

차도용 칼라 역청 콘크리트의 특성 평가

Evaluation of Colour Bituminous Concrete for Motorway Pavement

김광우* · 오성균** · 도영수*** · 고동혁**** · 서영상****

1. 서 론

1990년대부터 차량의 보유대수가 급격히 증가함에 따라 도로에 대한 관심이 더 크게 증가하였고 보다 쾌적한 주행환경이 요구됨으로 인하여 칼라 포장¹⁾이 등장하게 되었다. 칼라 포장은 보도 등에 주로 사용되어 획일적인 도시 도로의 색상을 다양한 색채를 가지는 아름다운 환경으로 조성하는데 이용되고 있다. 특히 기존 차로와 색상의 차별화를 두어 차량 운전자로 하여금 경각심을 부각시켜 부주의로 인한 사고를 예방하고자 주로 자전거 도로에 칼라 포장이 이용되고 있다. 그러나 기존에 보도 및 자전거 도로 등에 한정되어 사용되는 칼라 역청 포장은 비교적 작은 하중 하에 공용된다. 따라서 이를 그대로 차도에 적용할 경우 차량의 높은 율하중 때문에 많은 문제점이 발생하게 된다.

본 연구의 목적은 차도용으로 사용하기 위한 칼라 역청 포장 재료를 개발하고 이에 대한 체계적인 실험을 통하여 그 적용성을 규명하는 것이다. 이를 위하여 기존 아스팔트 혼합물과의 역학적 특성을 비교·분석하고 칼라 역청 포장의 이러한 특성을 증진시키기 위해 개질재를 선정하였다. 그리고 같은 골재와 입도의 동일한 조건하에서 개질에 따른 혼합물의 역학적 특성 분석을 통하여 칼라 역청 포장의 활용 가능성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 사용 재료

본 연구에 사용된 바인더는 국내에서 널리 사용되고 있는 침입도 등급이 85-100인 AP-3 아스팔트와 이와 유사한 물리적 특성을 띠는 무색 바인더(Transparent binder: TB)를 사용하였다. 골재는 강원 영서지방에서 생산되는 최대치수가 13mm인 편마암 쇄석 굵은골재와 부순모래를 잔골재로 사용하였으며, 골재입도는 선행 연구(김광우, 1998)에서 제시한 입도로 합성하여 사용하였다. 또한 골재들은 KS규정에 따라서 품질시험을 실시하였다.

* 강원대학교 농공학과 부교수

** 대림건설산업(주)

*** 강원대학교 석재신소재 연구센터 연구원

**** 강원대학교 석사과정



다양한 색상의 혼합물을 만들기 위하여 칼라 안료(Pigment)를 사용하였으며, 개질재로 건식혼합이 용이한 국산 저밀도 폴리에틸렌(LDPE: Low-density polyethylene)을 아스팔트 중량의 5%를 사용하였다. 또한 혼합물의 강성(Stiffness) 증진을 위해 공업용 송진(Rosin)을 개질재로 아스팔트 중량의 5%를 사용하였으며, 갭입도 혼합물의 침강현상을 방지하기 위해서 김광우 등(1998)의 선행연구에 근거하여 폐신문지 섬유재를 아스팔트 양의 2%사용하였다.

2.2. 시험방법

2.2.1. 바인더의 특성

본 연구에 사용된 바인더의 레올로지 특성을 분석하고 공용성 등급을 결정하기 위하여 인공노화 전후의 바인더를 채취하여 침입도(Penetration) 시험은 KS M 2252, 절대점도(Absolute viscosity)는 KS M 2247, ASTM D 2171, 동점도(Kinematic viscosity) 시험, DSR 시험은 AASHTO T P5, BBR (Bending beam rheometer) 시험을 수행하였다. 바인더의 노화는 회전막막가열시험 (RTFO : KS M 2259)에 따라 단기노화시키고 압력노화시험 (PAV : AASHTO PP1)에 따라 장기노화시켰다.

2.2.2. 혼합물 시험

가. 안료의 최적 함량 결정

칼라 아스콘은 그 혼합물의 색상의 선명도가 중요하다. 따라서 최적의 색상을 나타내고 경제적인 안료의 함량을 구하기 위해 무색바인더 함량을 고정시키고 안료의 양을 변화시켰다. 안료의 최적함량은 노랑색 칼라아스콘을 제조할 때 전체중량의 0.75%로 결정하였다.

나. 혼합물의 선정

바인더 시험결과와 혼합물의 예비실험을 통하여 골재의 입도는 갭입도(Gap-grade)를 사용하였으며, 비교용으로 AP-3아스팔트를 사용한 G-AP혼합물, 무색바인더를 사용한 G-TB, TB에 LDPE를 사용한 G-TBL, TB에 Rosin을 사용한 G-TBR, 그리고, TB에 LDPE와 Rosin을 함께 사용한 G-TBLR을 제조하여 각종시험에 사용하였다.

아스팔트 혼합물의 배합설계는 마샬 방법에 의하여 수행하였으며, 각 혼합물에서 결정된 OAC로 공시체를 제조하여 마샬 안정도, 간접인장강도, 동결-융해 시험을 통하여 인장강도비(Tensile strength ratio: TSR)를 구하였고 소성변형 저항성을 예측하기 위하여 반복주행시험을 수행하였고, 피로 수명을 규명하기 위해 피로 시험을 수행하였다. 또한 혼합물을 노화시험을 수행하였다.

다. 동결-융해 시험

본 연구에서는 동결-융해 1주기는 동결 8시간, 동결유지 4시간, 융해 8시간, 융해유지 4시간으로 총 24시간으로 설정하였다. 이와 같이 동결 및 융해 시간을 길게 한 것은 급속한 동결-융해로 인한 온도 충격(Thermal shock)을 방지하고 가능한 겨울철 일일 기후 변화에 의한 자연 동결-융해 현상을 모사하기 위한 것이다. 동결-융해는 7, 14, 21, 28 주기로 4단계로 하였으며 각 단계가 끝난 후 ITS를 측정하여 동결-융해처리하지 않은 ITS와 비교하여 식(1)을 사용하여 인장강도비(Tensile Strength Ratio:



TSR)를 구하였다.

$$TSR = \frac{ITS_{F/T}}{ITS_o} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서, $ITS_{F/T}$ = 동결-융해 시험 후 ITS

ITS_o = 동결-융해 시험 전 ITS

라. 반복주행시험

아스팔트 콘크리트의 소성변형 발생 메커니즘을 모사한 시험방법이 반복주행(Wheel tracking)시험이다. 본 연구에서는 배합설계를 거쳐 305mm×305mm×70mm의 슬래브 공시체를 공극률 4±1.0%로 맞추어 제작하였다. 제작된 공시체는 48시간 양생 후 시험온도인 60℃에서 6시간 이상 저장 후 차륜 축하중은 70kg으로 시험을 수행하고 혼합물의 누적 침하율(Accumulative deformation rate : ADR), 동적안정도(Dynamic stability : DS)와 최종침하량을 구하였다.

마. 피로 시험(Fatigue test)

반복되는 차량하중에 의해 발생하는 피로 균열(Fatigue crack) 저항성(피로수명: Fatigue life)을 비교하기 위해서 본 연구에서는 다음과 같이 피로 시험을 수행하였다. 공시체는 마샬공시체에 간접인장강도시험모드로 반복하중을 작용시켜 공시체가 파괴될 때까지의 수명을 측정하였다. 시험은 25℃에서 이루어졌으며, 최대하중이 작용할 때 수평인장응력이 2kg/cm²의 되도록 계산하여 최대하중을 결정하였다. 결정된 최대하중을 0.1초의 재하기와 0.9초 휴지기를 두어 1Hz의 주기로 하중을 재하하였다. 이때 재하와 휴지를 반복할 때 공시체에 충격하중이 가해지지 않도록 5kg의 최소하중을 재하시켰다.

3. 결과 및 고찰

가. 바인더의 물리적 특성

바인더의 레올로지 특성을 분석한 결과 바인더의 공용성 등급은 다음과 같이 결정되었다. 여기서 L5는 LDPE5%, R5는 Rosin5%, L5R5는 LDPE와 Rosin을 5%씩 함께 섞은 것이다. AP-3의 PG는 52-16으로 나타났으며 L5와 R5는 고온등급이 64로 두 단계 향상되었다. 그러나, TB는 L5에서는 고온만 한 단계 향상되었고 R5에서는 고온이 한 등급 향상된 것에 비해 저온등급은 한 단계 저하되었다. 반면, L5R5에서는 고온등급이 2단계 향상되고 저온등급이 한 단계 저하되었다.

나. 마샬안정도 및 간접인장강도

배합설계 결과 결정된 OAC로 혼합물을 제조하여 마샬 안정도, 간접인장강도를 측정하고 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 안정도는 모두 800Kgf 이상으로 일반혼합물의 기준인 500Kgf를 충분히 만족하였으며 간접인장강도도 상당히 높은 수준으로 우수하게 나타났다.



Table 1. PG for binder type

Test results							
Binder type	AP-3			Transparent binder			
	straight	L5	R5	straight	L5	R5	L5R5
Fresh binder							
Viscosity, ASTM D 4402: Maximum, 3 Pa · s (3000 cP) test Temp., : 135°C							
G/sin δ	58	70	70	58	64	58	64
RTFO Residue							
G/sin δ	52	64	64	52	58	58	64
PAV Residue							
G sin δ	22	22	25	22	25	28	31
Stiffness value	-6	-6	-6	-6	-6	0	0
PG	52-16	64-16	64-16	52-16	58-16	58-10	64-10

Table 2. Fundamental properties of various bituminous mixtures at OAC

	G-AP	G-TB	G-TBL	G-TBR	G-TBLR
OAC (%)	4.8	5.3	5.2	5.2	5.2
Stability (kgf)	909	817	963	898	916
ITS(kg/cm ²)	9.3	11.7	12.7	12.2	15.7

다. 동결-융해 시험

Table 3은 각 혼합물에 대한 동결-융해 전 후의 간접인장강도 및 강도비를 나타낸 것이다. 전체적으로, 28 cycle 부터는 ITS가 현저히 줄어들어 동결-융해의 영향을 받는 것으로 나타났다. 28 cycle 후의 TSR 순서는 G-TB, G-TBR, G-TBLR, G-AP, G-TBL 순서로 G-TB가 동결-융해에 가장 강한 것으로 나타났다. 이는 바인더 공용성 등급결정에서 개질제 LDPE, Rosin 이 저온등급 향상에 영향이 없던 것과 상응하는 결과로 분석된다. 하지만, 비록 TSR비율은 G-TB보다 다소 낮으나 28Cycle 후 G-TBLR의 ITS값은 12.4kgf/cm²으로 여전히 가장 높은 값을 보였으며, G-TBL, G-TBR들은 9.3kgf/cm² 이상으로 동결-융해처리전 G-AP와 같거나 높게 나타나 비교적 동결-융해에 강한 면모를 보였다.

Table 3. 동결-융해 전후의 간접인장강도 및 강도비율

혼합물 종류	0		7		14		21		28	
	ITS (kgf/cm ²)	TSR (%)	ITS (kgf/cm ²)	TSR (%)	ITS (kgf/cm ²)	TSR (%)	ITS (kgf/cm ²)	TSR (%)	ITS (kgf/cm ²)	TSR (%)
G-AP	9.3	100	8.7	93.5	7.3	78.5	6.8	73.1	7.1	76.3
G-TB	11.7	100	11.7	100	11.7	100	12.1	103.4	10.5	89.7
G-TBL	12.7	100	15.0	118.1	11.8	92.9	10.8	85.0	9.3	73.2
G-TBR	12.2	100	16.3	133.6	14.5	118.9	10.7	87.7	9.9	81.1
G-TBLR	15.7	100	17.3	110.2	16.0	101.9	12.4	79.0	12.4	79.0



라. 반복주행시험

Fig. 1은 반복주행시험 결과를 보여주고 있다. Fig. 1에서 최종 침하량은 G-TBL, G-TBLR, G-TB, G-TBR, G-AP 순서로 적게 나타났다. G-TBL은 G-TB, G-AP 보다 두 배 정도의 소성변형 저항성이 강함을 보여주었고 G-TBR은 G-TB, G-AP와 비슷한 결과를 보여주었다. 그리고, G-TBLR은 G-TBL과 최종 침하량은 비슷하였다. 따라서, LDPE 개질은 소성변형 저항성에 많은 향상이 있는 반면 Rosin 개질은 향상이 없었다. 이것은 60℃에서 바인더의 물리적 특성을 나타내는 절대점도, 수퍼페이브 시방에서 고온 등급을 결정시 사용하는 $G^*/\sin \delta$ (소성변형 인자)와 비슷한 양상이었다.

마. 피로시험

Fig. 2는 피로시험에서 결정된 피로수명을 보여주고 있다. G-TBLR의 피로수명이 가장 양호했으며, G-TBL은 가장 좋지 않은 결과를 보여주었다. 이 결과를 비교해 볼 때, 25℃에서 G-TBLR이 차량의 반복하중에 따른 피로균열 저항성이 가장 양호할 것으로 사료된다.

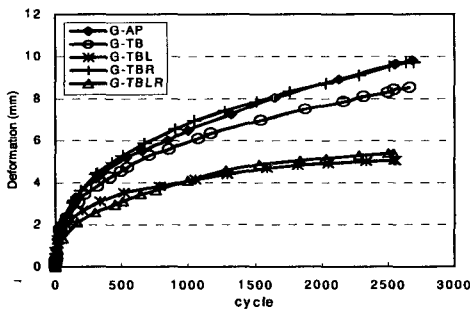


Fig. 126. Results of wheel tracking tests at 60℃

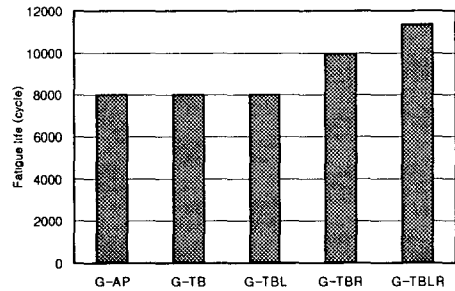


Fig. 127. Result of fatigue test at 25℃

4. 결론

갈라 역청 포장 재료의 차도 적용 가능성을 연구하면서 이의 물리적, 역학적 특성을 증가시키기 위해 LDPE와 Rosin으로 결합재를 개질하고, 섬유재(폐신문지)를 첨가하여 제조한 결합재 및 혼합물에 대한 여러 가지 실험을 수행하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- LDPE와 Rosin에 의한 개질은 고온 공용성 등급 향상에 효과가 있었으나 저온 공용성 등급 향상에는 효과가 없었다. 또한 바인더의 물리적 특성에 있어서, LDPE와 Rosin의 개질은 물리적 특성 증가에 효과가 있었으며, Rosin의 개질은 작업성이 향상되었다.
- LDPE 5%의 개질한 겹입도 혼합물의 안정도, 간접인장강도 등 역학적 특성이 증가되었으며 특히, 소성변형저항성에 많은 향상이 있었다. Rosin 5%의 개질은 혼합물의 안정도, 동결-융해 저항성 등의 특성이 증가되었으며 특히, 간접인장강도에 많은 향상을 가져왔다. LDPE 5% + Rosin 5%의 개질은 거의 대부분의 역학적 특성 증가를 보여 LDPE와 Rosin을 같이 개질하면 공용성능



이 향상될 것으로 보인다.

- 3) 혼합물 노화에서 AP 혼합물이 TB 혼합물보다 단기노화 및 장기노화 과정에서 노화가 적게되었다. 그리고 TB 혼합물에서 Rosin의 개질은 포장 공용 후 노화를 방지하는 효과가 있는 반면, LDPE의 개질은 효과가 적은 것으로 나타났다.

종합적으로 보면, 본 연구에서 개발된 칼라 역청 콘크리트 혼합물은 기존 AP-3를 사용한 아스팔트 콘크리트 혼합물과 비교해 역학적 특성이 비슷하였으며, 모든 혼합물은 차도용 시방 규정을 만족하였다. 그리고, 이를 LDPE와 Rosin으로 개질할 경우 포장의 공용성능이 더욱 향상될 것으로 보여 차도용으로 충분히 사용 가능함을 확인하였다.

하지만 본 연구는 한가지의 골재와 바인더, 그리고 제한된 개질제에 의한 것이므로 보다 폭 넓은 연구가 필요하며, Rosin이 증가할수록 저온에서의 취성과파괴에 약한 것으로 예상되기 때문에 이에 대한 추가적인 실험이 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

1. 김광우, 연구석, 안경애, 조희원 (1996), "폴리머 개질 아스팔트 콘크리트의 강도 특성," 대한토목학회 학술발표회 논문집, 대한토목학회지.
2. 김광우, 이상범, 이지용, 이석홍 (1998), "골재간의 접촉을 통한 아스팔트 혼합물의 변형 제어 연구," 대한토목학회논문집, 제18권, 제 3-4호.
3. 정일권 (2000), "국내 아스팔트의 폴리머 改質 및 老化에 따른 特性 變化 研究," 강원대학교 대학원, 공학석사학위논문.
4. 이경하 (1996), "아스팔트 혼합물의 회복탄성계수 추정모델 개발," 성균관대학교 대학원, 토목공학과, 박사학위 청구논문.
5. Othman, A., Figueroa, L. and Aglan, H. (1995), "Fatigue Behavior of Styrene-Butadiene - Styrene Modified Asphaltic Mixtures Exposed to Low-Temperature Cyclic Aging," Transportation Research Record, No. 1492, p. 129.
6. Kliewer, J. E., Bell, C. A. and Sosmvske, K. A. (1995), "Investigation of the Relationship Between Field Performance and Laboratory Aging Properties of Asphalt Mixtures," Engineering Properties of Asphalt Mixtures and the Relationship to their Performance, ASTM STP 1265, Gerald A. Huber and Dale S. Decker, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
7. Ayres, Jr., M. and Witczak, M. W. (1995), "Resilient Modulus Properties of Asphalt Rubber Mixes from Field Demonstration Projects in Maryland," Transportation Research Record, No. 1492, p. 96.
8. Dunaiski, P. E. and Hugo, F. (1990), "A Proposed Method for Measuring the Lateral Displacements during Indirect Tensile Tests on Asphalt Briquettes using Linear Variable Differential Transducers," Proceedings of the Fourth International Symposium held by RILEM.
9. SAID S. F. (1990), "Resilient Modulus by Indirect Tensile Test," Mechanical Tests for Bituminous Mixes, Proceedings of the Fourth International Symposium held by RILEM.