

## 차선세척과 청소를 통한 고속도로 차선의 반사성능 변화

### Change in Reflection Performance of Highway Lanes Through Lane Washing and Sweeping

이 성 식 Lee Seong-Sik  
오 흥 운 Oh Heung-Un

경기대학교 도시교통공학과 도로설계연구실 연구원 (E-mail : tjdtlr7588@gmail.com)  
정희원 · 경기대학교 공과대학 도시 · 교통공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : ohheung@gmail.com)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** The purpose of this paper is to analyze the change in lane reflection performance through lane washing and sweeping on highway lanes.

**METHODS :** This paper compared and analyzed the changes in lane reflection performance before and after lane washing and sweeping. The research method was as follows. First, we selected four research sites on the Gyeong-bu Highway. Second, the parameters affecting lane reflection performance are classified into luminance, brightness, and number of glass beads. Third, the change in reflection performance was measured after washing /sweeping at the same place after studying 60m of the unwashed/unswept area. Fourth, the measurement results were compared and analyzed before and after lane washing/sweeping.

**RESULTS :** The results of this study are as follows. First, lane washing improved the luminance and brightness by 4.2~21.4% and 1.4~5.1%, respectively, and reduced the number of glass beads per wash by 0.2~1.2%. Second, lane sweeping improved the luminance and brightness by 2.3~8.5% and 0.8~2.3%, respectively, and reduced the number of glass beads per sweep by 0.8~4.9%.

**CONCLUSIONS :** By comparing the results of lane washing and sweeping, it was found that compared to lane sweeping, lane washing improved the luminance and fewer glass beads were dropped.

#### Keywords

*luminance, brightness, glass beads, lane washing, lane sweeping, lane cleaning, reflection, highway, pavement*

Corresponding Author : Oh, Heung-Un, Professor  
Department Urban & Transportation Engineering College of Engineering,  
Iui-dong San 94-6, Yongtong-gu, Suwon-si, Kyonggi-do, 16227, Korea  
Tel : +82.31.249.9742 Fax : +82.31.244.6300  
E-mail : ohheung@gmail.com

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (Print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Oct. 16, 2017 Revised Oct. 23, 2017 Accepted Feb. 05, 2018

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

차선이란 차로와 차로를 구분하기 위해 그 경계지점에 표시하는 선이다(도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 2015).

차선은 도로에서의 위험을 방지하고 규제 및 지시의 내용을 전달하여 도로이용자들의 원활한 소통을 돕는 역할을 한다(경찰청, 2012).

차선의 반사성능은 시인성과 직접적인 관련이 있다. 조명이 없을 시 도로이용자는 차선에 의한 빛 반사를 통해 도로의 선형을 인지한다(이창근, 2012). 그러나 시간 경과에 따라 차선의 마모나 반사성능의 저하로 도로이용자의 시인성 확보에 문제가 되고 있으며, 이는 교통사고와 직결되기도 한다(장동호, 2010).

‘교통노면표시 설치·관리 매뉴얼’에 따르면 차선의 시인성 확보가 잘 발휘하고 있는지에 대해 설치 후에도

기능이 손상되지 않도록 점검과 유지관리를 통해 항상 양호한 시인성을 갖도록 유지해야 한다고 명시하고 있다(경찰청, 2012).

차선의 반사성능(시인성) 향상을 위한 차선유지보수 방안으로 차선세척과 청소가 있다. 차선세척(Lane washing)은 살수차에 고압세척기를 부착하여 주행 중 크고 작은 먼지와 잔해를 세척하는 것을 말한다. 차선청소(Lane sweeping)는 도로청소차량을 이용하여 주행 중 빗자루와 진공헤드 또는 픽업헤드를 이용하여 크고 작은 먼지와 잔해를 수거하고 제거하는 것을 말한다(FHWA, 2007).

차선의 반사성능에 영향을 미칠 수 있는 변인을 휘도(Luminance), 명도(Brightness), 유리알(Glass beads) 개수로 분류할 수 있다. 휘도는 도로이용자가 차선으로부터 빛을 받는 양이며, 명도는 차선의 밝고 어두운 정도를 말한다. 그리고 유리알은 차선의 반사성능을 높이기 위한 목적으로 도로에 첨가하거나 살포하는 반사재를 말한다.

차선 도색 후 시간이 경과함에 따라 유리알 탈리 및 마모로 차선의 시인성이 감소된다. 특히 터널 내부와 같은 취약구간은 먼지, 매연, 제설잔재물 등 오염으로 인해 단기간에 휘도가 급격하게 감소하기도 한다. 이에 따라 본 논문에서는 차선세척과 청소 전후 휘도, 명도, 유리알 개수를 분석하여 차선세척과 청소를 통한 고속도로 차선의 반사성능 변화를 검토하고자 한다.

## 1.2. 연구범위 및 연구수행절차

연구수행을 위한 전제조건은 다음과 같다. 첫째, 반사성능에 영향을 미치는 변인(휘도, 명도, 유리알 개수)을

측정항목으로 설정하고 이외는 동일하다고 가정한다. 둘째, 세척과 청소 성능변화를 비교할 수 있도록 측정구간을 차로별 일교통량 기준(10,000대)으로 분류하고, 측정방향, 측정장비는 동일하도록 한다. 셋째, 측정 시 기상 및 노면상태와 교통차단은 동일한 조건에서 진행하도록 한다. 넷째, 미세척/미청소 지점은 동일구간 내 바로 인접한 지점에서 측정하도록 한다. 세척/청소지점도 동일하게 측정하도록 한다. 차선세척/청소 위치 사례(대전터널 구간)는 Fig. 1과 같다.

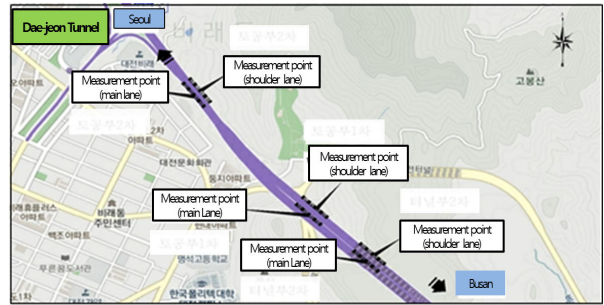


Fig. 1 Lane Washing/Sweeping Measurement Points (End points of Daejeon Tunnel)

측정지점은 차선도색 지침에 따라 일교통량 10,000대를 기준으로 분류하였다. Table 1, Fig. 2와 같이 경부고속도로의 차로별 일교통량 10,000대 이상인 비룡JCT~대전IC(대전터널)과 차로별 일교통량 10,000대 미만인 옥천IC~비룡JCT(중양터널)를 선정하였다. 두 측정지점은 왕복 6차로 5중 도로로 시공되었으며, 차선 시공시기는 2015년 11월 2일로 동일하였다. 또한, 차선 종류를 토공부와 터널부의 중앙선과 갓길선으로 구분하여 측정하였다. 2016년 9월 22일부터 2016년 11월 14일에 걸쳐 차선세척/청소 시행 후 휘도, 명도, 유리알

Table 1. Selection of Measuring Points

Category		Traffic volumes		Measuring section		Measuring direction
Lane washing	Luminance, Brightness, Glass beads	Daily traffic volume per vehicle 12,199cars/day/lane	Main lane &	Earth work	Seoul-Busan Expressway Biryong JCT~Daejeon IC (Daejeon Tunnel)	Direction of Seoul 269.6K~271.2K
		Daily traffic volume per vehicle 8,332cars/day/lane		Tunnel		
Lane sweeping	Luminance, Brightness, Glass beads	Daily traffic volume per vehicle 12,199cars/day/lane	Shoulder lane	Earth work	Seoul-Busan Expressway Okcheon IC~Biryong JCT (Jeungyak Tunnel)	Direction of Seoul 264.4K~265.4K
				Tunnel		
		Daily traffic volume per vehicle 8,332cars/day/lane		Earth work	Seoul-Busan Expressway Biryong JCT~Daejeon IC (Daejeon Tunnel)	Direction of Seoul 269.6K~271.2K
				Tunnel		
Daily traffic volume per vehicle 8,332cars/day/lane	Earth work	Seoul-Busan Expressway Okcheon IC~Biryong JCT (Jeungyak Tunnel)	Direction of Seoul 264.4K~265.4K			
	Tunnel					

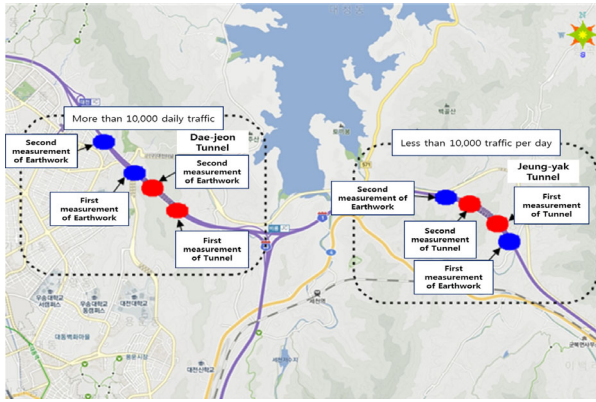


Fig. 2 Positions of Measurement Points

개수의 변화를 측정하였다. 차선세척과 청소는 같은 구간 내 다른 지점이지만 바로 인접한 지점에서 시행하였기 때문에 결과 값에 영향을 미치는 변인으로 작용할 수 없는 동일한 조건으로 판단하였다.

측정방법은 Table 2와 같이 휘도 및 명도는 휘도/명도 측정기를 사용하여 중앙선과 갓길선 각각 3m당 18개 2회 측정하였고, 유리알은 접사용(3cm×3cm)카메라를 사용하여 중앙선과 갓길선 각각 10m당 6개 2회 측정하였다. 차선 미세세척/미청소 구간(60m)에서 휘도, 명도, 유리알 개수를 측정 후 동일 지점에서 세척/청소 후 휘도, 명도, 유리알 개수를 측정하였다.

Table 2. Measurement Method

Luminance, Brightness	<p>Measure 18 times at 3m intervals</p> <p>Measure 18 times at 3m intervals</p>
	<p>Glass beads</p> <p>Measure 6 times at 10m intervals</p>

각 지점에 대한 교통차단은 Table 3과 같이 시행하였으며, 우천 시 측정은 피하고 노면의 상태를 고려하여 측정을 시행하였다.

Table 3. Traffic Restrictions Standards

Main lane	Shoulder lane

위와 같이 측정된 차선세척/청소 전후의 변화를 비교 분석하고 통계적 방법으로 측정결과를 검증하였다.

## 2. 선행연구 검토

본 논문에서는 차선세척/청소를 통한 차선의 반사성능 관련 국내·외 문헌을 검토하였다.

### 2.1. 국내·외 문헌고찰

휘도 감소에 대해 분석한 문헌은 다음과 같았다. 장동호(2010)은 다양한 기상조건에서 수집된 차선 휘도를 분석하였다. 시간이 경과함에 따라 차량통행 횟수 증가 및 유리알 탈리 등으로 인하여 휘도가 감소한다는 결론을 도출하였으며, 휘도가 1년 정도의 시간이 경과함에 따라 50%의 감소율을 보인다고 제시하였다.

차선반사성능(Retro-reflectivity)이 도로운전자의 시인성과 안전성에 미치는 영향에 대한 연구는 다음과 같이 진행되었다. IOWA State University(2010)은 갓길선과 중앙선의 휘도가 클수록 교통사고가 감소하는 경향이 있음을 확인하였다. NCHRP(2002)은 차선반사도가 도로운전의 위험을 감소시키는 잠재력이 있고, 도로운전자는 도로의 선형을 알려주는 노면표시의 반사성능에 의존하여 운전한다고 주장하였다. Gibbons(2006)은 반사성능의 저하는 시인성을 감소시킨다는 결과를 도출하였다.

휘도에 대한 기준을 수립하는 연구가 다음과 같이 진행되었다. Graham and King(1991)은 차선 반사성능의 기준 및 효과를 평가하기 위한 연구를 실시했다. 이상

적인 조건의 실험대상자 중 98% 이상이 93mcd/m<sup>2</sup>/lx 이상의 휘도 값을 필요로 했다. 또한, IOWA 주 교통국(DOT)은 백색차선 150mcd/(m<sup>2</sup>·Lux), 황색차선 100mcd/(m<sup>2</sup>·Lux)의 최소기준을 마련하였고, 캔사스 주는 차선의 초기 휘도값 백색차선 250mcd/(m<sup>2</sup>·Lux), 황색차선 175mcd/(m<sup>2</sup>·Lux)를 권장하였다.

차선세척/청소가 먼지제거에 미치는 효과와 관련된 연구가 다음과 같이 진행되었다. 손영민(2007)은 도심에서 도로청소방법에 따른 먼지제거 효율에 관하여 연구하였다. 브리시를 이용한 진공청소방법과 살수를 통한 세척방법으로 구분하여 청소방법에 따른 먼지저감 효과를 비교 분석하였다. 이를 통해 청소/세척방법이 노면에 부하된 먼지제거에 효율적임을 확인하였다. Kopf(2004)은 차선위의 잔해들이 차선의 반사성능 저하에 영향을 미치고, 차선청소가 반사성능을 향상시킬 수 있음을 주장하였다.

## 2.2. 착안사항

현재 미국과 유럽을 중심으로 국도와 지방도에서 차선 세척/청소 시 먼지저감 효과와 차선반사도의 중요성에 대한 연구가 진행되고 있었다. 하지만, 고속도로를 대상으로 한 연구와 차선세척/청소가 차선의 반사성능에 미치는 효과에 대한 국내 연구는 전무한 실정이다. 국내의 문헌 착안사항은 다음과 같다. 첫째, 차선의 반사성능이 도로운전자의 시인성과 안전성에 영향을 미치므로 최소한의 휘도를 유지해야 한다. 둘째, 차선의 반사성능은 시간경과에 따라 노면에 쌓인 먼지의 부하 등으로 인해 휘도의 손실이 발생한다. 셋째 차선세척/청소는 차선에 쌓인 먼지제거에 효율적이다. 이에 따라 차선세척/청소가 차선반사성능을 향상시킬 수 있음을 추정할 수 있었다.

본 논문의 기존 연구와의 차별성은 다음과 같다. 첫째, 국내 실정에 맞게 국내 고속도로를 대상으로 차선세척/청소를 통한 차선반사성능의 변화에 대해 상세히 연구를 하였다. 둘째, 차선성능의 변화를 휘도, 명도, 유리알 개수를 통해 비교분석하였다. 셋째, 통계적 방법을 통해 반사성능 변화를 검증하였으며, 비교를 통해 더 반사성능을 향상시키는 유지보수방법을 제시하였다.

## 3. 측정과정

### 3.1. 차선세척 측정

차선세척의 모습은 Fig. 3, Fig. 4와 같다. 세척 후 측정과정은 다음의 순서로 진행된다. 첫째, 미세척 구간(60m)의 휘도, 명도, 유리알의 개수를 측정한다. 휘도

및 명도는 중앙선, 갓길선 각각 3m당 18개 2회 측정하며, 유리알의 개수는 중앙선, 갓길선 각각 10m당 6개 2회 측정한다. 둘째, 물 분사장치(노즐)가 장착된 살수차로 고속도로에서 일정한 속도를 유지하여 주행을 하면서 고압으로 물 분사를 통해 토공부와 터널부의 중앙선과 갓길선을 세척한다. 셋째, 세척 후 같은 구간(60m) 중앙선과 갓길선의 휘도, 명도, 유리알의 개수를 측정한다. 넷째, 세척 전·후 측정결과를 비교분석한다.



Fig. 3 Lane Washing Vehicle(Left) and Lane Washing Process(Right)



Fig. 4 Earthwork Washing(Left) and Tunnel Washing(Right)

### 3.2. 차선청소 측정

차선청소의 모습은 Fig. 5, Fig. 6과 같다. 청소 후



Fig. 5 Lane Sweeping Vehicle(Left) and Lane Sweeping Process(Right)



Fig. 6 Earthwork Sweeping(Left) and Tunnel Sweeping (Right)

측정과정은 다음의 순서로 진행된다. 첫째, 미청소 구간(60m)의 휘도, 명도, 유리알의 개수를 측정한다. 휘도 및 명도는 중앙선, 갓길선 각각 3m당 18개 2회 측정하며, 유리알의 개수는 중앙선, 갓길선 각각 10m당 6개 2회 측정한다. 둘째, 측구브러시(Gutter brush)가 장착된 도로청소차량으로 고속도로를 일정한 속도로 주행하면서 측구브러시로 노면의 오염물질을 흡입하고 이동시키면서 강력한 공기를 분사하여 토공부와 터널부의 중앙선과 갓길선을 청소한다. 셋째, 청소 후 같은 구간(60m) 중앙선과 갓길선의 휘도, 명도, 유리알의 개수를 측정한다. 넷째, 청소 전·후 측정결과를 비교분석한다.

## 4. 측정결과

### 4.1. 차선세척

차선세척 전·후 휘도의 1, 2차 평균변화량은 Table 4와 같다.

Table 4. Changes in Luminance before and after Washing

Classification			Main lane		Shoulder lane			
			Earth work	Tunnel	Earth work	Tunnel		
Lane washing (luminance, mcd/m <sup>2</sup> ·lx)	Average	1st	Un-washing	320.1	302.8	289.7	182.3	Measure 18 points twice
		Washing	340.6	325.0	313.5	206.6		
	2nd	Un-washing	304.4	284.6	276.6	169.6		
		Washing	325.5	304.3	302.4	193.7		
	Average variation			20.8	21.0	24.9	24.2	

차선의 휘도는 중앙선의 토공부에서 20.8mcd/(m<sup>2</sup>·lx) 증가하였고, 터널부에서 21.0mcd/(m<sup>2</sup>·lx) 증가하였다. 갓길선의 토공부에서는 24.9mcd/(m<sup>2</sup>·lx) 증가하였고, 터널부에서는 24.2mcd/(m<sup>2</sup>·lx) 증가하였다.

차선세척 전·후 명도의 1, 2차 평균변화량은 Table 5와 같다.

Table 5. Changes in Brightness before and after Washing

Classification			Main lane		Shoulder lane			
			Earth work	Tunnel	Earth work	Tunnel		
Lane washing (brightness, μ)	Average	1st	Un-washing	74.6	64.5	63.4	55.5	Measure 18 points twice
		Washing	76.7	66.7	65.0	57.2		
	2nd	Un-washing	74.4	64.3	62.5	55.2		
		Washing	76.5	66.4	64.1	56.8		
	Average variation			2.1	2.2	1.6	1.7	

차선의 명도는 중앙선의 토공부에서 2.1μ 증가하였고, 터널부에서 2.2μ 증가하였다. 갓길선의 토공부에서는 1.6μ 증가하였고, 터널부에서는 1.7μ 증가하였다.

차선세척 전·후 유리알 개수의 1, 2차 평균변화량은 Table 6과 같다.

Table 6. Changes in the Number of Glass Beads before and after Washing

Classification			Main lane		Shoulder lane			
			Earth work	Tunnel	Earth work	Tunnel		
Lane washing (glass bead, n/9cm <sup>2</sup> )	Average	1st	Un-washing	286.9	411.4	267.2	430.4	Measure 6 points twice
		Washing	286.3	410.6	266.4	429.7		
	2nd	Un-washing	270.2	429.2	240.1	394.6		
		Washing	269.7	428.7	239.5	393.8		
	Average variation			-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	

차선에 살포된 유리알은 중앙선의 토공부에서 0.7개/9cm<sup>2</sup> 탈리되었고, 터널부에서 0.7개/9cm<sup>2</sup> 탈리되었다. 갓길선의 토공부에서는 0.7개/9cm<sup>2</sup> 탈리되었고, 터널부에서는 0.8개/9cm<sup>2</sup> 탈리되었다.

### 4.2. 차선청소

차선청소 전·후 휘도의 1, 2차 평균변화량은 Table 7과 같다.

Table 7. Changes in Luminance before and after Sweeping

Classification			Main lane		Shoulder lane			
			Earth work	Tunnel	Earth work	Tunnel		
Lane sweeping (luminance, mcd/m <sup>2</sup> ·lx)	Average	1st	Un-washing	299.4	307.0	287.3	158.8	Measure 18 points twice
		Washing	315.0	319.4	297.1	168.7		
	2nd	Un-washing	295.8	288.1	281.2	149.7		
		Washing	304.8	298.5	291.2	158.1		
	Average variation			12.3	11.5	9.9	9.2	

차선의 휘도는 중앙선의 토공부에서 12.3mcd/(m<sup>2</sup>·lx) 증가하였고, 터널부에서 11.5mcd/(m<sup>2</sup>·lx) 증가하였다. 갓길선의 토공부에서는 9.9mcd/(m<sup>2</sup>·lx) 증가하였고, 터널부에서는 9.2mcd/(m<sup>2</sup>·lx) 증가하였다.

차선청소 전·후 명도의 1, 2차 평균변화량은 Table 8과 같다.

차선의 명도는 중앙선의 토공부에서 1.1μ 증가하였고, 터널부에서 0.9μ 증가하였다. 갓길선의 토공부에서는 0.8μ 증가하였고, 터널부에서는 0.9μ 증가하였다.

Table 8. Changes in Brightness before and after Cleaning

Classification			Main lane		Shoulder lane			
			Earth work	Tunnel	Earth work	Tunnel		
Lane washing (brightness, $\mu$ )	Average	1st	Un-washing	75.5	66.3	62.7	54.2	Measure 18 points twice
		Washing	76.5	67.1	63.5	55.1		
	2nd	Un-washing	75.1	70.4	62.1	54.0		
		Washing	71.5	66.7	62.9	54.9		
	Average variation			1.1	0.9	0.8	0.9	

차선청소 전·후 유리알 개수의 1, 2차 평균변화량은 Table 9와 같다.

Table 9. Changes in the Number of Glass Beads before and after Cleaning

Classification			Main lane		Shoulder lane			
			Earth work	Tunnel	Earth work	Tunnel		
Lane washing (glass bead, n/9cm <sup>2</sup> )	Average	1st	Un-washing	271.6	272.9	246.0	288.3	Measure 6 points twice
		Washing	270.3	271.2	243.7	284.1		
	2nd	Un-washing	288.5	299.0	261.2	275.6		
		Washing	281.2	293.4	258.9	274.3		
	Average variation			-2.0	-1.4	-2.3	-2.8	

차선에 살포된 유리알은 중앙선의 토공부에서 2개/9cm<sup>2</sup> 탈리하였고, 터널부에서 1.4개/9cm<sup>2</sup> 탈리하였다. 갓길선의 토공부에서는 2.3개/9cm<sup>2</sup> 탈리하였고, 터널부에서는 2.8개/9m<sup>2</sup> 탈리하였다.

## 5. 결과분석

### 5.1. 차선세척

차선세척 전·후 1, 2차 측정 변화율은 다음 과정((1차 측정값의 변화율 + 2차 측정값의 변화율)/(측정횟수))을 통해 산출되며, 각 측정값의 평균변화율은 Table 10과 같다.

Table 10. Average Change Rates of Measured Value before and after Lane Washing

Classification			Main lane		Shoulder lane		
			Earth work	Tunnel	Earth work	Tunnel	
Lane washing	Average change rate	Luminance	1st	6.4%	7.3%	8.2%	13.4%
			2nd	6.9%	7.0%	9.4%	14.2%
		Brightness	1st	2.7%	3.4%	2.4%	3.1%
			2nd	2.8%	3.3%	2.6%	3.0%
	Glass beads	1st	-0.3%	-0.2%	-0.3%	-0.2%	
		2nd	-0.2%	-0.1%	-0.2%	-0.2%	

차선세척 시 휘도는 다음과 같은 평균변화율을 보였다. 중앙선은 세척 1회당 토공부에서 6.7%, 터널부에서 7.2% 향상되었고, 갓길선은 세척 1회당 토공부에서 8.8%, 터널부에서 13.8% 향상되었다. 차선세척 시 명도는 다음과 같은 평균변화율을 보였다. 중앙선은 세척 1회당 토공부에서 2.8%, 터널부에서 3.3% 향상되었고, 갓길선은 세척 1회당 토공부에서 2.5%, 터널부에서 3.0% 향상되었다. 차선세척 시 유리알의 개수는 다음과 같은 평균변화율을 보였다. 중앙선은 세척 1회당 토공부에서 0.2%, 터널부에서 0.2% 탈리되었고, 갓길선은 세척 1회당 토공부에서 0.3%, 터널부에서 0.2% 탈리되었다. 차선세척 시 토공부와 터널부의 중앙선과 갓길선 평균변화율의 평균치를 Table 11과 같이 도출하였다.

Table 11. Average Change Rates per Washing in Lane Washing

Classification	Main lane		Shoulder lane		Average of average change rate
	Earth work	Tunnel	Earth work	Tunnel	
Luminance	6.7%	7.2%	8.8%	13.8%	9.1%
Brightness	2.8%	3.3%	2.5%	3%	2.9%
Glass beads	0.2%	0.2%	0.3%	0.2%	0.2%

### 5.2. 차선청소

차선청소 전·후 1, 2차 측정 변화율은 다음 과정((1차 측정값의 변화율 + 2차 측정값의 변화율)/(측정횟수))을 통해 산출되며, 각 측정값의 평균변화율은 Table 12와 같다.

Table 12. Average Change Rates of Measured Value before and after Lane Sweeping

Classification			Main lane		Shoulder lane		
			Earth work	Tunnel	Earth work	Tunnel	
Lane sweeping	Average change rate	Luminance	1st	5.2%	4.1%	3.4%	6.3%
			2nd	3.1%	3.6%	3.6%	5.6%
		Brightness	1st	1.5%	1.3%	1.3%	1.7%
			2nd	1.3%	1.2%	1.3%	1.7%
	Glass beads	1st	-0.4%	-0.6%	-0.9%	-1.5%	
		2nd	-1.0%	-0.4%	-0.9%	-0.5%	

차선청소 시 휘도는 다음과 같은 평균변화율을 보였다. 중앙선은 청소 1회당 토공부에서 4.1%, 터널부에서 3.8% 향상되었고, 갓길선은 청소 1회당 토공부에서 3.5%, 터널부에서 6.0% 향상되었다. 차선청소 시 명

도는 다음과 같은 평균변화율을 보였다. 중앙선은 청소 1회당 토공부에서 1.4%, 터널부에서 1.2% 향상되었고, 갓길선은 청소 1회당 토공부에서 1.3%, 터널부에서 1.7% 향상되었다. 차선청소 시 유리알의 개수는 다음과 같은 평균변화율을 보였다. 중앙선은 청소 1회당 토공부에서 0.7%, 터널부에서 0.5% 탈리되었고, 갓길선은 청소 1회당 토공부에서 0.9%, 터널부에서 1.0% 탈리되었다. 차선청소 시 토공부와 터널부의 중앙선과 갓길선 평균변화율의 평균치를 Table 13과 같이 도출하였다.

Table 13. Average Change Rates per Sweeping in Lane Sweeping

Classification	Main lane		Shoulder lane		Average of average change rate
	Earth work	Tunnel	Earth work	Tunnel	
Luminance	4.1%	3.8%	3.5%	6%	4.4%
Brightness	1.4%	1.2%	1.3%	1.7%	1.4%
Glass beads	0.7%	0.5%	0.9%	1%	0.8%

### 5.3. 통계적 분석

#### 5.3.1. 분석방법

본 논문은 세척/청소 전·후 측정결과를 분석하기 위한 방법으로 t검정을 실시하였다. t검정은 단측검정(신뢰구간 95%) 쌍체비교(Paired-comparison)를 하였다. 쌍체비교는 동일표본에 대해 처리 전·후의 변화가 있는지 검정하는 방법으로 16개(토공부, 터널부, 중앙선, 갓길선)에 따른 각 측정값의 평균)를 층화추출(Stratified random sampling)하였다. 본 논문에서는 차선세척/청소 전·후의 차선성능 차이 유무를 판별하기 위해 다음과 같은 귀무가설과 대립가설을 설정하였다.

H0(귀무가설) 세척/청소 전과 세척/청소 후의 차선성능의 변화가 없다. ( $\mu_1 = \mu_2$ )

H1(대립가설) : 세척/청소 전보다 세척/청소 후의 차선성능이 향상된다. ( $\mu_1 < \mu_2$ )

#### 5.3.2. 차선세척 전·후 비교 및 검증결과

차선세척의 t검정 쌍체비교 결과는 Table 14~16과 같다.

Table 14. Lane Washing Luminance T-test

Earthwork	Un-washing	Washing	Tunnel	Un-washing	Washing
Average variation	297.62	320.46	Average variation	234.77	261.13
Dispersion	3807.41	3500.39	Dispersion	20722.1	19905.7
Observed number	16	16	Observed number	16	16
Correlation coefficient	1.0		Correlation coefficient	1.0	
Degrees of freedom	15		Degrees of freedom	15	
t-Statistic	-14.74		t-Statistic	-7.27	
P(T<=t) One-side test	1.2E-10		P(T<=t) One-side test	1.37E-7	
t-Rejection value One-side test	1.75		t-Rejection value One-side test	1.75	

토공부/터널부에서 휘도의 경우 P값(단측검정)이 1.24E-10, 1.37E-6으로 유의수준 0.05보다 아주 작다.

Table 15. Lane Washing Brightness T-test

Earthwork	Un-washing	Washing	Tunnel	Un-washing	Washing
Average variation	68.71	70.52	Average variation	59.84	61.74
Dispersion	78.05	74.17	Dispersion	60.91	54.44
Observed number	16	16	Observed number	16	16
Correlation coefficient	1.00		Correlation coefficient	0.99	
Degrees of freedom	15		Degrees of freedom	15	
t-Statistic	-8.65		t-Statistic	-7.92	
P(T<=t) One-side test	1.62E-6		P(T<=t) One-side test	4.89E-7	
t-Rejection value One-side test	1.75		t-Rejection value One-side test	1.75	

토공부/터널부에서 명도의 경우 P값(단측검정)이 1.62E-6, 4.89E-7으로 유의수준 0.05보다 아주 작다.

Table 16. Lane Washing Number of Glass Bead T-test

Earthwork	Un-washing	Washing	Tunnel	Un-washing	Washing
Average variation	266.08	265.43	Average variation	416.41	415.69
Dispersion	36251.1	36278.7	Dispersion	6907.84	6893.06
Observed number	16	16	Observed number	16	16
Correlation coefficient	1.00		Correlation coefficient	1.0	
Degrees of freedom	15		Degrees of freedom	15	
t-Statistic	9.08		t-Statistic	7.96	
P(T<=t) One-side test	8.8E-8		P(T<=t) One-side test	4.56E-7	
t-Rejection value One-side test	1.75		t-Rejection value One-side test	1.75	

토공부/터널부에서 유리알 개수의 경우 P값(단측검정)이 8.8E-8, 4.56E-7로 유의수준 0.05보다 아주 작다.

차선세척 전·후 휘도, 명도, 유리알 개수의 p-value는 0.05보다 작기 때문에, 차선세척 전보다 차선세척 후에 차선의 성능이 향상된다는 대립가설을 채택하고, 귀무가설을 기각한다. 그러므로 통계적 방법을 통해 휘도, 명도, 유리알 개수는 차선세척 시에 차선 성능이 향상되는 것을 검증할 수 있었다.

### 5.3.3. 차선청소 전·후 비교 및 검증결과

차선청소의 t검정 쌍체비교 결과는 Table 17~19와 같다.

Table 17. Lane Sweeping Luminance T-test

Earthwork	Un-washing	Washing	Tunnel	Un-washing	Washing
Average variation	290.92	302.01	Average variation	225.85	236.17
Dispersion	11681.7	11579.2	Dispersion	20656.7	20634.93
Observed number	16	16	Observed number	16	16
Correlation coefficient	1.00		Correlation coefficient	1.0	
Degrees of freedom	15		Degrees of freedom	15	
t-Statistic	-9.76		t-Statistic	-16.42	
P(T<=t) One-side test	3.43E-8		P(T<=t) One-side test	2.7E-11	
t-Rejection value One-side test	1.75		t-Rejection value One-side test	1.75	

토공부/터널부에서 휘도의 경우 P값(단측검정)이 3.43E-8, 2.7E-11으로 유의수준 0.05보다 작다.

Table 18. Lane Sweeping Brightness T-test

Earthwork	Un-washing	Washing	Tunnel	Un-washing	Washing
Average variation	68.83	69.73	Average variation	60.07	60.93
Dispersion	82.73	81.39	Dispersion	53.09	51.03
Observed number	16	16	Observed number	16	16
Correlation coefficient	1.00		Correlation coefficient	1.00	
Degrees of freedom	15		Degrees of freedom	15	
t-Statistic	-11.11		t-Statistic	-12.95	
P(T<=t) One-side test	6.15E-9		P(T<=t) One-side test	7.6E-10	
t-Rejection value One-side test	1.75		t-Rejection value One-side test	1.75	

토공부/터널부에서 명도의 경우 P값(단측검정)이

6.15E-9, 7.6E-10으로 유의수준 0.05보다 작다.

Table 19. Lane Sweeping Number of Glass Bead T-test

Earthwork	Un-washing	Washing	Tunnel	Un-washing	Washing
Average variation	275.46	271.13	Average variation	437.14	432.21
Dispersion	41660.1	41199.7	Dispersion	6174.08	6072.52
Observed number	16	16	Observed number	16	16
Correlation coefficient	1.00		Correlation coefficient	1.00	
Degrees of freedom	15		Degrees of freedom	15	
t-Statistic	9.82		t-Statistic	6.62	
P(T<=t) One-side test	3.17E-8		P(T<=t) One-side test	4.05E-6	
t-Rejection value One-side test	1.75		t-Rejection value One-side test	1.75	

토공부/터널부에서 유리알 개수의 경우 P값(단측검정)이 3.17E-8, 4.05E-6으로 유의수준 0.05보다 아주 작다.

차선청소 전·후 휘도, 명도, 유리알 개수의 p-value는 0.05보다 작기 때문에, 차선청소 전보다 차선청소 후에 차선의 성능이 향상된다는 대립가설을 채택하고, 귀무가설을 기각한다. 그러므로 통계적 방법을 통해 휘도, 명도, 유리알 개수는 차선청소 시에 차선 성능이 향상되는 것을 검증할 수 있었다.

## 6. 결론 및 향후과제

### 6.1. 결론

본 논문에서는 차선세척과 청소를 통한 반사성능의 변화를 알아보기 위하여 휘도, 명도, 유리알 개수의 변화를 측정하였다. 교통량, 도로, 차선종류에 따라 구분하였으며, 동일한 조건에서 차선세척 및 청소를 진행 후 전후 휘도, 명도, 유리알 개수의 변화를 비교분석한 결과 세척과 청소에 따른 평균변화율의 평균치를 다음과 같이 도출하였다.

미세척/미청소 구간에서는 차선 도색 후 급제동, 오염으로 인해 반사성능이 저하되고 있었다. 특히 터널 내부의 취약구간은 매연으로 인해 기준 이하의 반사성능을 보이고 있었다. 차선세척 시 세척 1회당 휘도가 9.1% 향상되었고, 명도는 2.9% 향상되었다. 그리고 유리알은 0.2% 탈리되었다. 차선청소 시 청소 1회당 휘도가 4.4% 향상되었고, 명도는 1.4% 향상되었다. 그리고 유리알은 0.8% 탈리되었다.



또한, 차선세척/청소 시 휘도, 명도, 유리알 개수의 변화가 있음을 통계적 방법을 통해 검증할 수 있었다.

두 방법의 반사성능 변화를 토공부와 터널부의 중앙선과 갓길선 평균변화율의 평균치로 비교한 결과, 차선세척 시 차선청소보다 휘도와 명도가 더 향상되었으며, 유리알은 더 적게 탈리되었다. 이에 따라 본 논문에서는 고속도로에서 차선세척방법이 더 반사성능을 향상시키는 유지보수방법임을 제시한다.

## 6.2. 연구의 한계점 및 향후과제

본 논문은 고속도로에서 차선세척/청소 방법이 차선의 반사성능을 향상시키는 것을 검증하고, 반사성능을 더 향상시키는 유지보수방법을 제시했다는 점에서 의미가 있다. 그러나 본 논문은 몇 가지 한계점이 존재한다.

첫째, 차선의 반사성능 변화에 대해서만 고려하였다. 향후 연구 시 경제성 등 다양한 측면에서 효율성을 고려해야 할 것이다.

둘째, 우천 시 측정은 피하고 노면상태를 고려하여 측정하였다. 향후 연구 시 다양한 환경조건에서 측정해야 할 것이다.

셋째, 반사성능 측정은 경부고속도로 비룡JCT~대전 IC(대전터널)과 옥천IC~비룡JCT(중약터널)에서 진행되었다. 향후 연구 시 여러 지점과 고속도로를 선정하여 측정해야 할 것이다.

따라서 향후 연구수행 시 위의 한계점들을 고려하여 더 구체적이고 다양한 측면에서 고속도로 차선성능 변화에 대한 검토와 차선세척/청소 실시 주기 산정 등에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

## REFERENCES

- Amato, F., Querol, X., Alastuey, A., Pandolfi, M., Moreno, T., Gracia, J., Rodriguez, P. (2009) "Evaluating urban PM10 pollution benefit induced by street cleaning activities." *Quantifying road dust resuspension in urban environment by multilinear engine*, Atmospheric Environment, Vol. 43, pp.4472-4480.
- Bris, F. J., Garnuad, S., Apperry, N., Gonzalez, A., Mouchel, J.M., Chebbo, G., and Thévenot, D. R. (1999). *A street deposit sampling method for metal and hydrocarbon contamination assessment*. Science of the Total Environment, Elsevier, Vol. 235, pp.211-220.
- Claytor, R. (1999). *New developments in street sweeper technology*. Watershed Protection Techniques, AIRUSE LIFE, Vol. 3, No. 1.
- Chang, Y., Chou, C., Su, K., Tseng, C. (2005). *Effectiveness of street sweeping and washing for controlling ambient TSP*. Atmospheric Environment, Vol. 39, pp.1891-1902.
- Dobroff, F. (1999). *Street cleaning initiative*. Region of Hamilton-Wentworth Air Quality Program.
- Geni, B et al. (2006). *Pavement Marking Materials and Markers*. National Cooperative Highway Research Program, pp.13-18
- Graham, J., Harrold, and Leek. (1996). *Pavement Marking Retroreflectivity Requirements for Older Drivers*. Transportation Research Record 1529, TRB, National Research Council, Washington D.C. pp.65-70.
- IOWA State university Institute for Transportation (2010). *Pavement Markings and Safety*. IOWA Highway Research Board, pp.6-9, IOWA.
- Jang, D. (2010). *Assessment of Retroreflectivities for the Types of Roadway Markings*, a Master's degree, Ajou University graduate school of ITS.
- James, M. et al. (2002). *Long-Term Pavement Marking Practices*. TRB's National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis 306. Transportation Research Board.
- Kang, M. and Oh, H. (2015). "Appropriate dimension of freeway lane marking using computer based laboratory experiment." *International Journal of Highway Engineering, Korean Society of Road Engineers*, Vol.14, No.1, pp.6-7.
- Kåre, R. (1998). *Lane Markings In Night Driving: A Review Of Past Research and of The Present Situation*. The University of Michigan Transportation Research Institute Ann Arbor, Michigan 48109-2150 U.S.A. Report No. UMTRI-98-50, pp.1-5, Michigan.
- Kenyon, Wayne, D., Gurney, Gary, F., Bryden, James, E. (2006). *A Study on Retroreflectivities of Pavement Markings by Freeway Facility Types*, Transportation Research Record. pp.1-8.
- Kim, D. (2013). *Development of Freeway Stripe and Gap Marking Dimension Using Preference Test*, a Master's degree, Kyonggi University graduate school, pp.1-28.
- Korean National Police Agency (2012). *Traffic Signal Setting & Management Manual* (in Korean).
- Korf, J. (2004). *Reflectivity of Pavement Markings : Analysis of Retroreflectivity Degradation Curves*. Washington State Transportation Center, pp.7-9, Washington.
- Lee, C. and Lee, H. and Oh, H. (2012). "High Performance Glass Beads for Traffic Marking in Wet Weather", *International Journal of Highway Engineering, Korean Society of Road Engineers*, Vol.14, No.1, pp.9-16.
- Oh, H. (2005). "A Study on Retroreflectivities of Pavement Markings by Freeway Facility Types", *International Journal of Highway Engineering, Korean Society of Road Engineers*, Vol.7, No.4. pp.174-177.
- Oh, H. (2007). "Retroreflectivity Performance Characteristics Under Environmental Roadway Conditions Based on Influencing Factors", *Journal of The Korean Society of Civil Engineers D*,

- KSCE, 27(3D), pp.289-295.
- Son, Y. (2007), *A study on the Efficiency of Street Sweeper for PM10 Removal in Paved Roads*, a Master's degree, Inha University, pp.67-69.
- T, A. and T, H. (1999). Effective of Street Sweeping for Stormwater Pollution Control. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. pp. 4-7.
- The Ministry of Transportation (2015). *Highway Design Manual* (in Korean).
- Zwahlen, H. T. and T. Schnell. (1999). *Visibility of road markings as a function of age, retroreflectivity under low-beam and high-beam illumination at night*. Transportation Research Record 1692, pp.152-163.