



차도용 칼라 역청 혼합물의 적용성 연구

Applicability of Color Bituminous Mixtures for Highway Pavement

도 영 수* 오 성 균** 최 영 규*** 김 광 우****
Doh, Y. S. Oh, S. K. Choi, Y. K. Kim, K. W.

Abstract

This study was Performed to evaluate applicability of color flexible pavement concrete (CFPC) for motorway pavement. Color flexible pavement has been applied to non-motorway pavements, such as pedestrian and bicycle road. Two polymers were used to modify the binder and to strengthen the stiffness of pavement mixture. Waste paper was used to prevent the asphalt of gap-grade mixture from draining. Marshall properties, indirect tensile strength(ITS), tensile strength ratio(TSR) before and after freezing-and-thawing treatment and artificial aging, permanent deformation and fatigue life were measured. Color bituminous concrete mixtures used this study had nearly the same quality in mechanical properties when compared with conventional asphalt concrete mixtures manufactured with AP-3 and all mixtures satisfied with domestic specification for motorway pavement. Therefore, it is proved that the color bituminous concrete used this study can be applied for motorway pavement

Keywords : CFPC, gap-grade, ITS, TSR, freezing-and-thawing treatment, artificial aging

요 지

본 연구는 차도용 칼라 역청 콘크리트의 적용성을 평가하기 위하여 수행되었다. 칼라 역청 포장은 차도가 아닌 보행자 도로나 자전거 도로에 사용되어 왔다. 본 연구에서 바인더 개질 및 혼합물 강성의 증진을 위하여 두 가지 폴리머가 사용되었다. 또한 갭도 혼합물에서 나타나는 침강현상을 방지하기 위하여 폐신문지를 사용하였다. 마샬안정도, 간접인장강도, 동결-융해 및 인공노화 처리 전·후의 인장강도비, 소성변형 저항성, 피로수명을 측정하였다. LDPE 개질된 칼라 역청 콘크리트는 일반 아스팔트 혼합물에 비해 높은 안정도와 인장강도를 나타냈으며, 특히 소성변형 저항성에서 많은 향상을 가져왔다. Rosin 개질된 칼라 역청 콘크리트는 일반 아스팔트 혼합물

* 정회원 · 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터 전임연구원, 공학박사

** 정회원 · 대림산업(주) 토목기술부 대리

*** Assistant, Department of Civil Eng., Nottingham University, England

**** 정회원 · 강원대학교 지역기반공학과 교수

보다 높은 안정도와 동결융해저항성을 보였으며, 특히 간접인장강도에서 많은 향상을 보였다. LDPE + Rosin의 개질은 거의 대부분의 역학적 특성의 증가를 가져왔다. 따라서 본 연구에서 사용된 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.

핵심용어 : 칼라 역청 콘크리트, 꺾임도, 침강현상, 인공노화, 인장강도비, 소성변형, 피로수명

1. 서론

1990년대부터 차량의 보유대수가 급격히 증가되어 도로 수요가 크게 증가되면서 보다 쾌적한 주행을 위한 도로포장이 요구되고 있다. 이러한 요구와 더불어 시공과 유지보수의 편리함 및 시공 후의 빠른 교통 소통 등의 장점 때문에 국도를 중심으로 아스팔트 포장에 널리 시공되고 있다. 또한 미관에 대한 인식이 증가함에 따라 아스팔트 혼합물에 안료를 첨가하거나 도색을 하는 방법으로 다양한 색상의 포장이 등장하였다. 이러한 칼라 포장은 보도에 주로 사용되어 획일적인 도시 도로의 색상을 다양한 색채를 갖는 아름다운 환경으로 조성하는데 이용되고 있다. 특히 기존 차로와 색상의 차별화를 두어 차량 운전자에게 경각심을 부각시켜 부주의로 인한 사고를 예방하고자 주로 자전거 도로에 칼라 포장이 이용되고 왔다. 그러나 서울시에서는 최근 버스전용차로를 칼라 아스팔트혼합물로 포장을 하면서 차로의 칼라화에 관심이 쏠리고 있다.

차도의 경계지역 및 특수지역을 도색하여 표시하는 것은 표면 마찰저항을 감소시키며, 특히 비나 눈이 내리는 경우는 더욱 미끄럽게 되어 오히려 사고 유발에 원인이 된다. 게다가 교통량이 많은 곳은 도색이 빨리 벗겨져 유지보수에 많은 비용이 소요된다. 이러한 지역에 내구성이 높으면서도 품질이 좋은 칼라 포장의 사용은 도시미관, 운전자의 경각심 부각, 교통안전 등을 고려할 때 매우 필요하다고 할 수 있다.

그러나 기존에 보도 및 자전거 도로 등에 한정되어

사용되는 칼라 역청 포장은 비교적 작은 하중 하에 공용되어진 것이므로 이를 그대로 차도에 적용할 경우 차량의 큰 윤하중에 의하여 많은 문제점이 발생하게 된다. 따라서 본 연구의 목적은 본 연구팀의 연구를 통해 개발된 차도용 폴리머 개질 칼라 연성 포장(이후 차도용 칼라 역청 포장)의 특성을 실험을 통하여 평가하고 그 적용 가능성을 보여주는 것이다.

기 개발된 혼합물(Kim 등 2000)의 역학적 특성을 토대로 차도용 칼라 역청포장의 공용성을 예측하기 위하여 동결융해 저항성 시험, 소성변형 저항성을 측정하기 위한 반복주행시험, 반복 차량하중에 의한 피로균열 저항성을 측정하기 위한 피로시험, 혼합물 노화정도에 따른 강도비의 변화를 측정하기 위한 혼합물 인공노화시험 등을 통하여 칼라 역청 포장의 활용 가능성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

본 연구에 사용된 바인더는 국내에서 널리 사용되고 있는 침입도 등급이 80-100 아스팔트(AP-3)와 이와 유사한 물리적 특성을 띠는 국내에서 생산되는 무색 바인더(Transparent binder: TB)를 사용하였다. 표 1은 AP-3 및 TB의 물리적 특성을 나타낸다.

골재는 강원 영서지방에서 생산되는 최대치수가 13mm인 편마암(gneiss) 쇄석 굵은골재와 굵은골재의 생산과정에서 발생하는 부순모래(screenings)를

표 1. Physical properties of binders

| Classification | Spec. | AP-3 | TB |
|---------------------------------|--------|----------------|----------------|
| | | Measured value | Measured value |
| Penetration, 25℃ (0.1mm) | 80-100 | 94 | 92 |
| Absolute viscosity, 60℃ (poise) | - | 964 | 1061 |
| Ductility, 25℃ (cm) | >100 | 150 | - |
| Flash point (℃) | >230 | 317 | - |
| Softening point (℃) | 40-60 | 46 | 46 |
| Specific gravity | - | 1.03 | - |

표 2. Specification and gradation of gap-graded surface layer aggregate

| Sieves size | Percent passing(%) | |
|--------------------|--------------------|-----------|
| | Specification | Gradation |
| 19mm | 100 | 100 |
| 13mm | 95 - 100 | 99.04 |
| 10mm | - | - |
| No. 4 (4.75mm) | 20 - 36 | 30.94 |
| No. 8 (2.36mm) | 12 - 25 | 17.59 |
| No. 50 (0.30mm) | 5 - 13 | 8.42 |
| No. 200 (0.075mm) | 3 - 6 | 4.50 |
| Asphalt content(%) | 3.5 - 5.5 | |

표 3. Properties of aggregates

| Test items | Coarse agg. | | Fine agg. | | Filler | |
|------------------|-------------|----------------|-----------|----------------|--------|----------------|
| | Spec. | Measured value | Spec | Measured value | Spec | Measured value |
| Specific gravity | > 2.45 | 2.72 | > 2.5 | 2.72 | > 2.60 | 2.75 |
| Abrasion (%) | <35 | 18.1 | - | - | - | - |
| Absorption (%) | <3.0 | 0.70 | <3.0 | 0.26 | - | - |

잔골재로 사용하였다. 골재입도는 굵은골재 최대치수를 13mm로 하여 잔골재, 채움재와 혼합하여 건설교통부 표층용 투수성 아스팔트 혼합물 규격에 적합한 입도로 한 선행 연구(Kim 등 1998)에서 제시된 입도를 사용하였다(표 2). 또한 골재들은 KS규정에 따라서 품질시험을 실시하였다(표 3).

다양한 색상의 혼합물을 만들기 위하여 칼라 안료(color pigment)를 사용하였다. 안료는 No. 200(0.075mm)체를 거의 다 통과하는 매우 가는 형태의 분말이다(그림 1).

개질재는 건식혼합이 용이한 국산 Low-density Polyethylene(LDPE)을 아스팔트 중량의 5%를 사

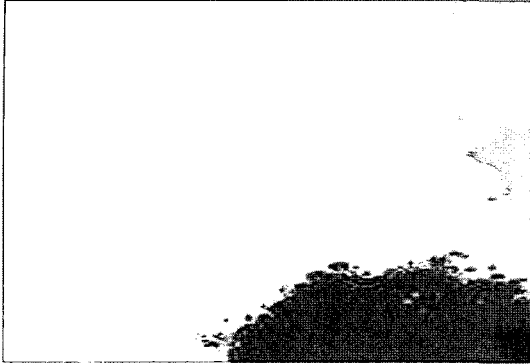


그림 1. Color pigments

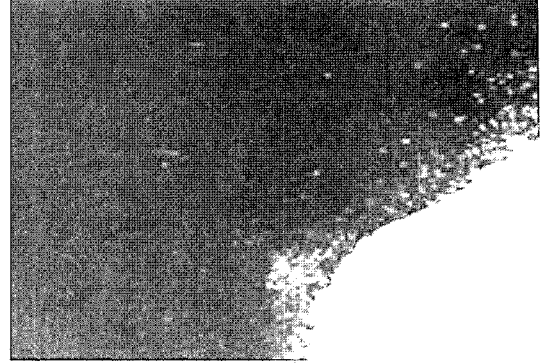


그림 2. LDPE powder

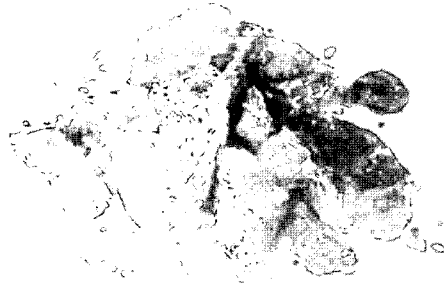


그림 3. Industrial rosin

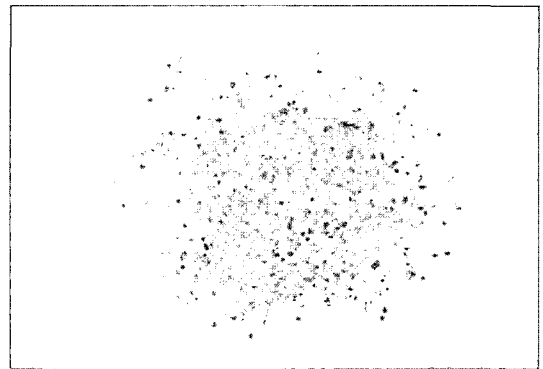


그림 4. Shredded waste paper

용하였다(김광우 등 1997). LDPE는 No. 50체를 거의 다 통과하는 비교적 고운 가루형태의 분말이다(그림 2). 또한 혼합물의 강성(stiffness) 증진을 위하여 공업용 송진(Rosin)을 예비실험을 통하여 아스팔트 중량의 5%(김광우, 1997)를 개질제로 사용하였다. 송진은 덩어리부터 가루 형태까지 다양한 크기의 고체 부스러기로서 상온에서는 충격에 잘 부스러지고 고온에서는 액상형태를 나타내는 특성을 갖는다(그림 3).

갭입도 혼합물에서 나타나는 침강현상(drain down)을 방지하기 위해서 섬유제가 사용된다. 본 연구에서는 상용화된 섬유제 대신에 표 4와 같이 폐신문지를 잘게 2×2mm로 썰은 섬유제를 아스팔트 양의 2%를 사용하였다(오성균 등 1999).

2.2 방법

2.2.1 안료의 최적 함량 결정

칼라 아스팔트 콘크리트는 그 혼합물의 색상이 얼마나 뚜렷한지가 중요하다. 따라서 최적의 색상을 나타내고 경제적인 안료의 함량을 구하기 위해 아스팔트 함량을 고정시키고 안료의 양을 변화시켜 최적의 안료 함량을 구하였다.

2.2.2 배합설계

아스팔트 혼합물의 배합설계는 마샬 방법을 이용하여 아스팔트 함량을 3.5%~5.5%까지 0.5%씩 증가시켜가며 최적 아스팔트 함량(Optimum Asphalt Content: OAC)을 결정하였으며, 공시체의 제작은



마찰 다짐기를 이용하여 공시체 상하 양면을 각각 50회씩 다짐하였다. 폴리머 재료를 첨가하는 경우에는 작업성 확보를 위하여 일반 혼합물의 가열온도보다 약 15℃ 더 올려 다짐하였다. 또한 안료를 첨가하여 혼합물을 제작할 때는 혼합이 잘되도록 안료를 적절히 가열하였으며, 아스팔트가 골재에 충분히 도포된 다음 안료를 첨가하였다.

2.2.3 동결-융해 저항성시험

포장은 겨울철에 반복적으로 동결과 융해를 받고 이러한 동결-융해 작용은 아스팔트 혼합물의 결합력 저하, 박리, 저온균열의 원인이 된다. 본 연구에서는 이러한 동결융해 작용에 따른 혼합물 특성치의 하나인 인장강도비(Tensile strength ratio by freezing and thawing: TSR_{ft})를 구하였다.

개질아스팔트를 사용하면 -20℃ 이하의 저온에서 까지도 저온 파괴인성(Fracture toughness)이 향상된다(권승준, 1999). 따라서 본 연구에서는 바인더를 개질하기 때문에 공시체 내부가 -20℃보다 더 낮은 온도를 유지하기 위하여 동결온도를 -26℃로 설정하였다. 동결-융해 1주기는 동결 8시간, 동결유지 4시간, 융해 8시간, 융해유지 4시간으로 총 24시간으로 설정하였다(그림 5). 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.

각 혼합물별로 공시체를 15개씩 제작하여 무작위로 3개를 선정하여 초기 간접인장강도(Indirect tensile strength: ITS)를 구하고 7, 14, 21, 28cycle 동안 동결-융해 처리한 후 매번 무작위로 3개씩 공시체를 선정하여 ITS를 측정하고 식 (1)과 같이 TSR_{ft} 를 구하였다.

$$TSR_{ft} = \frac{S_2}{S_1} \quad (1)$$

여기서 S_1 : 동결 융해 전의 공시체의 간접인장강도

S_2 : 동결 융해 후의 공시체의 간접인장강도

2.2.4 반복주행(Wheel tracking: WT)시험

아스팔트 콘크리트의 소성변형 발생 메커니즘을 모사한 시험 방법이 반복주행(Wheel tracking)시험이다. 본 연구에서는 배합설계를 거쳐 305mm×305mm×70mm의 슬래브 공시체를 공극률 4±0.5%로 맞추어 제작하였다. 제작된 공시체는 48시간 양생 후 시험온도인 60℃에서 6시간 이상 보관 후 차를 축하중은 70kg으로 시험을 수행하여 혼합물의 동적안정도(Dynamic stability: DS)와 최종침하량을 구하였다.

2.2.5 피로시험(Fatigue test)

반복적인 차량하중에 의해 발생하는 피로균열 저항성(피로수명: Fatigue life)을 비교하기 위해서 간접인장강도시험 모드로 Instron 8502를 이용하여 피로시험을 수행하였다. 시험은 25℃로 조절된 챔버 내에서 이루어졌으며, 최대하중이 작용할 때 수평인장응력이 2kg/cm²의 되도록 계산하여 최대하중을 결정하였다. 결정된 최대하중을 0.1초의 재하기와 0.9초 휴지기를 두어 1Hz의 주기로 하중을 재하하였다(그림 6). 이때 재하와 휴지를 반복할 때 공시체가 이탈하지 않도록 5kg의 최소하중을 계속 재하시켰다.

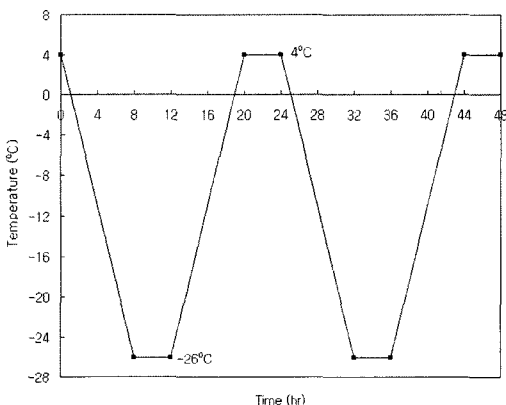


그림 5. Freezing-and-thawing cycle

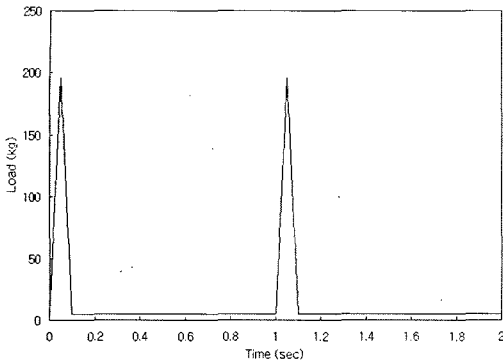


그림 6. Loading waveform

2.2.6 혼합물 인공노화시험

아스팔트 혼합물 내의 바인더는 제조와 포설, 그리고 공용 중에 산화작용, 휘발작용, 중합작용, 의액성, 상승작용, 분리작용 등에 의하여 노화가 진행된다. 본 연구에서는 플랜트에서 아스팔트 혼합물의 제조와 시공시 바인더의 단기노화(Short term oven aging: STOA)와 시공 후 공용 중의 장기노화(Long term over aging: LTOA)를 모사하기 위해 실험실에서 기존의 연구들(Kliewer 등 1995., Huang 등 1996))에서 제시된 방법을 응용하여 혼합물을 인공 노화시켰다.

단기노화는 배합설계에서 결정된 최적 아스팔트함량으로 혼합물 제조한 다음 시료편에 3600~4000g의 다지지 않은 혼합물을 약 2cm의 두께가 되도록 골고루 펴서 강제 송풍되는 135℃ 오븐 안에 넣고 1시간마다 1회 교반시키며 4시간 동안 노화하였다.

장기노화는 단기노화된 혼합물을 다짐하여 다짐밀도가 이론최대밀도의 92% 정도가 되는 것을 모사하기 위하여 예비실험을 통해 양면 12회 다짐으로 공극 8±1%의 공시체를 제조하였다. 그리고 제조된 공시체를 85℃의 강제 송풍이 되는 오븐 안에 넣고 2일 동안 노화를 시켰다. 이러한 장기노화는 공용 상태에서의 기후에 따라 차이가 있지만 약 5년까지 포장의 노화를 재현한다(Kliewer 등 1995). 또한 단기노화 전·후 및 장기노화 후의 공시체를 간접인장 시험을 통하여 노화에 따른 역학적 특성을 비교 분석

하였다. 또한 혼합물 노화로 인한 바인더 경화에 따른 혼합물 인장강도 변화를 식 (2)의 인장강도비(TSR by aging: TSR_a)로 구하였다.

$$TSR_a = \frac{T_2}{T_1} \quad (2)$$

여기서 T_1 : 노화 전 공시체의 간접인장강도

T_2 : 노화 후 공시체의 간접인장강도

3. 결과 및 고찰

3.1 안료의 최적 함량

색상별로 결정된 안료의 함량은 표 4와 같다. 일반 아스팔트(AP)로 나타낼 수 있는 색상은 적갈색뿐이지만, 투명바인더(TB)는 다양한 색상의 표현이 가능하였다. 또한 색상을 표현하는데 적정 안료의 함량은 AP가 3-5%로 TB의 1.5-2%보다 많은 양이 필요했다. 특히 노랑색(yellow) 안료는 이들 중 가장 적게 들어가는 것으로 나타났다. 이는 골재의 색깔에 영향을 받았다고 생각되었다. 본 논문에서는 안료가 가장

표 4. Optimum pigment content by weight of mixture

| Binder | AP | TB | | |
|---------|----------|--------|-------|------|
| Color | Dark red | Yellow | Green | Blue |
| Content | 3-5 | 1.5 | 2 | 2 |

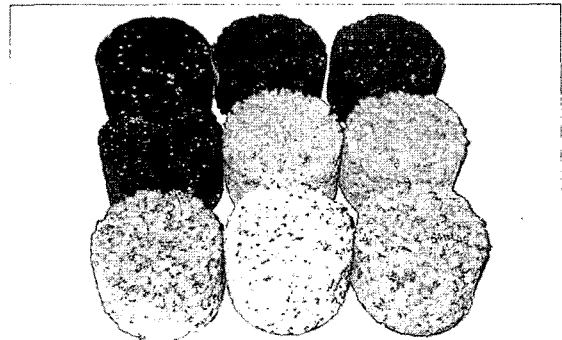


그림 7. Color asphalt mixtures

적게 드는 색상에 대한 배합설계하여 결정된 OAC로 제조된 혼합물에 대한 특성치만을 기술하였다.

3.2 마샬 안정도 및 간접인장강도

배합설계에 의해 결정된 OAC로 혼합물을 제조하였다. 제조된 혼합물은 표 5와 같이 명명하였고 이 혼합물들에 대한 마샬 안정도와 간접인장강도를 측정하여 표 6에 그 결과를 나타내었다.

바인더의 함량은 안료가 들어감에 따라 0.4-

0.5%정도 증가되었다. 그러나 간접인장강도(ITS)를 보면 G-AP보다 무색바인더(TB)를 사용한 혼합물들이 높게 나타났다. G-TBL은 G-TB에 비해 안정도 및 인장강도의 향상을 나타내었다. G-TBL은 G-AP에 비해 인장강도가 36%정도 증가율을 나타냈다. G-TBLR은 약 69%가 증가했으며, 이는 개질재 LDPE가 개질효과가 있음을 말해주는 것이며 또한 LDPE와 Rosin을 같이 사용하면 더 큰 개질효과의 향상을 기대될 수 있다고 사료된다.

표 5. Mixture designation

| Designation | G-AP | G-TB | G-TBL | G-TBR | G-TBLR |
|---------------------------------|------|------|-------|-------|--------|
| Material | | | | | |
| Binder | AP | TB | TB | TB | TB |
| Pigment content (%) | 0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| LDPE content (%) | 0 | 0 | 5 | 0 | 5 |
| Rosin content(%) | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 |
| Shredded waste paper content(%) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

표 6. Fundamental properties of various bituminous mixtures at OAC

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

표 7. Indirect tensile strength and strength ratio before and after freezing and thawing

| Cycle | 0 | | 7 | | 14 | | 21 | | 28 | |
|--------|--------------------------|--------|--------------------------|--------|--------------------------|--------|--------------------------|--------|--------------------------|--------|
| | ITS(kg/cm ²) | TSR(%) | ITS(kg/cm ²) | TSR(%) | ITS(kg/cm ²) | TSR(%) | ITS(kg/cm ²) | TSR(%) | ITS(kg/cm ²) | TSR(%) |
| 혼합물 종류 | | | | | | | | | | |
| 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 |



3.3 동결-융해에 따른 강도 특성

표 7은 각 혼합물에 대한 동결-융해 전 후의 간접 인장강도 및 강도비를 보여주고 있다. TSR을 통해 보면 개질 혼합물들은 초기 7~14cycle까지는 일부 증가하는 경향을 보였으나 대체적으로 21~28cycle 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 순으로 G-TB가 동결-융해에 가장 강한 것으로 나타났다.

3.4 반복주행시험

그림 8은 반복주행시험 결과를 보여주고 있다. 표 8에서 최종 침하량은 G-TBL이 가장 낮고 그다음 G-TBLR, G-TB, G-TBR, G-AP 순서로 나타났다. G-TBL은 G-TB, G-AP보다 두 배 정도 강한 소성 변형 저항성을 보여주었고 G-TBR은 G-TB, G-AP와 비슷한 결과를 보여주었다. 그리고 G-TBLR은 G-TBL과 최종 침하량은 비슷하였다. 따라서 LDPE 개질은 인장강도는 물론 소성변형 저항성에 많은 향상이 있는 반면 Rosin 개질은 인장강도 증가에는 효과적이었으나 소성변형 저항성에는 효과가 없는 것으로 판단된다.

그림 9는 선형구간에서 계산한 동적안정도(DS)를

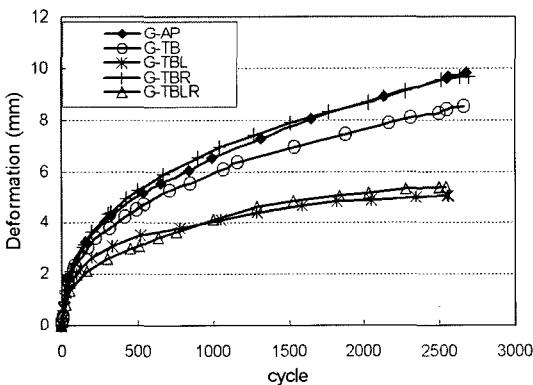


그림 8. Results of wheel tracking tests at 60°C

나타낸다. 동적안정도는 G-TBL, G-TBLR, G-TB, G-AP, G-TBR 순서로 높게 나타났다. 특히 G-TBL은 G-TB 및 G-AP보다 두 배 이상의 동적안정도를 나타낸 반면에 G-TBR은 G-TB 및 G-AP와 비슷한 결과를 보여주었다. 그리고 G-TBLR은 G-TBL과 최종침하량이 비슷하나 동적안정도는 다소 낮은 경향을 보여주었다.

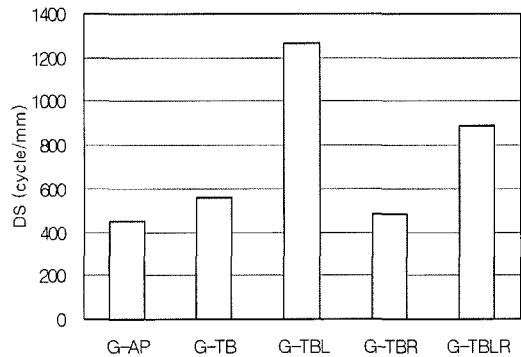


그림 9. Dynamic stability (DS) by wheel tracking test

3.4 피로수명

그림 10은 간접인장모드의 피로시험을 통해 결정된 각 혼합물들의 피로수명을 나타내었다. G-TBLR의 피로수명이 가장 크게 나타났으며, G-TBL은 가장 좋지 않은 결과를 보여주었으나 그 차이들은 G-

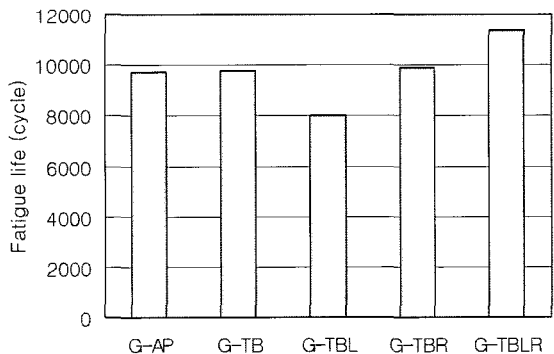


그림 10. Fatigue test result

AP 기준으로 20% 내외여서 그리 크지 않았다. 이 결과를 비교해 볼 때, 25°C에서 G-TBLR이 차량의 반복하중에 따른 피로균열 저항성이 가장 양호할 것으로 사료된다. 앞서 보였듯이 송진은 탄성관련 특성에 강한 반면 LDPE는 소성관련 특성에 강하게 나타났다.

3.5 혼합물의 노화에 따른 강도 특성

노화 전과 단기노화 및 장기노화 후의 ITS 시험결과를 그림 11에 노화단계별 TSRa를 그림 12에 나타내었다. 전반적으로 노화 후에는 간접인장강도가 높아지는 것으로 나타났는데 이는 결합재의 경화에 따른 현상에 기인하는 것으로 보여진다. 간접인장강도는 단기노화(Short term oven aging: STOA)를 제외하고는 G-TBLR, G-TBR, G-TBL, G-TB, G-AP 순으로 큰 값을 보였으며, STOA에서는 G-TBL이 G-TB보다 적은 값을 보였다. 이를 TSRa로 나타낸 그림 12를 보면 STOA에서 TSRa이 G-TB, G-TBLR, G-TBR, G-TBL, G-AP 순으로 크게 나타났다. 특히, 개질재가 하나도 첨가되지 않은 G-TB는 다른 혼합물보다 높은 TSRa값을 보여 혼합·운반·포설·다짐 과정에서 노화가 빨리 일어나는 것으로 나타났다. 장기노화(Long term oven aging: LTOA)에서는 G-TBL, G-TB, G-TBLR, G-TBR, G-AP 순으로 큰 값을 보였다. G-TBL은 단기노화

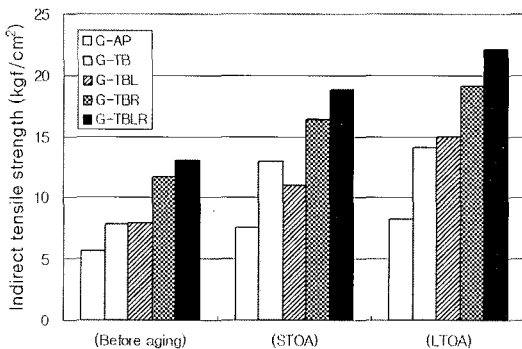


그림 11. ITS for each aging process

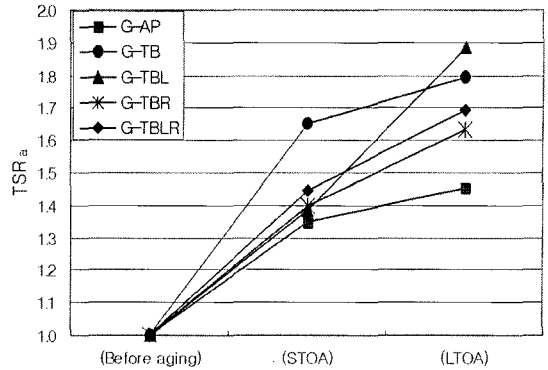


그림 12. TSRa by each aging process

에서 비교적 적은 노화지수 값을 보였으나, 장기노화 처리 후에는 급격히 증가하였다. 또한, Rosin으로 개질한 혼합물에서 노화지수가 G-TBLR, G-TBR순으로 나타났다.

또한, AP 혼합물이 TB 혼합물보다 STOA와 LTOA에서 TSRa가 적게 나타나 노화가 적게 됨을 확인할 수 있었다. TB 혼합물에서 LDPE와 Rosin의 개질은 혼합물의 혼합·운반·포설·다짐을 모사하는 STOA과정에서 노화를 방지하는 효과가 있었으며, 포장 공용후 5년 정도의 노화를 모사하는 LTOA 과정에서는 LDPE보다 Rosin이 포장의 노화 방지에 효과가 있음을 (본 실험에서 사용한 골재에서) 확인하였다.

4. 결론

칼라 역청 포장 재료의 차도용 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 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) LDPE 5%의 개질은 혼합물의 안정도, 간접인장 강도 등 역학적 특성이 증가되었으며 특히, 소성



변형저항성에 많은 향상이 있었다. Rosin 5%의 개질은 혼합물의 안정도, 동결-융해 저항성 등의 특성이 증가되었으며 특히, 간접인장강도에 많은 향상을 가져왔다.

- 2) LDPE 5% + Rosin 5%의 개질은 거의 대부분의 역학적 특성 증가를 보여 LDPE와 Rosin을 같이 개질하면 공용성능이 향상될 것으로 판단된다.
- 3) 혼합물 노화에서 AP 혼합물이 TB 혼합물보다 단기노화 및 장기노화 과정에서 노화가 적게 나타났고 TB 혼합물에서 Rosin의 개질은 포장 공용 후 노화를 방지하는 효과가 있는 반면, LDPE의 개질은 효과가 없는 것으로 나타났다.
- 4) 종합적으로 보면, 본 연구에서 사용된 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 개질에 의한 것이므로 보다 폭 넓은 연구가 필요하며, Rosin이 증가할수록 저온에서의 취성파괴에 약한 것으로 예상이 되기 때문에 이에 대한 추가적인 실험이 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

1. 건설교통부 (1996), "도로포장건설·시공지침".

2. 권승준 (1999), "폴리머 개질 역청 콘크리트의 저온 파괴거동," 강원대학교 대학원 공학박사 학위논문
3. 김광우, 최영규, 안경애, 조희원, (1997), "국내 폴리머를 이용한 아스팔트 혼합물의 특성," 대한토목학회 논문집, Vol. 17, No. III-2.
4. 오성균, 김광우, 도영수, 정일권, 이성훈, (1999), "차도용 칼라 아스팔트 콘크리트의 기본 특성," 한국도로포장공학회 창립기념 학술발표회 논문집, 제1권, 제1호.
5. Huang, S. C., Tia, M. and Ruth, B. E., (1996), "Laboratory aging methods for simulation of field aging of asphalts," *Journal of Material in Civil Engineering, ASCE, Vol 8, No. 3.*
6. Kim, K. W., Li, X. F. and Lee, J. Y., (1998), "Application of Waste Paper for Fiber Replacement in Gap-grade Asphalt Mixture," *Proceedings of Korea Society for Civil Engineerings, Conference'98, No.4,*
7. Kim, K. W., Oh, Sung Kun, Doh, young S. and Lee, Sung Hun, (2000), "Fundamental Characteristics of Polymer-Modified Color Flexible Pavement Concrete," *Proceedings of Third Asia Symposium on Polymers in Concrete, Shanghai, P.R. of China.*
8. Kliever, J. E., Bell, C. A. and Sosmvske, K. A., (1995), "Investigation of the Relationship Between Field Performance and Laboratory Aging Properties of Asphalt Mixtures," ASTM STP 1265, Philadelphia, PA, USA.

(접수 : 2004. 7. 22)