

## 보일링 시험을 통한 아스팔트 혼합물의 수분민감성 평가

### Evaluation of Moisture Susceptibility of Asphalt Mixtures Using Boiling Water Test

김 준	Kim, Jun	군산대학교 토목환경공학부 석사과정 (E-mail : imjun0524@naver.com)
박 대욱	Park, Dae-Wook	정회원 · 군산대학교 교수 · 교신저자 (E-mail : dpark@kunsan.ac.kr)
보베트하이	Vo Viet Hai	군산대학교 토목환경공학부 박사과정 (E-mail : haivo2310@gmail.com)
김혁중	Kim, Hyeok-Jung	정회원 · 금호석유화학 공학박사 (E-mail : ceasare@kkpc.com)
박준상	Park, Jun-Sang	금호석유화학 (E-mail : polymer@kkpc.com)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** The purpose of this paper is to evaluate the moisture susceptibility of asphalt mixtures containing developed liquid anti-stripping agents using the boiling water test as a screening test.

**METHODS :** The boiling water test was used to evaluate the moisture susceptibility of asphalt mixtures containing different anti-stripping agents. The tensile strength ratio was calculated to compare the moisture susceptibility of the asphalt mixtures after indirect strength tests were performed. Additionally, image analysis techniques were used to calculate and analyze the quantity of stripped area in the asphalt mixtures.

**RESULTS :** In general, the asphalt mixtures containing anti-stripping agents showed a higher resistance of anti-stripping based on the boiling water test and tensile strength ratio.

**CONCLUSIONS :** The boiling water test can be used to differentiate the resistance of moisture susceptibility of asphalt mixtures, except for asphalt mixtures containing hydrated lime. The boiling water test can be used as a screening test for asphalt mixtures before conducting time consuming and expensive indirect tensile strength tests.

#### Keywords

*boiling water tests, moisture susceptibility of asphalt mixture, anti-stripping agent, image analysis*

Corresponding Author : Park, Dae-Wook, Professor  
Dept. of Civil Eng., Kunsan National University,  
558, Daehak-ro, Kunsan-si, Jellabuk-do, 573-701, Korea  
Tel : +82.63.469.4876 Fax : +82.63.469.7434  
E-mail : dpark@kunsan.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Dec. 29, 2014 Revised Dec. 30, 2014 Accepted Jan. 26, 2015

## 1. 서론

### 1.1. 연구배경

최근 우리나라에서 아스팔트 콘크리트 포장도로에서 포트홀(Pothole) 관련 국민불편 및 사고사례 등을 많이 볼 수 있다. 포트홀이란 아스팔트 콘크리트 포장의 표면에 생기는 국부적인 작은 구멍을 말하며, 포트홀의 발생 원인을 알아보면 다짐부족, 불량한 골재사용, 아스팔트

함량부족 등 다양한 원인이 존재하며 주요 원인으로 침투한 수분에 의하여 바인더와 골재의 점착력이 약화되어 파손이 발생한다(조명환 외, 2013). 수분에 의한 아스팔트 혼합물의 파손원리는 아스팔트 혼합물은 물과의 접촉으로 강도가 저하되는데 이는 골재를 에워싸고 있는 아스팔트의 피막이 벗겨지는 박리현상(Stripping)에 주로 기인하며 물을 포화한 혼합물이 동결하면 공극 내

의 수분이 팽창하여 내부응력을 유발하고 미세균열로 인해 강도가 저하된다(조영진 외, 2010). 아스팔트 혼합물이 수분에 의해 받는 영향은 각 재료와 수분과의 친수성에서부터 환경 등 다양한 변수들과 관련되어 매우 복잡하다. 효과적인 해결방안 중 하나로 박리방지제의 사용이다. 이미 외국 주요 국가들에서 많은 연구 및 현장 공용성 평가가 진행되고 있지만, 현재 우리나라에서는 박리방지제의 사용이 많지 않은 실정이다.

## 1.2. 연구내용

본 연구에서는 아스팔트 혼합물의 수분저항성에 미치는 박리방지제의 효과를 분석하기 위해 아스팔트 혼합물의 사전 성능시험으로 다져지지 않은 아스팔트 혼합물에 대한 초기 평가시험으로 보일링 시험(“boiling water test” ASTM D 3625-96)과 아스팔트 혼합물을 이용하여 수분저항성 시험방법(KS F 2398)을 통해 아스팔트 혼합물의 수분민감성 시험을 수행하였고 아스팔트 혼합물 샘플을 동결융해 후 인장강도를 측정하였다. 인장강도 시험 후 파쇄면의 이미지 분석을 통해 각각 다른 박리방지제를 사용한 아스팔트 혼합물의 파쇄면 박리량을 측정하였다. 본 연구에서는 국내에서 개발한 박리방지제(LAS1, LAS2, LAS3)의 효과를 평가하기 위하여 해외 사용제품인 LAS 및 소석회와 비교·평가를 수행하였다.

## 2. 문헌조사

현재 미국에서 수분민감성 평가와 수분민감성 시험을 하는 주는 46개 주가 있다. 미국 각 주에서 액상박리방지제를 사용하는 주는 20개 주, 소석회를 사용하는 주는 11개 주, 소석회와 액상박리방지제를 혼용하여 사용하는 주는 15개 주가 있으며, Fig. 1에 나타내었다. 27개 주에서 AASHTO T 283 시험방법을 따르며 ASTM D 4867 시험 4개 주, Lottmman 시험 3개 주 등 각각의 주 환경과 여건에 따라 다르게 사용하고 있다(Hicks et al., 2003).

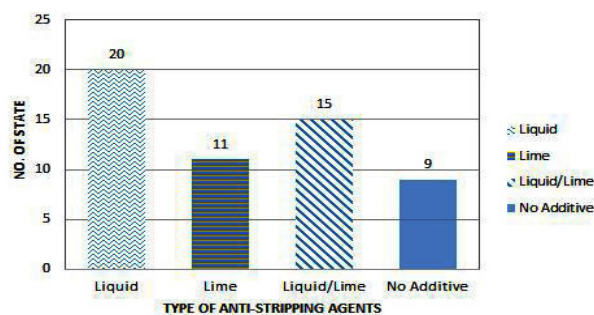


Fig. 1 Survey Results of Anti-Stripping Agent in the USA

아스팔트 혼합물의 수분민감성을 최소화하거나 억제하기 위한 방법으로 박리방지제를 사용하며 박리방지제로는 소석회(Hydrated Lime), 액상박리방지 첨가제(Liquid Ant-Stripping Agent) 등과 같은 첨가제를 사용하고 있다(양성린 외, 2008).

현재 국토교통부에서는 아스팔트 혼합물의 간접인장 강도비를 기존 75%에서 80%로 상향 조정하였으며, 간접인장강도비가 80%에 미달하는 아스팔트 혼합물은 박리방지제를 사용하도록 지침에서 정하고 있다(국토교통부, 2014).

## 3. 연구방법

### 3.1. 보일링 시험(boiling water test)

보일링 시험(boiling water test)은 끓는 물로 인하여 다져지지 않은 아스팔트 코팅 골재혼합물에서의 접착력 손실을 목적으로 관찰하는 시험법이다. 시험은 아스팔트 코팅 골재에 물에 대한 상대적인 민감성을 나타내는 지표로 사용된다. 하지만 이러한 연관성을 입증하지 못해 현장 성능측정치로써는 사용하지 않는다(ASTM, 2001).

보일링 시험의 시료준비는 10mm 골재만을 사용하여 다져지지 않은 아스팔트 혼합물을 만들었다. 1회 시험 250g의 골재와 3%의 아스팔트 함량, 아스팔트 함량의 0.5% 액상박리방지제, 소석회는 골재의 1.5% 사용으로 시료를 준비하였다. Fig. 2는 시험절차이며, 가열장치를 이용하여 비커에 500ml 증류수를 넣고 85°C~100°C가 될 때까지 증류수를 가열한 후 만들어진 혼합물을 넣고



Fig. 2 Procedures for Boiling Water Test

85°C~100°C 온도에서 10분15초 동안 유지한다. 10분 15초 지난 후 가열장치를 제거하고 증류수를 이용하여 가열된 아스팔트 혼합물에 이물질과 박리된 코팅이 혼합물에 다시 붙지 않도록 제거하고 아스팔트 혼합물을 식힌 후 골재의 코팅상태를 관찰한다.

### 3.2. 아스팔트 혼합물 배합설계

아스팔트 혼합물 첨가제에 따른 수분민감성 시험과 박리방지저항성을 알아보기 위하여 각각 아스팔트 혼합물 공시체를 배합설계 후 선회다짐기를 이용하여 공극률 70.5%로 제작하였다(KS F 2377(2001)). 시험을 위해 만든 아스팔트 혼합물 공시체는 재생아스팔트 혼합물 30%, Fig. 3의 합성입도분포곡선을 이용하였다. 아스팔트 혼합물에 각각 새로이 첨가하는 아스팔트 중량 0.5% 액상박리방지제를 사용하였고 소석회 아스팔트 혼합물은 전체 골재중량의 1.5% 소석회를 사용하였다.

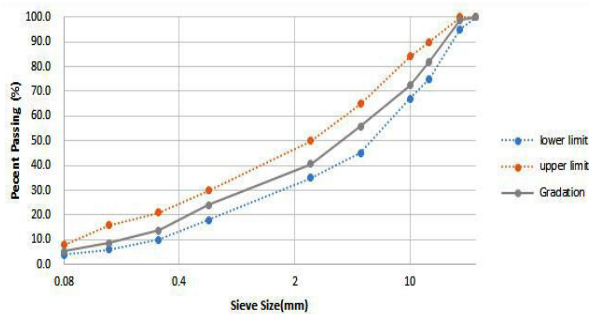


Fig. 3 Combined Aggregate Gradation

### 3.3. 간접인장강도비 시험방법

본시험에서 간접인장강도비(Tensile Strength Ratio: TSR)를 측정하기 위해 배합설계에 따라 다져진 아스팔트 혼합물을 사용하였으며, Fig. 4의 시험절차에 따라 공극률  $7 \pm 0.5\%$ 를 확인한 후 건조시험 및 습윤 시험을 진행하였다.

아스팔트 혼합물의 수분처리는 KS F 2398을 따랐다.

건조시험은 공극률  $7 \pm 0.5\%$  확인을 마친 공시체를 밀폐 후 25°C 물에 2시간동안 담가둔 다음 디지털 마찰안정도시험기를 이용하여 간접인장강도 시험을 수행하였다.

습윤시험은 아스팔트 혼합물 공시체를 진공포화기를 이용하여(13~67kpa) 강제포화시킨 후 진공상태를 제거하고 표면건조포화상태 측정 전에 5~10분 동안 수침한 후 표면건조포화상태를 측정한다. 표면건조포화상태 측정을 마친 샘플은 플라스틱 팩에 10ml의 물을 넣고 밀봉한다.

밀봉한 샘플을 냉동보관고에서  $-18 \pm 3^\circ\text{C}$ 로 16시간 동결한다. 동결과정을 거친 공시체를 항온수조를 이용하여  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ 에 24시간 동안 수침하여 용해시킨 후, 25°C 수조에서 2시간 수침 후 간접인장강도 시험을 수행하였다.

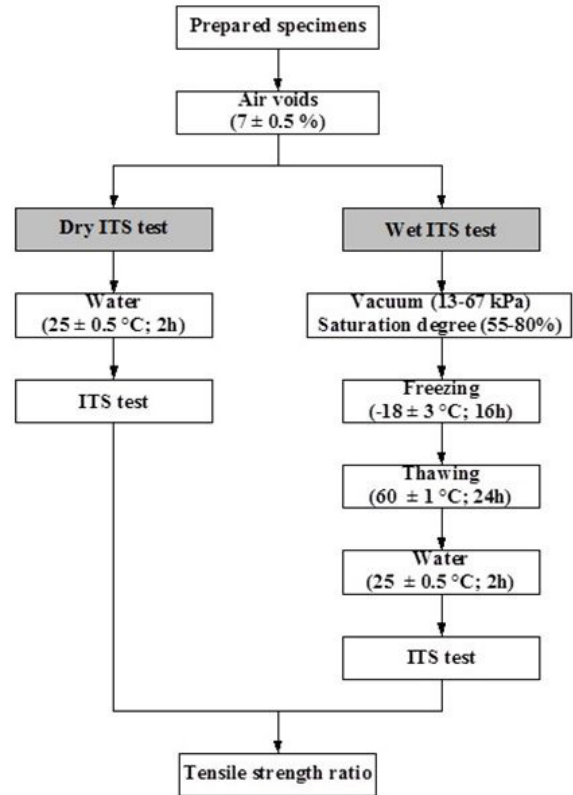


Fig. 4 Procedures for Indirect Tensile Strength Test

### 3.4. 아스팔트 혼합물 동결융해 후 박리량 측정

아스팔트 혼합물을 제작 후 파쇄하여 아스팔트 혼합물의 박리량을 측정하였다. 디지털 카메라(SONY DSC-T100 8.1mega pixels)를 이용하여 이미지를 촬영 후 군산대학교 도로 및 공항시스템 연구실에서 개발한 소프트웨어를 이용하여 파쇄면의 평균박리면적을 구하였다.

## 4. 시험결과

### 4.1. 보일링 시험결과

보일링 시험에서 액상박리방지제는 소석회보다 좋은 결과를 나타내는 것으로 나타났다. 이 시험에서 박리란 골재에 아스팔트 코팅이 조금만 벗겨져도 박리로 보고 있으며, 각 첨가제 마다 골재에 남아있는 박리상태가 다르게 나타났다. 보일링 시험결과 Fig. 6과 같이 나타났다.



Fig. 5 The Results of Stripping of Coated Aggregates after Boiling Water Test

Fig. 5에서 아무것도 첨가하지 않은 아스팔트 혼합물의 경우 98.3%의 박리현상을 나타냈고 (a)아스팔트 혼합물 골재의 상태를 살펴보면 골재에 아스팔트 코팅이 대부분 벗겨져 나간 것을 확인할 수 있다. 소석회 첨가 아스팔트 혼합물은 84.3% 혼합물의 박리현상이 나타났고 (b)를 살펴보면 아무것도 넣지 않은 아스팔트 혼합물의 상태보다 골재에 코팅이 덜 벗겨진 상태로 나타난다. LAS 액상박리방지제 10.0% 박리현상이 나타났고 (c)에서 나타나듯이 골재에 코팅 상태가 우수하며 부분적인 박리현상만 나타났다. LAS1 액상박리방지제 53.5%의 박리량을 보였다 하지만 (d)에서와 같이 아스팔트 혼합물 골재 코팅상태는 LAS 액상박리방지제와 비슷하게 나타났으나 박리량은 많았다. Fig. 6에서 보듯이 LAS2 액상박리방지제 1.4%로 시험에 가장 적은 박리량을 나타냈고 아스팔트 혼합물 골재 코팅상태 또한 우수하

게 나타났다. LAS3 액상박리방지제 4.7% 박리량을 나타냈고 (f)에서 아스팔트 혼합물 골재 코팅상태도 우수하게 나타났다.

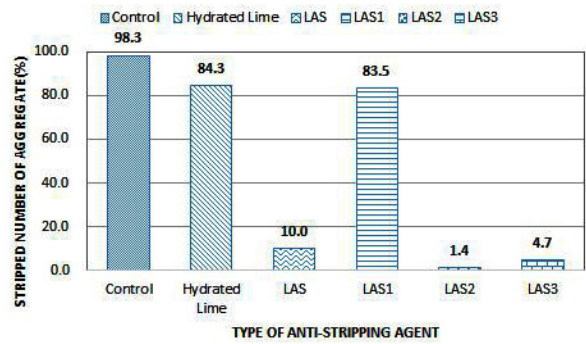


Fig. 6 Test Results of Boiling Water Test

## 4.2. 간접인장강도비 시험결과

### 4.2.1. 간접인장강도 시험결과

간접인장강도를 측정한 결과 Eq. (1), (2)를 이용하여 Fig. 7과 같이 나타났다. 건조된 혼합물 샘플에서는 비슷한 간접인장강도를 보였다. 하지만 습윤시료 즉 동결융해를 거친 아스팔트 혼합물 샘플에서 크게 다른 강도를 보였다. 아무것도 첨가하지 않은 아스팔트 혼합물 및 LAS1 액상박리방지제를 사용한 아스팔트 혼합물에서 건조된 혼합물에 비해 동결융해를 거친 아스팔트 혼합물 샘플이 강도가 상대적으로 낮게 나왔고, 소석회 첨가 아스팔트 혼합물 샘플, LAS, LAS2, LAS3 액상박리방지제 첨가 아스팔트 혼합물 샘플에서 건조된 아스팔트 혼합물과 거의 동일한 간접인장강도를 보였다.

$$\text{Dry strength (kPa)} = \frac{2000 \times P}{3.14 \times t \times D} \quad (1)$$

$P$  : 건조된 아스팔트 혼합물 공시체 간접인장강도

$t$  : 공시체 직경

$D$  : 공시체 두께

$$\text{Wet strength (kPa)} = \frac{2000 \times P'}{3.14 \times t \times D} \quad (2)$$

$P'$  : 습윤된 아스팔트 혼합물 공시체 간접인장강도

$t$  : 공시체 직경

$D$  : 공시체 두께

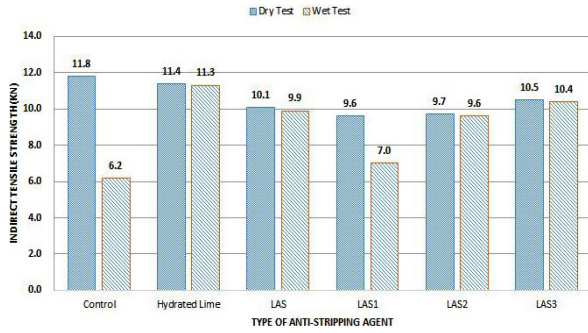


Fig. 7 Test Results of Indirect Tensile Strength

#### 4.2.2. 간접인장강도비 결과

간접인장강도를 측정하여 Eq. (3)을 이용하여 간접인장강도비를 산정한 결과 Fig. 8과 같이 나왔다. LAS1, 무첨가 아스팔트 혼합물 2가지의 경우 TSR 기준 80%를 넘지 못하였다. LAS 액상박리방지제 첨가 98%, 소석회첨가 99%, LAS2 액상박리방지제 첨가 99%, LAS3 액상박리방지제 첨가 99%의 아스팔트 혼합물의 인장강도비가 각각 Fig. 8과 같이 나타났다.

$$\text{간접인장강도비} = \frac{\text{wet strength}}{\text{dry strength}} \quad (3)$$

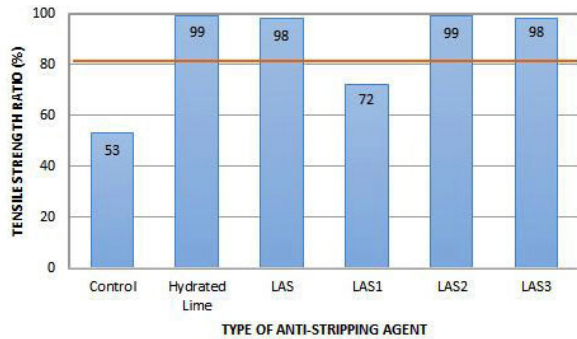


Fig. 8 Results of Tensile Strength Ratio

#### 5. 이미지 처리를 통한 박리량 분석

간접인장강도 시험 후 디지털 카메라를 이용하여 파쇄면에 대한 사진을 촬영하여 Fig. 9와 같이 박리량을 분석하였으며, 박리방지제 종류에 따른 파쇄면 박리량을 Fig. 10과 같이 나타냈다. 아무것도 넣지 않은 아스팔트 혼합물 11.4%, 소석회 첨가 아스팔트 혼합물 8.8%, LAS 액상박리방지제 아스팔트 혼합물 5.6%,

LAS1 액상박리방지제 13.2%로 아무것도 첨가하지 않은 혼합물 11.4%보다 많이 나왔다. LAS2 액상박리방지제 아스팔트 혼합물 9.1%, LAS3 액상박리방지제 아스팔트 혼합물 10.3%로 나타났다.

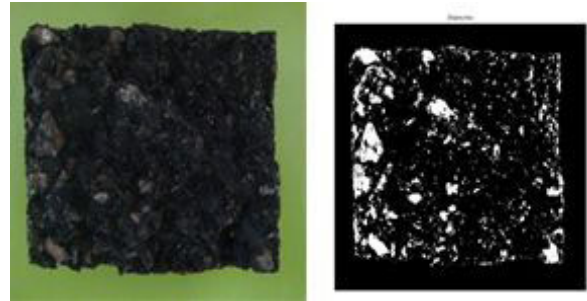


Fig. 9 Stripping Image for Control Specimen

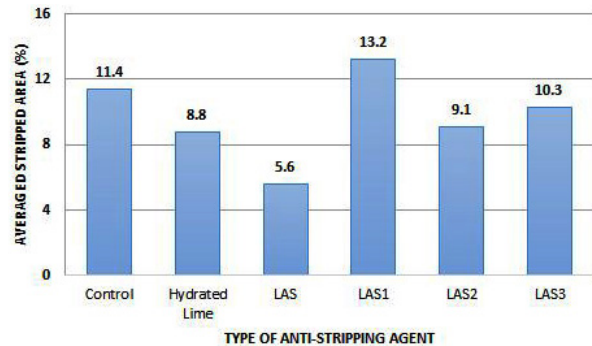


Fig. 10 Stripping Quantity based on Image Analysis

#### 6. 결론

본 연구에서는 포트홀(Pothole) 예방을 위한 박리방지제 사용에 따른 아스팔트 혼합물의 수분저항성을 평가하기 위하여 보일링 시험과 아스팔트 혼합물 수분저항성 시험을 수행하였으며, 인장강도 시험 후 파쇄면에 대한 이미지 분석을 실시하여 박리량을 분석하였다.

보일링 시험을 분석한 결과 아무것도 첨가하지 않은 아스팔트 혼합물의 경우 98.3% 박리현상, 소석회 첨가 아스팔트 혼합물은 84.3% 박리현상, LAS 액상박리방지제는 10.0% 박리현상, LAS1 액상박리방지제는 53.5% 박리현상, LAS2 액상박리방지제는 1.4% 박리현상, LAS3 액상박리방지제는 4.7% 박리현상이 나타났다.

간접인장강도비 시험결과 소석회 99%, LAS 액상박리방지제 98%, LAS2 액상박리방지제 99%, LAS3 액상박리방지제 98%로 기준 80%를 만족하는 값들을 나타냈고, LAS1 액상박리방지제의 경우 72% 기준에 미

달하는 값이 나왔는데 보일링 시험결과 53.5%로 다른 액상박리방지제보다 높은 값을 보이며, 아스팔트 혼합물 파쇄면 이미지 분석결과 평균 박리면적도 13.2%로 가장 높았다.

액상박리제를 사용할 경우 일반적으로 박리저항성이 증가하는 것으로 나타났으며, 소석회의 경우 보일링 시험의 효과가 크지 않은 것으로 나타났다.

## BIBLIOGRAPHY

- AASHTO(2011). "Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage" AASHTO T283
- Abuawad I, Aurangzeb. Q, Al-Qadi. I. L, and Ozer H. (2014) "Potential Moisture Damage of Asphalt Mixtures With Additives Using Various Test Mechanisms" 93rd Annual Meeting, Washington, D.C.
- Amelian S, Abtahi S. M. (2014). "Mixes Based on Image Analysis" Construction and Building Materials, Vol. 63, pp. 294-302
- ASTM(2001). "Effect of Water on Bituminous-Coated Aggregate Using Boiling Water" ASTM D 3625-96
- Choi, S.H. Kim, W.J., Le V.P., Lee, H.J., Hwang, S.D. (2014) "Moisture Damage Evaluation of Asphalt Mixtures depending on the Types of Anti-Stripping Agent" Int. J. Highw. Eng. Vol. 16 No. 4, pp. 45-50.
- Hicks, R. G., Santucci, L., Ashenbrenner, T. (2003) "AASHTO Survey of State Department of Transportation", National Seminar of Moisture Susceptibility of Asphalt Pavement, February 4-6, San Diego, CA.
- Jo, M.H., Yun, S.U., Lee, Y.H. (2013). "Asphalt Concrete Pavement Pothole: Repair Method." Journal of Korea Society of Road Engineers, vol. 15, no. 2, pp. 43-51.
- KS F 2377(2001) "Standard Method for Preparing and Determining the Density of Hot Mix Asphalt Using Gyroscopic Compactor"
- KS F 2398(2012) "Standard Test Method for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture Induced Damage"
- Ministry of Land and Transport(2014). "Specification of Production and Construction of Asphalt Mixtures".
- Yang, S.L., Hwang, S.D., Kim, Y.M., and Jung, K.D. (2008). "Evaluation of Moisture Susceptibility on Asphalt Mixtures mixing Anti-Stripping Agent" Int. J. Highw Eng., Vol. 10, No. 4, pp. 41-52.