한국환경과학회지 제10권(제4호), 311~314, 2001
J. of the Korean Environmental Sciences Society

CRM 아스팔트의 최적 혼합비와 환경친화적 특성

류 병 로 · 한 양 수*
한밭대학교 환경경학과 · *경동대학교 건설공학부
(*2001*년 *4*월 *30*일 접수)

Environmental Friendly Characteristics of CRM Asphalt Concrete and Optimal Mixing Ratio

Byong-Ro Ryu and Yang-Su Han*
Dept. of Environmental Engineering, Hanbat Univ., Daejon 305-719
**School of Construction Engineering, Kyungdong Univ., Gosung 219-832*
(Manuscript received 30 April, 2001)

The asphalt mixture with CRM(Crumb Rubber Modifier) is known to show a better performance in resisting thermal cracking, fatigue cracking and rutting compared with the conventional mixture. The laboratory tests on the physical characteristics of indirect tensile strength, density, flow and Marshall value of the CRM asphalt were conducted. The test results show that CRM asphalt has better physical characteristics than that of conventional asphalts. And the analysis on the noise reduction effect, penetration capacity from the field test on the national road in Haksan of Chungbuk, and recycling of tire waste were conducted. From this study, the results show that 1% CRM asphalt has higher the noise reduction effect and penetration capacity than those of conventional asphalts. And, optimal contents of crumb rubber modifier in the asphalt binder is one percent. In this case, crumb rubber modifier were used 10 kg to make the asphalt binder of one cubic meter. So it was named as Eco-asphalt.

Key words : CRM asphalt, Eco-asphalt, noise reduction, penetration, recycling of tire waste

1. 서 론

기존의 시멘트 또는 아스팔트 도로는 소음발생과 수막현상으로 인한 빗길 교통사고 위험, 하절기의 고온에서의 소성변형과 동절기 저온에서의 취성파괴 등의 문제점이 제기 되어 왔다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서 아스팔트포장 연구회를 중심으로 한 많은 도로 관련 연구자들이 여러 가지 새로운 아스팔트 혼합물을 개발해왔다. 김(1997)등이 폐타이어를 아스팔트 개질제로 사용한 저소음/배수성 아스팔트로서 외국의 개발사례를 소개한 바 있으며 국내에서도 국립건설시험소(1996), 김광우(1998) 등은 중북부 지방의 도로를 대상으로 몇 차례의 시험포장을 한 바 있다. 그러나 국내에서는 아직 CRM 개질제를 사용한 아스팔트의 현장적용에 관한 연구가 미흡한 실정이며 적극적인 활용이 안되고 잇는 실정이다.

본 연구에서는 서울 주변의 중북부 지방에서 그동안 주로 사용하던 아스팔트 시멘트(AP-3)가 아닌 현재 중남부에서 주로 사용되고 있는 아스팔트 시멘트(AP-5)를 기본 결합재료로 사용하고 CRM 개질제를 첨가해 가며 최적 배합실험을 실시하였다. 골재입도 및 물리적 특성 실험을 한 후 조제한 아스팔트 결합재료에 개질재로 첨가한 CRM의 투입량 변화에 따른 혼합물의 물성변화 실험과 배합설계를 통한 아스팔트 시멘트의 최적 함량 실험을 실시하였다. 또한 현장 적용성을 검증하기 위하여 현장 포설을 실시하여 소음 저감효과를 측정하였으며 배수특성을 파악하기 위하여 현장 포설 제품의 코아 채취를 통한 공극율 및 투수계수 등을 측정하여 배수성 아스팔트가 미치는 환경 친화적 측면에 대하여 연구하였다. 한편 폐타이어를 아스팔트 콘크리트의 골재에 첨가하고 더 많은 양의 폐타이어를 재활용하기 위하여 혼입량의 증가에 따른 혼합물의 특성을 평가하였다. 폐타이어의 혼입량 증가에 따른 소성변형 저항성과 공극율의 변화를 비교하였으며 이를 국내에서 사용할 경우 국내의 일반적인 규정에 적합한지 여부를 실험실과 현장에서 확인하여 사용가능성을 파악하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 사용재료

본 연구에 사용된 결합재료는 현재 우리 나라 중 · 남

부 지방에서 가장 많이 사용되고 있는 AP-5(침입도 60-80)아스팔트이며 혼입골재로서 굵은 골재 및 세(細) 골재는 충북 영동군 추풍령에서 생산되고 있는 화강암 쇄석을 사용하였다. 여기서 골재는 13mm를 기준으로 굵은 골재와 잔 골재로 구분하였고 KSF에 규정된 방법 및 남(1997)의 시험기준에 따라 품질기준을 평가하였다. 비중, 흡수율 및 마모율 등이 규정 내에 만족하였고 체번호 78번, 4번, 1번체로 체가름한 골재들로 합성하였으며 개질재는 폐타이어 입자를 첨가하였는데 기존 연구(아스팔트 포장 연구회(1997), 김(1998)에서 품질이 우수한 것으로 입증된 국내 D사 제품을 사용하였다.

본 시험에서는 한가지의 개질재를 가지고 입도별 구성비율에 따라 시료공시체를 3가지로 조성하였다. CRM1 시료공시체는 30번체를 통과하는 입자만을 사용하였고, CRM2는 4번체를 통과하고 8번 체를 통과한 것과 16번체에 남은 입자로 구분하여 이것의 비율이 1:3이 되도록 합성하였고 CRM3은 4번체를 통과하고 8번체에 남은 입자와 8번체를 통과하고 30번체에 남은 입자를 사용하여 이것이 비율이 1:3이 되도록 합성하였다. 조정된 입도는 Table 1과 같다.

Table 1. Gradation of CRM particles

Sample type	% passing in each sieve			
	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30
CRM 1	100	100	100	100
CRM 2	100	75	0	0
CRM 3	100	75	25	0

사용된 폴리머는 국내에서 생산되는 폴리머인 LDPE로서 50번체를 100% 통과하는 비교적 고운 분말이다. 이들에 대한 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Physical properties of LDPE

Material	Volatility (%)	Color	Tensile strength (kg/cm^2)	Extendibility (%)
LDPE	0.59	White	237	1,022

2.2. 실험방법

본 실험에서는 CRM과 아스팔트 혼입량에 따라 배합설계를 하였는데 폴리머 개질 아스팔트 혼합물의 간접인장강도를 이용하여 결정된 최적 폴리머 함량(LDPE 6%)을 가지고 배합설계를 통해 CRM 첨가량에 따라 최적 아스팔트 함량(OAC)을 결정하였다. 결정되어진 폴리머 및 OAC를 이용하여 5% CRM 1, 2, 3의 공시체를 제작하였다. 그러나 CRM 2와 3공시체는 마샬 다짐기에 의한 시험이 곤란한 두 가지의 문제가 발생하였다. 첫째 고온(60℃)에서 부풀어오르는(swelling) 취약성과 둘째 다짐후에 공시체가 굳지 못하고 풀어지는 문제로 인해 작업능률 면에서 30번체 통과재료를 개질재로 사용하는 것이 유리하다고 판단하여 각각 2%, 3%, 5%의 CRM을 넣어 제작하였다. 가는 입자의 폐타이어 분말은 골재와 같이 가열할 때 연소하기 때문에 CRM은 골재를 먼저 180~200℃로 가열한 후 폐타이어 분말을 골재와 혼합하고 아스팔트를 넣은 후 마샬 다짐기로 50회 다짐을 하였다. 이 때 공시체의 높이는 63.5±1.3mm이고 중량은 약 1160g을 목표로 하였다. 아스팔트 혼입량은 4.0~6.0%에서 0.5%의 간격으로 각각 1조 6개 약 1,200g을 30개를 제작하여 마샬실험을 통해 OAC을 결정하였다. 개질재 첨가시의 온도는 일반혼합물의 제조 온도보다 약 20℃정도 더 상승시켜 다짐하였으며 다짐횟수는 상하양면을 각각 50회 다짐하였다. 배합설계에서 결정된 OAC로 공시체를 1조 3개씩 15개를 더 제작하여 투수계수시험을 실시하였다. 비교용 일반 공시체는 같은 최대골재 입도를 갖는 밀입도 13mm 이하 아스팔트 혼합물 공시체를 위의 방법으로 제작하였다. 또한 투수성능을 알아보기 위해 투수계수 실험은 변수위 투수법을(KSF 2322) 통해 투수계수를 측정하였다. 이상의 실내 실험을 통해 만들어진 최적의 배합설계를 가지고 제품을 생산하여 현장실험을 하였다. 배합설계 방법은 마샬 배합 설계[8] 통해 만들어진 자료를 가지고 아스팔트 믹싱 플랜트에서 생산하여 1999년 9월 충북 영동의 학산지역에 200미터 구간의 시험 포장을 실시하였으며 포설 후 코아채취기로 20개지점에서 코아를 채취하여 밀도와 공극율을 측정하고 실외소음을 일반 포장과 비교하여 측정하였다.

3.결과 및 고찰

3.1. 배합설계

3.1.1. 골재의 입도 선정

투수성 아스콘의 입도 규정에 맞도록 골재를 혼합하여 이 입도를 가지고 혼합물을 제작하였다. 그리고 마샬 특성시험을 통하여 공극율, 포화도 안정도 및 흐름값을 구하였다. 그리고 이 특성치들이 규정에 맞지 않는 경우 다시 골재의 입도를 변경하여 규정에 맞는 입도를 결정하였다.

3.1.2. 최적 아스팔트 함량

김(1995) 등의 실험연구를 토대로한 아스팔트 콘크리트의 배합설계는 아스팔트 함량별로 제조된 공시체에 물성시험과 마샬 안정도시험을 통하여 최적 아스팔트 함량을 구함으로써 수행된다. Asphalt institute가 제시하는 시험범위 내에서 아스팔트 함량을 변화시켜 가면서 각 함량당 3개씩의 공시체를 제조하여 물성 시험, 마샬 안정도실험, 간접인장강도 실험을 수행하였다. 이것을 아스팔트 함량에 따른 곡선으로 표시한 후(Fig. 1.) 그래프상에서 공극율 3~6%(기존제품), 15~25%(배수성 아스팔트 혼합물), 안정도 500kg 이상, 흐름치는 20~40%, 포화도는 70~85%를 만족하는 각각의 아스팔트 함량을 구하고 이로부터 최적 아스팔트 함량을 구하였다. 최적 아스팔트 함량은 일반공시체의 경우 4.8%로 결정된 반면 CRM 1% 공시체는 5.0%, CRM 2% 공시체는 5.6%로 나타났고, 건식 혼합시 폐타이어 혼입량이 증가할수록 아스팔트 함량이 증가하는 것을 알 수 있었다.

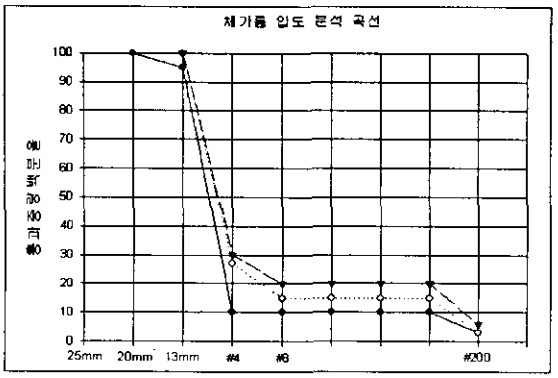

Fig. 1. Gradation of aggregate particles.

3.2. 간접 인장강도

윤하중은 포장층 하단에 인장 응력을 유발하기 때문에 아스팔트 혼합물에 대한 인장강도 값은 아스팔트 콘크리트 강도를 파악하는 데 가장 중요한 요소 중의 하나라고 할 수 있다. 이러한 인장강도 값은 간접 인장강도 시험으로 측정할 수 있다. Table 3은 간접 인장강도 시험결과로서 이 실험을 통하여 구한 인장강도 자료는 윤하중에 의한 수평 인장 응력으로 발생하는 균열 저항의 척도로 이용된다.

3.4. 마샬시험

마샬배합설계 결과로부터 최적 아스팔트 함량을 결정하였으며, CRM1, CRM2, CRM3에 대하여 최적 아스팔트 함량은 각각 5.0%, 5.4%. 5.8%로 나타났다. Table 4는 각 혼합물의 최적아스팔트 함량에서의 특성을 나타낸다.

3.5. 투수성 시험

결정된 개질재 첨가량으로 공시체를 제작하여 투수시험을 실시한 결과 Table 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 일반시멘트의 경우 투수계수가 0.002cm/sec 였으나 CRM혼입 아스팔트의 경우 0.185~0.205cm/sec 로 나타나 투수성이 약 100배 향상되는 것으로 나타났다.

3.6. 밀도 측정

배합설계에 의해 생산된 제품을 20개 지점에서 코아를 채취하여 밀도, 안정도, 공극율을 측정한 결과치의 평균은 Table 6과 같다.

Table 3. Indirect tensile strength of CRM mixtures

Mixture / Specimen	Indirect tensile strength(kg/cm²)			
	Dense Grade Mixture	CRM 1% LDPE6%	CRM 2% LDPE6%	CRM 3% LDPE6%
1	8.2	6.4	4.2	3.8
2	8.4	6.2	4.8	4.1
3	8.4	6.9	4.5	3.8
Avg.	8.3	6.5	4.5	3.9

Table 4. Properties at optimum asphalt content of general and CRM mixture by Marshall Test

Mixture	OAC (%)	Air Void (%)	VMA (%)	VFA (%)	Flow (0.1mm)	Marshall Stability (kg)	Retained Stability (%)
Specification [only general]	4~6	3~6		70~85	20~40	above 500	-
General	4.80	3.24	14.6	77.7	27	1,035	79.9
1%CRM	5.00	10.8	10.0	51.9	27	1,223	83.0
2%CRM	5.40	9.5	11.7	55.01	35	971	82.8
3%CRM	5.80	4.4	13.4	74.99	38	919	72.7

Table 5. Penetration test

Type	General asphalt	1% CRM	2% CRM	3% CRM
Measured Value(cm/sec)	2.0×10^{-5}	0.205	0.192	0.185

Table 6. Density and flow test

Item	Measured Value		Spec.
	General	1% CRM	
Marshall Stability(kg)	911	934	above 500
Density (g/cm³)	2.357	2.221	-
Flow (1/100cm)	23	28	20 ~ 40

3.7. 소음저감 효과시험

배합설계에 의해 생산된 제품을 영동군 학산면의 왕복 2차선 국도를 시험구간으로 선정하여 1999년 9월에 포설한 후 2000년 3월에 현장에서 소음도를 일반포장도로와 비교 측정하였다. 로면이 평탄하고 주변의 흡음여건이 유사한 200미터구간을 선정하고 100미터는 일반포장을 포설하고 같은 방향으로 100미터는 CRM개질제를 사용한 투수성 포장을 포설하였다. 각각의 중앙부를 기준하여 로견에서 2미터 이격된 위치에 소음계을 설치하여 10분간의 평균소음도를 자동차 통행량이 비교적 많은 주간에 5회 측정하였다. 또 평균화 시간은 두 측정지점간의 자동차의 평균 속도를 고려하여 5초간 지체하여 산정하였고 배경소음은 자동차 통행량이 없을 경우 측정한 것이다. 측정한 결과 일반 아스팔트 도로보다 CRM 저소음/배수성 아스팔트 포장이 5dB 정도 적게 나타나 소음저감효과가 양호한 것으로 나타났다.

Table 7. Comparison of noise reduction effects (unit: dB)

Position	Back-ground	1	2	3	4	5	Avg.
General	45.1	72.2	71.0	71.1	71.5	72.9	71.7
CRMasphalt	45.9	66.5	66.2	66.3	67.3	66.8	66.6

3.8. 폐타이어의 재활용

명시된 적정 배합설계에 의해 CRM 1%(전체 혼합물에 대한 CRM 혼합비 1%)을 혼합물에 투입할 경우 제품 1톤당 10 kg 정도가 소요된다. 보통 승용차 타이어 1개당 중량을 5 kg으로 계산할 경우 소요되는 타이어의 양은 아스팔트를 년간 30만톤을 생산할 경우 약 60만개가 되므로 연간 발생량이 2천만개로 추정되는 우리나라 폐타이어 발생량(자원재생공사 자료)의 3%를 처리할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 CRM 아스팔트 개질제의 혼합비율에 따른 아스팔트의 내구성, 안정성을 확인한 후 투수성, 소음저감효과 및 폐타이어 재활용 효과를 시험한 연구로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 배합설계 결과 CRM의 입도는 30번체 이하를 통과하는 입자가 제품의 혼합에 부작용 없이 잘 적용됨을 알 수 있었다.

2. CRM을 전체 혼합물의 1% 투입시에 마샬안정도는 1,035 kg이고 공극율 역시 10.8로 일반 아스팔트 혼합물이나 CRM을 2% 또는 3% 혼합시보다 높게 나타났다. 특히 일반 제품과 1% CRM의 공극율 차이가 6 % 정도로 크며 투수성이 크게 증가하였다. 제품의 배수 성능을 알기 위해 일반제품과 배수성 제품과 투수계수 시험을 실내와 실외에서 비교 실시 해본 결과 CRM 아스팔트의 투수계수가 약 100배 큰 것으로 나타나 투수효과가 매우 높은 것을 알 수 있었다.

3. 현장 포설후 실시한 소음도 측정결과에서 투수성 아스팔트는 일반 아스팔트 포장에 비하여 약 6 dB정도 소음도가 낮게 나타나 투수성 아스팔트의 흡음효과가 매우 큼을 알 수 있고 도로변 소음도를 저감하기 위하여 적용성이 우수함을 알 수 있었다.

4. 폐타이어 고무분말을 개질제로 사용함으로써 폐타이어의 재활용 효과를 확인 할 수 있어 친환경적 아스팔트 재료로 평가되었다.

참 고 문 헌

1) 아스팔트 포장연구회역, 1999, 아스팔트 포장공학 원론. 한국 도로 포장 공학회.

2) 김광우, 최영규. 1998, 표층재료로 건식혼합 폐타이어 아스팔트 혼합물의 적용성 연구, 대한 토목학회 학술발표회 논문집. 18(Ⅲ-2).

3) 김광우, 최영규, 박용철, 1995, 폐타이어 고무 아스팔트의 배합설계." 대한 토목학회 학술 발표회 논문집, 대한토목학회, 1(1) pp503-506.

4) 김낙석. 1997, 폐타이어 고무 분말을 이용한 아스팔트 혼합물의 실험적 공용 특성. 한국 과학재단학연산 교류회 논문집.

5) 남영국, 최한중, 1997, 최신 도로공학 총론, 청문각, pp223-286.

6) 한국 도로 교통협회, 1996, 도로공사 표준 시방서, pp263-270, pp565-593.

7) 건설교통부 국립건설 시험소. 1996, 특수골재 및 개질 아스팔트 포장 시험시공 성과분석 보고서

8) 아스팔트 포장 연구회, 1997, 가열 아스팔트 혼합물의 배합설계 지침.

9) 한국도로공사 도로연구소, 1995, 아스팔트 포장설계의 표준화 연구Ⅱ, pp1-46.

10) Federal Highway Administration, 1993, Workshop Notes-Crumb Rubber Modifier.

11) Green, E. L., and W. J., Tolonen, 1997, Tee Chemical and Physical Properties of Asphalt-Rubber Mixtures-Basic Material Behavior, Report No. ADOT-R5 15(162). Arizona Department of Transportation.

12) Hossain, M., A. Habib and T. M. LaTorella., 1997, Structural Layer Coefficients of Crumb Rubber-Modified Asphalt Concrete Mixtures, Transportation Research Board, Transportation Research Rocord 1583, 62-70.