한국도로학회 논문집
第7券1號 2005年 3月
pp. 1 ~ 9

가열 재생혼합물의 노화특성 개선을 위한 연구

Methodology for Modifying Aging Condition of Hot-mix Recycled Asphalt Mixture

김 광 우* 홍 상 기** 이 기 호*** 도 영 수****
Kim, Kwang Woo Hong, Sang Ki Lee, Gi Ho Doh, Young Soo

Abstract

This is a basic research for producing hot-mix recycled asphalt mixtures and suggesting methods for solving quality problems, if any. Various mixing methods are introduced to make aging evenly between old and virgin aggregates and to improve aging conditions. Gel-permeation chromatography(GPC) analysis was performed to evaluate aging of binders coated on coarse aggregates and a matrix separately. Round-shaped aggregates(13mm gravel) were used in manufacturing mixtures for analysis of aging levels in recycled mixtures. It was found out that there was significant difference in aging levels between the binder coated on RAP's coarse aggregates and on virgin aggregates in a recycled mixture. The difference in the aging level was reduced by modifying mixing method(RAP and virgin binders were mixed first and then virgin aggregates were introduced). Among A to E mixing methods studied, the D was turned out to be the best.

Keywords : hot-recycled asphalt mixture, aging state, GPC, Round-shape aggregate, RAP's coarse aggregate

요 지

본 연구는 재생 아스팔트 혼합물의 취약 특성을 파악하고 이를 보완하기 위한 기초연구이다. 본 연구의 목적은 재생 혼합물 내의 신 · 구 재료에 묻어 있는 바인더의 노화상태를 균등하게 할 수 있는 여러 가지 혼합방법을 제안하고 바인더의 노화특성을 개선하기 위한 방안을 제시하는 것이다. 재생혼합물의 굵은골재 및 매트릭스의 바인더 노화특성 분석은 Gel-permeation chromatography(GPC)를 통해 수행되었다. 재생혼합물 내 바인더의 노화상태 분석을 위한 혼합물 제조에는 원형골재(13mm 강자갈)가 굵은골재로 사용되어 RAP 굵은골재와의 구분이 용이토록 하였다.

* 정회원 · 강원대학교 지역기반공학과 교수 · 공학박사
** 정회원 · 강원도 양구군청 · 공학석사
*** 정회원 · 강원대학교 대학원 박사과정
**** 정회원 · 강원대학교 석재복합신소재연구센터 전임연구원 · 공학박사

GPC를 통한 재생혼합물 내 바인더의 노화상태를 분석한 결과 신 · 구 바인더의 노화 정도에 차이가 있음을 확인하였다. 따라서 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 5가지 혼합방법(AE)을 검토하였으며 D방법(RAP과 신규바인더를 선 비빔 후 신규골재 투입)에 의한 혼합방법의 개선으로 재생혼합물 내의 노화 정도의 차이가 크게 작아지는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 가열 재활용 아스팔트 혼합물, 노화상태, GPC, 원형골재, RAP 굵은골재

1. 서 론

국내 도시지역 및 교통량이 많은 도로들은 대부분 조기에 소성변형(Rut), 포트홀(Pot hole), 밀림(Shoving) 및 균열 등이 발생하여 그 수명이 3-4년도 안될 정도로 짧다. 이러한 실정으로 본다면 재생재료를 사용해도 채 노화가 되기 전에 덧씌우기를 하게 되므로 일반 혼합물과 별다른 차이가 없을 것이다. 하지만 반대로 일반 혼합물의 수명이 그렇게 짧으니 재생혼합물을 사용하면 그보다도 더 수명이 짧을 수도 있다는 우려 때문에 재생혼합물이 중 · 장기적으로 안전한지에 대한 의구심이 많다.

이와 관련하여 김광우 등(2003)은 최근 연구에서 일반적으로 제조되는 재생혼합물 내의 신 · 구 재료의 노화상태가 불균등한 상태로 존재하는 것을 Gel-permeation chromatography(GPC) 분석을 통해 확인하였다. 이 연구에서는 회수아스팔트 포장재료(Reclaimed asphalt pavement: RAP)를 첨가한 재생혼합물을 제조하고 그 안에서 RAP에 있었던 굵은골재(이하 RAP 굵은골재), 매트릭스(Binder와 세립자 혼합물)와 신규굵은골재를 구분하여 각 재료별 바인더의 노화상태를 분석하였다. 그 결과 RAP 굵은골재에 코팅된 바인더가 가장 많이 노화된 상태를 보였고 신규굵은골재에 코팅된 바인더가 가장 낮은 노화상태를 보여 RAP에 존재하는 노화된 아스팔트가 새로이 추가되는 신규 아스팔트에 의해 제대로 회생(Rejuvenating)되지 못하고 높은 노화상태를 유지하는 것을 발견하였다.

이렇게 혼합 과정에서 제대로 점도가 회생되지 못한 RAP의 바인더는 다시 다져지고 나면 바인더의 유동이 제한되어 더 이상의 점도 회생이 되지 못한 채 추가 노화가 시작되어 취성이 증가하게 된다. 결국 이러한 혼합물은 포장 초기에 강성이 높고 만족스런 성능을 보이지만 조기에 균열 및 손상이 발생하게 될 것이다. 그러므로 본 연구의 목적은 가열 재생혼합물 내의 바인더의 노화 불균형 상태를 분석하는 방법을 보여주고 이러한 불균형 노화특성을 개선하기 위한 방안을 제시하는 것이다. 이를 위하여 재생혼합물 내의 바인더 노화상태를 보다 균등하게 할 것으로 예상되는 여러 가지 혼합방법들을 제시하고 각 혼합방법별로 재생혼합물을 제조하여 GPC를 통한 재생혼합물 내의 노화상태를 비교 · 분석하여 최선의 개선방법을 제시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 사용재료

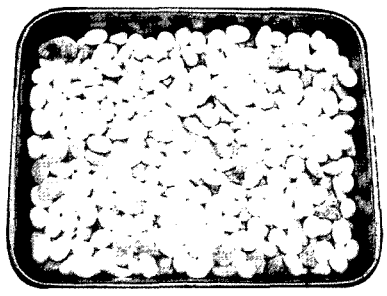
본 연구에서는 경기도 용인지역에서 평면 절삭하여 얻어진 회수아스팔트 포장재료를 수거하여 실험에 사용하였다. 수집된 RAP은 13mm이하로 파쇄하여 사용하였고, 아스팔트는 AC 60-80, AC 80-100인 국내산 아스팔트를 사용하였다. AC 60-80인 아스팔트는 비교용(Control) 신규혼합물 제조에 사용하였고, AC 80-100은 국내에서 생산되는 아스팔트 중 가장 절대점도가 낮은 평균 1,000ps이므로 (AC 60-80 점도 약 1,500~2,000ps) 재생아스팔트 혼

표 1. Properties of Rejuvenator

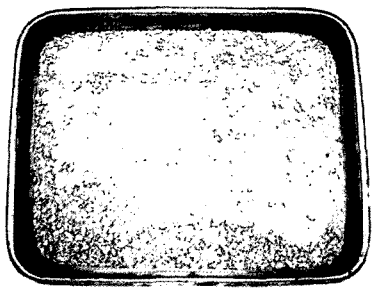
Properties	YKS-2
점도 @ 60℃, cSt	900~1100
인화점, COC, ℃	230 이상
포화탄화수소 함량	10% 이하
방향족화합물 (Total)	90% 이상
박막가열후 @ 163℃ 점도비	1.0~2.0%
박막가열후 @ 163℃ 증발감량	3 wt.% 이하
비중, @ 60℃	1.0~1.1

합물의 제조시 신규바인더로 사용하였다.

노화된 아스팔트의 점도를 회복시키는 재생첨가제는 Rejuvenator 또는 Recycling agent라 하는데, 본 연구에서는 국내 S사에서 개발한 YKS-2 고분자 개질첨가제(Polymer modified recycling agent)를 사용하였으며 주요 성상은 표 1과 같다.



(a)



(b)

그림 1. (a) 13mm gravel and
(b) fine aggregates used for aging level test

재생혼합물은 일정 비율의 RAP과 신규골재의 혼합으로 이루어진다. 하지만 이 재생혼합물 내에서 신규재료와 구재료의 구분이 불가능하여 본 연구에서는 이의 구분이 가능하도록 별도의 재료를 사용하여 재생혼합물을 제조하였다. 즉, 신규 굵은골재로는 쇄석 굵은골재(13mm) 대신에 재생혼합물 내에서 RAP 굵은골재와 구분될 수 있도록 원형골재(강자갈)를 사용하였다(그림 1). 잔골재는 일반적으로 사용되는 No. 8체 이하의 아스콘용 잔골재를 사용했으며 석회석분을 채움재로 사용하였다.

2.2 시험 방법

2.2.1 RAP 바인더의 추출 · 회수 및 물성시험

재생아스팔트 제조에 사용될 회수아스팔트 혼합물(RAP)에 포함되어 있는 노화 아스팔트에 대한 침입도와 점도를 조사하고 추출된 골재의 입도와 비중을 얻기 위하여 KS F 2354에 따라 아스팔트 및 골재를 추출 · 분리하였다. 그리고 아스팔트가 용해된 용액으로부터 ASTM D 1856의 Abson recovery 방법으로 아스팔트를 회수하였으며, 이렇게 회수된 아스팔트 바인더에 대하여 점도(KS M 2247), 침입도(KS M 2252) 시험을 수행하였다.

2.2.2 GPC 시험

아스팔트의 노화 특성을 비교 · 분석하기 위하여 GPC(Gel-permeation chromatography) 분석을 수행하였다. 아스팔트가 노화되면 아스팔틴(Asphaltene) 함량이 증가되며 점도가 증가하고 침입도가 낮아진다. 이를 크로마토그램으로 분석하면 아스팔트 내에 대형분자(Large molecular size: LMS)의 증가로 나타나 LMS 변화와 노화상태는 밀접한 관계가 있다.

그림 2는 샘플이 검출되어 나타난 크로마토그램을 상징적으로 보여주는 그림이다. 크로마토그램은 분자입자의 분포를 보여주는 하나의 곡선이며, 이 곡선이 수평기선(Base line)과 이루는 전체면적을

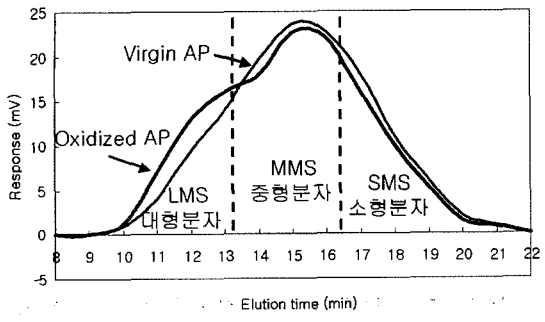


그림 2. Illustration of typical GPC for virgin and old asphalts

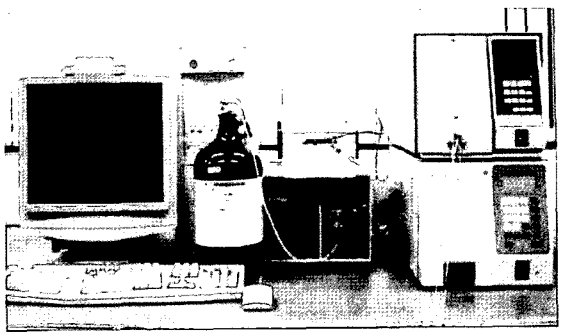


그림 3. Gel Permeation Chromatography(GPC) system

100%로 하여 필요한 구간에서의 면적비를 구한다. 하나의 GPC 곡선은 그림 2에서와 같이 크게 3가지 분자입도 그룹으로 분리된다. 분자 크기에 따라 초기에 대형분자가 검출되기 시작하여 서서히 작은 입자의 분자들이 검출되므로 시간상으로 앞부분은 대형분자를 나타낸다. 따라서 샘플 검출 시작과 끝 시간을 동일한 13구간으로 나누고 그 중 앞의 5구간을 대형분자입자(Large molecular size : LMS), 다음 4구간을 중형분자입자(Medium molecular size : MMS), 나머지 4구간을 소형분자입자(Small molecular size: SMS)로 구분하였다.

이렇게 구분된 구간 중 앞부분의 LMS가 아스팔트의 각종 특성과 상관관계가 높으며 특히 전체를 13구간으로 나눈 것 중에서 앞 5구간의 비율을 LMS로 했을 때가 가장 그 상관성이 우수한 것으로 알려져 있다(Kim et al 1995, Jennings 1985). 따라서 본 연구에서는 LMS 값을 각 시료마다 구하고 이 값을 점도와 연관지어 분석에 사용하였다. 특히 아스팔트의 LMS는 절대점도와 R^2가 0.9 이상 높게 나타나므로 LMS가 큰 것은 그만큼 점도가 높고 노화가 심한 것으로 볼 수 있다(Kim et al 1993, Jennings 1985).

그림 3은 GPC 분석장치의 전경을 보여준다. 본 연구에 사용된 GPC 분석기는 WATERS사의 Refractive index meter(RI detecter)이며 2개의 칼럼을 직렬로 연결하여 샘플을 분자입도별로 분리하였다. 사용된 칼럼은 Waters HR4E와 HR3이며 칼럼 오븐에서 35℃로 온도를 유지시켰다. 유동액과 아스팔트를 용해시킨 용매는 Tetrahydrofuran(THF)이며 유동액의 유동 속도는 1㎖/min으로 하였다. 시료를 THF 용액에 1/200 농도로 녹인 후 0.45㎛ 주사기용 filter로 거른 후 소요량을 샘플 주입구에 넣어 1회 시험에 사용하였다. 샘플 1회 주입량은 50㎕이며 한 샘플의 GPC 시험은 30분이 소용되었으며 약 10분 전후에 샘플이 검출되기 시작하여 약 20분 전후에 모든 샘플이 검출되었다(그림 2).

이와 같은 아스팔트의 GPC 분석은 바인더를 THF에 녹여 시험하는 것이 일반적인 방법이다. 따라서 어떤 혼합물을 구성하고 있는 바인더의 GPC 시험을 하려면 우선 혼합물로부터 바인더를 추출·회수해야한다. 하지만 이러한 기존 방법으로는 원하는 골재만에 코팅된 바인더를 얻을 수 없고 모두 섞인 혼합물을 녹여 회수하게 되므로 회수된 바인더는 원하는 골재만에 코팅된 바인더 특성을 나타내지 못한다. 따라서 이러한 바인더에 대한 GPC 결과는 재생 혼합물 전체 바인더의 평균 특성을 나타내는 것이다.

하지만 본 연구에서는 혼합물로부터 바인더를 추출하지 않고 바인더가 코팅되어있는 원하는 골재입자를 바로 THF에 녹여 이로부터 GPC 샘플을 만들어 분석하는 새로운 방법(Kim et al, 2004)을 사용하였다(그림 4). 즉, 사용된 혼합물의 아스팔트 함량을 알면 일정량의 혼합물에 포함되어 있는 바인더의 양을 추정할 수 있다. 따라서 GPC 분석기에 주입할 1/200 농도의 샘플을 만들기 위해 일정량의 혼합물

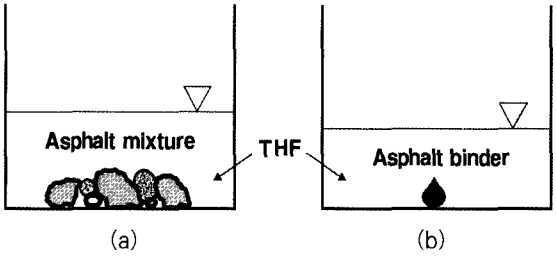


그림 4. Illustration of GPC sampling method
(a) new method developed in this study and
(b) typical method

을 채취하여 용기에 넣은 후에 추정된 바인더 함량의 중량비로 200배의 THF를 넣고 몇 분간 잘 흔들어서 녹인 후 0.45㎛ filter로 거른다. 이렇게 얻은 샘플은 원하는 골재를 코팅하고 있던 바인더만 녹여낸 것이므로 이를 사용하여 각 골재에 코팅된 바인더별 GPC 특성 파악이 가능하였다.

2.2.3 재생혼합물 제조 방법의 개선 및 GPC 분석

본 연구에서 해결코자하는 문제점은 RAP의 노화된 바인더가 신규바인더에 의해 제대로 회생되지 못하는 것이다. 그러므로 재생혼합물 내 RAP의 노화된 바인더의 점도를 보다 잘 회복시킬 것으로 예상되는 재생혼합물 제조방법을 개발하기 위하여 새로운 혼합방법을 실험적으로 선정하였다. 재생혼합물은 표층용 밀입도로 제조시 RAP 첨가 비율을 30%로 하였고 비교용 혼합물로써 같은 신규골재를 사용하여 표층용 신규혼합물도 제조하였다. 표 2는 본 연구에서 제시한 재생혼합물의 혼합방법을 설명해 준다.

A방법은 기존의 재생혼합물 제조방법과 같은 방법으로서 플랜트에서는 실제로 1분 이내의 비빔을 하지만 실험실에서 보다 정교한 비빔을 위해 1분으로 고정한 것이다. B방법은 외국에서 사일로에 보관하는 방법 등을 염두에 두고 그에 따른 점도 회생 효과를 보기 위해 선정한 것이고, C방법은 비빔시간의 증가에 따른 효과를 이용하기 위한 것이다. 예비시험 결과 비빔시간을 2~5배 증가시켜서는 A방법과 큰 차이가 없었고 결국 6배까지 증가시켜 그 효과가 나타나므로 6배로 선정한 것이다. 반면 D, E방법은 기존 방법을 개선하기 위해 고안해낸 새로운 방법들이다. 여기에 사용되는 신규 바인더의 양들은 재생혼합물 배합설계방법(가열아스팔트.. 1998)에 의하여 결정된 추가량을 사용하였다.

상기 5가지 방법으로 제조되는 재생혼합물의 노화상태 파악을 위한 GPC 분석용 재생혼합물은 다음과 같이 특별히 제조하였다. 즉, 재생혼합물에서 RAP 굵은골재와 신규굵은골재를 구분하기 위하여 신규굵은골재 만은 원형자갈을 사용하였다. 그리고 이 혼합물로부터 RAP 굵은골재와 Matrix 및 신규굵은골재를 구분 채취하여 GPC 분석을 수행하였다. 즉 제조된 혼합물로부터 채취한 각 골재시료를 일정량 THF에 녹여 GPC 샘플을 취하였다.

표 2. Mix method of recycled asphalt concrete

Classification	Mix Method
A	신규재료 70%와 RAP 30%의 비율로 1분간 비벼 가열재생혼합물을 제조(일반적인 재생혼합물 혼합방법)
B	같은 재생혼합물을 1분간 비빈 후 Aeration 시간동안 점도회복 기간을 주기 위해 150℃에서 혼합물을 2시간 보관
C	같은 재생혼합물 제조시 비빔 시간을 A의 6배 증가
D	같은 재생혼합물 제조시 1차적으로 RAP과 신규 AC80-100만을 넣고 30초 비빈 후 신규골재를 투입하여 1분 추가 비빔
E	같은 재생혼합물 제조시 RAP에 Rejuvenator만을 소요량 넣고 30초 1차 비빈 후 신규골재와 신규 AC80-100 투입하고 1분 추가 비빔

GPC 분석을 통해 각 시료의 LMS를 구하고 그 값들을 비교 · 분석하였다. LMS는 바인더의 점도와 밀접한 관계가 있어 어떤 두 바인더간에 LMS에 차이가 난다는 것은 두 시료의 노화상태가 다르다는 것을 의미한다. 따라서 본 연구의 가정은 GPC 분석에서 RAP 굵은골재와 신규굵은골재의 LMS 차이가 적은 것은 재생혼합물 내의 신 · 구 바인더가 골고루 혼합되어 중화가 된 것으로 판단하는 것이다. 반면에 그 차이가 큰 것은 바인더가 고루 섞이지 못하여 재생혼합물 내의 바인더 노화상태가 불균등하게 존재하는 것으로 판단하는 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 RAP의 특성시험

수거된 회수아스팔트 포장재료로부터 무작위로 소정양의 시료를 채취하여 바인더 추출실험에 사용하였다. 표 3의 결과에서 보듯이 신규 AC 80-100의 점도가 약 1,350, RTFO 후 2,850, PAV 후 40,500 poise인 점을 고려한다면 RAP 바인더의 점도가 13,751 poise인 것은 PAV 후 보다는 못하지만 상당히 노화가 진행된 재료인 것으로 판단되었다. 표 3의 침입도 및 LMS의 비교에서도 알 수 있듯이 본 RAP은 노화가 몇 년 정도 진행된 전형적인 RAP의 일종인 것으로 판단할 수 있었다.

3.2 혼합 방법에 따른 혼합물 내의 노화상태 GPC 분석

노화상태 분석용 재생혼합물은 5가지 혼합방법(A~E)에 따라 제작하였고 각각의 혼합물로부터 RAP 굵은골재 시료(R), Matrix 시료(M), 원형 신규굵은골재 시료(V)를 채취하여 GPC 분석을 한 결과를 표 4에 보여준다. 이를 위하여 재생혼합물이 뜨거울 때 굵은골재와 Matrix 부분을 구분하고 최대한 굵은골재에 묻어 있는 잔입자를 떼어내어 시료로 채취하였다. 그림 5는 재생혼합물로부터 채취된 각 골재 부분에 대한 GPC용 시료의 세부 모습이다.

혼합 방법별로 보면 기존 현장 플랜트에서 사용하는 것과 같은 방법인 A방법의 경우, RAP과 신규골재 시료의 LMS 차이가 가장 크게 나타났다. 이는 기존 방법에 의한 단 1분의 혼합으로는 재생혼합물 내의 RAP 바인더가 신규아스팔트와 섞여 제대로 회생되지 못한 채 어느 정도 노화된 상태를 유지하고 있기 때문이다. RAP과 신규골재가 믹서에 투입됨과 거의 동시에 신규바인더가 투입되면 잘 분산된다 해도 RAP에 비해 분량이 월등히 많은 신규골재에 신규바인더가 대부분 코팅된다. 이때 완전히 녹지 못한 RAP의 노화된 바인더는 고온의 신규바인더와 섞이어 더 녹고 또한 고온의 신규골재에 의해 벗겨지면서 녹아 점도가 회생되어야 한다. 하지만 그 시간이 짧고 신규바인더는 RAP을 녹이기보다는 대부분 신규골재에 흡수 · 코팅되어 양이 더 많아 RAP의 노화된 바인더가 완전히 회생되지 못하는 것으로 판단된다. 이의 보완책으로 믹서에 RAP과 신규골재만을 먼저 넣고 약 30초간 1차 비빔후 신규아스팔트를 투입하는 방법도 사용해 보았다. 하지만 이는 RAP의 노화된 바인더가 타고 푸른 연기가 날 뿐만 아니라 GPC 분석 결과 오히려 점도가 더 높아지는 결과를 낳아

표 3. Properties of RAP binder and Virgin asphalt

Properties \ Binder	RAP	AC 80-100		
		Virgin	RTFO	PAV
AP Contents (%)	5.4	-	-	-
Penetration (0.1 mm), 25℃	25	84	43	18
Absolute viscosity (ps), 60℃	13,751	1,349	2,845	40,518
LMS (%)	18.67	12.94	-	-

표 4. GPC results of three types of aggregate

Mixing method	Large molecular size (%)			Ratio (①/②)
	from RAP agg. (R)①	from Matrix (M)	from Virgin agg. (V)②	
A	16.17	15.21	14.42	1.121
B	23.04	-	23.59	-
C	15.24	15.10	14.84	1.024
D	14.95	15.10	14.62	1.022
E	16.58	16.42	15.58	1.064
Virgin mix	-	14.81	14.23	-

연구대상에서 제외하였다.

반면에 점도회복 기간을 주기 위해 150℃에서 다지지 않은 혼합물(loose mixture)을 2시간 보관(B방법)하는 방법은 표 4에서 보듯이 LMS가 23% 대로 크게 높아져 본래 RAP의 노화 정도(표 3에서 18% 수준) 보다 더 높게 노화가 심화되는 것으로 나타나 비교 연구에서는 제외하였다. 혼합물의 혼합시간을 증가시킨 C방법의 경우, A방법에 비해 LMS 차이가 낮아지는 것으로 나타나 혼합시간이 증가하면서 노화아스팔트와 신규아스팔트가 섞일 수 있는 시간이 늘어남에 따라 골고루 혼합된 것으로 판단되었다.

가열 RAP과 신규아스팔트를 선비빔하는 D방법의 경우 RAP과 신규골재 바인더간의 LMS 차이가 다른 방법에 비해 월등히 적어지는 것으로 나타났다. 이는 RAP과 신규아스팔트가 사전 혼합되면서 노화아스팔트가 신규아스팔트에 의해 어느 정도 녹은 후에 신규골재가 투입되어 더 비벼지면서 혼합물 내의

(a) virgin coarse aggregate (b) matrix (c) RAP coarse aggregate

그림 5. Three aggregate types in recycled mixture for aging level test

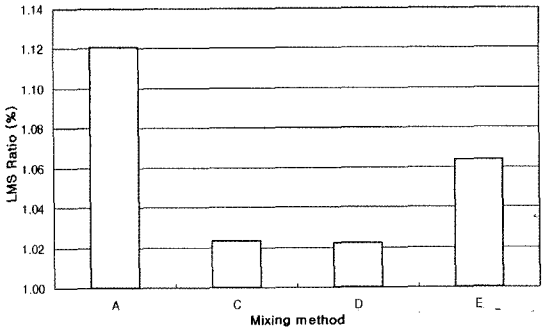


그림 6. LMS ratio of virgin aggregate binder by RAP binder

바인더 점도가 균등하게 되었다는 의미로 볼 수 있다. 재생첨가제를 사용한 E방법의 경우 재생첨가제에 의한 노화아스팔트의 회생효과가 있기는 하였으나 그 정도가 크지 않았다. 이는 재생첨가제의 양이 너무 적어 선비빔시 제대로 섞이지 못하는 문제가 있기 때문인 것으로 판단되었다.

일반적인 재생혼합물의 제조방법(A)으로는 노화된 RAP 내의 굵은골재에 붙어있는 노화된 바인더가 제대로 회생되지 못하고 전체적으로는 재생혼합물 내의 바인더가 불균등하게 분포함을 확인할 수 있었다. 특히 RAP에 있던 오래된 바인더가 기존의 방법(A)으로는 제대로 회생되지 못하므로 이와 같이 재생혼합물에 회생되지 못한 부분이 존재하면 포설 후 그곳의 노화가 여타부분 보다 빠르게 진행되므로 결국 균열발생의 시점이 될 것으로 사료된다

그림 6은 RAP에 대한 신 · 구재의 LMS 비를 방법별로 보여주고 있다. 즉, 신규골재 바인더의 LMS에 비해 RAP골재의 LMS가 얼마나 더 높은지를 제시된 방법별로 나타내었다. 이 그림을 통해 C, D방법에서 두 바인더간의 LMS 차이가 가장 적게 나타남을 알 수 있었으나 C방법은 비빔시간을 6분간 주어서 얻은 결과이므로 현장에서의 실용성에 문제가 있을 것으로 판단된다. 따라서 D방법이 가장 효과적인 것으로 보이나 완전히 균등화되지는 못하는 것으로 나타나므로 이를 보다 개선하기 위한 연구가 따라야 할 것으로 보인다. 즉, 신규골재 투입 전 RAP만을 신규바인더와 혼합할 때 재생첨가제를 추가하거

나, 믹서에 가열장치를 부착하여 단기간이나마 가열하여 더 잘 녹도록 하든가 RAP함량을 다소 변화시키는 등의 보완 연구가 있어야 할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 일반적으로 재생플랜트에서 제조되는 재생혼합물 내의 바인더의 노화 불균등 상태를 GPC를 통해 확인하였으며 바인더의 불균등 노화 특성을 개선하기 위한 몇 가지 혼합방법을 제안하였다. 각각의 혼합방법에 따라 재생혼합물을 제조하고 이로부터 GPC 분석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 재생혼합물로부터 RAP의 굵은골재(R), Matrix(바인더와 세립자의 혼합물 : M), 신규굵은골재(V) 부분으로 시료를 구분·채취하여 GPC 분석을 수행한 결과 기존 방법으로 제조되는 재생혼합물 내의 RAP 굵은골재의 노화된 바인더가 제대로 회생되지 못함을 알 수 있었다. 즉, 기존 재생혼합물 제조방법으로는 같은 재생혼합물 내에서도 바인더의 노화상태가 불균등하게 존재함을 확인할 수 있었다.
2. 본 논문에서 검토한 혼합방법(A, B, C, D, E)에 따라 재생혼합물을 제조하고 이로부터 R, M, V 시료를 각각 채취하여 GPC 분석을 수행한 결과 A방법(기존 혼합방법)의 바인더가 가장 불균등한 노화상태를 보였으며 C(비빔시간 6배 증가), D(RAP+신규바인더 선비빔)방법에서 큰 개선효과를 나타냈다.
3. B방법(재생혼합물을 비빈 후 150℃에서 2시간 보관)은 전체적으로 바인더의 노화가 크게 일어나 연구에서 제외하였다. 재생첨가제를 첨가한 E방법의 경우 재생첨가제에 의한 노화아스팔트의 회생효과가 있을 것으로 예상되었으나 재생첨가제의 양이 너무 적어 선비빔시 고루 섞이는데 문제가 있어 큰 효과를 보이지 않은 것으로 나타났다.
4. C방법은 바인더 노화상태의 높은 개선 효과를 보였으나 비빔시간을 6분간 주어 얻은 결과이므로 현장에서의 실용성에 문제가 있을 것으로 판단되었고, 결과적으로 D방법이 가장 우수한 효과를 보여 신규 아스팔트와 RAP의 사전혼합 과정이 재생혼합물의 노화상태를 개선하는데 좋은 방법임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산학연 공동연구개발사업(건설교통기술혁신사업)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

참고문헌

1. "가열아스팔트 혼합물의 배합설계 지침"(1998), 아스팔트 포장연구회, 도서출판 정보나라.
2. 김광우 등, (2003), "재활용 아스팔트 포장의 수명증진을 위한 품질향상 방안 연구," 2002년도 건설기술연구개발 1차년도 중간보고서.
3. 김광우, 이기호, 홍상기, 김민수 (2003), "GPC를 이용한 재생 아스팔트 혼합물내의 바인더 불균등노화상태 분석," 한국도로포장공학회 학술발표회 논문집, pp. 189~192.
4. 홍상기, (2004), "혼합 방법에 따른 가열 재생혼합물의 노화수준과 역학적 특성의 상관성 연구," 강원대학교 대학원 공학석사학위 논문
5. Jennings, P. W. and Prabanic, J.A. S. (1985), *"The Expanded Montana Asphalt Quality Study Using High Pressure Liquid Chromatography."* Report No. FHWA-MT-85-001, Montana St, Univ., Bozeman, Mt. U.S.A
6. Kim, K. W., Ahn, K. A. and Amirkhanian, S. N. (2004), "Estimation of asphalt viscosity in RAP using GPC without binder recovery," *Paper submitted to ASCE Journal of Civil Eng.* Materials.

7. Kim, K. W. and Burati, J. L. (1993), "Use of GPC Chromatogram to Characterize Aged Asphalt Cement," *Journal of materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 5(1)*, pp.41-52.
8. Kim, K. W., Burati, J. L. and Amirkhanian, S. N. (1993), "Relation of HP-GPC Profile with Mechanical Properties of AC Mixtures," *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 5. No. 4.*, Nov., pp. 447-459.
9. Kim, K. W., Burati, J. L. and Park, J. S. (1995), "Methodology for Defining LMS Portion in Asphalt Chromatogram." *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 7(1)*, pp. 31-40.
10. *"Mix design methods,"*(1993) Asphalt Institute, Manual series No. 2, Sixth edition.

〈접수 : 2004. 5. 18〉