

MTV를 적용한 아스팔트 포설에서 열분리 저감 효과

Effect of Thermal Segregation Reduction in Asphalt Paving with MTV

권기철 Kweon, Gichul | 정회원 · 동의대학교 토목공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : gckweon@deu.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The objective of this study is to evaluate of the effect of thermal segregation reduction in asphalt paving using material transfer vehicles (MTVs).

METHODS : Asphalt paving using MTVs was carried out, and the paved surface temperature was measured using an infrared camera. The amount of thermal segregation was estimated from temperature variations.

RESULTS : The transportation of hot mix asphalt (HMA) using dump trucks caused temperature segregation that persisted in the paving surface if an MTV was not used. The average temperature variation was 8.58% in paved surfaces where an MTV was not used. However, the temperature variation was 3.10%, 2.86%, and 4.53% for the base layer, inter-layer, and surface layer, respectively, when an MTV was used.

CONCLUSIONS : The use of an MTV in asphalt paving reduces thermal segregation approximately 2.3 times in an asphalt mat via a remixing process and also allows for a smoother work process because the paver never needs to stop to receive HMA. However, MTV equipment without pre-heating devices requires careful temperature control during the warm up process at the MTV during construction in the winter.

Keywords

thermal segregation, MTV, asphalt paving, infrared camera, continuous paving

Corresponding Author : Kweon Gichul, Professor
Department of Civil Engineering, Dongeui University,
176 Eomgwangro, Busanjin-gu, Busan, 47340, Korea
Tel : +82.51.890.1617 Fax : +82.51.890.2633
E-mail : gckweon@deu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

Received Apr. 05, 2018 Revised Apr. 10, 2018 Accepted Jul. 30, 2018

1. 서론

아스팔트 포장의 포설 시공과정에서 열분리(thermal segregation)의 발생은 국부적인 다짐 밀도 불량 및 균일한 품질 확보가 어려워 아스팔트 포장의 내구성이 저하되는 원인이 된다(Beak et al., 2015; Gardiner et al., 2007). 열분리에 의한 내구성 저하는 포장체의 조기 파손을 가속시키는 중요 원인의 하나로 포장 기대수명이 급격하게 줄어들게 된다(Bode, 2012; Gilbert, 2005).

덤프트럭에 적재되어 운반된 아스팔트 혼합물은 표면의 온도강하와 내부의 온도강하가 다르기 때문에 운반 과정

에서 열분리 현상이 발생한다. 열분리는 운반에 소요되는 시간이 길수록, 대기온도가 낮을수록 크게 나타난다(Yun et al., 2015). 덤프트럭에서 열분리된 아스팔트 혼합물을 특별한 재교반 과정 없이 포설에 적용하면 포설면의 열분리 현상으로 이어진다(Bode, 2012; Willoughby, 2003). 포설 과정의 멈춤 현상 또한 열분리 발생 및 아스팔트 포장의 성능 저하와 포설면의 평탄성 저하로 이어진다(Bode, 2012). 이러한 문제를 해결하는 방안의 하나로 MTV(material transfer vehicle) 장비를 적용한 아스팔트 혼합물 포설 시공이 미국, 일본, 중국 등을 비롯한 많은

해외에서 적용되고 있다(이상훈 등, 2016). 그러나 국내에서는 MTV 적용에 대한 규정(국토교통부, 2015)이 제정되어 있음에도 불구하고 실제 현장에서 MTV 장비가 활발하게 도입되지 못하고 있는 실정이다(이상훈 등, 2016). 이는 아스팔트 혼합물 포설에서 MTV 장비 운용에 대한 실증적 검증 부족이 큰 이유의 하나다.

본 연구에서는 MTV 장비 운용에 따른 시공성을 평가하고, MTV를 사용하지 않은 기존의 일반적인 아스팔트 혼합물 포설 시공에서 발생하는 열분리 현상의 정도와 MTV를 적용한 경우의 열분리 현상의 정도를 시험시공을 통하여 실증적으로 검증하였다.

2. MTV를 적용한 아스팔트 포장 포설 시공성

덤프트럭 운송과정에서 발생한 열분리가 포설면의 열분리로 이어지는 것을 억제하고자, 열분리가 발생한 아스팔트 혼합물을 덤프트럭에서 피니셔로 바로 투입하는 것이 아니라 재교반 과정을 통해 열분리를 제거한 후 투입하는 방법이 일반적으로 적용된다(Gilbert, 2005). 재교반은 MTV 또는 Windrow Elevator 등이 사용되며, MTV 장비는 고가이나 열분리 억제 효과가 큰 것으로 평가되고 있다(Bode, 2012).

MTV는 덤프트럭과 피니셔 사이에 위치하여 운영되고(Fig. 1), 피니셔 포설 이후의 다짐장비 조합은 일반적인 아스팔트 포장 시공과 동일하다.



Fig. 1 Asphalt Paving with MTV

MTV를 적용한 시험포장(L=340m)은 부산외곽순환고속도로 ○○공구에서 수행되었다. 시험포장을 통하여 MTV 적용에 따른 장비 조합 및 운영의 효율성, 연속적인 포설 가능성, 포설 초기의 MTV 장비의 예열, 열분리 현상의 억제효과 등을 평가하였다.

덤프트럭에서 MTV로 아스팔트 혼합물이 투입되면 일차적인 교반과 함께 MTV 호퍼로 운반된다. MTV 호

퍼에서 피니셔의 작업속도에 맞추어 아스팔트 혼합물을 공급함으로써 연속적인 포설이 가능함을 확인하였다. 하나의 MTV에서 두 대의 피니셔에 순차적으로 아스팔트 혼합물을 공급하기 위해서는 피니셔에 호퍼(용량 15ton 이상)를 추가적으로 설치하는 것이 필요하였다(Fig. 2). 피니셔에 추가된 호퍼는 MTV에서 또 다른 피니셔에 아스팔트 혼합물이 공급되는 동안에도 포설이 가능하도록 일정량의 아스팔트 혼합물을 확보하는 목적이다. 이러한 장비 조합에서는 매우 섬세하고 숙달된 장비운영이 필요하였다.



Fig. 2 Simultaneous Material Supply from a MTV to Two Finisher

본 시험시공에 사용된 MTV 장비는 자체적인 가열장치 없이 MTV 장비운영 초기에는 아스팔트 혼합물의 온도저하 우려가 있다. 첫 번째 덤프트럭의 아스팔트 혼합물을 MTV에 투입하여 예열에 사용한 후 회수된 아스팔트 혼합물은 10℃~15℃ 정도의 온도저하가 발생하였다. 온도 저하된 아스팔트 혼합물은 포설에 사용하지 않고 덤프트럭에 다시 회수하였다. 두 번째 덤프트럭의 아스팔트 혼합물부터는 MTV 운영에 따른 온도저하가 5℃ 이하로 경미하여 정상적인 포설 작업이 가능하였다.

두 번째 및 세 번째 덤프트럭의 아스팔트 혼합물에 의해 MTV가 충분히 예열된 이후에 온도가 저하되어 회수해 둔 아스팔트 혼합물을 MTV에 재투입하여 배출하면 5℃ 정도 온도가 회복되었다. MTV 장비 예열에 사용된 아스팔트 혼합물은 최종적으로는 포설에 적정한 온도 범위의 5℃~10℃의 온도저하를 나타내어 포설에 적용할 수 있었다. 본 시험시공은 대기온도 26℃~30℃의 하절기에 이루어진 것으로, 동절기 시공에서는 MTV 장비 예열 과정에서 더욱 세심한 아스팔트 혼합물 온도 관리가 필요할 것으로 판단된다.

3. MTV 적용에 따른 열분리 억제 효과

MTV 시험시공 구간과 비교구간 모두 MTV를 제외한 장비 조합은 동일하게 적용하였고, 기층과 중간층은 대기온도 26℃~30℃의 하절기에 유사한 온도 조건과 바람이 거의 없는 맑은 날씨에 포설이 이루어졌다. 다만 표층 시공은 대기온도 10℃~18℃의 가을에 이루어졌다.

시험시공 구간과 비교구간 모두 플랜트에서 현장까지 운반시간은 약 40분(운반거리 약 20km)으로 유사하였고, 현장 도착 후 대기 시간을 포함하면 포설까지 약 40분~60분이 소요되었다. 아스팔트 혼합물은 개질재가 사용되지 않은 일반 아스팔트 혼합물이 적용되었고, 운송은 자동덮개로 덮인 덤프트럭이 사용되었다.

열분리는 육안으로 관찰되지 못하여 적외선 열화상 카메라(infrared camera)가 일반적으로 적용된다(Beak et al., 2015; Amirkhani et al., 2006). 본 연구에서는 아스팔트 혼합물의 표면온도는 FLIR-E8 열화상 카메라를, 내부온도는 KIMO-TK50 탐침형 온도계를 사용하여 측정하였다.

Fig. 3은 덤프트럭으로 운반되어 포설 직전에 있는 아스팔트 혼합물의 열화상 자료를 나타내고 있다. 덤프트럭으로 운송된 상태에서 아스팔트 혼합물의 표면 온도는 약 100℃까지 저하됨과 동시에 열분리 현상이 발생하고, 표면이 일부 제거된 상태에서는 약 165℃, 표면이 완전히 제거된 내부 아스팔트 혼합물은 약 170℃로 나타났다. 운반시간이 약 40분이고 대기온도가 26℃~30℃인 하절기 조건에서도 표면온도의 저하와 열분리 현상이 발생하고 있음을 확인할 수 있었다.

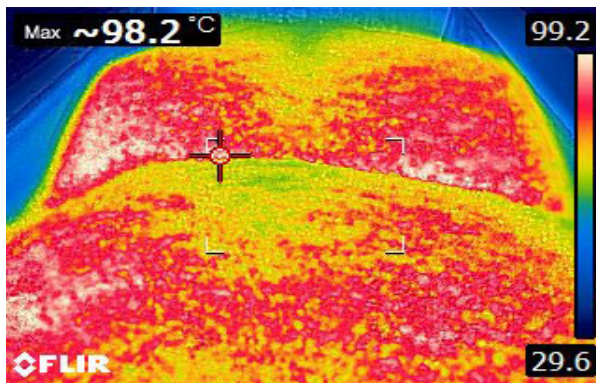
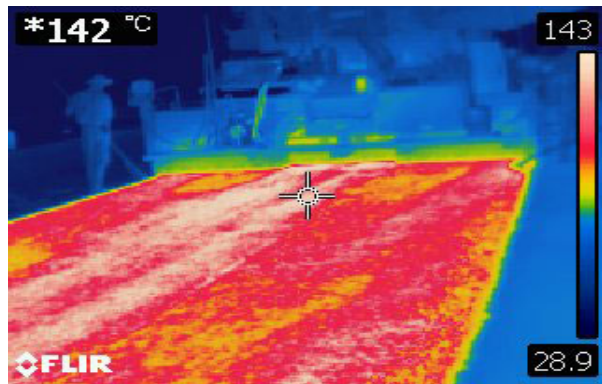


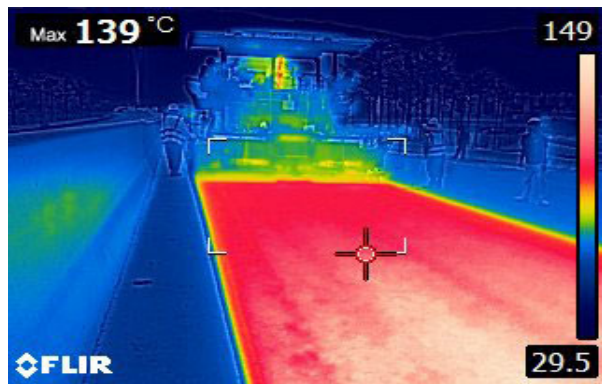
Fig. 3 Sources of Temperature Differentials in Dump Truck

Fig. 4는 피니셔에 의한 포설 후 아스팔트 혼합물 표면의 열화상 일례를 나타내고 있다. MTV 적용구간과 비교구간 모두 20m 간격으로 피니셔 포설 직후 아스팔트 혼합물 포설면의 열화상 자료를 확보하였다. Fig. 4와 같이 MTV를 적용하는 경우 확연하게 열분리 현상이

억제되는 것을 영상으로 확인할 수 있다.



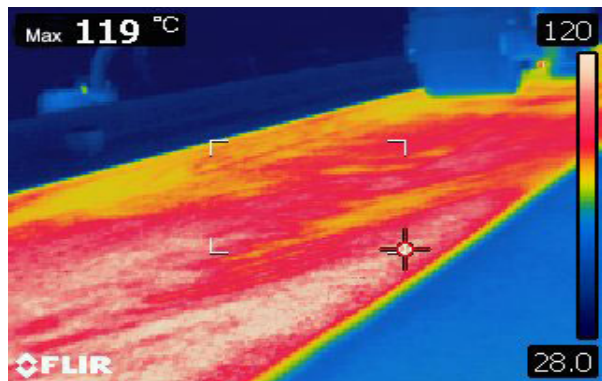
(a) w/o MTV



(b) with MTV

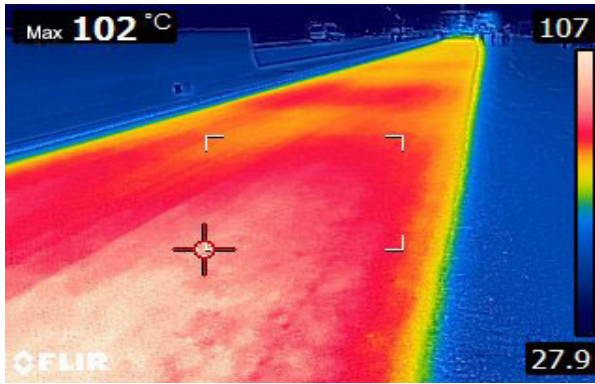
Fig. 4 Typical Image from Infrared Camera after Paving

Fig. 5는 마카담 로울러에 의한 1차다짐 후의 아스팔트 혼합물 표면의 열화상 일례를 나타내고 있다. MTV 미적용 구간의 경우 피니셔 포설 직후의 열분리 현상이 다짐 후에도 지속적으로 관찰되고 있다. MTV를 적용한 구간에서는 피니셔 포설 과정의 균일한 온도 분포가 다짐 후에도 지속적으로 유지되고 있음을 알 수 있다. 결국 아스팔트 포장의 열분리 현상은 피니셔 포설 이전 단계에서 충분히 제거되어야 함을 나타내는 것이다.



(a) w/o MTV

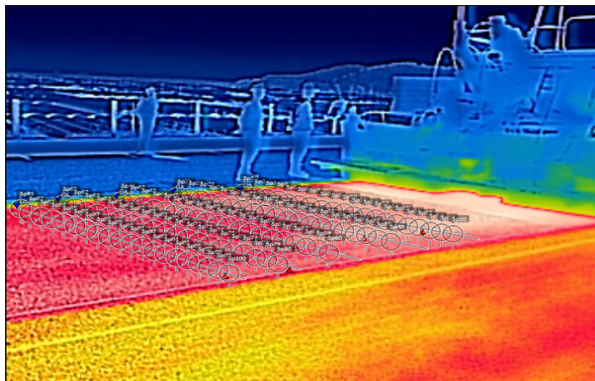
<Fig. Continued>



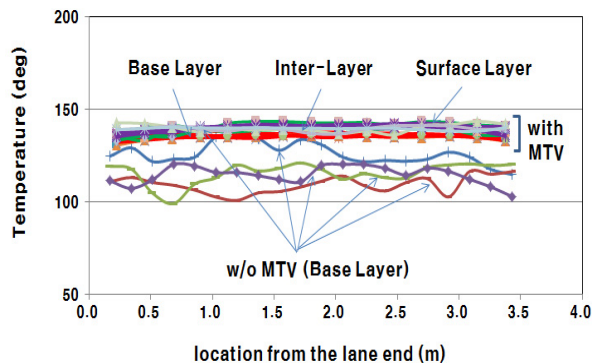
(b) with MTV

Fig. 5 Typical Image from Infrared Camera after Compaction

Fig. 6(a)는 피니셔 포설 직후 20m 간격으로 촬영하여 분석에 사용된 열화상 자료 일례를 나타내고 있다. 각각의 열화상 자료에서 5개의 측선을 설정하고, 각 측선에서 등 간격의 20개 위치에서 온도 자료를 획득하였다. 획득된 온도 자료의 일례를 Fig. 6(b)에 나타내었다. MTV를 적용한 구간과 비하여 MTV를 적용하지 않은 구간의 경우에는 동일한 측선에서의 횡방향 온도 변동과 측선과 측선 사이의 종방향 온도 변동 모두 크게 발생하고 있음을 알 수 있다. MTV를 적용한 구간에서는 열분리 현상이 확연하게 줄어들음을 확인할 수 있다.



(a) Typical Temperature Image for Analysis



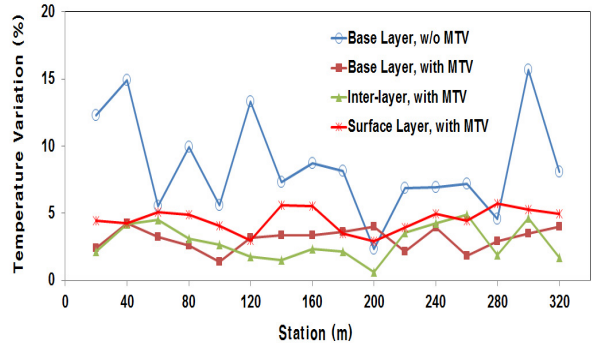
(b) Typical Temperature Variation on Asphalt Mat

Fig. 6 Typical Analysis of Temperature Image after Paving

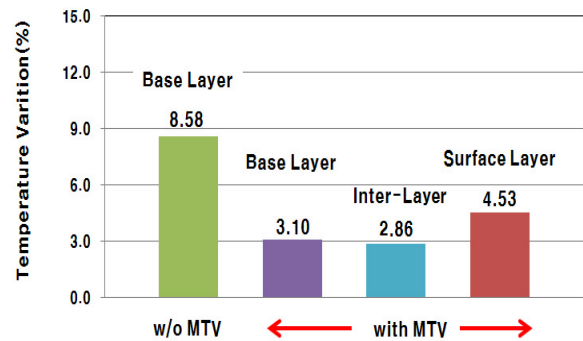
포설면의 온도 분포 변동을 정량적으로 평가하고자, 각 측선별 온도 분포의 변동률을 Eq. (1)과 같이 결정하였다. 온도변동률이 클수록 보다 큰 열분리가 발생하고 있음을 나타낸다. 구간의 평균 온도변동률은 측선별 변동률의 평균값으로 결정하였다.

$$\text{온도 변동률} = \left[\frac{\text{최고온도} - \text{최소온도}}{\text{평균온도}} \times 100(\%) \right]_{\text{측선}} \quad (1)$$

전체 시공구간(L=340m)에서 20m 간격으로 평가된 온도변동률을 Fig. 7(a)에 나타내었다. 각각의 포설 위치에서의 온도변동률을 평균하여 시공구간 전체의 온도변동률을 결정하였으며, MTV 적용 여부에 따라 Fig. 7(b)에 비교하여 나타내었다.



(a) Temperature Variation along the Longitudinal Location



(b) Overall Average Temperature Variation

Fig. 7 Comparison of Temperature Variation in Asphalt Paving

MTV를 적용하지 않은 구간의 온도변동률은 전체적으로 큰 값을 나타내고 있을 뿐 아니라 시공 길이 방향으로의 변동률 또한 크게 나타나고 있다. 덤프트럭 운송 과정에서 발생한 열분리가 포설 후에도 유지되고 있음은 물론 피니셔의 연속적인 작업이 불가능하여 종방향으로도 열분리 정도의 편차가 크게 발생하고 있는 것으로 판단된다.

MTV 적용구간에서는 MTV를 사용하지 않은 구간에 비하여 전체적으로 온도변동률이 작은 값으로 나타나, 덤프트럭 운송과정에서 발생한 열분리가 MTV 적용을 통하여 상당 수준으로 제거되고 있음을 알 수 있다. 또한 연속적인 포설을 통하여 종방향의 열분리 정도의 편차도 작게 발생하고 있음을 확인할 수 있다.

MTV 미적용 구간의 평균 온도변동률은 8.58%인데 반하여, MTV를 적용한 구간에서 기층은 3.10%, 중간층은 2.86%, 표층은 4.53%로 나타났다. 온도변동률을 열분리 발생 정도로 고려하면, MTV 적용으로 포설면의 열분리를 평균 2.3배 저감하는 효과가 있는 것으로 판단된다.

MTV를 적용한 구간에서 온도변동률이 기층보다 중간층에서 감소한 것은 MTV를 시험적용하면서 장비 운영의 숙련도가 증가한 효과로 판단된다. 표층 시공에서 온도변동률이 다소 증가하는 것은 기층 및 중간층에 비하여 포설시의 대기온도가 15℃ 정도 낮은 것과 하나의 MTV에서 두 대의 피니셔에 아스팔트 혼합물을 공급하는 장비조합을 적용하여 장비운영의 난이도가 높았기 때문으로 판단된다.

MTV 적용 구간의 평탄성 측정 결과를 Table 1에 나타내었다. 기층 1단 포설에 의한 평탄성 개선효과는 크지 않으나, 기층 2단 및 중간층을 포설하면서 급격하게 개선되어 IRI(m/km)가 1.3 이하로 우수한 평탄성을 나타내고 있다. 평탄성은 다양한 요인에 의해 영향받지만 MTV 적용에 의한 열분리의 감소로 우수한 평탄성이 얻어짐을 확인할 수 있다.

Table 1. IRI after Paving with MTV

Layer	IRI (m/km)		
	1 st Lane	2 nd Lane	Average
Base layer (1st)	3.72	3.26	3.49
Base layer (2nd)	1.97	1.40	1.68
Inter-layer	1.38	1.21	1.29
Surface layer	1.09	1.38	1.24

4. 결론

열분리 억제 효과를 중심으로 한 MTV의 적용성을 평가하고자 시험시공과 현장조사를 실시하였다. 열화상으로 획득된 포설면의 온도 분포 자료로부터 열분리 억제 효과를 평가하였으며, 시험시공 과정에서 MTV 운영의 시공성을 평가하여 다음의 결과를 얻었다.

1. MTV를 적용하지 않은 구간의 온도변동률은 전체적

으로 큰 값을 나타내고 있을 뿐 아니라 시공 길이 방향으로는 변동 또한 크게 나타나고 있다. 이는 피니셔 정지구간에서는 열분리가 심화된 것으로 판단된다. MTV를 적용하면 포설과정에서 피니셔의 멈춤 없이 연속적인 포설이 가능함을 확인하였다. MTV 한 대에서 두 대의 피니셔를 운영하는 경우에는 피니셔에 호퍼를 추가적으로 설치하는 작업이 필요하였다.

2. 예열 장치가 없는 MTV 장비의 초기 예열에 아스팔트 혼합물 자체의 온도를 이용한 방법이 적용될 수 있음을 확인하였으나, 일부 시공성이 저하되었으며 동절기 시공에서는 MTV 장비 예열 과정에서 세심한 온도 관리가 필요할 것으로 판단된다.
3. MTV 미적용 구간의 평균 온도변동률은 8.58%인데 반하여, MTV 적용한 구간에서 기층은 3.10%, 중간층은 2.86%, 표층은 4.53%로 나타났으며, MTV 적용으로 평균 2.3배의 열분리를 억제하는 효과가 있는 것으로 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 2012학년도 동의대학교 연구년 지원(2012-2013)에 의해 연구되었습니다.

REFERENCES

Amirkhanian, S. N., B. J. Putman (2006). "Laboratory and Field Investigation of Temperature Differential in HMA Mixtures Using an Infrared Camera." Clemson University. Report No. FHWA-SC-06-06. Clemson, SC.

Beak J., Park H. M., Yoo P. J. and Im J. K. (2015). "Construction Management Method for Asphalt Paving Using Ground Penetrating Radar and an Infrared Camera", *International Journal of Highway Engineering*, Vol.17, No.6, pp.1-9 (in Korean).

Bode T. A. (2012). "An Analysis of the Impacts of Temperature Segregation on Hot Mix Asphalt", M.S. Thesis, University of Nebraska.

Gardiner M. S., Law M. and Nesmith C. (2007). "Using Infrared Thermography to Detect and Measure Segregation in Hot Mix Asphalt Pavements" *International Journal of Pavement Engineering*, Vol.1, No.4, pp.265-284

Gilbert K. (2005). "Thermal Segregation" Colorado Department of Transportation, Report No. CDOT-DTD-R-2005-16.

Lee S. H., Kim N. H. and Hwang S. D. (2016). "Proposals for Improvement of Quality Control to Improve Asphalt Pavement Life", *Korea Society of Road Engineers*, Vol.18, No.1, pp.18-21 (in Korean).

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, (2015). "Guidelines

for Production and Construction of Asphalt Mixtures" (in Korean).

Willoughby, K. A. (August 2003). "Construction-Related Variability in Mat Density Due to Temperature Differentials." *Washington State Department of Transportation*.

Yun T. Y. and Yoo P. J. (2015). "Heat Transfer Analysis for Asphalt Mixture Temperature Variation due to Wind Speed" *International Journal of Highway Engineering*, Vol.19, No.4, pp.33-40 (in Korean).