

# 재생 아스팔트 포장의 공용성능 연구

## A Study on the Performance of Recycled Asphalt Pavement using Hot Recycling Plant

(Received June 20, 2011 / Revised June 29, 2011/ Accepted June 30, 2011)

김인수<sup>1)\*</sup>, 서영찬<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>한국도로공사 도로교통연구원, <sup>2)</sup>한양대학교 교통공학과

In-Soo Kim<sup>1)\*</sup> Young-Chan Suh<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>ExTRI, Korea Highway Corporation, <sup>2)</sup>Dept. of Transportation Engineering, Hanyang University

### Abstract

The recycled asphalt concrete has gotten increasing attention due to the environmental issues. The volume of reclaimed asphalt has increased significantly for last few years because of city remodeling, pavement maintenance, utility excavation, and road widening. Considering the value of reclaimed asphalt, it is rather used for the recycled asphalt concrete than it is used for fill and cover up material instead of soil. This research will be a supplements incomplete issues from existing research results and suggests the quality control guideline for recycled asphalt concrete and upcoming laws.

As the first step of research, the trial construction of RAP(Recycled Asphalt Pavement) performed in expressway construction sites. These trial construction sites have been checked every years. And another construction sites studied and selected for more deeper performance check of RAP. For this checks, we used automatic pavement survey equipment and computerized analysis tools. Also, DSR(Dynamic Shear Rheometer) was used for the fatigue life calculation of binder blends(RAP and virgin binder).

As a consequence of this research, the application of recycled asphalt provides good enough quality for highway construction. The preceeding literatures reviewed shows that the asphalt rejuvenator are used in many countries but that type of chemical agent are not used in Korea. By using the data of trial construction and mix design in Chongwon-Sangju construction lane, the surface and base courses consisted with the 10% and 30% rap mix asphalt section maintains good performance for up to 7 years. Through the performance check and laboratory tests(DSR), the quality control and mixture's low temperature prevention are the important factor and chemical agent necessary for increasing the fatigue life of RAP binder.

**키워드** : 재생아스팔트, 가열재생아스팔트, 재생아스콘

**Keywords** : Recycled Asphalt, Reclaimed Asphalt, Hot Plant Recycling, RAP

### 1. 연구의 목적

일반적으로 아스콘은 대기나 타이어가 접촉하는 표층을 제외하고 골재나 바인더의 변화가 상대적으로 많이 발생하지 않는 것으로 알려져 구미 각국에서는 활발히 재활용

되고 있으나, 국내에서는 성토재료 및 기타 매립용으로 사용되는 부분이 대부분이며 부가가치를 높일 수 있는 공법으로 재활용되는 비율은 매우 저조하다. 또한, 근래에 문제되고 있는 온실가스 증가 억제측면에서 본 연구의 폐아스콘의 재활용은 도로건설부문의 가장 현실적인 대안이 될 것으로 판단된다.

국내에서는 근래에 들어 자원재활용에 관한 법률이 만

\* Corresponding author  
E-mail: vyaay004@hanmail.net

들어지는 등 관련 입법활동이 활발하게 나타나고 있으나 이런 재생아스콘과 관련한 우호적인 주변환경과는 별도로 실제 현장에서 나타나는 문제점으로 인한 제약요소에 대한 연구는 그동안 활발하게 진행되지 않았으며 충분한 시간을 갖고 연구되지 않았다. 이런 이유로 품질측면에서 재생아스콘에 대한 정확한 평가 결과가 선행되어야 할 것으로 판단되며 이에 본 연구에서는 재생아스콘의 성능에 대한 기초연구를 수행하였다. 연구내용으로는 재생아스팔트의 현장적용(현장시공)과 아스팔트바인더의 경화로 일정시간 공용 후에 나타나는 균열을 자동조사 장비를 활용한 조사와 균열과 관련한 바인더의 피로실험을 실시하였다.

## 2. 예비적 고찰

재생아스콘의 재활용에 따르는 가장 큰 문제점은 아스팔트 바인더의 경년 변화로 인해 발생한 노화로 총칭되는 아스팔트의 성질변화와 아스콘을 파쇄 하는 과정에서 발생하는 골재의 파쇄가 주요한 문제로 볼 수 있다. 그러나, 신재료를 사용하여 도로 시스템을 유지관리하고 보수하는 도로관리기관의 입장에서 볼 때 재생 아스팔트는 골재수급, 원자재 가격 상승에 따른 시공비용증가 문제와 더불어 전 세계적으로 이슈가 되고 있는 저탄소 녹색성장과 관련한 좋은 대안이 될 수 있다.

기존도로 재건설시 철거되는 폐포장재료나 재포장을 위한 표면 절삭 등으로 발생하는 재료를 다시 도로의 포장에 사용하게 되면 우선 폐포장재료를 폐기 처분하는 비용의 절감과 함께 새로운 재료 구입 비용의 절감 등 경제적 효과가 가장 크며 이로부터 수반되는 자원 및 에너지의 절약, 환경 보호 등의 효과를 고려하면 그 이득은 더 크게 평가 될 수 있다.

### 2.1 국내 기존 연구결과

본 연구와 관련한 대표적인 국내 연구결과로는 현재 폐기처분되는 폐아스콘을 이용하여 농어촌 도로포장의 기층을 개발하는 연구의 재생첨가제를 사용하여 안정처리기층의 품질기준을 만족하는 혼합물 생산이 가능하다는 연구 결과를 발표하기도 하였으며 기층에는 약 50%의 폐아스콘 혼입율에도 품질유지가 가능하다는 연구결과가 발표되기도 하였다.

### 2.2 해외 연구결과

해외 연구결과 약 101,156㎡의 재포설이 이루어지는 플로리다의 경우 재활용을 통하여 약 32%의 에너지 절약이

이루어진다고 주장하였다. 재생아스팔트를 사용한 경우와 일반적인 신재료를 사용한 시공비용을 비교한 결과 약 55%의 시공비용 절감 가능성을 제시하였다. 국내의 아스팔트 플랜트와 기본적인 설비가 같은 일본에서는 관련 연구를 지난 '80년대 초에 완료하고 현장 적용지침을 완성하였다. 또한, 관련 연구결과 표층에 사용하는 재생혼합물 품질이 중요하며 그 품질은 혼입하는 폐아스콘 골재의 혼입율에 크게 영향 받는다는 결과를 발표하였다.

## 3. 시험시공

### 3.1 1차 시험시공

고속도로의 경우에 재생아스콘관련 시험시공은 관련 자료를 찾기 힘든 10년 이상된 실적을 제외하면 '98년 초에 경부 고속국도에 현장가열재생공법으로 갓길과 노면에 걸쳐 시공된 부분 등의 자료와 이외에 플랜트 재생공법으로 노면포장에 적용하는 시도가 있었다. 그러나, 현장가열 재생공법이 가진 한계로 인해 고속국도 같은 고규격 도로에 사용하기에는 여러 문제점들이 있었다. 따라서, 본 고에서는 재생 아스콘의 경제적, 친환경적, 품질적 측면을 고려하여 성토재 또는 복토재가 아닌 부가가치를 높인 제품으로 재활용하기 위한 기준을 정립하고, 향후 증가될 폐아스콘의 처리에 대한 대책을 수립하고자 본 시험시공을 실시하여 실내배합설계 결과와 현장에서의 배합설계 적용에 따르는 품질관리 문제점들을 조사 분석하였다. 시험시공 공법은 품질관리가 용이하고 폐아스콘의 대량위 처리가 가능한 가열 재생 플랜트 공법을 채택하여 2회에 걸쳐 시험시공을 실시하였다.

1차 시험시공은 충청권의 건설사업소와 협의하여 실시하였으며 현장에서 가열재생아스콘 플랜트를 선정하여 빈(BIN)별 재료를 채취, 배합설계를 실시하였다. 시험시공의 연장은 약 390m(폭은 5m)이며, 단면은 동상방지층 20cm, 재생아스콘 기층 15cm, 표층은 5cm로 시공(Fig 1.)하였다. 또한, 기존 콘크리트포장에 5cm 덧씌우기를 실시하였다. 실내실험을 통하여 확정된 배합설계 자료를 토대로 여러 차례의 플랜트 시험생산을 통하여 배합비 조정을 실시하여 기존의 아스팔트 시방입도에 맞추는 작업과 품질확인 시험을 실시하였다(Table 1). RAP 투입율은 이론고찰과 현장 아스콘 플랜트의 설비를 고려하여 표층 30%, 40%와 기층 40%, 50%로 결정하였다. 재생아스콘의 배합설계와 관련하여 RAP 확인시험(입도 및 아스콘 함량 시험)을 실시하였으나, RAP의 품질이 불균일(입도 및 바인더 함량)하게 나타나기도 하였다. RAP의 골재입도가 중요한 요소이나

균일치 않은 경우가 발생하면 배합설계를 재실시하여야 함으로 시간손실이 일반에 비하여 크게 발생하였다. 일반 아스콘과 비교하여 플러싱 발생가능성이 있었으며 기타 개선점으로는 재생아스콘의 RAP 혼합량과 생산온도를 고려할 때 플랜트에서 현장까지의 운반거리의 선정에는 주의 기울일 필요가 있는 것으로 나타났다.

### 3.2 2차 시험시공

2차 시험시공도 1차와 동일한 건설사업소와 협의하여 실시하였으며 동일 플랜트에서 혼합물을 생산하였다. 시험시공의 연장은 약 140m(폭은 5~6m)이며, 단면은 동상방지층 20cm, 재생아스콘 기층 15~25cm로 시공(Fig 2.)하였다.

재생골재의 투입 비율에 따른 혼합물 온도저하 문제와 동절기 시공의 특성상 혼합물 운반차량의 별도 보온덮개 설치를 비롯한 온도 관리를 중점적으로 실시하였다.

2차 시험시공에서는 1차 시공과정에서 나타난 플러싱 개선책으로 RAP 투입율을 10%와 30%로 조정하여 실시하였다. 투입율 조정결과 재생골재의 10% 혼입한 혼합물에서는 온도저하가 크게 나타나지 않았으나 30% 혼입 혼합물에서는 온도 저하폭이 매우 크게 나타나 동절기 온도관리에 세심한 주의를 기울일 필요가 있는 것으로 나타났다.

## 4. 시공구간 균열 조사

재생아스팔트의 가장 큰 문제점으로 지적되어온 균열발생가능성에 대한 조사 분석을 위하여 국내 재생 아스팔트를 적용하여 시공된 구간들에 대하여 공용성 평가(균열조사) 및 파손상태조사를 실시하였다. 현재 재생 아스팔트

의 국내 수요는 국도 및 지방도를 중심으로 시험시공 형태로 적용 중에 있으며, 인지도 부족 등으로 인해 관급 발주 자재 또는 생산시설 인근에 한정하여 제한적으로 사용되고 있는 실정이었다.

Table 1. Marshall test results

Type	caterory	1st	2nd	3rd	average
RAP30% (Surface)	Void	4.24	4.06	4.33	4.21
	Stability	1367	1493	1350	1,403
	Flow (0.01cm)	30	24	27	27
RAP40% (Surface)	Void	4.38	4.40	4.32	4.37
	Stability	1650	1520	1624	1,598
	Flow (0.01cm)	28	25	34	29
RAP40% (Base)	Void	7.07	6.06	6.77	6.64
	Stability	1490	1529	1380	1,466
	Flow (0.01cm)	41	29	35	35
RAP50% (Base)	Void	3.84	6.57	6.31	5.57
	Stability	1686	1749	1436	1,561
	Flow (0.01cm)	30	36	28	31

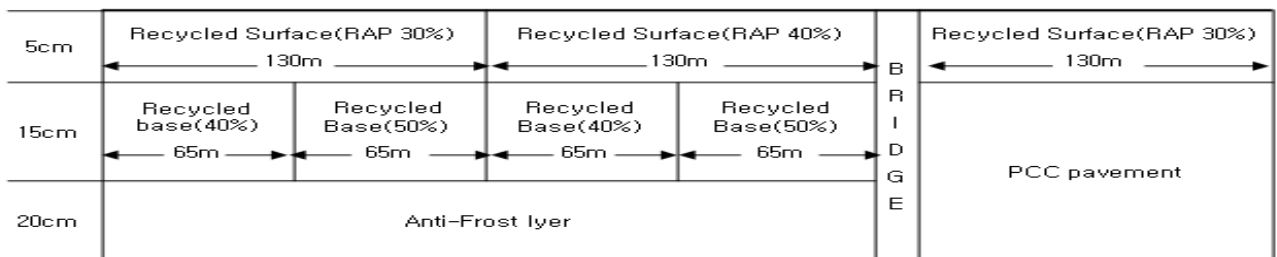


Fig 1. The cross-sectional diagram of 1st RAP trial construction

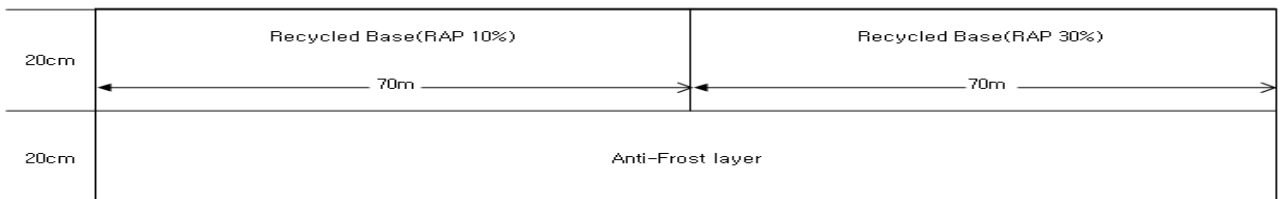


Fig 2. The cross-sectional diagram of 2nd RAP trial construction

#### 4.1 기 시공구간 개요

재생 아스팔트로 시공한 구간들을 확인하기 위해서 본 연구에서는 생산플랜트 인근의 국도를 대상으로 자동조사 장비를 이용한 균열과 평탄성을 측정하였고 전반적인 포장상태를 육안 관측하여 다음의 Table 2와 같이 결과를 정리하였다.

#### 4.2 시험시공구간 조사 결과

1차와 2차 시험시공구간에 대한 균열조사를 실시하였으며 동일 플랜트에서 생산된 동일 공용구간을 갖는 구간을 선정하여 균열조사를 실시 한 결과, 공용된지 약 6년 경과 한 1차 시공구간(2004년 하반기 시공)은 일부 표면결함을 나타내었으나, 그 정도는 매우 미세하였으며 기존 큰크리

Table 2. The performance survey results of Recycled asphalt pavement sections in Cheong-ju

Section	Traffic Flow (veh./day)	method		crack rate(%)	rutting(mm)	longitudinal profile(m/km)	Remark
national road no. 3	2,337	survey equipment	2007	0.37	5.39	1.21	· go through a town
			2008	1.10	5.42	1.68	
		man power survey		· average evenness-some rutting on the skid prevention section · longitudinal cracks on center line			
national road no. 28 (1)	4,578	survey equipment	2007	0.03	1.63	1.93	· Down and Upward
			2008	0.10	1.89	1.53	
		man power survey		· no rutting and crack ·Good evenness · Good pavement condition			
national road no. 28 (2)	9,540	survey equipment	2007	0.02	1.93	2.59	-
			2008	0.11	2.13	1.70	
		man power survey		· no rutting and crack ·Good evenness · Good pavement condition			
national road no.30 (1)	1,010	survey equipment	2007	0.32	1.75	1.15	surface contaminated by mud
			2008	0.35	2.02	1.58	
		man power survey		· no rutting and crack ·Good evenness · minor cracks			
national road no.30 (2)	1,300	survey equipment	2007	0.12	3.59	1.11	· surface contaminated
			2008	0.52	3.56	1.68	
		man power survey		· no rutting and crack ·Good evenness · minor cracks(on poor compaction)			
national road no.59	643	survey equipment	2007	2.94	3.22	1.29	· Upward
			2008	4.88	2.80	1.73	
		man power survey		· partial rutting ·poor evenness · cracks(alligator cracks etc.) · Freeze and thaw was main reason of this alligator cracks			
national road no.67	11,962	survey equipment	2007	0.15	3.02	1.46	· nearby stone crushing site located
			2008	1.63	3.14	1.74	
		man power survey		· partial rutting ·average evenness ·low cracks · Although nearby stone crushing site caused heavy traffic, cracks was low condition.			
Chungju-roundabout	303	survey equipment	2007	0.01	3.01	1.62	· Good condition
			2008	1.04	3.03	1.71	
		man power survey		· partial rutting ·good evenness · Good condition(very low traffic)			
rural no. 509	1,530	survey equipment	2007	0.00	2.53	2.11	· Good condition
			2008	0.09	2.99	1.81	
		man power survey		· No rutting ·Good Evenness ·No cracks			

트 포장에 덧씌우기된 약 100M의 구간에 기존의 콘크리트 줄눈을 따라 약 5개의 반사균열이 발생한 것을 발견하였다. 그러나, 이 반사균열의 균열발생정도와 상태가 하 정도로 평가되는 미미한 수준이었다. 또한, 2차 시험시공구간(2006년 하반기 시공)에 실시한 구간에 대한 현장조사에서도 균열은 발생하지 않았으나 중차량 및 대형차량의 통행이 많은 구간으로서 정기적인 추적조사를 통한 균열 및 기타 공용성능(골재탈리, 소성변형 등)의 자료축적이 필요한 구간으로 판단된다.

## 5. 재생비인더의 피로 특성

아스팔트포장의 공용수명을 증진시키기 위해서는 아스팔트포장의 소성변형, 온도 및 피로균열을 반드시 최소화 해야 한다. 이중 재생아스팔트 포장의 취약점으로 인식되는 균열저항성에 대한 실내실험을 다음과 같이 실시하였다.

### 5.1 시료 및 실험준비

일반 신재 아스팔트에 재생아스팔트 생산업체에서 수집한 페아스콘에서 추출한 비인더를 비율별로 혼합하여 재생아스팔트 비인더를 준비하여 시험하고 비교대상으로 일반 베이스 아스팔트를 사용하였다. 혼합비율은 시험시공에 사용된 것과 같이 10~40%에서 선정하였다. DSR(Dynamic Shear Rheometer)을 이용한 본 실험에서는 시간에 따른 비인더의 피로파괴수명(Nf)을 실험하였다.

### 5.2 DSR을 이용한 피로 실험 결과

일반 베이스 아스팔트와 재생아스팔트 생산업체에서 수집한 페아스콘에서 추출한 비인더를 비율별로 혼합하였다. 혼합비율은 표층 시험시공에 사용된 것과 RAP 투입율 중에서 적절한 혼입율로 나타난 30% 투입율을 참고하여 25%와 34%의 두 비율을 선정하였다. 시료는 일정 온도에서 혼합한 후에 PG비인더 시험절차와 동등하게 피로시험을 실시하였다. 다음 Fig 3.은 RTFO 시험을 통해 노화한 시료를 이용한 피로시험결과 그래프와 파괴조건을 선택한 방법을 보여준다.

#### 5.2.1 재생 아스팔트 비인더의 피로특성

시험에 사용되는 순환골재는 노화도에 따라 준비하고자 하였으나 현재 재생골재 수집 및 운반시스템에서는 수집된

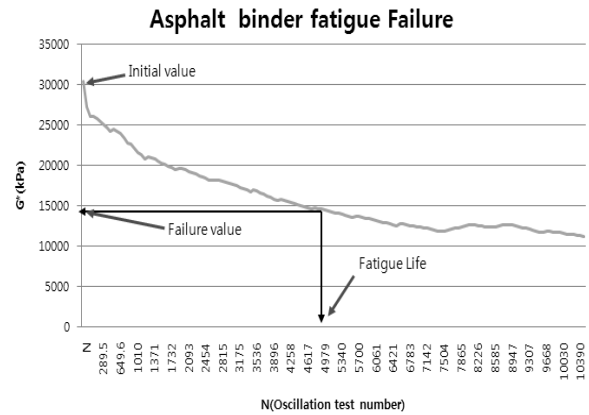


Fig 3. Asphalt fatigue test result(example)

순환골재의 시공년도 기록이 존재치 않아 노화정도가 다른 순환골재 수집을 위하여 여러 종류의 시료를 가지고 시험하여 노화 정도가 가장 심한 본 시료에 베이스 아스팔트를 혼합하여 다음의 혼합 비율로 피로실험을 실시하였다.

Table 3. DSR test conditions and Failure Criteria

DSR Type	Plate-Plate type
Control Condition	Strain control
Plates	8mm
Gap size	2mm
Frequency	5Hz
Max. Test duration	6-12 hours
Temperature	20°C
Failure Criteria	50% lower than initial G* value

### 5.3 실험결과

실험에 사용한 추출 아스팔트(침입도 12~18)와 신재아스팔트와의 혼합비율은 25%, 34%로 하였으며 첨가제는 사용하지 않았다. 베이스 아스팔트는 별도의 실험과정을 통하여 PG등급 64-22로 확인되었다.

일반 베이스 아스팔트에 추출 아스팔트 비인더를 혼합한 최종 피로실험결과는 다음과 같다.

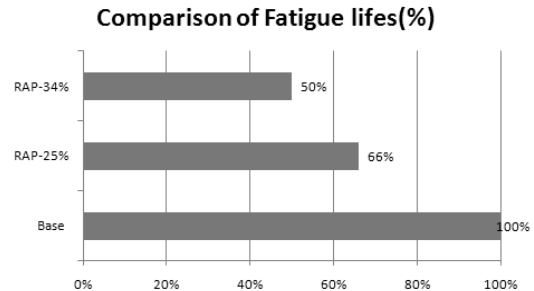


Fig 4. Fatigue test results of RAP Blends

Fig 4에서 보는바와 같이 추출아스팔트를 25% 첨가한 경우에 베이스 아스팔트의 피로수명과 비교하여 약 60~70%의 피로수명을 갖는것으로 나타났다. 또한, 34%를 첨가한 경우에는 베이스 대비 약 46~55%의 피로수명을 보이는 것으로 나타났다. 이상의 바인더 실험결과를 종합하면 현재 재생아스팔트 생산현장에서 일반적으로 용인되는 재생골재 30%의 투입률의 경우에도 재생혼합물의 피로수명이 낮아질 가능성이 있는 것으로 나타났다.

## 6. 결론

현재까지 국내에서는 재생아스콘을 단순히 폐기물이 혼합된 저품질 혼합물로 인식하여 사용을 꺼리는 측면이 있었으나 근래 관련법 개정과 더불어 사용을 장려하는 제도가 정착되는 단계에 있다. 이에 본 연구는 재생아스콘 성능에 대한 자료축적 및 품질기준에 대한 토대를 마련하기 위하여 문헌조사를 비롯한 이론과 더불어 재생아스콘 기시공 구간 및 공법에 대한 조사와 시험시공을 실시하였다. 시험시공은 문헌 조사 및 재생공법 조사결과를 바탕으로 재생아스콘 사용성능을 확인하여 실시하였으며 시공시에 나타난 문제점들을 확인하였다. 또한, 시험시공구간에 대한 일정기간 경과 후에 균열 및 기타 포장성능에 대한 현장추적조사와 실내실험을 통한 바인더의 피로수명을 실험하였다.

이상 재생아스콘의 적용성을 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 재생아스콘은 일반아스콘과의 품질 시험 결과 차이는 없었으나 안정도와 간접인장강도가 일반보다 증가하는 경향이 나타났다. 점도 증가에 따른 결과로 균열의 가능성은 본 연구에서의 배합비율 조정과 첨가제 및 품질관리를 통하여 억제 가능하다고 판단된다.

2) 1차 시험시공 결과 시공 당시의 RAP 수분 함유량 및 운반거리와 혼합물 최종온도를 고려할 경우에는 표층의 경우 30%가 적정 혼입율이었으며, 기층은 40% 이하 품질관리가 가능한 구간으로 판단된다. 2차 시험시공을 통하여 RAP 혼입율을 10%로 조정하면 결과 혼합물의 온도저하가 발생하지 않아 충분한 운반거리를 확보하는 것이 가능하였으며 30% 혼입율에서도 약간의 온도저하현상이 발생하였으나, 약 1시간 내의 운반소요시간을 감안하면 대체적인 품질관리에 문제가 없는 것으로 조사되었다.

3) 재생아스콘이 가지는 자원재활용 측면의 고려사항 뿐만 아니라 직접적인 재료비 절감 효과도 급변 시험시공을 통하여 확인되었다. 재료비 절감효과는 약 10% 내외로 확

인되었으며, 국가 전체의 자원 재활용 측면의 환경부하 경감을 고려하면 경제적 가치는 더욱 크게 나타날 수 있다.

4) RAP는 세립분이나 과다(과소) 아스팔트 바인더를 포함하는 경우가 많으므로 목표입도 및 아스팔트함량을 조절하기 위한 대안과 함께 시공시 실시간 현장 확인(플랜트 관리 포함)과 관리가 매우 중요하다.

5) 시공 후 6-7년이 경과한 1, 2차 시험시공구간에서의 균열은 발견되지 않았다.

6) 재생아스팔트 바인더의 피로수명을 시험한 결과 첨가제 사용 또는 에이징을 고려한 바인더 선택이 반드시 필요하다.

7) 바인더 노화와 관련하여 DSR(Dynamic Shear Rheometer)을 사용한 피로시험 또는 MSCR(Multi Stress Creep&Recovery) 확인시험이 필요하다.

## 참고문헌

- 1) 김광우 등, 폐콘크리트 및 아스팔트를 재활용한 농어촌 도로포장 공법의 개발, 농림부 특정연구사업, 1996
- 2) 강운산, 기후변화가 건설업에 미치는 영향과 대응 방안, 한국건설산업연구원, pp. 13~16, 2004
- 3) 폐아스팔트 콘크리트 재활용 실용화 방안 연구, 서울시, 도로운영국, 2004
- 4) 日本道路協會, アスファルト 再生舗装技術指針案, 1986
- 5) 片倉弘美, 高木信幸, 再生加熱 アスファルト 混合物の供用性 評價, 第18回 日本道路會議論文集, pp. 720~721, 1991.
- 6) J.A. Epps. Cold Recycled Bituminous Concrete, In NCHRP Synthesis of Highway Practice 160, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1990.
- 7) Prithvi S. Kandhal, and Rajib B. Malick, Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments - Participant's Reference Book, FHWA, 1997.

### 재생아스팔트포장의 현장적용성 연구

내용 : 환경에 관련된 인식이 급격하게 변화되는 현재의 흐름에 따라 도로포장부문에서 별다른 주목을 받지 못하던 재생아스팔트포장에 관한 실제 성능 및 적용성을 알아보려고 실내실험, 현장 시공 및 공용성능에 대한 추적조사를 실시하였습니다. 문헌고찰을 통하여 재생아스팔트포장의 현장적용에 대한 정보를 수집하였고 실제 생산현장과 접촉하여 시료를 획득하여 배합설계와 현장시공을 2차례에 걸쳐 실시하였습니다. 배합설계(실내실험)에서는 재생골재의 세립분 및 골재파쇄로 인해 배합설계에 시간소모가 많았으며 목표입도를 맞추는데 어려움이 있었으나, 공용성능 추적조사에서는 시험시공구간의 균열이 시공후 5-6년 이후에도 발견되지 않았고 기타 포장파손도 발견되지 않아 양호한 상태를 나타내고 있었습니다. 또한, DSR을 이용한 재생바인더에 대한 피로시험결과, 일반적으로 선택되고 있는 재생골재 투입비율 30%에서 바인더의 피로수명이 베이스 아스팔트에 비하여 약 30~40%정도 감소하는 것으로 나타났습니다. 결론적으로 재생아스팔트포장의 취약점으로 알려진 균열문제는 충분한 품질관리를 통하여 극복될 수 있으며 이 품질관리에는 적절한 바인더 선택이 매우 중요할 것으로 판단됩니다. 재생아스팔트포장은 일반아스팔트포장과 비교하여 품질에 큰 차이는 없으며 재생골재의 투입비율과 바인더 선택을 적절히 하는 경우에는 국가적으로 이산화탄소 발생 억제를 통한 환경보호와 비용절감을 동시에 이룰 수 있을 것으로 보입니다.