

유종별 아스팔트 바인더 특성 연구

Performance Evaluation of Asphalt Binders Produced by Various Crude Oils

현진호* · 이석홍** · 박태순*** · 김기선****

1. 서 론

국내에서 아스팔트 생산용으로 사용되는 원유는 주로 중동산 중질 원유들로서 Arabian Medium, Oman, Iranian Heavy, Kuwait, Banoco Arabian Medium, Khafji, Arabian Heavy 원유 등이 있다. 이들 원유의 종류에 따라 같은 침입도를 갖는 아스팔트일지라도, 온도감온성(Temperature Susceptibility)이 달라져, 아스팔트의 성능이 차이가 나게 된다. 아스팔트의 온도감온성 평가는 주로 침입도지수나 Heukelom의 아스팔트 침입도 차트로 예상하는 것이 일반적인데 이러한 방법은 예측 수준을 벗어나지 못해, 연구용 자료로만 한정되어 사용되어 왔다. 그래서, 현 아스팔트 시장은 아스팔트 생산용 유종에 따라 아스팔트의 온도 감온성이 다름에도 불구하고 똑같은 침입도 등급으로 분류되어 생산 및 판매되었다.

PG등급은 점탄성 이론에 근거한 아스팔트의 주요 물성의 범위를 규정하고 있기 때문에 이를 이용할 경우, 고온 및 저온성능의 측정을 통해 유종에 따른 아스팔트의 감온성 평가가 가능하리라 판단된다. 그러나, PG등급 측정장비가 매우 고가이며, 고도의 기술력을 요구하기 때문에 현재 국내에 미적용 상태이다. 이로 인해 한국도로공사를 중심으로 PG등급 도입 전 단계로 점도등급이 아스팔트 바인더 특성 평가를 위한 방법으로 도입되고 있으나, 점도등급은 저온 저항성능 측정이 불가능하다는 단점이 있다. 본 연구에서는 침입도지수와 점도등급, PG등급을 이용하여 유종별 아스팔트 바인더 실험을 통해 유종별 아스팔트 바인더 특성 분석은 물론, 침입도 지수와 점도등급, PG등급의 상관관계를 통해, 침입도 지수와 점도등급의 PG등급 대체 이용 가능성에 대해 논하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

국내에서 주로 사용되는 아스팔트 생산용 원유 중 4종의 원유를 선택하여(표1), AP-5 등급의 아스

* 인천정유 연구소 연구원 hih007@oilbank.co.kr

** 현대건설 기술연구소 책임연구원 shlee@hdec.co.kr

*** 서울산업대 토목공학과 조교수

**** 인천정유 연구소 책임연구원 kskim@oilbank.co.kr



표 1. 아스팔트 생산용 원유의 특성

원유	API	Sulfur 함량	Asphaltene 함량
A	30.2	1.85	2.3
B	30.3	2.49	2.1
C	28.9	2.95	4.0
D	28.0	2.90	4.5

팔트를 VDU(Vacuum Distillation Unit) 공정 혹은 VDU 모사 장치(소형 증류 장치)를 이용해 준비하였다. 준비된 아스팔트를 이용하여 먼저 각각의 원유로 생산된 아스팔트의 침입도지수, 점도등급, PG등급 물성 측정을 통하여 유종별 아스팔트 특성 평가를 실시하였다. 그리고, 각각의 데이터를 취합 분석하여 침입도지수, 점도등급, PG등급 간의 상관관계를 밝히고자 하였다.

부가적으로 PG 70-22등급의 아스팔트가 고분자 개질제 첨가없이 스트레이트 아스팔트로 생산된다고 보고되어 있는바, 이의 생산 가능성을 검토하였다.

3. 실험결과

1) 유종별 아스팔트의 침입도지수, 점도등급, PG등급 평가

유종별 아스팔트의 침입도등급, 침입도지수, 점도등급, PG등급 물성을 측정된 데이터를 표 2에, 등급은 표3에 정리하였다. 모든 아스팔트들이 AP-5 등급으로 분류되었으나, 침입도지수, 점도등급, PG등급에서 다른 등급으로 분류된 것으로 보아, 현 아스팔트 품질 규격인 침입도 등급의 분별력에 문제가 있는 것으로 판단된다. 따라서, 이에 대한 조속한 보완이 요구된다.

표 2. 유종별 AP-5 아스팔트의 침입도 지수, 점도 등급, PG등급 물성

원유	침입도	침입도 지수	점도 원 아스팔트		G'/sin6 원아스팔트	G'/sin6 단기산화후	G'/sin6 장기노화후	m 장기노화후	S 장기노화후
			P	cSt	kPa	kPa	kPa		MPa
A	65	-1.66	@60°C, 1.210	@135°C, 296.2	@64°C, 1.075	@64°C, 2.984	@28°C, 4571 @25°C, 11000	@-6°C, 0.332 @-12°C, 0.277	@-6°C, 137 @-12°C, 257
B	62	-1.35	@60°C, 2.100	@135°C, 415.0	@64°C, 1.377	@64°C, 3.313	@25°C, 4673 @22°C, 13300	@-12°C, 0.340 @-18°C, 0.248	@-12°C, 194 @-18°C, 445
C	70	-1.18	@60°C, 2.150	@135°C, 458.1	@64°C, 1.723	@64°C, 4.067	@22°C, 4635 @19°C, 14800	@-12°C, 0.352 @-18°C, 0.267	@-12°C, 152 @-18°C, 347
D	76	-0.68	@60°C, 2.250	@135°C, 497.5	@64°C, 1.724	@64°C, 4.450	@22°C, 4510 @19°C, 12800	@-12°C, 0.335 @-18°C, 0.279	@-12°C, 135 @-18°C, 275

표 3. 유종별 아스팔트의 등급 구분

원유	Ranking	침입도등급	점도등급	PG 등급
A	4	AP-5	AC-10	PG 64-16
B	3	AP-5	AC-20	PG 64-22
C	2	AP-5	AC-20	PG 64-22
D	1	AP-5	AC-20	PG 64-22

원유의 Asphaltene 및 Sulfur 함량과 아스팔트의 점도 및 PG물성과 비교한 결과, Asphaltene 및 Sulfur 함량이 높은 원유일수록 아스팔트 물성이 우수한 것으로 나타났다. Asphaltene과 Sulfur 함량이 가장 낮은 A원유로 생산된 아스팔트가 점도 및 PG 물성이 가장 취약하였으며, Asphaltene 및 Sulfur 함량이 높은 원유 (B→C→D)순서로

점도 및 PG 물성이 향상되었다. 이는 아스팔트 생산용 원유 선정시 중요한 인자로 작용할 것으로 판



단된다. 또한 아스팔트 물성을 Sulfur와 Asphaltene으로 인위적으로 조절한다면, 점도 및 PG 물성이 우수한 아스팔트 제조할 수 있을 것으로 판단된다.

침입도지수가 높을수록 아스팔트 등급이 상승하였으며, 침입도지수는 구하기 쉬운 계산 값인 바, 이에 대한 적절한 국내 기준 설정이 이루어진다면 활용도가 높을 것으로 판단된다. 참고적으로 오스트레일리아는 침입도지수의 만족할 만한 기준을 -1.2이상으로 설정하고 있으며, 유럽의 경우, 보통은 -1.5이상, 더운 지역일 경우는 -0.5이상으로 설정하고 있다.

AC-20등급을 통과한 아스팔트의 경우 모두 PG의 고온등급인 PG 64등급을 통과하였으나, A원유 주종으로 생산된 아스팔트의 경우 PG 64등급을 통과하였지만 AC-20등급을 통과하지 않은 것으로 보아 AC-20 등급이 PG 64등급보다 더 엄격하게 관리되고 있음을 알 수 있다. 실제로 현재 PG 규격은 저온 균열에 어느 정도 잘 대처하고 있으나, 간혹 소성변형이 발생한 것으로 보고되고 있다. 이의 원인은 PG 규격이 연질의 아스팔트를 선정하는 경향으로 있는 것으로 보고되고 있으며, 미국 메릴랜드 주에서는 소정의 PG등급보다 경질의 아스팔트를 사용하여 효과를 얻은 것으로 보고되고 있다.

아스팔트의 PG등급의 물성과 침입도 지수 및 점도등급간의 상관관계를 본 결과, 침입도지수와 점도등급은 Original Binder 및 RTFO Residue의 $G^*/\sin\delta$, PAV Residue의 Stiffness와 비례관계를 보인 반면, m-value와는 일정한 상관관계를 발견할 수 없었다. 따라서, 침입도지수나 점도등급은 아스팔트의 고온성능 예측은 가능하나, 저온성능을 예측하기에 부족할 것으로 판단된다.

결론적으로, 스트레이트 아스팔트(Straight Asphalt)의 경우, 침입도지수와 점도등급을 적절한 기준을 세워 이용한다면, 아스팔트의 고온성능을 예측(혹은 측정)하는 자료로 PG등급의 대응 가능성이 있다고 판단된다.

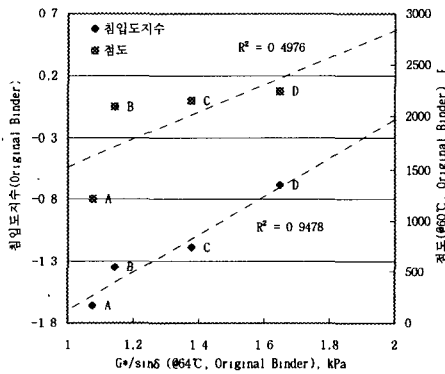


그림 1. 침입도지수 및 점도등급과 $G^*/\sin\delta$ (Original Binder)와의 비교

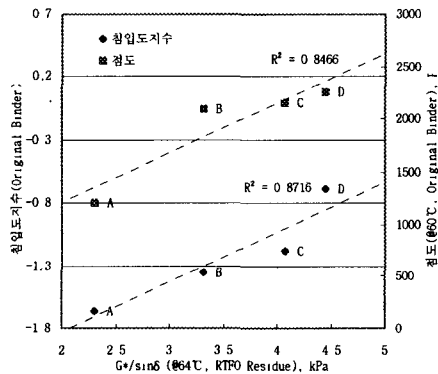


그림 2. 침입도지수 및 점도등급과 $G^*/\sin\delta$ (RTFO Residue)와의 비교

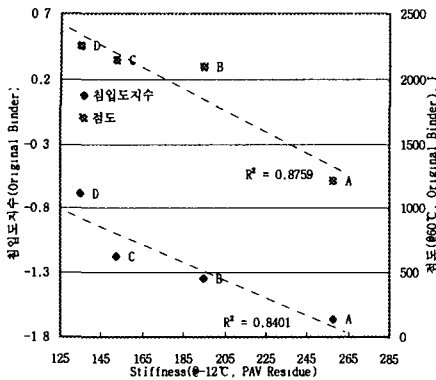


그림 3. 침입도지수 및 점도등급과 Stiffness(PAV Residue)과의 비교

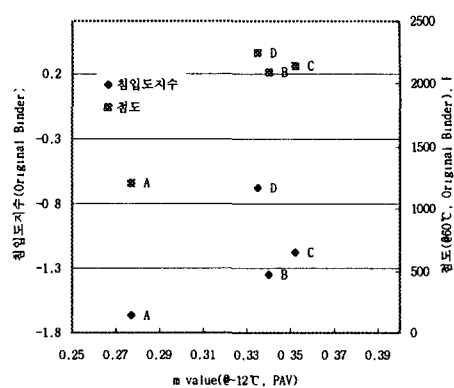


그림 4. 침입도지수 및 점도등급과 m value(PAV Residue)과의 비교

2) PG 70-22 아스팔트 생산 가능성 검토

PG 70-22아스팔트 생산 가능성을 검토하기 위하여 중동산 중질 원유중 가능성이 있는 원유를 택일 하여 아스팔트를 생산하고 PG 분류 작업을 하였다.

표4. PG 70-22 아스팔트의 PG 등급 물성

PG 물성	G*/sinδ 원아스팔트	G*/sinδ 단기산화후	G*/sinδ 장기노화후	m 장기노화후	S 장기노화후
단위	kPa	kPa	kPa		MPa
PG 70-22등급	@64℃, 2.33 @70℃, 1.17	@70℃, 2.43	@28℃, 1252 @25℃, 2306	@-12℃, 0.320 @-18℃, 0.267	@-12℃, 170 @-18℃, 325

표4에 정리한 데이터를 보듯이 스트레이트 아스팔트로 PG 70-22등급의 아스팔트가 생산되었다. 현재 이 원유 단독으로 아스팔트를 꾸준히 생산하기 어려운점이 있는바, 다른 원유와의 배합시에도 PG 70-22등급 아스팔트 생산 가능성 검토가 요구된다. 표 5에서 보듯이 현재 미국 텍사스주의 아스팔트 등급은 PG 64-22, PG 70-22, PG 76-22등급으로 분류되는데 이 중 PG 70-22등급의 아스팔트는 Premium Grade로 분류되어 항상 고분자 개질재로 개질이 필요하지는 않고, 일반 스트레이트 아스팔트로도 생산할 수 있다고 나타나 있다.

표5. Common PG Grades for Texas

등급	특징
PG 64-22	Replaces AC-20
PG 70-22	Premium Grade, not necessarily modified
PG 76-22	Modified, used in Upper course(s) where there is heavy truck traffic



혼합물 제조시 혼합물 제조온도가 고분자 개질 아스팔트 혼합물의 경우, 일반 아스팔트 혼합물보다 약 8~14℃ 높게 설정되어 있어 연료비 사용량이 증가되며, 시공시 롤러에 부착되는 경우가 빈번하여 시공시 주의가 요구되는 등의 문제점이 제기되어 왔다. 스트레이트 아스팔트로 생산된 PG 70-22 아스팔트는 고분자 개질 아스팔트의 이러한 취급 및 포장시의 단점을 해결할 수 있다는 장점이 있어 이의 활용의 증대가 예상된다.

4. 결 론

같은 침입도 등급의 아스팔트라 할지라도 유종에 따라, 침입도지수, 점도등급, PG등급이 다르게 분류되므로 침입도 등급을 대체할 수 있는 아스팔트 평가방법의 도입이 요구된다.

침입도 지수와 점도등급을 적절히 활용시 아스팔트의 고온성능을 예측(혹은 측정)하는 자료로 PG등급의 대응 가능성이 있다고 판단된다. 따라서, 국내의 학계 및 정부에서 침입도 등급의 문제점 대응에 따른 새로운 아스팔트 규격 설정 연구를 하고 있는 바, 기존 규격의 재검토를 통한 새 규격 제정이 적절할 것으로 판단된다.

PG 70-22등급의 아스팔트가 고분자 개질재 첨가없이도 스트레이트 아스팔트에서 생산되었으며, 소성변형의 저감을 위해서 국도 및 고속도로에 사용이 적극 추천되며, 이의 활용을 위한 후속 연구 및 검토가 요구된다.

참고문헌

1. 아스팔트포장연구회, 아스팔트 포장 핸드북, 대건사, 1994.
2. 한국도로포장공학회, 아스팔트 포장공학 원론, 경성문화사, 1999.
3. 김남호, 황성도, 박용철, 비용절감을 위한 도로재료연구사업, 한국건설기술연구원, 1998.
4. 이현중, 새로운 아스팔트 포장의 시험법 및 분석체계, 한국도로포장공학회지 Vol 2(2) 2000.
5. 건설교통부 도로관리과, 소성변형 방지 대책, 건설교통부, 1998
6. Asphalt Institute, The Asphalt Handbook/MS-4, Asphalt Institute, 1989.
7. Asphalt Institute, Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing/SP-1, Asphalt Institute, 1995.
8. Andreas Porner, Innovation In Refining: How To Use Less Expensive Local Crudes For A Quality Product, The 2nd Annual Bitumen Asia Workshop, IBC Aisa Limited, 1996.