

## 열분해 카본블랙을 이용한 아스팔트 바인더의 소성변형 특성

이동항<sup>1</sup>, 김정구<sup>1</sup>, 이관호<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>국립공주대학교 건설환경공학부

### Permanent Deformation Properties of Asphalt Binder Modified by Pyrolysis Carbon Black of Waste Tires

Dong-Hang Lee<sup>1</sup>, Jung-Ku Kim<sup>1</sup> and Kwan-Ho Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Civil Engineering, Kongju National University

**요약** 폐타이어 재활용을 위한 열분해 공법으로 발생하는 열분해 카본블랙의 재활용 방안이 필요하다. 아스팔트 바인더의 소성변형 특성을 개선하기 위하여 폐타이어 열분해 공법의 부산물인 카본블랙을 이용하였다. 원아스팔트에 열분해 카본블랙 0%, 5%, 10%, 15% 및 20%를 혼합하였고, 연화점, 침입도시험, 회전점도계 및 동적전단유동기시험을 시행하였다. 열분해 카본블랙을 혼합한 아스팔트 바인더의 연화점은 증가하였고, 인화점은 기준값을 만족하였다. 135도에서의 회전점도값은 증가하였고, 소성변형에 대한 저항성이 개선되는 것으로 나타났다.

**Abstract** Recycling method for pyrolyzed carbon black from pyrolysis process of waste tires is needed. Carbon black from pyrolysis of waste tires was used to modify and improve the permanent deformation properties of asphalt binder. 0%, 5%, 10%, 15% and 20% of pyrolyzed carbon black was mixed. Couple of laboratory tests, such as softening point, flash point test, rotational viscometer test and dynamic shear rheometer test, were carried out. The use of pyrolyzed carbon black increased the softening point, rotational viscosity at 135oC, and resistance of permanent deformation.

**Key Words** : Asphalt Binder, Carbon Black, Permanent Deformation, Pyrolysis, Rotational Viscometer

### 1. 서론

우리나라 우리나라의 고형폐기물 중 폐타이어는 부피가 크고 발생량이 많아 폐기물 처리시 많은 문제를 발생시킨다. 경제의 발전으로 인한 개인 및 기관의 자동차 보유대수의 증가가 급속하게 증가하였고, 2004년 기준으로 연간 약 2,200만개 정도의 폐타이어가 발생하고 있다. 이를 무게로 환산하면 약 28만톤에 이른다. 이렇게 발생한 폐타이어는 우리의 생활환경을 위협하는 사회적 문제를 일으킨다.

폐타이어 처리가 사회적 환경적 이슈로 부각되면서 정부는 2003년부터 “생산자 책임재활용제”를 시행하고 있다. 이는 생산자가 회수해 재활용해야할 폐기물양을 고시

하고 생산자는 목표량을 달성하지 못하면 재활용 비용의 30%에 해당하는 재활용부담금을 납부해야한다. 타이어는 1911년 3월 폐기물 관리법 및 1992년 12월 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 제정에 따라 재활용이 용이한 제품 및 포장재의 제조/수입업자에게 회수/처리를 예치하게 한 후, 재활용 실적에 따라 예치금을 반환해주는 예치금납부대상 품목으로 분류되어 타이어 제조/수입업자가 폐타이어 회수/처리의무를 이행하도록 규정하고 있다. 그러나 타이어 제조/수입업자는 자기 제품만 선별하여 회수/처리하는 것이 불가능하기 때문에 공동회수/처리를 위하여 대한타이어공업협회를 통해 1991년 6월부터 폐타이어 회수/처리업무를 처리하고 있다. 환경부가 산정 및 고시한 2004년 타이어 재활용 의무량은 193,580톤으

\*Corresponding Author : Kwan-Ho Lee(Kongju National Univ.)

Tel: +82-41-521-9313 email: kholee@kongju.ac.kr

Received May 21, 2013

Revised July 1, 2013

Accepted August 7, 2013

로 발생량 대비 71.4%이고, 전체 재활용공법 중 약 84.2%를 열에너지 등으로 이용하고 있다. 페타이어의 열에너지 이용은 주로 시멘트 제조공장에서 활용되고 있다. 페타이어의 처리중 분말가공 처리방법이 투자자금 회수 기간과 경제성을 고려할 때 가장 잠재성이 있는 방법으로 보고되고 있다[1,2].

페타이어를 분쇄하여 최대 2mm 정도의 고무분말을 약 200°C 온도에서 아스팔트 바인더와 혼합하여 이용하는 고무아스팔트 공법은 습식기술과 건식기술을 이용한다. 고무아스팔트 혼합물은 일반아스팔트 바인더에 비해 높은 점도, 저온에서 낮은 강성, 높은 반사균열 저항성, 장기노화 방지 등에 효과가 큰 것으로 보고되고 있다. 미국 워싱턴도로국(WADOT)의 카본블랙을 이용한 아스팔트 바인더 성능시험 결과로부터 아스팔트 바인더의 점탄성성질을 개선하는데 도움이 되는 것으로 보고되고 있다[3,4].

본 연구에서는 열분해시 발생하는 잔류물인 카본블랙을 이용하여 아스팔트 바인더의 소성변형 성능 개선효과를 검증해 보고자 한다. 본 연구에서 사용하는 열분해 카본블랙은 부산지역의 페타이어 열분해 공정을 이용한 공장에서 생산되는 것으로, 기존의 페타이어 고무분말과는 완전히 다른 형태로, 덩어리로 배출되는 카본블랙을 밀링 처리하여 0.075mm 이하의 미분말로 밀링한 것을 이용하였다. 이를 위해 열분해 카본블랙의 사용량을 아스팔트 사용량 대비 0%, 5%, 10%, 15% 및 20%를 혼합하여 개질아스팔트 바인더를 제조하고, 이를 이용한 기존의 일반적인 물성평가(연화점, 인화점 등) 및 SHRP Superpave 공용성등급(Performance Grade) 시험을 시행하였다. 열분해 카본블랙의 사용량에 따른 아스팔트 바인더의 성능 개선효과를 분석하였고, 이를 통해 열분해 카본블랙을 이용한 개질아스팔트 바인더의 소성변형 저감 가능성을 제시하고자 한다.

## 2. 아스팔트 바인더 물성 시험

### 2.1 실험재료

타이어의 재료는 본 연구에 사용된 실험재료는 2종류의 아스팔트바인더 (AP-3 및 AP-5)를 이용하였고, 아스팔트 성능 개선을 위해 열분해 카본블랙을 이용하였다. 열분해 카본블랙의 사용량, 0%, 5%, 10%, 15% 및 20%로 만든 개질아스팔트 바인더를 이용하여 일반적인 실험과 SHRP 공용성등급용 실험을 수행하였다. 아스팔트바인더는 균질한 것으로서 석유사업법상 도로포장용 아스

팔트로서 한국산업규격 KS M 2201(침입도 분류에 의한 기준) 제품을 이용하였다.

실험에 사용한 열분해 카본블랙은 10톤용량의 페타이어 열분해 플랜트에서 페타이어 열분해시 잔류물로 배출되는 것으로 최초 잔류물을 밀링처리하여 가공한 형태로 제공되었다. 열분해 카본블랙의 주요 성분은 Fixed Carbon 62.1%, Ash 23.1%, Volatiles(VM) 11.3% 등이다. 열분해 카본블랙의 비중은 1.000 g/cm<sup>3</sup>, 비표면적은 35.249 m<sup>2</sup>/g, 평균 직경은 0.43 μ m로 측정되었다[2].

### 2.2 연화점 시험

타이어의 연화점 시험용 시료를 규정 조건에서 가열하였을 때, 시료가 연화되기 시작하여 규정된 거리 (25.4mm)로 처졌을 때의 온도를 측정하는데 목적이 있다. 시험규격은 ASTM D 648, KS M 2250에 규정되어 있다. 2개의 동일 시료로 측정할 네 번의 시험 결과 평균값이 다음의 규정온도(AP-3 42-50°C, AP-5 44-52°C)에 들어와야 한다. 실험결과는 Table 1에 나타내었다. AP-3의 경우 열분해 카본블랙 사용량이 증가함에 따라, 연화점 온도의 변화가 크게 없는 것으로 나타났고, AP-5의 경우 열분해 카본블랙 사용량 20%에서 연화점 온도의 소폭 증가한 것을 알 수 있다.

[Table 1] Results of Softening Point

AC	PCB%	Results	Average Temperature (°C)	Standard Deviation	Specification
AP-3	0%		43.3	0.50	OK
	5%		44.8	0.96	OK
	10%		43.3	0.50	OK
	15%		43.3	0.50	OK
	20%		44.0	0.00	OK
AP-5	0%		44.0	0.00	OK
	5%		44.3	0.50	OK
	10%		44.0	0.00	OK
	15%		45.3	0.96	OK
	20%		47.3	0.50	OK

### 2.2 인화점 시험

아스팔트 바인더의 가열시 인화가 발생하는 온도를 측정하기 위한 시험으로 KS M 2592 기준을 적용하여 시험을 시행하였다. Fig. 1과 같은 시험장비를 이용하였다. 시험기준은 인화 발생시 최소 온도가 260도 이상이어야 한다.



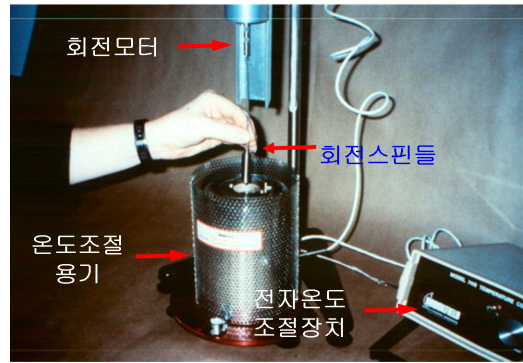
[Fig. 1] Flash Point Test

AP 3 및 AP 5 원아스팔트 및 열분해 카본블랙을 5%, 10%, 15% 및 20% 혼합한 아스팔트 바인더의 인화점은 모두 최소기준인 260도 이상을 만족하였다.

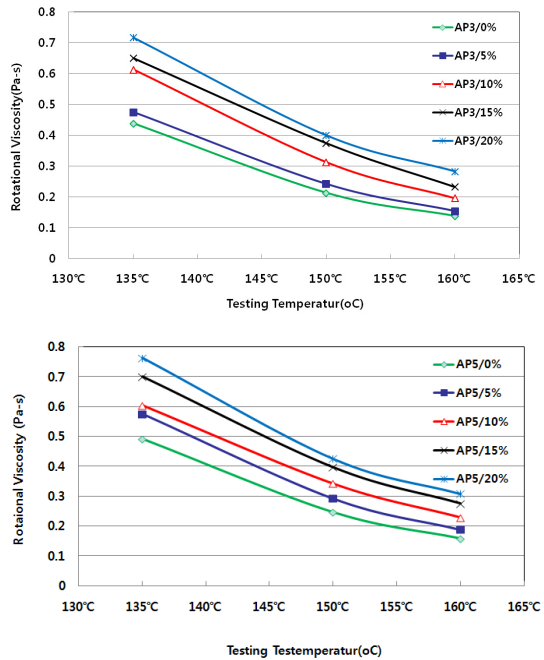
### 2.3 회전점도계 시험

아스콘 플랜트에서 아스팔트를 펌핑의 용이성, 골재와 아스팔트 혼합시 혼합의 적정성, 아스팔트 포장체의 포설 및 다짐의 적정성 등을 평가하는 시험으로 아스팔트 혼합물의 혼합 및 생산, 현장시공시 작업성(Workability)을 평가할 목적으로 사용한다. 시험 규격은 ASTM D 4402, KS F 2392를 준용하였다(시방기준 : 135도에서 실험, 측정된 값이 3.0 Pa·s 이하). Fig. 2는 회전점도계 시험장비이고, 시험온도는 135℃를 이용하였다. 시험장비는 온도조절용기, 회전모터 및 스피들 등으로 구성되어 있다.

열분해 카본블랙의 사용량에 따른 Rotational Viscosity의 온도민감도(Temperature Sensitivity)를 평가하기 위하여 150℃ 및 160℃에서 실시하였다. 시험결과는 아래의 그림에 나타내었다. 실험에 사용한 아스팔트 바인더는 국내에서 보편적으로 이용하는 AP-3(중부권 지역), AP-5(남부권 지역) 두 종류를 이용하였다. 사용한 아스팔트 바인더를 공용성등급(PG, Performance Grade)로 환산하면, AP-3는 PG 58-22, AP-5는 PG 64-18 정도에 해당한다. Fig. 3의 실험결과를 분석해 보면, PCB 사용량에 따라 회전점도값이 증가하는 경향을 나타내었고, 온도가 올라감에 따라 회전점도값은 작아지는 경향을 나타내었다. 모든 실험결과가 시방기준인 135도에서 3.0 Pa·s 이하로 측정되었다.



[Fig. 2] Rotational Viscometer Test



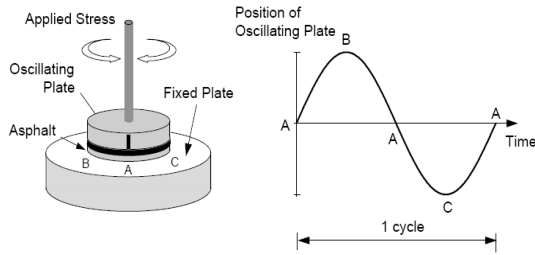
[Fig. 3] Results of Rotational Viscometer

### 2.4 동적전단유동기 시험(DSR)

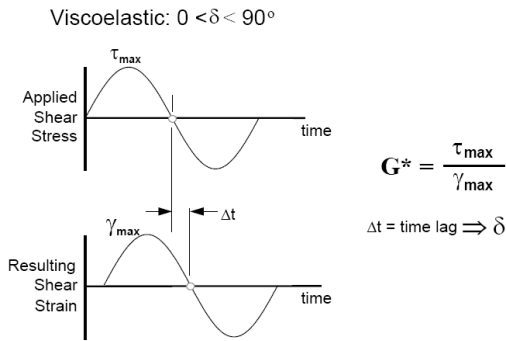
높은 온도와 중간온도에서 공용중인 아스팔트 바인더의 점성과 탄성거동 특성을 분석하는데 사용된다. 시험기준은 KS F 2393, SHRP SUPERPAVE PG Test 등을 적용하였다. DSR 시험은 Fig. 4와 같이 세팅된 상태에서 A-B-A-C-A의 순서로 비틀하중을 가한다. 하중을 가했을 때, 변형이 발생하는 시간차이를 Fig. 5에 나타난 것과 같이 Time Leg 또는 위상각(Phase Leg)이라 정의한다.

원아스팔트 및 단기노화아스팔트를 이용하여 DSR 시험을 수행하였다. 시험으로부터 측정된 전단탄성계수 및

위상각을 Table 5 및 Table 6에 나타내었다. 측정된 전단 탄성계수는 원아스팔트 및 단기노화아스팔트 순으로 증가하였고, 위상각은 감소하는 경향을 나타내었다. 동일한 아스팔트 바인더에서 PCB의 사용량이 증가함에 따라 전단탄성계수는 증가하였고, 위상각의 변화는 거의 유사한 값을 나타내었다.



[Fig. 4] Oscillation and Applied Load



[Fig. 5] Complex Modulus and Phase Angle

[Table 2] Original and RTFO AP-3

PCB(%)	Temp.	52°C		58°C		64°C	
		G* (kPa)	δ (deg.)	G* (kPa)	δ (deg.)	G* (kPa)	δ (deg.)
Original	0	5.09	85.36	2.20	86.53	1.01	87.35
	5	5.64	85.98	2.40	87.39	1.09	88.52
	10	6.41	86.18	2.74	87.54	1.24	88.65
	15	7.45	86.27	3.20	87.62	1.44	88.71
	20	8.21	84.69	3.50	87.70	1.60	88.59
RTFO	0	11.38	82.31	4.74	84.59	2.61	86.40
	5	11.28	82.81	4.86	84.91	2.19	86.61
	10	12.76	83.14	5.38	85.18	2.39	86.79
	15	11.03	83.51	4.60	85.53	2.08	87.12
	20	16.00	83.90	6.80	85.80	3.00	87.30

[Table 3] Original and RTFO AP-5

PCB(%)	Temp.	52°C		58°C		64°C	
		G* (kPa)	δ (deg.)	G* (kPa)	δ (deg.)	G* (kPa)	δ (deg.)
Original	0	6.22	85.25	2.69	86.74	1.20	87.96
	5	7.08	85.57	2.96	87.03	1.30	88.25
	10	7.30	85.63	3.18	87.09	1.46	88.33
	15	8.50	85.91	3.66	87.29	1.63	88.46
	20	9.04	86.28	3.85	87.62	1.78	88.68
RTFO	0	13.29	81.99	5.40	84.30	2.31	86.05
	5	15.25	82.17	6.25	84.43	2.66	86.25
	10	15.71	81.68	6.51	84.11	2.88	86.03
	15	20.41	82.47	8.42	84.66	3.65	86.40
	20	20.44	83.63	8.32	85.54	3.65	87.07

원아스팔트 및 단기노화아스팔트를 이용하여 DSR 시험을 수행하였다. 시험온도는 52도, 58도 및 64도를 이용하였다. DSR시험에서 전단탄성계수 및 위상각을 결정할 수 있다. 이를 이용하여 소성변형 저항성을 평가하는  $G^*/\sin\delta$  값을 결정할 수 있다. 원아스팔트를 이용하는 경우  $G^*/\sin\delta$ 의 최소기준은 1.00 kPa 이상되어야 소성변형에 대한 저항성이 있다. 단기노화 아스팔트를 이용하는 경우  $G^*/\sin\delta$ 의 최소기준은 2.20 kPa 이상되어야 한다.

Table 4에 나타난 것과 같이 Original Binder의 PCB 함량이 증가할수록  $G^*/\sin\delta$ 의 값도 같이 증가하는 경향을 보였으며, 모든 실험 값이 기준값인 1.00kPa이상을 통과하였다.

Table 5의 단기 노화시킨 RTFO Binder의 경우도 PCB 함량이 증가할수록  $G^*/\sin\delta$  값도 증가하는 것으로 나타났지만, AP-3에서 PCB함량 0%, 5%, 15%의 수치가 64°C에서 기준값인 2.20 kPa이상을 통과하지 못하는 결과가 나타났다. AP-5의 경우 PCB 사용량에 관계없이 모두 최소기준값을 상회하는 결과를 나타내었다.

[Table 4]  $G^*/\sin\delta$  of Original Asphalt Binder

AC	PCB%	Temp.		
		52 °C	58 °C	64 °C
AP-3	0%	5.111	2.203	1.007
	5%	5.653	2.406	1.093
	10%	6.422	2.741	1.244
	15%	7.469	3.198	1.436
	20%	8.221	3.500	1.602
AP-5	0%	6.259	2.692	1.203
	5%	7.101	2.960	1.539
	10%	7.324	3.184	1.461
	15%	8.526	3.662	1.633
	20%	9.059	3.857	1.785

[Table 5]  $G^*/\sin\delta$  of Short-Term-Aged Asphalt Binder

AC PCB%		Temp.		
		52℃	58℃	64℃
AP-3	0%	11.480	4.757	2.071
	5%	11.370	4.882	2.194
	10%	12.850	5.403	2.390
	15%	11.100	4.609	2.079
	20%	16.09	6.797	3.026
AP-5	0%	13.420	5.431	2.310
	5%	15.390	6.275	2.610
	10%	15.870	6.544	2.891
	15%	20.23	8.379	3.660
	20%	20.57	8.348	3.653

### 3. 결론

- (1) 열분해 카본블랙 사용량이 증가함에 따라 아스팔트 바인더의 연화점 값이 조금씩 커지는 경향을 나타내었다. 또한, 인화점 시험결과, AP 3 및 AP 5 에 열분해 카본블랙을 이용한 경우 기준 온도인 260도 이상으로 나타났다.
- (2) 회전점도계 시험을 기준온도인 135℃, 150℃ 및 160℃에서 실시하였다. PCB 사용량에 따라 회전점도값이 증가하는 경향을 나타내었고, 온도가 올라감에 따라 회전점도값은 작아지는 경향을 나타내었다. 모든 실험결과가 시방기준인 135도에서 3.0 Pa·s 이하로 측정되었다.
- (3) DSR시험을 이용하여 아스팔트바인더의 소성변형 저항성을 분석하였다. 원아스팔트에 열분해 카본블랙을 5%, 10%, 15% 및 20%를 혼합시, PCB 함량이 증가할수록  $G^*/\sin\delta$  의 값도 같이 증가하는 경향을 보였으며, 모든 실험 값이 기준값인 1.00 kPa이상을 통과하였다. 단기 노화시킨 RTFO Binder의 경우도 PCB 함량이 증가할수록  $G^*/\sin\delta$  값도 증가하는 것으로 나타났지만, AP-3에서 PCB 함량 0%, 5%, 15%의 수치가 64℃에서 기준값인 2.20 kPa이상을 통과하지 못하는 결과가 나타났다. AP-5의 경우 PCB 사용량에 관계없이 모두 최소기준값을 상회하는 결과를 나타내었다.

### References

[1] National Institute of Environmental Research (2011), "Guideline of Eco-Friendly Mngement for Waste Tires", pp. 209

[2] Lee, Y. (2013), "A Study of Modified Asphalt Binder with Pyrolyzed Carbon Black from Waste Tires", Master Thesis, Kongju National University.

[3] Livingston, J. (1989), "Carbon Black Additive in Asphalt Experimental Project No. 3, WA-84-04", Washington State Department of Transportation, WA-RD 198.1.

[4] Kim, S. (2009), "Influence of a Flexibilizer on Physical Properties of Crumb Rubber Modified Asphalt Sealants", Korean Society of Roadway Engineers, Vol. 11, No. 3, pp. 32-40

#### 이 동 향(Dong-Hang Lee)

[정회원]



- 2012년 2월 : 국립공주대학교 건설환경공학부 (공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 방재공학과 (석사과정)

<관심분야>

도로공학 및 지반공학

#### 김 정 구(Jung-Ku Kim)

[정회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학사)
- 2010년 2월 : 국립공주대학교 방재공학과 (공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부 (박사과정)

<관심분야>

도로공학 및 지반공학

#### 이 관 호(Kwan-Ho Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 12월 : 미국 Purdue Univ. Civil Eng., (공학박사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야>

도로공학 및 지반공학