량은 2.4%이다. 재생골재를 보조기층으로 활용할 경우 재생골재내의 유기이물질 함유량이 2.4% 이상이 되면, 장기적인 유기이물질의 부식에 의한 시방기준 이하의 지지력 저하가 발생한다는 결론이다. 그러나 재생골재를 도로의 보조기층으로 사용할 경우 안전율을 고려하여 유기이물질의 함량을 부피비 2% 이하로 조정하는 것이 합리적이라 판단된다. 보조기층의 지지력을 평가하는 방법에는 시방규정에 제시된 수정 CBR을 사용하였지만 수정 CBR 실험 자체의

오차와 실험값의 불균일성의 문제점이 있다.

5. 결론

다양한 생산신기술 개발로 양질의 재생골재를 생산하고 있음에도 불구하고 재생골재의 이해부족과 선입견으로 실제 현장적용은 미비한 실정이다. 본 연구는 눈에 보이는 이물질이 사용자로 하여금 재생골재 사용을 꺼리게 하는 이유라 판단되어 이러한 이물질의 적용에 따른 공학적 거동을 이해하고 도로에 미치는 영향에 대해 정량화 방안을 제시하였다.

1) 국내 도로포장재료에서는 이물질에 대한 명확한 정의가 없으며, 기준 또한 정량화되지 않아 적용에 어려움이 있다. 본 연구에서는 이물질을 유기



이물질과 무기이물질로 분류하고 이물질이 포함된 재생골재를 도로포장에 적용하기 위해 간단한 실내실험을 제안하였으며 이물질에 대한 기준을 제안할 수 있었다. 린콘크리트 기층에 무기이물질 적용성 실험결과 허용강도 기준인 50kg/cm²을 만족하는 무기이물질 함유량은 질량비 10% 이내임을 알 수 있었다.

2) 유기이물질의 대체재료는 충분한 강도와 내화성, 공극 등의 모든 조건을 만족하는 성토용 스티로폼을 사용하였고, 실험결과 재생골재내의 유기이물질 함유량이 부피비 2.4% 이상이 되면 장기적인 유기이물질의 부식에 의한 침하로 인해 지지력 저하가 발생하는 것으로 판단된다. 따라서 재생골재를 포장의 보조기층에 적용시 안전율을 고려하여 유기이물질의 함유량을 부피비 2% 이하로 제안하였다.

향후 연구과제로는 무기 이물질의 추가실험결과와 유기이물질 정량화에 사용된 수정 CBR을 대신하는 보다 정밀하고 공학적인 실험방법과 현장 시험시공을 통해 실험값의 검증연구가 필요할 것이다. 또한 본 연구는 이물질 함유량에 따른 강도기준을 근거로 제시된 기초연구이므로 내구성 및 경제성을 고려한 향후 연구가 뒤따라야만 될 것이다.

참고문헌

1. 환경부(2002), "건설폐기물 발생과 처리현황"
2. 윤종수 · 김영진(1998), "지반공학분야에서의 폐기물 재활용 기술", 대한토목학회지, Vol.46 No.8, pp.34~39

3. 김문섭 외(1997), "재생골재 콘크리트의 역학적 특성", 대한건축학회논문집, 13권 9호
4. 송하원 외(2000), "폐콘크리트로부터 재생된 골재의 합리적 평가에 관한 연구", 콘크리트학회논문집, 제 12권 5호
5. 환경부(2004), "하수처리장 진입로 공사용 재료로서 재생골재 사용에 따른 안전성검증연구"
6. 건설교통부(2003), "도로공사 표준시방서", 건설정보사
7. 한국산업규격(2000), KS F 2320 "노상토 지지력비(CBR) 시험방법"
8. 박태순 · 김무일(1997), "재생 콘크리트 골재기층 및 보조기층의 성능 및 특성", 대한토목학회 논문집 제 17권 제 Ⅲ-4호, pp. 349~361
9. 조운호 외(2002), "도로포장의 린 콘크리트에 재생골재 적용 연구", 대한토목학회 논문집 : Vol.22 No.6-D, pp. 1183~1191
10. 한국도로학회(2004), "재생골재의 린 기층 활용을 위한 시방규정"
11. Han, Chunhua(1993), "Waste Products in Highway Construction", Minnesota Local Road Research Board Office of Research Administration, MN/RC-93/16
12. Ravindrarajah, R.S, Tam, T.C(1985), "Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate", Magazine of Concrete Research, NO.130
13. Abdol R. Chini et al.(1999), "Performance Test of Recycled Concrete Aggregate in a Circular Accelerated Test Track", TRB 78th Annual Meeting, Washington, D.C

〈접수 : 2004. 10. 18〉