



# 순환골재를 사용한 아스팔트 혼합물의 기층재료 사용가능성에 관한 연구

## Application of recycled aggregates for asphalt concrete base

최영락\*                      김인태\*\*                      임남웅\*\*\*                      조윤호\*\*\*\*  
 Choi, Nyoung Lag              Kim, In Tai                      Lim, Nam Yoong              Cho, Yoon-Ho

### 1. 서론

국내·외의 도로 건설 산업에 건설폐기물의 재활용 용도는 성토·복토인 하부구조용으로 제한되어 있으며, 고부가가치의 용도는 전체 사용량의 2007년 기준으로 22% 정도에 미치고 있다(한국건설자원협회-2008년 한·일·불 건설폐기물국제세미나). 도로의 구조물인 기층재료와 같은 고부가가치의 순환골재의 재활용이 실현된다면 국가자원을 절약할 수 있음과 동시에 건설 산업의 경쟁력을 강화시킬 수 있을 것이다. 또한, 국내에서는 <폐콘크리트를 재활용한 콘크리트 도로포장> 과 <폐아스콘을 재활용한 아스팔트 콘크리트 도로포장> 에 관한 시방기준이 규정되어 있고, 연구도 활성화 되어 있으나, <폐콘크리트를 이용한 아스팔트 콘크리트 도로포장> 에 관한 시방규정은 적립되어 있지 않은 상황이고, 또한 연구 또한 활발하지 못한 실정이다. 하지만 건설폐기물의 대부분을 차지하는 자원은 폐콘크리트이다. 시공성 및 평탄성, 내구성 등의 문제 등으로 오히려 부정적인 측면이 부각되고 있는 상황에서 폐콘크리트를 사용한 아스팔트 콘크리트 혼합물의 포장재료 개발이 절실한 상황이다. 이에 본 연구는 폐콘크리트를 재활용한 순환골재를 아스팔트 포장 기층 적용 타당성을 검증하고자 한다.

### 2. 순환골재에 대한 연구 고찰

경성대의 이관호 교수팀(2002)은 순환골재를 아스팔트 표층포장용 골재로서의 활용을 위한 안정성시험, 간접인장강도시험, 크리프(Creep) 시험을 실시하였는데 천연골재, 혼합골재, 순환골재의 시험 값이 거의 비슷하였다. 하지만 폐콘크리트 골재만을 사용하기보다는 천연골재와 적절히 혼합하여 이용한다면 포장의 성능에 긍정적인 효과를 기대할 수 있을 것으로 보고하였다.

경성대의 이관호 교수팀(2002)은 또한 폐콘크리트 분진을 첨가한 아스팔트의 특성을 평가하였는데 폐콘크리트 분진을 첨가한 아스팔트의 침입도 감소효과가 크게 나타났다. 감온성을 평가한 결과, 개질재의 사용량과 종류에 따라 그 효과가 비교적 평이하게 나타났다. 또한 동적전단유동시험의 경우 250oC에서 아스팔트에 폐콘크리트 분진 10%를 첨가한 아스팔트의 복소전단계수의 증가효과가 가장 크게 나타났다.

중앙대 임남웅 교수팀(2004)은 순환골재에 포함된 이물질에 대한 명확한 정의가 없으며 기준 또한 정량화되지 않아

\* 준회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : olagi82@nate.com - 발표자  
 \*\* 정회원 · 명지대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 · E-mail : kit1998@mju.ac.kr  
 \*\*\* 비회원 · 중앙대학교 건설대학원 건설환경학과 교수 · 공학박사 · E-mail : environ@cau.ac.kr  
 \*\*\*\* 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 교수 · 공학박사 · E-mail : yhcho@cau.ac.kr



도로 포장 적용에 어려움을 느끼고 순환골재 내에 포함된 이물질의 특성에 따라 무기이물질과 유기이물질로 구분하여 도로 보조기층에 적용 가능한 이물질 함량 기준을 제시하였다.

동의공업대학 조재윤 교수 등은 폐콘크리트 순환골재를 이용한 아스팔트 혼합물의 특성평가를 연구하면서 간접인장 시험, 크리프(Creep), 시험회복 탄성계수(MR) 시험을 하였는데 혼합골재와 천연골재는 비슷한 값을 보였다. 또한 온도영역을 살펴보면, 온도변화에 따른 회복탄성계수값의 변화 기울기가 폐콘크리트 아스팔트 혼합물의 경우 다른 아스팔트 혼합물에 비하여 완만하므로 감온성면에서는 우수하다고 발표하였다.

\*일본의 재활용 연구는 1974년에 (재)건축업협회에 의한 것이 최초이고 우리나라와 같이 자원이 부족하기 때문에 재활용에 대한 관심이 매우 높다. 일본에서 순환골재와 관련하여 제시된 최초의 기준은 일본콘크리트공학협회에서 1977년에 제안한 재생골재 및 콘크리트의 사용기준(안)이 있다. 이후 지속된 연구를 통하여 수정 보완된 기준(안)들이 제안되었으며, 2000년에는 JIS규격의 제정 전단계인 TR정보가 제시되기에 이르렀다.

\*\*독일에서는 일찍부터 건설폐기물에 대한 재활용 촉진 대책을 시행하였다. 1951년에는 폐벽돌 재활용기준을 고시하여 폐벽돌을 콘크리트 골재로 재활용하도록 하였다. 독일의 Schilz는 1998년 독일의 폐콘크리트 재활용에 관한 논문에서 순환 골재를 사용한 콘크리트의 강도상의 문제점을 지적하고 순환 잔골재의 사용은 제한할 필요가 있다는 점을 발표하였다.

\*\*\*프랑스는 1976년 파리 근교의 도로 보조기층과 동상방지층에 순환골재가 사용된 이후 현재 파리 지역에서는 일상적으로 사용되고 있다. Marlet와 Pomienta(1994)가 순환 콘크리트의 역학적 특성과 물리·화학적 특성에 대해 연구하였는데 그들은 특히 순환 콘크리트는 건조 수축이 크며, 물의 이동과 탄산화의 비율이 높다고 지적하였다.

국내·외 연구 동향을 살펴보면 폐콘크리트 순환골재를 이용하여 순환 콘크리트에 적용하는 연구와 포장 입상재료 적용 타당성 연구를 수행하였고 국내에서 가장 활발한 연구는 페아스콘을 이용하여 순환아스콘의 활용에 관한 것이었다. 하지만 본 연구에서와 같이 폐콘크리트의 순환골재를 이용하여 순환 아스팔트에 적용하기 위한 기준 연구는 미비한 실정이다. 또한, 순환골재의 생산 기술문제로 인한 품질 기준의 강화와 사회적 인식 문제는 국가와 기업, 그리고 연구기관에서 해결해야 할 과제일 것이다.

### 3. 순환골재를 사용한 기층재료 개발 실험 재료

#### 3.1 골재 및 배합입도

본 연구에서는 사용 골재의 물성 특성 중 흡수율에 중점을 두어 아스팔트 포장용 25mm 쇄석 골재와 부착불순물(모르타르)이 적은 경기도 I사의 도로공사용 40mm 폐콘크리트 파쇄골재, 부착불순물이 많아 흡수율이 다소 높을 것으로 예상되는 충남 D사의 도로공사용 40mm 폐콘크리트 파쇄골재를 선택하였다. I사의 골재는 순환골재, D사의 골재는 재생골재라 한다.

AP는 종래 AP-3(80-100)이 국내 시장의 주종을 이루고 있었던데 비해, 최근에는 혹서기 도로 파손 피해(영구소성변형)를 예방하기 위하여 고온에서의 포장성능이 상대적으로 우수하다고 평가되는 AP-5(PG 60-80)의 수요가 점증되고 있다. 따라서 본 연구에서는 기층(BB-3)에도 적용되고 있는 AP-5(PG 64-22) 바인터를 사용하여 시험을 실시하였다. 국내 도로공사 시방서 기준 입도(BB-3)를 기본적인 기준으로 선정하였다. 목표로 하는 골재의 입도를 얻기 위해서

\* 심재필, 순환골재를 사용한 아스팔트 기층재료 개발, 중앙대학교 석사학위논문, 2006, p8~10  
\*\* 전개서, p8~10  
\*\*\* 전개서, p8~10



일반적으로 사용되는 방법은 3내지 4종류의 입도가 다른 골재를 합성하는 것이다. 허나 실내 실험 시 명확한 기준을 만들기 위하여 본 연구에서는 골재를 단입도 별로 구분하여 입도에 알맞은 양을 계량하여 합성하였고, 정확한 비교를 위하여 천연골재와 순환골재는 같은 입도를 사용하였다. 다음 <그림 1>은 골재의 모습이다.



<그림 1> 사용 골재 (천연골재, 1사 순환골재, 2사 재생골재)

### 3.2 골재 평가 / 배합설계 및 마찰안정도

<표 1>은 골재 평가에 대한 항목과 국내 실험 규정이다. 기층에 천연골재를 대신하여 국내에서 생산되고 있는 순환골재를 이용한 아스팔트 기층을 개발재료 사용의 타당성 검증의 방법으로 구조적 평가와 공용성 평가를 실시하기 위하여 배합설계를 하고 이를 바탕으로 혼합물을 제작하였다. 앞서 언급한 아스팔트 바인더(AP-5)와 최대입경 25mm 천연 세석골재와 순환골재, 재생골재를 사용했으며, 동일한 바인더를 사용하여 국내 지방기준에 대한 차이점을 비교 분석하기 위하여 혼합물에 대한 물성 및 공용성을 평가하였다. 배합입도는 결과 값의 타당성을 위해 골재 물성 평가 시 이용한 동일한 입도곡선을 이용하여 합성하였고, 혼합물의 명칭은 다음과 같이 천연, 순환, 재생으로 명명한다.

기층의 공극률 규정인 4~6%를 만족하기 위하여 목표공극률을 5%로 하여 마찰배합설계를 수행하였다. 천연골재는 OAC 함량이 낮을 것으로 예상하여 4.5~6.5±0.5%로 배합하였고, 순환골재와 재생골재는 OAC 함량이 높을 것으로 예상하여 천연골재보다 0.5% 높게 시작하여 5.0~7.0±0.5%로 배합하고 각 배합마다 3개씩을 배합하여 평균값을 취하였고, 배합비의 중앙값의 배합으로 이론최대밀도 시험을 하였다.

<표 1> 골재 평가 항목 및 시험 규정

평가 항목	규정
비중 및 흡수율	KS F 2503 굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법 KS F 2504 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법
이물질 함유량	KS F 2576 순환골재의 이물질 함유량 시험 방법
편장석 함유량	KS F 2575 굵은골재 중 편장석 함유량 시험 방법
마모감량	KS F 2508 로스엔젤레스 시험기에 의한 굵은골재 마모 시험 방법

### 3.3 순환골재 사용 아스팔트 혼합물 구조 성능 I - Indirect Tension Test(KS F 2382)

혼합물의 균열저항에 대한 타당성을 검증하기 위해서 <KS F 2382 역칭 혼합물의 간접 인장 강도 시험>의 규정에 따라 시험을 진행하였다. 본 연구의 실내 구조적 평가를 위한 공시체 제작에 사용되는 모든 아스팔트 혼합물은 기계식 비빔으로 혼합하였다. 구조 성능 평가에 사용될 시편은 선회다짐기(SGC : Superpave Gyratory Compactor)를 사용하여 제작하였다. <KS F 2377 선회다짐기를 이용한 아스팔트 혼합물의 다짐 방법 및 밀도 시험 방법> 을 따라 시험

하였고, 다짐에는 Superpave(Asphalt Institute 1995)에서 제안한 방식으로 다짐각은 1.25°, 압축응력은 600±18 kPa, 다짐속도는 분당 30회를 적용하였다. 시편 제작 후 시편 단면 비교 결과 <그림 2>에서 볼 수 있듯이 천연골재와 재생골재의 경우 골재가 모난 부분이 많이 있었으나 순환골재의 경우 골재 모난 부분이 적음을 알 수 있었다.



<그림 2> 시편 단면 모습

### 3.4 순환골재 사용 아스팔트 혼합물 구조 성능 II - Kim Test(변형강도)

아스팔트 혼합물을 평가하는 방법 중 가장 널리 알려진 시험법은 마찰시험법이다. 하지만 공시체의 제작 후 강도 시험 시 포장의 진행방향의 직각방향으로 시편을 시험하기 때문에 부적절하다는 평가를 받고 있다. 이에 강원대 김광우 교수팀이 개발한 “KIM Test” 라고 명명한 변형강도 시험을 채택하여 기층재료의 공용성을 평가하는 방법으로 사용하였다. 시험에 사용하는 지그는 <그림 3>과 같이 시편 제작 방향과 시험방향이 일치하게 시험할 수 있는 형상으로 제작되어져 있고, 시험 방법 또한 마찰시험법과 유사하다. 시험에 사용하는 시편의 크기와 시편을 준비하는 과정 또한 마찰시험법과 같다. 사용한 시편의 배합은 간접인장시험의 시편과 동일한 시편으로 수행하였다. 시험의 개요는 <표 2>과 같다.



<그림 3> KIM Test 시험 모습

<표 2> KIM Test 시험조건

시편직경	100mm	$S_D = \frac{4P}{\pi(D - 2(r - \sqrt{2ry - y^2}))^2}$ <p> <i>S<sub>D</sub></i>: 변형강도 (MPa)  <i>P</i>: 최대하중 (N)  <i>D</i>: 하중봉의 직경 (mm)  <i>r</i>: 하중봉의 원형절삭반경 (mm)  <i>y</i>: 변형치 (mm)                 </p>
시편높이	45mm 이상	
시험온도	60℃에서 30분	
시험속도	30mm/min	



### 3.5 순환골재 사용 아스팔트 혼합물 공용성 평가 I - Wheel Tracking Test

아스팔트 콘크리트 포장 후 더운 여름 도로 위로 자동차가 이동할 때 영구소성변형이 주로 발생하게 된다. 이러한 현상을 바탕으로 역청 가열 혼합물의 공시체에 반복 차륜 하중을 가하여 영구소성변형에 대한 저항성을 비교적 짧은 시간에 평가하기 위하여 사용되고 있는 Wheel Tracking Test - <KS F 역청 혼합물의 Wheel Tracking 시험 방법>을 이용하여 평가하였다. <표 3>은 Wheel Tracking 시험조건이고, <그림 4>은 Wheel Tracking 시험 모습이다.

<표 3> Wheel Tracking 시험조건

시험조건 (KS F 2374 역청 포장 혼합물의 휠 트래킹 시험 방법)		
공시체 크기	30×30×5 cm <sup>3</sup>	변형속도 (RD, mm/min) = $\frac{d_{60} - d_{45}}{15}$
공시체 최대 다짐하중	8820N =900kgf	$d_{45}$ : 45분의 변형량 $d_{60}$ : 60분의 변형량
시험하중	686±10N =70±1kgf	
접지압	628±15 kPa	동적안정도(DS, 회/mm) = $42 \times \frac{t_2 - t_1}{d_2 - d_1} \times C$
시험온도 (표면)	60℃(5시간 진부터 가열)	DS: 동적안정도(회/mm) $d_1$ : $t_1$ (일반적으로 45분)에서의 변형량(mm) $d_2$ : $t_2$ (일반적으로 60분)에서의 변형량(mm)
시험속도	42±1 회/분	C: 크랭크에 의한 변속구동형 시험기 사용보정계수 = 크랭크방식 외의 경우비교시험을 통해보정계수
시험차륜 주행거리	230±10 mm	



<그림 4> Wheel Tracking 시험사진

## 4. 실험결과 및 고찰

새로운 혼합물을 개발함에 있어 최종 목표는 실제 현장에 새로운 혼합물을 시공하였을 때 만족할 만한 공용성을 가지는 혼합물을 개발하는데 있다. 아스팔트 혼합물의 공용성을 평가하는데 있어 가장 기본적인 접근법으로는 실내시험을 통하여 다양한 종류의 혼합물에 대한 피로손상과 소성변형 등에 대한 저항성 등을 비교 평가하고 현장시험시공을 통하여 실내 시험의 결과를 검증하는 것이 가장 일반적이다. 현장 시험시공은 새로운 혼합물의 공용성을 평가하는데 있어 필수적인 과정이라 할 수 있다. 그러나 현장 시험시공의 경우 외부 환경조건이나 교통조건의 제약으로 시험시공을 실시하기가 어려우며, 공용성을 확인하기 위해서는 적어도 4년 내지 5년의 장기적인 시간이 필요한 단점이 있다. 반면, 실내시험을 통한 공용성 평가는 단기간에 가능하며, 시험조건을 동일하게 할 수 있는 장점이 있지만 실제 현장의 교통 및 기후조건을 실내에서 완벽하게 모사할 수 없다는 문제점이 있다. 본 연구에서는 현장시험시공 전 실내시험을 통해 개발한 혼합물의 구조적 평가와 공용성 평가를 하고자 하였다.

### 4.1 골재평가

국내의 도로포장용 골재의 기준은 밀도는 2.5 g/cm<sup>3</sup> 이상 흡수율은 3% 이하 이다. 골재합성 시 밀도는 시방기준인 2.5 g/cm<sup>3</sup> 이상의 값을 만족시키나 순환골재의 특성상 흡수율 기준인 3%이하는 만족시킬 수 없는 실정이다. 순환골재의 경우 골재 주위에 부착되어 있는 시멘트 페이스트의 영향으로 낮은 밀도와 높은 흡수율을 보이고 있다. 흡수율은 비용부분에 큰 영향을 미치므로 적정치를 유지해야 한다.

<그림 5>은 천연과 순환, 재생의 합성입도 시 비중과 흡수율 실험 결과이다. 실험 입도별로 합성 후의 밀도와 흡수율로써 아스팔트 혼합물에 사용되는 골재의 입도와 같은 입도의 골재 물성치이다. <그림 6>, <그림 7>은 골재를 입도



별로 분류 했을 시의 밀도와 흡수율을 비교한 것이다. 밀도는 천연의 경우 거의 입자가 작아질수록 밀도가 작아지는 경향을 보이거나 거의 일정한 값을 나타내었다. 순환과 재생의 경우 순환골재의 특성상 콘크리트가 파쇄 되어 잔골재에 함유되기 때문에 입자가 작아질수록 밀도가 현저히 낮아지는 것을 볼 수 있다. 재생의 경우 전체적으로 낮은 밀도 값을 보였다. 흡수율의 또한 밀도와 매우 흡사한 결과를 보였다. 천연은 전체적으로 낮은 흡수율을 보였고, 순환의 경우 콘크리트가 파쇄 되어 작은 입자 내에 함유되기 때문에 입자가 작아질수록 흡수율이 높아짐을 알 수 있었다. <그림 7>에서 볼 수 있듯이 순환은 일정한 변화 추이를 보였으나, 재생의 경우 흡수율 또한 어떠한 경향을 찾을 수 없었고, 매우 높은 흡수율을 나타내었다.

순환과 재생 모두 유기이물질(목재, 천 조각, 플라스틱 등) 함유량 규정인 1% 이하의 결과치를 나타냈고, 무기이물질(적벽돌, 자기류, 타일류 등) 함유량 규정인 5%이하도 만족하는 골재인 것으로 나타났다.

편장석 함유량시험은 천연과 순환, 재생의 실측치와 국외 3종(한국기술교육대학교 김남호 교수팀의 실측치)을 상대 비교를 한 결과, 천연은 19.91%, 순환은 16.78%, 재생은 17.52%, 미국의 골재가 14.62%, 독일과 일본의 골재는 각각 5.61%, 4.91%의 편장석률을 갖는 것으로 나타났다. 이 값들은 국내의 기준으로 볼 경우 아스팔트 혼합물에서 20% 이내로 규정하고 있는 편장석함유량을 모두 만족하고 있다. 하지만 외국의 기준보다 많이 미흡한 것으로 판단되며 대조적이다.

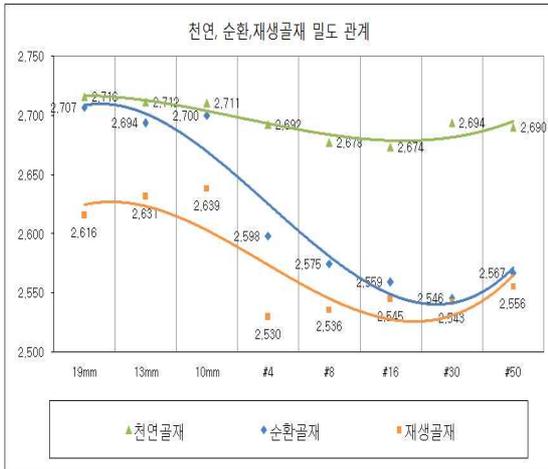
마모감량의 시험 결과, 시방 기준인 40%이하와 비교할 때, 천연은 21.88%, 순환은 18.8%, 재생은 36.8% 로 모두 시방기준을 통과하였다.

<표 4> 순환 골재와 재생 골재 물성 비교

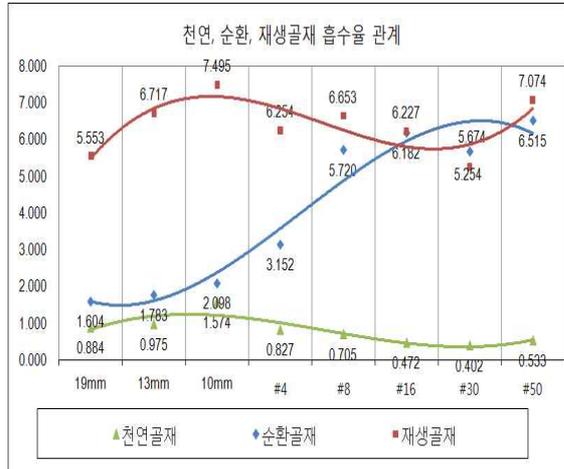
골재특성	순환 굵은 골재	재생 굵은 골재	순환 잔 골재	재생 잔 골재
겉보기밀도(Bulk S.G.)	2,523 g/cm <sup>3</sup>	2,306 g/cm <sup>3</sup>	2,366 g/cm <sup>3</sup>	2,294 g/cm <sup>3</sup>
유효밀도(Effective S.G.)	2,474 g/cm <sup>3</sup>	2,158 g/cm <sup>3</sup>	2,238 g/cm <sup>3</sup>	2,140 g/cm <sup>3</sup>
진밀도(Apparent S.G.)	2,602 g/cm <sup>3</sup>	2,533 g/cm <sup>3</sup>	2,569 g/cm <sup>3</sup>	2,529 g/cm <sup>3</sup>
흡수율	1,977 %	6,847 %	5,743 %	7,164 %
#200 통과율	0.2 %	2.5 %	0.7 %	1.3 %
편장석 함유량	16.78 %	17.52 %	-	-
마모감량	18.8 %	36.8 %	-	-
유기이물질함유량	0.02 %	0.44 %	0.08 %	0.03 %
무기이물질함유량	0.09 %	0.78 %	0.59 %	0.43 %
안정성	-	-	9.5 %	6.5 %
점토덩어리	-	-	0.3 %	0.63 %



<그림 5> 합성입도 시 천연, 순환, 재생 골재의 밀도 및 흡수율 시험 결과



〈그림 6〉 천연, 순환, 재생의 단입도 별 밀도비교

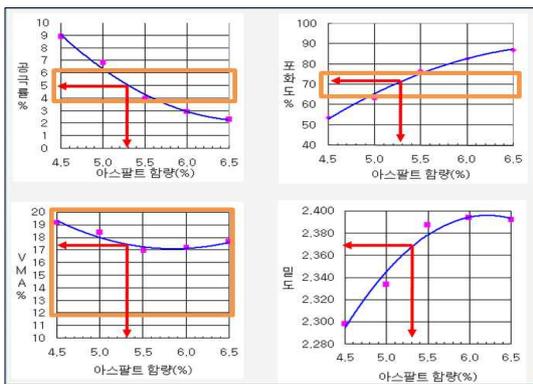


〈그림 7〉 천연, 순환, 재생의 단입도 별 흡수율 비교

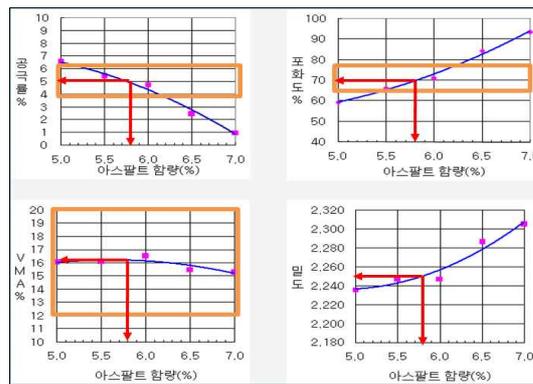
### 4.2 배합 설계 및 마찰안정도

아스팔트 혼합물의 이론 최대 밀도(KS F 2366, ASTM D 2041)는 실측을 통해 결정한다. 천연은 4.5%~6.5%까지 순환과 재생은 5.0%~7.0%까지 아스팔트 함량을 변화시키면서 제조된 혼합물에 대하여 천연에서는 바인더 함량 5.32%에서 공극률 5%를 나타냈고, 순환은 5.80%에서, 재생은 6.93%에서 각각 공극률 5%를 나타내었다. 시료군의 아스팔트 함량과 공극률, 포화도, VMA, 밀도의 관계를 나타내면 다음 〈그림 8~10〉과 같다. 〈표 5〉은 도로포장 시방기준과 각 시료군의 특성치를 비교한 것이다. OAC에서의 각 시료군의 특성치를 시방기준과 비교 했을 때, 안정도는 천연, 순환, 재생 순으로 1295kg, 1189kg, 1849kg으로 모두 만족하였고, VMA 또한 천연, 순환, 재생 순으로 17.5%, 16.4%, 14.2%로 기준치인 12%이상을 만족하였다.

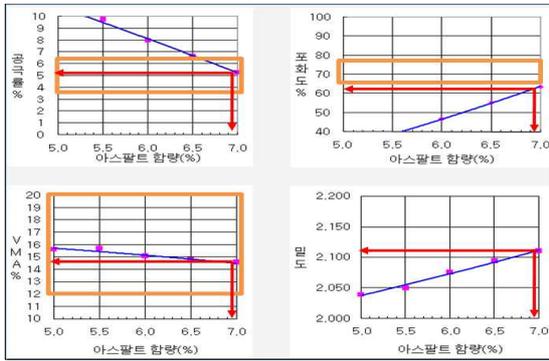
흐름값은 천연, 순환, 재생 순으로 37, 32, 70 으로 천연과 순환은 만족하였으나 재생은 크게 벗어난 결과를 나타내었다. 포화도의 경우도 천연, 순환, 재생 순으로 71.5%, 69.1%, 63.9%로 재생만이 통과하지 못하였다. 배합설계 시 시방기준치 중 한 가지라도 만족하지 못하면 골재의 입도를 바꾸어 다시 배합 설계해야하나, 골재의 입도를 변화시키게 되면, 상대적인 비교 평가를 할 수 없기 때문에, 재생의 골재 입도를 변화시키지 않고, 나머지 실험을 진행하였다.



〈그림 8〉 천연골재의 배합설계 그래프



〈그림 9〉 순환골재의 배합설계 그래프



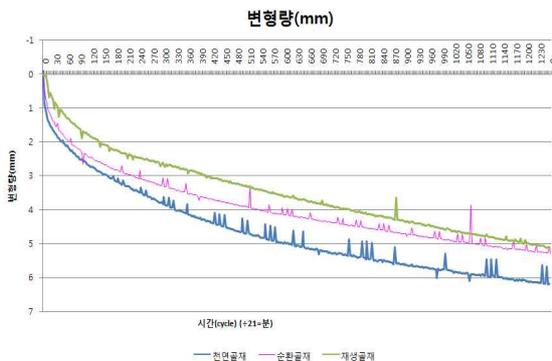
〈그림 10〉 재생골재의 배합설계 그래프

〈표 5〉 도로포장 시방기준과 시료군 특성치 비교

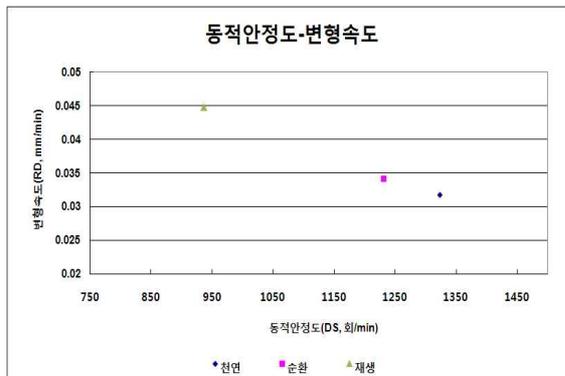
구분	기준	천연	순환	재생
OAC(%)		5.32	5.80	6.93
공극률(%)	4~6	5.00	5.00	5.00
안정도(kg)	500	1295	1189	1849
흐름값	10~40	37	32	70
포화도(%)	65~75	71.5	69.1	63.9
VMA(%)	12	17.5	16.4	14.2
밀도(g/cm³)		2,367	2,247	2,118

### 4.3 순환골재 사용 아스팔트 혼합물 공용성 평가 - Wheel Tracking Test

시간에 따른 변형량을 비교한 결과 〈그림 11〉와 같이 천연이 순환보다 약 17% 높게 나타났고 순환이 재생보다 약 3% 높게 나타나 변형량은 천연이 순환, 재생 보다 큰 것으로 천연보다 순환과 재생이 우수한 것으로 측정되었다. 동적안정도는 〈그림 12〉에서 볼 수 있듯이 천연이 순환보다 약 7% 높고, 순환이 재생보다 약 31% 높아 천연 > 순환 > 재생 순으로 천연이 순환과 재생보다 우수한 것으로 나타났다. 변형속도는 재생이 순환보다 약 31% 빠르고, 순환이 천연보다 약 7% 빠른 것으로 재생 > 순환 > 천연 순으로 측정되었다. 〈그림 12〉의 동적안정도에서 볼 수 있듯이 변형 속도와 동적안정도는 순환이 천연보다 낮은 평가를 받으나 〈그림 11〉의 총 변형량 시험의 결과에서는 천연골재보다 순환골재가 순환골재보다는 재생골재가 적은 변형량을 보였다. 따라서 변형속도와 동적안정도에서 순환과 재생이 천연보다 낮은 평가를 받았으나 총변형량에서는 순환과 재생이 천연보다 일등히 좋은 성능을 보이고 있다. 따라서 여름철 고온에서의 교통하중에 의한 영구소성변형에 대한 저항성부분에서는 사용이 충분한 재료라고 판단된다.



〈그림 11〉 시간 - 변형량 그래프



〈그림 12〉 동적안정도 - 변형속도 그래프

## 6. 결론 및 향후 연구과제

순환골재를 기존에 사용되는 매립용 골재정도가 아닌 도로 포장용과 같은 고부가가치의 재료로 사용하게 되면, 첫째, 도로포장비용이 저감되고, 둘째, 건설폐기물을 재활용하여 재료로 사용하기 때문에 폐기물 처리비용이 저감되고, 셋째, 건설폐기물을 단순하게 처리하던 폐기물 처리장을 개발해야 하는 부분의 비용이 저감되고, 넷째로, 천연재



료의 사용의 수요가 줄어서 국토환경보전과 생활환경개선이라는 비용으로 따질 수 없는 많은 이점들이 있다. 건설폐기물이라는 고정관념과 공학적으로 불안정한 재료라는 인식을 때문에 사용을 꺼려왔던 순환골재를 천연골재와 비교한 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 골재평가 결과, 건설폐기물을 재활용한 골재의 특성상 흡수율을 제외한 밀도, 이물질 함유량, 편장석 함유량, 마모감량 등은 도로 포장용 천연골재의 시방기준에 만족하였다.
- 배합설계결과, 천연은 5.32%, 순환은 5.80%, 재생은 6.93%로 OAC가 결정되었다.
- Wheel Tracking Test 결과, 시간에 따른 변형량은 천연 > 순환 > 재생 순으로 나타났고, 동적안정도는 천연 > 순환 > 재생 순으로 측정되었다. 변형속도는 재생 > 순환 > 천연 순으로 나타났다.
- Wheel Tracking Test 결과, 변형 속도와 동적안정도는 순환골재가 천연골재보다 낮은 평가를 받으나 총 변형량 시험에서는 천연골재보다 순환골재가 순환골재보다는 재생골재가 적은 변형량을 보였다.
- Wheel Tracking Test 결과, 고온에서의 교통하중에 의한 영구소성변형에 대한 저항성부분에서 시간-변형량과 동적안정도-변형속도를 비교해보면 순환과 재생이 천연보다 더 좋은 성능을 보인다.

현재 본연구의 한부분인 구조적 평가의 일환인 간접인장강도와 변형강도에 관한 실험과 경제성 평가가 진행 중이고, 진행 후 보고될 예정이다. 또한 본 연구에서 다루지 못한 천연 잔 골재와 순환 굵은 골재를 혼합한 흡수율이 다소 낮은 혼합물의 역학적 평가에 관한 연구가 연구 준비 단계에 있다.

또한 본 연구에서는 순환골재는 기층재료에만 국한시켰으나 표층재료로서의 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(05건설핵심D07)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

1. 이관호 외, 폐콘크리트 순환골재를 이용한 아스팔트 표층용 혼합물의 특성 평가, 2002
2. 임남웅, 순환골재에 포함되어있는 유기이물질 정량화 연구, 2004
3. 임남웅 외, 순환골재 품질기준 제정 및 인증제도 시행방안 연구, 건설교통부, 2006
4. 2003 전국폐기물 발생 및 처리 현황, 환경부, 국립환경연구원, 2004
5. 박정호, 건설폐기물 발생현황(한·일·불 건설폐기물국제세미나, 한국건설자원협회 기획홍보팀장, 2008.03)
6. 심재필, 순환골재를 사용한 아스팔트 기층재료 개발, 중앙대학교 석사학위논문, 2006
7. NAPA(Second Edition 1996), Hot Mix Asphaalt Material, Mixture Design, And Construction
8. Asphalt Institute(1989 Edition), The Asphalt Handbook, Manual Serial No.4(MS-4)
9. 한국도로포장공학회(1999), 아스팔트 포장공학 원론
10. 한국콘크리트학회, 콘크리트의 재활용, 2004
11. 환경부, 2006년 건설폐기물 재활용통계조사보고서
12. 건설교통부, 건설폐자재 재활용 도로 포장 지침, 2005
13. 건설교통부, 가열 아스팔트 혼합물 배합설계 지침, 2005
14. 건설교통부, 아스팔트 혼합물의 배합설계, 2006
15. 통계청, <http://www.nso.go.kr>, 2000, 2001
16. 조달청, <http://www.pps.go.kr>, 2006