

철도 노반용 합성고무계 개질아스팔트의 기초적 연구

Study on the Asphalt Modifier for Railroad Bed

김혁중*[†], 박준상*, 박한수*, 이성혁**, 이진욱**

Hyeokjung Kim*[†], Junsang Park*, Hansoo Park*, Seonghyeok Lee**, Jinuk Lee**

Abstract This study performed the development of asphalt modifier for railroad bend, applied to various track(Ballasted/ Concrete/ direct fastened track) in semi-high speed region(200~300km/h).. Various laboratory tests including PG test are performed for several modified binders. PG 76-22 binder using SBS is selected based on the binder testing results. Test results indicate that the overall performance characteristic of selected modifier is better than general asphalt modifier. (thermal cracking and the resistance of high temperature). We are planning to research for yielding the optimal mix design and evaluate the performance of modified asphalt mixtures.

Keywords : SBS, Low temperature crack , Ductility, DSR

초 록 본 연구에서는 개질아스팔트를 철도 노반용 재료로 적용하여 유지보수의 편의성 증진과 기능성(低진동/소음, 장기공용성)탑재를 목표로 하였다. 이는, 기존 철도 노반구조(자갈, 슬래브)가 오래된 시공 역사를 기반으로 재료, 구조 및 공법적인 최적화 기술을 구현하였으나 재료와 공법에서 일부 한계점이 노출되고 있기 때문이다. 또한, 아스팔트에 新기능성을 접목한 본 연구의 **Concept** 및 기초적인 실험 결과는 관련 분야 기술의 先手/先占 측면에서도 중요한 의미가 있다고 판단된다. 따라서, 개질아스팔트의 공용성 등급 PG76-22를 기준으로 저온균열 및 고온 소성변형 저항성 개선을 위해 **SBS**계 합성고무를 첨가하여 기본물성과 공용성 실험을 수행하여 최적 배합을 도출하였다. 그 결과 도로용 개질제로써 성능이 매우 우수한 KTR101 대비 신도, **DSR** 및 **BBR**등의 실험에서 목표 수준 이상의 성능 개선 효과를 관찰할 수 있었다. 이에, 추후 장기공용성 개선을 목표로 아스팔트 혼합물 평가 및 시공 검증을 진행할 계획이다.

주요어 : SBS, 저온균열, Ductility, DSR

1. 서 론

본 연구에서는 중고속(200~300 km/h) 영역의 철도궤도에 적합한 아스팔트 재료 개발을 위해 합성고무계 개질제를 적용하여 개질아스팔트의 기본물성과 PG등급 실험을 수행하였다.

또한, 현장 플랜트 믹싱 조건에 적합하도록 용해속도와 상분리 개선을 위한 최적 배합을 도출하였다. 이러한 실험 결과물의 객관적 성능 검증을 위해 도로용 범용 개질제인 KTR101 대비 용해속도 15% 개선과 상분리 개선성 20%를 목표로 실험을 수행하였다.

[†] 교신저자: 금호석유화학 중앙연구소 고무T/S팀 (ceasarc@kkpc.com)

* : 금호석유화학 중앙연구소

** 한국철도기술연구원 신교통연구본부 신교통인프라연구실

2. 본 론

2.1 개질제 물성 실험

2.1.1 실험 개요

철도 노반용 재료로써 기존의 자갈 및 콘크리트 궤도처럼 개질아스팔트를 궤도의 노반재로써 사용하기 위해서는 재료 선정, 품질, 시공 및 유지관리 방법 등을 고려하여 경제성 확보가 무엇보다 중요한 요소라고 판단된다. 이에, 본 연구에서는 자갈도상과 슬래브궤도의 개질아스팔트는 Basic grade로써 아스팔트 공용성 등급을 PG64-22를 기준으로 선정하였고, 직결궤도용 개질아스팔트는 PG76-22로 선정하여 일반 아스팔트의 물성 대비 고온 소성변형과 저온 균열저항성 개선성을 평가하였다.

특히, 직결궤도는 선진 기술로써 독일의 아스팔트 노반용 공용성 등급 (PG64-22) 보다 한 등급 높은 기준으로 선정하였다. 이유는 직결궤도의 직접적인 환경(진동, 충격, 온도, 계절 등) 노출을 고려한 측면과 더불어 선진 기술 대비 기술의 격차를 단축하고 선수 기술을 확보하는데 유리하게 적용 될 수 있도록 목표 등급을 고려하였기 때문이다.

2.1.2 사용 재료

본 연구에서 사용하는 아스팔트용 개질제는 금호석유화학에서 생산하고 있는 합성고무계의 SBS(Styrene-Butadiene-Styrene)를 주원료로 적용하였다. SBS의 구조도는 아래의 Fig. 1에 나타내었다. SBS의 결합구조상 SBS의 중간 block인 polybutadiene은 Tg가 매우 낮아 상온에서는 고무상으로 존재하므로 쉽게 인장 될 수 있는 성질을 나타내고, 끝단에 연결된 polystyrene block은 상온에서 유리상으로 존재하는 polystyrene domain에 고정되어 물리적인 가교 (Physical cross-link) 특성을 갖게 된다. 따라서, SBS를 첨가한 개질아스팔트는 아스팔트와 골재의 접착력이 증진되고 아스팔트의 응집력이 강화되는 물성을 나타낼 수 있다.

이에, SBS개질제가 철도 노반용 아스팔트에 접목되어 온도 변화에 의한 탄성 민감도 감소시키고, 계절의 변화 및 이상기후 현상등 외부의 극한 환경에 대응 가능한 노반재료로의 사용가능성을 평가하고자 하였다.

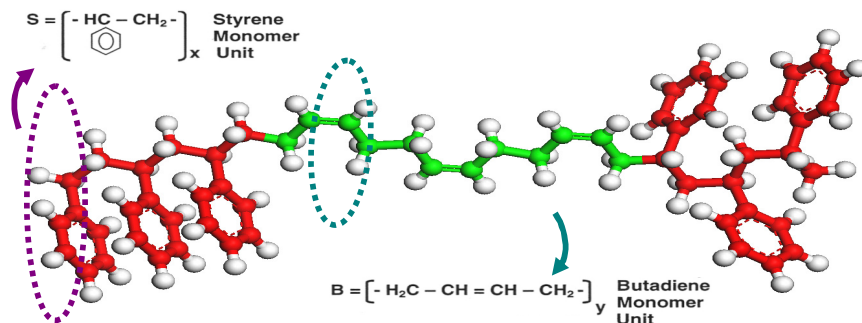


Fig. 1 사용된 SBS 개질제의 분자 구조

2.2.3 실험 방법

본 연구에서는 케도구조에 따라 자갈/슬래브케도 및 직결케도의 노반재료로서 아스팔트에 적용 가능하도록 PG64-22과 PG76-22의 개질제를 각각 개발하였다. 개발된 개질제의 기초 물성 평가 항목으로는 용해속도, 상분리, DSR(고온 및 상온 시 탄성율), BBR(저온 시 강성율) 및 Ductility(15°C, RTFO 후 피로균열 저항성)를 AP5 및 KTR101과 비교 실험을 진행하였다.

2.2.4 실험 결과

(1) 개질제의 가공성 평가

자갈/슬래브 케도는 일반적으로 사용되는 SBS계 개질제가 완전 용해까지 약 1시간 30분 이상 용해 시간이 필요하기 때문에 목표 시간을 60분으로 선정하였고, 직결케도용 개질제는 KTR101 대비 약 15% 용해속도 향상을 목표로 하였다. 자갈/슬래브 및 직결케도용 개질제의 평가 결과는 아래의 Fig. 2와 같이 목표 성능 이상의 결과를 나타내었다. 자갈/슬래브용 개질제는 용해시간 50분 정도에서 완전 용해되었고, 직결케도용 개질제는 29% 개선 효과를 나타내었다.

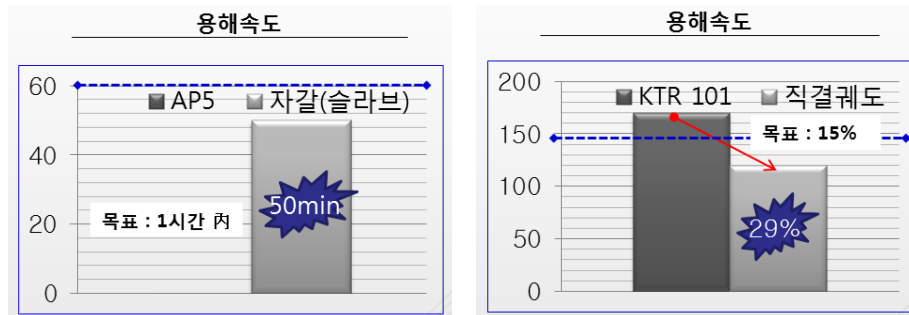


Fig. 2 케도별로 선정된 개질제의 아스팔트 용해속도 평가

(2) Ductility 평가

RTFO 후의 신도 평가는 아스팔트를 인위적인 열화조건에 노출 시켜 단기 노화 후의 아스팔트 점성 변화에 따른 인장 실험을 실시하여 신율 감소를 평가하는 방법이다. 일반적으로 도로용에 쓰이는 아스팔트는 RTFO 후 신도 평가 결과값이 보통 30cm 미만으로 측정되나, Fig. 3에서와 같이 본 연구에서 개발된 개질제를 적용한 신도 실험에서는 자갈/슬래브용 개질제가 AP5 대비 145% 및 직결케도용 개질제가 KTR101 대비 12%로 각각 개선 효과를 나타내었다.

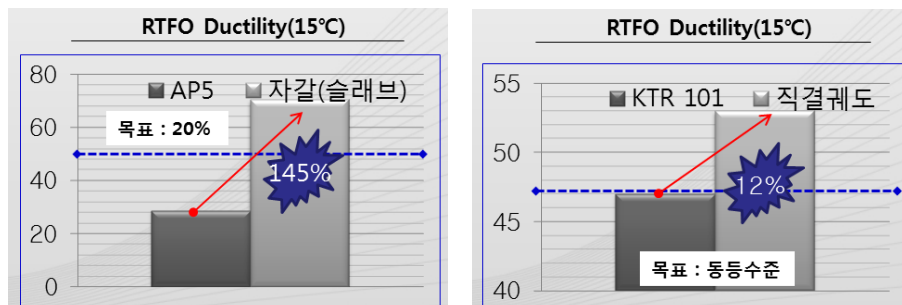


Fig. 3 케도별로 선정된 개질제의 단기노화 후 신도(ductility) 비교

(3) PG 성능 평가

자갈/슬래브용 개질제는 아스팔트에 1.5%를 첨가하였고 직결케도용 개질제는 KTR101과 동일한 수준으로 5%를 첨가하여 공용성 평가 실험을 진행하였다. 그 결과는 아래의 Fig. 4에서 나타내었다. 자갈/슬래브케도는 설계목표인 PG64-22 기준을 만족하였고, 직결케도는 PG76-22 기준을 만족하면서 KTR101 대비 동등이상의 평가 결과를 나타내었다.

| 개질제 물성 Test | | | | 개질제 물성 Test | | | | |
|-------------|----------------------------------|---------------------|----------|----------------------------|----------------------------------|---------------------|-------|-------|
| recipe | target | 비교군 | PG 64-22 | target | 비교군 | PG 76-22 | | |
| | type | AP5 | 자갈(슬라브) | name | KTR 101 | 직결 | | |
| | asphalt | AP5 | AP5 | asphalt | AP5 | AP5 | | |
| | additive content | % | % | additive content | % | % | | |
| | KTR 101 | | | KTR 101 | 5.00 | | | |
| | STE-R2 | | 0.60 | STE-R2 | | 5.00 | | |
| | STE-R3 | | 0.90 | STE-R3 | | - | | |
| properties | 연화점 (°C) | 48.3 | 51.5 | 연화점 (°C) | 86.3 | 71.1 | | |
| | RTFO Ductility (cm) (15°C) | 28.7 | 70.4 | RTFO Ductility (cm) (15°C) | 47.0 | 52.7 | | |
| | DSR G*/sinδ ≥ 1.0 kPa | 58°C | 2.59 | 2.66 | DSR G*/sinδ ≥ 1.0 kPa | 70°C | 3.01 | 1.84 |
| | | 64°C | 1.14 | 1.22 | | 76°C | 1.18 | 1.06 |
| | | 70°C | 0.55 | 0.59 | | | | |
| | RTFO DSR G*/sinδ ≥ 2.2 kPa | 64°C | 2.88 | 3.36 | RTFO DSR G*/sinδ ≥ 2.2 kPa | 70°C | 4.87 | 3.13 |
| | | 70°C | 1.05 | 1.38 | | 76°C | 2.43 | 2.23 |
| | BBR (-12°C) | M-value ≥ 0.3 | 0.314 | 0.328 | BBR (-12°C) | M-value ≥ 0.3 | 0.304 | 0.311 |
| | | Stiffness ≤ 300 MPa | 276 | 282 | | Stiffness ≤ 300 MPa | 278 | 292 |

Fig. 4 케도별로 선정된 개질제의 PG

3. 결론

본 연구에서는 철도케도용 노반 재료로써 합성고무계 개질아스팔트의 기본 물성을 평가하였다. 그 결과 자갈/슬래브케도 및 직결케도용 개질제의 용융시간, 상분리 및 PG등급 실험에서 설계 목표 수준 이상의 결과를 나타내어 추후 철도노반 재료로써 적용하기 위한 일부 가능성을 확인할 수 있었다.

후 기

본 논문은 한국철도기술연구원의 “고속화에 대응한 철도아스팔트 노반 및 케도구조 개발”의 연구지원으로 수행되었으며 이에 관계자분들께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 조영진 외3명(2010), “R-EPDM 개질아스팔트 혼합물의 소성변형 및 수분민감성 특성”, 한국도로학회 논문집, 제12권 제4호 통권 46호, pp. 87~92
- [2] 황기섭 외 4명(2007), “아스팔트용 반응성 고분자 개질제 합성 및 적용”, Polymer(Korea), Vol.31.No.6, pp. 538~542
- [3] 양성린 외 3명(2006), “황이 첨가된 개질 아스팔트 혼합물의 실내 물성 평가”, 한국도로학회 논문집, 제 8 권 3 호, pp. 163~172.