

아스팔트와 골재의 접착력 결정

이 상 백*

Determination of Work of Adhesion Between Asphalt and Rock

Sang-Baek Lee*

ABSTRACT

The work of adhesion between asphalt and rock was determined. It is calculated by measuring the contact angles of two kinds of liquids on the surfaces of all the asphalt and rock samples. The asphalts include PG 70 - 40, PG 64 - 28, PG 52 - 34, crack sealer and modified crumb rubber asphalts. The work of adhesion between PG 70 - 40 and all other asphalt samples. Crack sealer and modified crumb rubber asphalts showed the similar values to those of PG 64 - 28 and PG 52 - 34. The temperature did not show signifiant influence on the work of adhesion in the range of 15°C to 40°C. Three different rocks were combined with 5 asphalts. One of this study's purposes is to calculate work of adhesion in crack sealer and modified crumb rubber asphalts and compare with values of other asphalts.

Key Words : Work of Adhesion, Asphalt, Contact angle

1. 서 론

아스팔트와 자갈 복합재료는 포장도로 표면의 커다란 균열, 둥근 웅덩이, 이음새에 충전제로 사용된다. 복합재료에서 아스팔트는 자갈의 접합체로 작용하게 된다. 충전제로서 복합재료에 요구되는 중요한 성질 중의 하나는 도로 포장에 가해지는 하중과 계절에 따른 팽창과 압축에 따라 탄성을 유지하는 것이다. 보수된 도장포장의 수명을 연장시키려면 복합재료의 탄성력을 향상시켜야 하고 이는 아스팔트에 고무나 용

화성이 있는 고분자물질을 혼합시켜 달성할 수 있다. 탄성력이 증가되게 다른 물질을 혼합시킨 아스팔트는 혼합되는 골재와의 접착력이 떨어지는 단점을 보이게 된다. 접착력 저하는 아스팔트와 자갈의 분리를 일으켜 보수된 도로표면에 더 심한 손상을 입히게 된다.[1,2]

상호 작용하는 두 표면 사이의 표면 자유에너지는 상호작용에 의한 접착력을 예상하게 해 줄 수 있기 때문에 매우 중요하다. 아스팔트와 골재와의 접착력은 두 고체가 따로 떨어져 있을 때와 접촉하여 계면을 형성할 때의 표면에너지의 차이이다.[3]

$$\begin{aligned} W_{adhesion} &= W_{asphalt} + W_{rock} \\ &- W_{asphalt-rock} \end{aligned} \quad (1)$$

* 제주대학교 화학공학과, 첨단기술연구소
Department of Chemical Eng., Cheju Nat'l Univ., Res. Inst. Adv. Tech.

여기에서 $Y_{asphalt}$ 는 에너지 / 아스팔트와 공기계면의 면적, Y_{rock} 은 에너지 / 골재와 공기의 계면면적이고 $Y_{asphalt-rock}$ 은 에너지 / 아스팔트와 골재 계면면적이다.

아스팔트와 골재의 표면에너지는 극성과 분산성에 의한 것으로 나누어질 수 있다.

$$Y_{asphalt} = Y_{asphaltp} + Y_{asphaltd} \quad \text{--- (2a)}$$

$$Y_{rock} = Y_{rockp} + Y_{rockd} \quad \text{--- (2b)}$$

따라서

$$\begin{aligned} Y_{asphalt-rock} &= Y_{asphalt} + Y_{rock} \\ &\quad - 2(Y_{asphaltp}Y_{rockd})^{1/2} \\ &\quad - 2(Y_{asphaltp}Y_{rockp})^{1/2} \end{aligned} \quad \text{--- (3)}$$

(1), (2), (3) 식들을 이용하면 다음의 식을 유추할 수 있다.

$$\begin{aligned} W_{adhesion} &= 2(Y_{asphaltd} Y_{rockd})^{1/2} \\ &\quad + 2(Y_{asphaltp} Y_{rockp})^{1/2} \end{aligned} \quad \text{--- (4)}$$

따라서 아스팔트와 골재의 접착력은 아스팔트와 골재의 표면에너지의 극성과 분산성 성분이 얻어지면 결정되어질 수 있다.

극성 액체로 고체와의 접촉각을 측정하면 Young의 식에 의해서

$$Y_p \cos(\theta_{p-rock}) + Y_{p-rock} = Y_{rock} = Y_{rock} \quad \text{--- (5)}$$

여기서 Y_p 는 극성액체의 표면에너지, $\cos(\theta_{p-rock})$ 는 극성액체와 골재의 접촉각, Y_{rock} 은 골재의 표면에너지, Y_{p-rock} 은 극성액체와 골재의 표면에너지이다.

$$\begin{aligned} Y_{p-rock} &= Y_p + Y_{rock} - 2(Y_{pd} Y_{rockd})^{1/2} \\ &\quad - 2(Y_{pp} Y_{rockp})^{1/2} \end{aligned} \quad \text{--- (6)}$$

(6) 식을 (5) 식에 넣으면 다음과 같은 식이 된다.

$$\begin{aligned} Y_p [1 + \cos(\theta_{p-rock})] &= \\ &= 2(Y_{pd} Y_{rockd})^{1/2} + 2(Y_{pp} Y_{rockp})^{1/2} \end{aligned} \quad \text{--- (7)}$$

Y_p , Y_{pd} , Y_{pp} 는 알려진 실험값이므로 골재와 극성액체의 접촉각 $\cos(\theta_{p-rock})$ 을 두개의 액체에서 측정하면 두 개의 미지수 Y_{rockd} 와 Y_{rockp} 를 구할 수 있다.

위와 같은 방법으로 아스팔트에 대해 $Y_{asphaltd}$ 와 $Y_{asphaltp}$ 를 구할 수 있다. 네 개의 미지수 Y_{rockd} , Y_{rockp} , $Y_{asphaltd}$, $Y_{asphaltp}$ 가 접촉각 실험에 의해 구해지면 (4) 식을 이용하여 아스팔트와 골재의 접착력을 예측할 수 있다.

본 연구에서는 3 종류의 일반 아스팔트와 균열보수용 아스팔트, 변형 아스팔트와 4개의 다른 골재의 접착력을 접촉각 실험으로부터 예측하였다. 도로 포장은 4계절을 통해 여러 온도에 노출되기 때문에 온도 변화에 따른 접착력 변화를 알아보기 위해 15°C, 상온(23°C)과 40°C에서 접촉각을 측정하였다.

II. 실험

실험에 사용된 아스팔트 시료는 PG 70 - 40, PG 64 - 28, PG 52 - 34, 균열 봉합용 아스팔트와 Modified crumb rubber 아스팔트가 사용되었다. 골재는 Wrentham, Lynch와 PJ Keating이 사용되었다. 아스팔트 필름은 아스팔트를 2 x 2cm의 알루미늄 판에 올려놓고 125°C의 오븐에 넣어 편리하게 펴진 후 상온에서 냉각하였다. 골재는 편리하게 전기톱으로 절단하여 물 속에 보관하였다가 실험 한 시간전에 건조시킨 후 사용하였다. 접촉각 측정기(Phoenix - 150 by SEO)를 이용하여 액체 방울의 이미지를 촬영한 후, 정착된 이미지 분석 소프트웨어를 이용하여 이미지를 얻었다. 그리고 접촉면에서 액체표면에 탄젠트 선을 그어 접촉각을 얻었다. Thermoelectric module를 이용하여 액체방울이 떨어지기 수분 전부터 고체면이 측정온도에 이르게 한 후 액체 방울을 떨어뜨리고 접촉각을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

Table 1 - 3에는 실험에 사용된 5종의 아스팔트와 3종의 골재의 15종류의 짝의 상온, 15°C, 40°C 에서의 접착력이 나타났다. 이 실험의 주요 목적은 파손된 도로의 보수용으로 쓰이는 crack sealer, 아스팔트와 Modified crumb rubber 아스팔트의 접착력의 예상이다. 변형된 아스팔트의 접착력은 넓은 온도 조건에서 사용되는 고가의 아스팔트인 PG 70 - 40 아스팔트보다는 모든 온도에서 예상되었던 대로 떨어졌지만 그 외의 상대적으로 좁은 온도 범위에서 사용되는 PG 64 - 28과 PG 52 - 34 와는 거의 비슷한 접착력을 보여주고 있다.

Table 1. work of adhesion for all pairs of asphalt and rock at room temperature
Unit : erg/cm²

	Wrentham	Lynch	PJ Keating
PG 70 - 40	72.24	65.56	58.60
PG 64 - 28	66.51	65.39	62.60
PG 52 - 34	66.94	66.62	64.39
Crack sealer	70.94	64.99	58.59
Modified CR*	68.15	61.87	55.31

* CR : crumb rubber

Table 2. work of adhesion for all pairs of asphalt and rock at 15°C
Unit : erg/cm²

	Wrentham	Lynch	PJ Keating
PG 70 - 40	90.01	91.02	96.40
PG 64 - 28	67.95	82.15	58.36
PG 52 - 34	65.60	73.53	62.54
Crack sealer	68.93	77.81	65.14
Modified CR	64.66	79.86	53.74

* CR : crumb rubber

Table 3. work of adhesion for all pairs of asphalt

and rock at 40°C

Unit : erg/cm²

	Wrentham	Lynch	PJ Keating
PG 70 - 40	87.01	84.70	83.16
PG 64 - 28	66.60	65.21	63.84
PG 52 - 34	64.87	64.19	62.50
Crack sealer	66.84	65.36	64.02
Modified CR	65.22	64.38	62.76

* CR : crumb rubber

현재 도로 포장에는 PG 70 - 40 이 많이 사용되지 않고 있으므로, 보수를 위해 crack sealer와 Modified crumb rubber를 충전제 복합재료로 사용하여도 기존의 아스팔트에서 탄성을 유지하면서 기존 포장에서의 아스팔트와 골재 분리와 비슷한 정도의 분리가 일어날 것으로 예상된다. PG 64 - 28과 PG 52 - 34 아스팔트도 사용 가능 온도의 차이가 있으나 골재와 접착력에는 큰 차이가 없었다.

아스팔트와 골재 종류와의 접착력은 상온에서 PG 70 - 40의 경우 골재에 따라 Wrentham에서 가장 큰 접착력을 보이고 Lynch, PJ Keating에서 가장 작은 값을 보여 주고 있다. 그 외 다른 경우에는 골재는 접착력에 일정한 경향을 가지고 의미 있는 변화를 주지 않았다.

온도에 따른 접착력의 변화는 PG 70 - 40인 경우 상온에서 접착력이 가장 낮고, 15°C에서 가장 높고 40°C에서는 이보다 약간 낮은 접착력을 보였다. 이러한 접착력 변화가 실제 사용에서 의미 있는 변화를 보이는 것인지는 온도에 따른 접착력 변화 실험을 통해 의미 있는 접착력 변화 값을 알아 낼 필요가 있다. 온도의 변화에 따라 골재가 접착력에 영향을 주는 경향은 없었다. PG 64 - 28과 PG 52 - 34는 온도에 따른 접착력 변화를 보여주지 않았다. 변형된 아스팔트인 crack sealer와 Modified crumb rubber 아스팔트도 온도에 접착력이 영향을 받지 않아 4계절이 있는 지방에서도 보수용 복합재료로 사용될 수 있다.

IV. 결 론

접촉각 측정 실험을 이용하여 여러 가지 아스팔트와 골재의 접착력을 계산할 수 있었다.

PG 70 - 40 아스팔트가 골재의 종류와 온도에 상관없이 가장 우수한 접착력을 보여, 골재와 가장 혼합력이 좋은 것으로 나타났다. 보수용으로 쓰이는 crack sealer와 Modified crumb rubber 아스팔트는 PG 70 - 40 보다는 접착력이 떨어지지만 다른 PG 64 - 28, PG 52 - 34 아스팔트와는 비슷한 값을 보였다. 따라서 보수 후 특별한 아스팔트와 골재 분리 는 예상되지 않는다. 골재의 종류와는 큰 상관없이 아스팔트에 의해 접착력이 결정되었다. PG 70 - 40 은 상온에서 가장 낮은 접착력을 보이고 40°C, 15°C 의 순으로 접착력이 증가하였다. 골재와 온도의 상관 관계는 없었다. PG 70 - 40을 제외한 다른 일반과 변형 아스팔트는 온도 변화에 대해 의미 있는 일정한 경향을 갖는 변화를 보이지 않았다.

참고문헌

1. R. J. Good, and C. J. Van Oss, 1992, in *Modern Approaches to Wettability : Theory and Application*, Eds : M.E. Schrader and G. Loeb, Plenum Press, N.Y. pp.1-27.
2. D. Cheng, D. N. Little, R. L. Lytton, and J. C. Holste, 2002, *Surface Energy Measurement of Asphalt and its Application to predict fatigue and Healing in Asphalt Mixtures*, Transportation Research Board for Presentation and Publication, Annual meeting in Washington, D.C., pp.203-217.
3. A. W. Adamson, 1997, *Physical chemistry of surfaces*, 6th ed., pp.18-40.