

도로전광표지 시스템의 시인성 영향 요소

Visibility Factor of Variable Message Sign

김병기

(한국건설기술연구원, 연구원)

류승기

(한국건설기술연구원, 선임연구원)

백남철

(한국건설기술연구원, 선임연구원)

Key Words : 시인성(Visibility), 도로전광 표지(VMS: Variable Message Sign)

목 차

I. 서론	1. LED의 발광 원리
1. 연구의 목적	2. 측정 변수의 특성
2. 용어 정의	IV. VMS 시인성 평가 사례 연구
II. 기존 연구	V. VMS 시인성에 영향을 미치는 설계 요소
1. 미국 연방 도로청(FHWA)	VI. 결론 및 향후 연구과제
2. 서유럽	1. 결론
III. LED형 VMS의 시인성 변수	2. 향후 연구 과제

I. 서론

1. 연구의 목적

도로전광표지(VMS: Variable Message sign)는 도로 이용자에게 도로, 기상 및 교통의 상황이나 그에 따른 교통규제의 상황에 관한 필요한 정보를 제공함으로써 교통 흐름을 원활하게 하고 안전한 통행을 하도록 하는 시설로, 도로 정보 안내 시설에 포함된다. VMS는 그 표시 내용과 형식상 도로안내 표지에 해당하나, 주요 기능상 도로 안전시설에 포함할 수 있다.

국내의 도로용 VMS 시스템은 LED(Light Emitting Diode, 이하 LED) Cluster 기술 방식이 대부분이며, 여러 가지 정보를 다양한 표출형태(문자, 동영상, 그래픽 등)로 도로상에서 교통 정보 제공용으로 운용되고 있다.

본 연구에서는 일반국도에 설치 운영중인 국도교통관리시스템의 VMS 시스템을 대상으로 휘도와 색도를 측정하여 시인성을 분석하고, VMS의 시인성을 판별하는 성능변수(performance index)로써의 가능성을 분석한다. 도로이용자에게 유용한 교통정보를 제공하는 VMS 시스템은 정보제공 매체로서 현재 보편적인 ITS 기술이나, VMS 시스템에서 중요한 특징인 시인성 측면의 분석과 성능 인자의 연구가 아직까지 미진한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 실제 운영중인 VMS의 시인성 분석을 위해 휘도와 색도값을 측정하였고, 각 실측 데이터로부터 성능 인자의 특징을 분석하였다.

2. 용어 정의

- 휘도(luminance) : 발광면 위, 수광면 위 또는 빛의 전파경로 단면 위의 어떤 점에서 그 점을 포함하는 미소면을 통하여 어떤 방향으로 향하는 광속의 그 방향에 수직인 면에 대한 단위 정사영 면적당, 단위 입체각당 비율, 단위는 cd/m²임
- 색도(chromaticity) : 눈으로 느끼는 색(색감 또는 색자극)은 색의 측색적(測色的)인 성질과 밝기(자극값)에 의해 정해지는데, 그 중에서 밝기를 무시한 색의 성질
- 조도(illuminance) : 면 위의 점에 대하여 정의되며, 그 점을 포함하는 미소면에 입사하는 광속의 단위 면적당 비율, 단위는 lux임
- 대비(contrast) : VMS의 문자와 표지간의 대비, 표지와 표지 배경간의 대비. 여기서, 대비(contrast) = (문자의 휘도-표지면의 휘도) / 표지면의 휘도
- 시인성(visibility) : 표지나 대상물의 존재 또는 모양의 보기 쉬운 정도
- 판독성(legibility) : 표지나 대상물의 문자나 기호를 읽을 수 있는 정도
- 인지거리(viewing distance) : VMS의 존재 유무를 확인할 수 있는 거리
- 판독거리(legibility distance) : VMS의 메시지를 판독할 수 있는 거리
- LED(Light Emitting Diode, 발광형 소자) : 반도체로 된 다이오드의 일종으로서, 양전극 단자에 전압을 걸면 한 방향으로만 흐르는 특성을 가짐. 다른 열 변환 소자에 비해 안정적이고 신뢰성이 있음

· DOT : LED Cluster 방식의 도로전광표지에서 문자를 구성하는 최소 표시 단위이며, 최소 제어 단위임

II. 기존 연구

1. 미국 연방 도로청(FHWA)¹⁾

미국에서는 VMS를 CMS(Changeable Message Signs, 이하 CMS)로 표현하나, 최근에는 ITS와 같은 실시간 정보 제공 시스템이 채용되면서 DMS(Dynamic Message Signs)라고도 한다.

북미에서 CMS는 약 30년간 사용되어 왔으며, CMS의 초기 형태는 fold-out, blank-out(neon 이용), rotating drum, rotating tape(scroll 방식) 표시들이 실시간 정보표출을 위해 사용되었다. 이들 방식은 표출 메시지가 매우 제한적이었다. 1970년 초반에는 bulb matrix 표시가 가장 인기 있는 표시가 되었고, 이는 도로 감시, 제어, 운전자 정보 체계의 전반에 거의 사용되었다. 1970년대 에너지 파동에 이어, 미국 내에서 bulb matrix 표시의 사용이 급격히 줄어들었다. 이에 따라 초기 비용이 비싸더라도 전력 소모량과 유지관리 비용이 적게 드는 disk matrix CMS가 우세하게 사용되었다. 최근에는 인지성이 뛰어난 LED방식의 CMS에 많은 관심을 보이고 있다.

옥외용 표시 고휘도 LED의 개발이 CMS에 대한 LED 기술의 관심을 촉진시켰다. 1989년 Ontario 주 교통부에서는 13개 clustered LED CMS에 대해 인증하였다. 그 이유는 첫째, LED방식이 전체적으로 견고하고 기계적 부분이 없어서 기존의 CMS와는 달리 유지관리 비용이 적게 든다. 둘째, 개개의 LED 수명이 100,000시간(약 12년)으로 효율성이 높다는 것이었다.

2. 서유럽²⁾

서유럽에서 VMS는 도시간 도로(interurban motorway)에서 속도 제어와 안전성 향상, 차로 폐쇄를 위해 사용되었다. VMS는 각 차로 위에 설치하였으며, 교통량이 많은 도로에는 VMS가 500~1,000m 간격으로 설치되었다. 또, 국가간의 언어 차이를 극복하기 위해 국제 기호를 사용하였다. 몇몇 국가에서는 감속 운행과 차선 폐쇄의 이유를 표출하기 위한 보조 VMS를 설치하기 시작하였는데, 주로 차선 위의 VMS 사이나 도로변에 설치하였다. 도시간 자동차 도로에서 몇몇 국가에서는 우회도로 교통류를 분산시키기 위해 VMS를 사용하기도 한다. 두 이동류(통과, 유출)의 운전자에게 목적지까지

의 정보 제공을 위해 표지상의 목적지를 변화시키면서 표출한다.

조명 기술에 기초한 개념이 개발됨에 따라 CMS의 기술이 크게 발전하였으며, 영국에서는 fixed grid(표출되는 문자나 기호 부분에만 고정적으로 전구가 위치해 있는 형태) 백열전구 매트릭스 CMS를 개발하였다. 또, 조명 기술의 발달로 fixed grid fiber optic CMS가 개발되었으며, 이는 서유럽에서 매우 인기 있는 형태였다.

fixed grid fiber optic CMS는 프랑스, 서독, 네덜란드, 벨기에에서 속도 제어와 안전, 차로 폐쇄 등에 가장 폭넓게 쓰이고 있다. 이 곳에서는 fiber optic CMS가 만족할 만한 성능과 판독거리를 제공한다고 생각하며, 표시가 움직이는 부분이 없다는 사실을 매우 큰 장점으로 생각한다.

영국에서는 도시간 자동차 도로에 단지 LED CMS를 사용하는 정책을 세우고 있으며, 현재 bulb matrix CMS를 사용하고 있다.

서유럽의 몇몇 도로국은 자체적으로 LED CMS를 평가하여 왔는데, 그 결과 성능과 판독성 측면에서 fiber optic CMS보다 우세한 것으로 나타났다. 서유럽에서 가장 다른 형태의 CMS 중의 하나는 파리시에 의해 운영되는 시스템으로, 파리시 남부 34마일(55km) 구간 내에 reflective disk, fiber optic, fiber optic/reflective disk, neon, LCD, LED 표시들이 설치되어 평가되고 있다.

III. LED형 VMS의 시인성 변수

LED형 VMS 시스템은 기존의 전구와 비교하여 색을 구분하는 시인성의 향상 효과가 뛰어나고, 80% 이상의 에너지 절감이 가능하며, 상대적으로 긴 수명으로 유지보수 비용의 절감 효과를 가져오는 등 여러 가지 효과가 우수한 것으로 판명되고 있다.

본 장에서는 LED의 특성과 LED형 VMS의 시인성을 분석하기 위한 측정 변수인 휘도와 색도의 특성을 검토하고, 실제 운영중인 VMS로부터 측정된 값을 이용하여 성능 인자의 특징을 분석하였다.

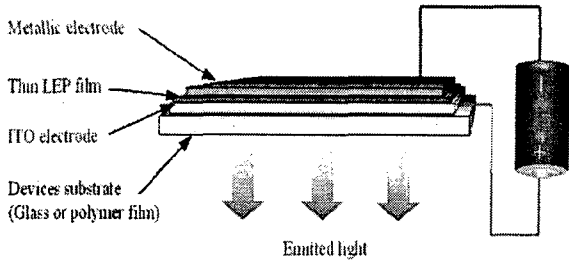
1. LED의 발광 원리

발광형 소자(Light Emitting Diode ; LED)는 반도체로 된 다이오드의 일종으로서, 양전극 단자에 전압을 걸면 한 방향으로만 전류가 흐르는 특성을 가진다. LED는 다른 열 변환 발광 소자에 비해 안정적이고 신뢰성이 있어 최근 도로 교통 정보 제공용 VMS 시스템으로 많이 사용되고 있다.

특정 반도체에 정(+)방향 부하를 가할 경우 전자가 에너지 레벨이 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동할 때 그 에너지의 차에 해당하는 부분에 대응하는 파장의 빛을 발한다. 이 때 에너지의 차이가 크면 파장이 긴 광(적색)을 발광하고, 적으면 파장이 짧은 광(청색)을 발생한다.

1) C.L.Dudek, Guidelines on the Use of Changeable Message Signs, FHWA, 1991.

2) 서유럽과 미국의 차이는 서유럽의 경우 CMS는 도시간 자동차 도로에 설치되며 표출 메시지 수가 고정(약 16개까지)되어 있으며, 미국의 경우에는 도시내 도로에 설치되며, 표출 메시지의 복잡성과 도시 도로의 교통제어 및 관리를 위해 운전자에게 다양한 정보 제공을 중요시하여 메시지 표현 능력과 유연성이 큰 CMS를 선호한다는 점이다.



<그림 1> LED의 발광 원리

<그림 1>의 LED의 발광 원리를 보면 전기를 가해 주었을 때 ITO electrode에서 정공(hole)이, Metallic electrode에서 전자(electron)가 이동을 하게 되는데 전자와 정공이 결합하게 되면서 빛을 발하게 되는 것이다. 이 때 LEP(발광 고분자) film을 바꿔줌으로써 적색, 파랑색, 녹색 등 여러 가지 색깔을 나타내도록 할 수 있다.

2. 측정 변수의 특성

VMS 시스템은 도로·교통 정보를 제공하는 시설로 표출되는 정보의 높은 판독성은 시설의 효용성을 결정할 수 있는 주요한 척도이다. 이러한 판독성을 결정하는 요인 중 휘도와 색도가 가장 중요한 요인이다. 각 변수의 특징은 다음과 같다.

1) 휘도(luminance)

휘도는 발광면 위로 단면 위의 어떤 점에서 그 점을 포함하는 미소면을 통과하고 어떤 방향으로 향하는 광속의 그 방향에 수직인 면에 대한 단위 정사영 면적당 위 입체각당 비율로, 단위는 칸델라(cd)로 표현한다. 비추어지는 장소의 밝기는 조도(intensity of illumination)라고 하는데, 휘도값은 주변 조도에 영향을 받는다.

<표 1> 시간대별 조도

시간대	조도(lux)
밤 시간대	10 이하
낮 시간대	1,000~100,000
일출과 일몰 시간대	10~1,000
흐린 날 낮 시간대	10,000~25,000

<표 1>과 같은 시간대별 조도 조건을 감안하여 기본적으로 밤 시간대는 낮은 문자 휘도로, 낮 시간대에는 높은 문자 휘도로 운영해야 운전자가 표출 메시지를 읽는데 불편하지 않게 된다. 조도 조건을 고려한 VMS의 휘도값은 일반적으로 <표 2>와 같은 값을 가져야 한다.

<표 2> 조도에 따른 적절한 휘도값[1]

조도(lux)	휘도(cd)
10 이하	200-500
10-1,000	501-2,000
1,000 이상	4,000 이상

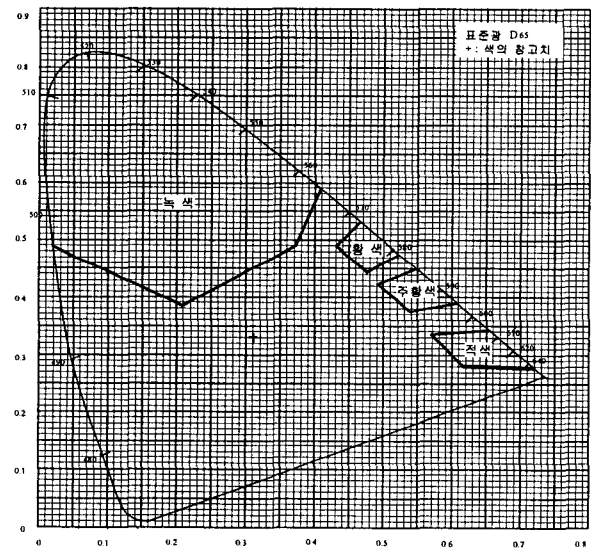
2) 색도(chromaticity)

색도는 국제조명위원회에서 정한 X-Y 표준색도 좌표로 표시되는 빛의 색을 말한다. VMS 시스템에 사용되는 LED의 색상을 적색, 주황색, 황색, 녹색으로 분류하며, 각 색상의 색도 기준을 <표 3>과 같이 설정하였으며, <그림 2>와 같이 도로전광표지용 LED의 색 좌표를 제안하였다.[1]

표출 메시지의 색상은 그 자체로서 운전자에게 전달하고자 하는 정보의 성격을 암시할 수 있기 때문에 상황에 적절한 색상을 사용하는 것이 좋으며, 대상 도로 구간의 상황에 따라 도로전광표지 표시면에 표출되는 메시지 색상을 달리 표현하여 운전자가 색상만으로도 전방의 상황을 빠르게 인지할 수 있도록 해야 한다.

<표 3> 도로전광표지용 LED의 색도 좌표 기준[1]

색상	1		2		3		4	
	x	y	x	y	x	y	x	y
적색	0.730	0.270	0.627	0.283	0.569	0.341	0.655	0.345
주황색	0.610	0.390	0.535	0.375	0.470	0.440	0.547	0.452
황색	0.522	0.477	0.470	0.440	0.427	0.483	0.465	0.534
녹색	0.405	0.585	0.372	0.493	0.209	0.383	0.013	0.486



<그림 2> 도로전광표지용 LED의 색좌표

주로 LED에서 발생하는 색상의 파장은 300~1,000 [nm] 정도이며, LED 파장별 색상은 <표 4>와 같다.

<표 4> LED 파장별 색

Color	파장(nm)
Violet	400~430nm
Blue	430~480nm
Green	490~530nm
Yellow	550~580nm
Amber	590~595nm
Orange	600~615nm
Orange-Red	620~640nm
Red	645~700nm

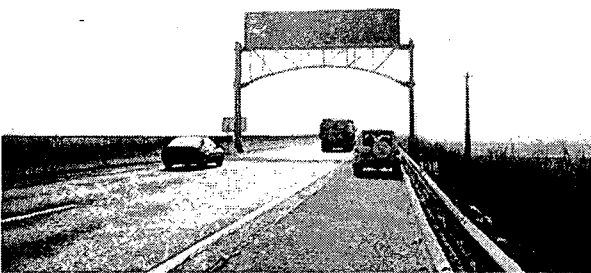
IV. VMS 시인성 평가 사례 연구

현재 운영중인 VMS의 시인성을 분석하기 위하여 '98년도와 '99년도에 설치된 VMS 각 1개소를 대상으로 휘도와 색도를 측정하였다. 측정 대상 VMS의 특징을 간략히 요약하면 <표 5>와 같다.

측정 대상 VMS에서 A는 픽셀식, B는 모듈식 VMS로 red, green, amber 색상을 표출하도록 되어 있다. 측정은 VMS 지주 하단으로부터 측정 카메라까지 40m 되는 지점에서 실시하였으며, 전이시간대와 밤시간대로 나누어 2번 실측하였다. VMS 표출면의 색상은 red, green, amber로 교체하면서 각 색상별 휘도값과 색도를 측정하였다. 휘도와 색도는 Minolta사의 분광방사 휘도계(Spectro Radiometer)인 CS-1000 장비를 이용하여 측정하였다.

<표 5> 측정 대상 VMS

구분	1998년식 VMS(A)	1999년식 VMS(B)
설치 연도	1998년도 12월	1999년 5월
LED 표출면	4,800mm×1,440mm	4,800mm×960mm
문자 모듈 구성	1문자(256DOT) 16×16DOT	1문자(1,024DOT) 32×32DOT
총 모듈 수	20모듈(5,1250 DOT)	20모듈(20,480DOT)
글자높이	500 mm	480 mm
픽셀 크기	30 mm □5φ	14.5 mm □5φ
표출 색상	Red, Green, Amber	
Peak 발광 파장	Red(660nm) Green(568nm)	Red(660nm) Green(565nm)



<그림 3> 저 휘도 운영으로 인한 판독성 저하 예

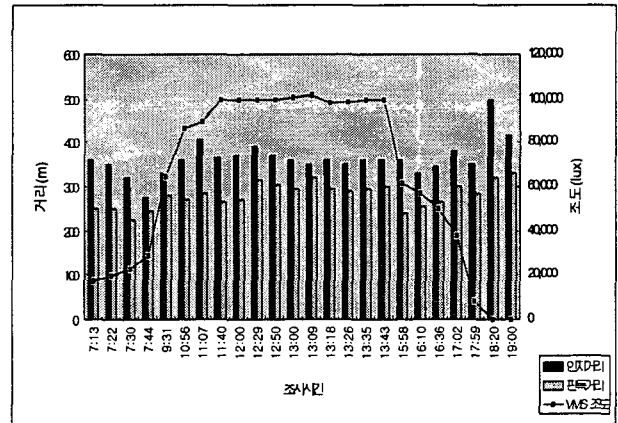
LED 기술 방식은 특히 LED 소자의 수명과 휘도가 VMS의 효용성에 큰 영향을 미치게 되는데, 본선용 VMS의 경우 설치 시기에 따라 LED의 휘도가 차이를 나타내어, 보다 체계적이고 효과적인 유지관리 활동이 요구된다. 또한, 지리적 선형 특성상 동-서 방향으로 설치되어 있는 VMS는 해가 정면에서 VMS를 비출 때(frontlight)나 배면에서 VMS를 비출 때(backlight) 시인성(visibility)이 영향을 받는다.



<그림 4> 고휘도 운영으로 인한 눈부심 현상 예

VMS의 문자와 표지면 간의 대비는 주간 시간대에는 낮은 값을 나타내었으며, 야간에는 과도하게 높게 나타나기도 한다. 이로 인하여 주간 시간대에는 <그림 3>과 같이 문자의 밝기가 낮아 판독성이 떨어지기도 하며, 야간 시간대에는 <그림 4>와 같이 문자 휘도가 불필요하게 높아 눈부심(glare) 현상을 초래하였다. 특히 최근에 설치된 일민국도 3호선의 VMS는 주변 조도 조건에 비해 과도하게 높게 운영되고 있어 운전자에게 불편함을 주고 있다. 또한, 문형식이 아닌 편지식은 차로별 적정 판독성 제공에 의문이 제기되고 있다.

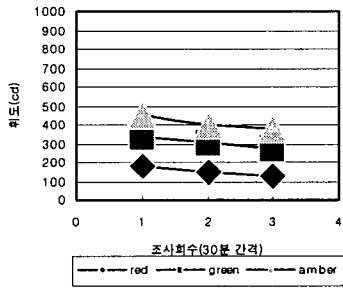
<그림 5>는 VMS(B)의 시간대별 인지거리, 판독거리 및 조도를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 전이시간대의 조도는 0~40,000lux를 나타내고 있다.



<그림 5> 시간대별 인지거리, 판독거리 및 조도

휘도값은 색상(red, green, amber)별로 구분하여, 전이시간대(17:30~18:30)와 밤시간대(21:00~21:30)에 측정하였다. 색상별 휘도값을 보면 황색이 녹색과 적색과 비교하여 상대적으로 밝음을 알 수 있는데, 이는 황색이 녹색과 적색을 모두 켜서 나오는 색상이기 때문이다.

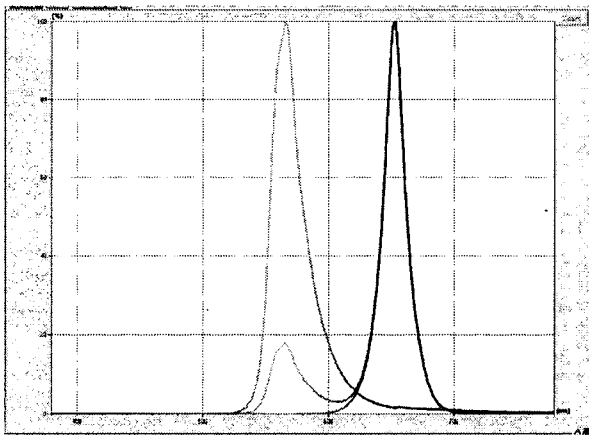
<그림 6>은 전이시간대의 색상별 휘도 그래프이다.



<그림 6> 전이시간대 색상별 휘도

색도값 역시 색상(red, green, amber)별로 구분하여, 전이시간대와 밤시간대에 측정하였다. 측정된 색도값은 밤시간대에는 시간에 따른 색도값의 변화가 거의 없었으나, 전이시간대에는 시간에 따라 색도가 달라짐을 알 수 있다.

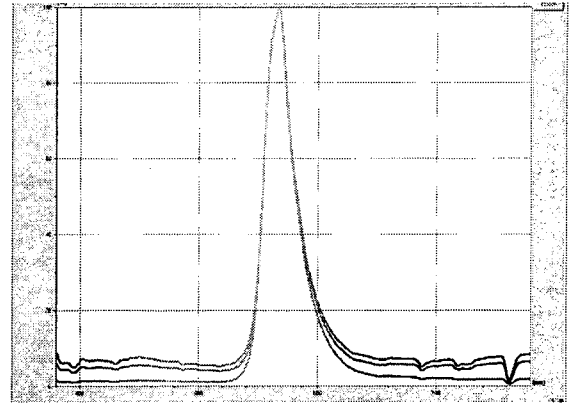
<그림 7>은 밤시간대의 색도 그래프를 나타낸다. <그림 7>에서 색상별 peak 파장대를 보면, green은 약 570nm에서, red는 약 650nm에서 peak를 보임을 알 수 있다. yellow의 경우 green과 red LED가 켜져 들어오는 색상으로 green과 red의 색상이 함께 나타났으나 red의 색상이 더 강하게 나타났다.



<그림 7> 측정시간대별 색도 그래프(밤시간대, B)

밤시간대에는 색상별로 파장대의 변화가 없는 것과 달리 전이시간대에는 변화 정도가 두드러지게 나타났다.

<그림 8>은 전이시간대에 30분 간격으로 측정된 green 색상의 색도 그래프이다. 전이시간대는 주변 밝기가 시간대에 따라 뚜렷하게 변하는 시간대로 LED의 색상 역시 눈에 띄는 변화를 볼 수 있다.



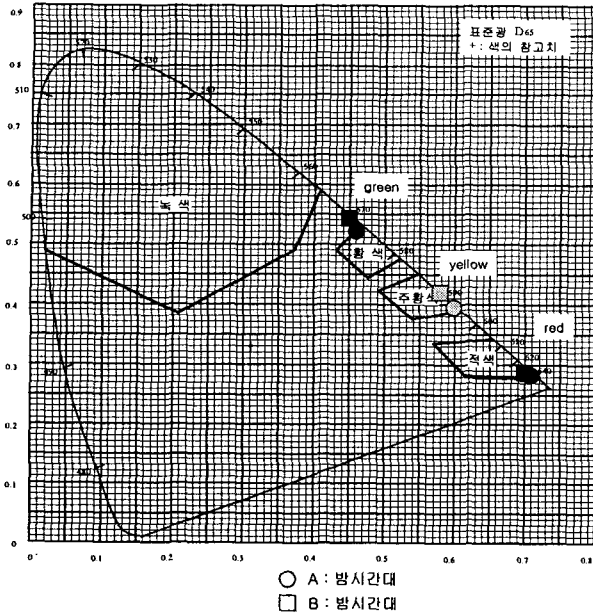
<그림 8> 전이시간대 색도 그래프의 변화(green, B)

<표 6>은 측정된 색도 좌표값으로 전이시간대의 경우 red 색상은 0.601~0.718, green은 0.421~0.600, yellow는 0.458~0.576의 값을 가지고 있다. <그림 6>은 측정된 색도 좌표값 중 밤시간대의 좌표값을 색좌표에 표기한 것이다.

<표 6> 측정된 색도 좌표값

구분	색상	전이시간대	
		X	Y
A	red	0.711~0.718	0.281~0.282
	green	0.597~0.600	0.395~0.399
	yellow	0.458~0.463	0.529~0.536
B	red	0.601~0.702	0.281~0.288
	green	0.421~0.452	0.476~0.527
	yellow	0.534~0.576	0.396~0.411
구분	색상	밤시간대	
		X	Y
A	red	0.718	0.282
	green	0.461~0.462	0.536~0.537
	yellow	0.600~0.602	0.396~0.397
B	red	0.719	0.281
	green	0.457~0.458	0.540~0.541
	yellow	0.587~0.588	0.411~0.412

<그림 9>를 보면 red와 yellow는 각각 색도 좌표 기준에 적합하나, green의 경우 황색에 가까운 색상을 나타내고 있음을 알 수 있다.



<그림 9> 측정된 색도값의 범위(밤시간대)

V. VMS 시인성에 영향을 미치는 설계 요소

현장 실험 및 문헌 검토를 통하여 VMS의 시인성에 영향을 미치는 변수에 대하여 그 설계 값을 정리하면 <표 7>과 같다. VMS의 시인성에 영향을 미치는 요소를 평가하기 위해 여러 측면에서 실험을 수행해야 한다. 서비스 중인 VMS에 대한 문자 변수(문자 폭 : 문자 높이, 문자 두께, 문자체)와 색상, 그리고 간격 변수(단어 길이, 자간 간격, 단어간 간격, 줄간 간격)가 VMS의 시인성에 미치는 영향을 분석, LED VMS의 시인성 확보를 위한 최소 휘도 요구량 등에 대한 현장 평가를 수행해야 한다.

<표 7> VMS의 시인성에 영향을 미치는 설계 요소

설계 변수	추천 사항
· DOT 변수 : 크기, 형태, 수, 간격, 휘도, 색상	DOT 변수의 설계는 평균 문자 휘도만큼 변동이 가능하며, 대비(Contrast)는 수락 범위내
· 문자 변수 : 대비(TL-BL/TL) 휘도(cd/m ²) W:H	5~10 야간:50/ 주간:500/ overbright: 4000 0.75~1.0
· 메시지 구성요소 문자간 간격 단어간 간격 등	- 최소 stroke width의 2배

VI. 결론 및 향후 연구과제

1. 결 론

본 연구에서는 수도권 국도 ITS의 일환으로 일반국도 상에 설치되어 있는 VMS 시스템의 시인성을 휘도와 색도 자료를 이용하여 분석하였다. 향후 주기적인 자료의 수집과 분석으로 VMS의 유지관리뿐 아니라 VMS 설치 및 관리 기술에 실무 요령으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 조도, 도로환경 등 외부 요소를 제어하지 못하는 상황에서 이루어진 연구다. 따라서, 간격 변수(단어 길이, 자간 간격, 단어간 간격, 줄간 간격)가 VMS의 시인성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 평가조건이 완전히 제어되는 암실 조건에서 평가를 수행하여야 한다. 또한, 실내에서 PC 모니터 화면을 이용하여 평가를 수행할 수도 있으며, 운전자에 의해 직접 현장 평가를 수행하는 연구가 필요하다.

2. 향후 연구 과제

VMS는 타 도로 시설물과는 달리 유지보수 여건에 따라 그 성능이 현저히 달라질 수 있는 시설이므로, LED 소자의 적절한 교체, 주기적인 표시면 청소, 정기적 부품 점검 등 체계적인 관리가 반드시 필요한 시설이다. VMS의 초기 성능은 시간에 따라 감소하게 된다. 성능 감소 원인은 LED 표면의 먼지나 불순물, LED 자체 전구의 수명 감소 등에 있으며, 이렇게 성능이 감소되면, 초기에 발현했던 휘도와 색도를 유지하기 어렵게 되고, VMS의 시인성을 감소시키게 된다. VMS LED의 휘도와 색도 자료를 월별, 연도별로 관리하여 LED 성능의 감소 추세를 파악하면 VMS 시스템의 수명을 분석할 수 있는 성능 인자로서 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 적절한 유지관리 점검 주기 등에 대한 연구가 필요한 실정이다.

참고문헌

1. 건설교통부, “도로안전시설 설치 및 관리 지침(도로전광표지판)”, 최종보고서, 1999. 11.
2. 한국조명·전기 설비 학회지, “LED 교통신호등 기술”, Vol15, No.6, p52-67, 2001.
3. 건설교통부, “수도권 남부 국도교통관리시스템 운영관리 업무대행 사업”, 1999.
4. 한국건설기술연구원, “도로 가변정보 안내시설 설치 및 관리 지침 제정 연구”, 최종보고서, 1999. 11.
5. Y. Akagi, T. Seo, Y. Motoda, Influence of Visual Environments on Visibility of Traffic Signs, TRR 1553, TRB, 1996, pp. 53~58.
6. J. D. Armstrong, J. E. Upchurch, Human Factors Design Consideration for Variable Message Freeway Signs, Journal of Transportation Engineering, Vol.120, No.2, 1994, pp. 264~282.
7. B. L. Collins, Color Appearance of Traffic Control Devices under Different Illuminants, TRR 1247, TRB, 1989, pp. 23~31.

8. T. Mavrogeogis, C. Veinoglou, M. Clarke, VMS in Europe : User Needs Of Authorities And Operators', The 5th ITS World Congress Proceedings, Seoul, 1998.
9. C. R. Mercier, C. Goodspeed, C. J. Simmons, J. F. Paniati, Evaluation of Proposed Minimum Retroreflectivity Requirements for Traffic Signs, TRR 1495, TRB, 1995, pp. 57~67.
10. J. S. Miller, B. R. Newman, Challenges to Training for Use of Changeable Message Signs : Implications for Intelligent Transportation Systems, TRR 1553, TRB, 1996, pp. 34~37.
11. J. S. Miller, B. L. Smith, B. R. Newman, M. J. Demetsky, Effective Use of Variable Message Signs : Lessons Learned through Development of Users' Manuals, TRR 1495, TRB, 1995, pp. 1~8.
12. P. L. Olson, Minimum Photometric Properties of Retroreflective Signing Materials, TRR 1247, TRB, 1989, pp. 56~68.
13. M. S. Rea, Visibility Criteria and Application Techniques for Roadway Lighting, TRR 1247, TRB, 1989, pp. 12~16.
14. H. Remeijn, Levels of Quality of Service for VMS System, The 5th ITS World Congress Proceedings, Seoul, 1998.
15. J. Upchurch, J. D. Armstrong, M. H. Baaj, G. B. Thomas, Evaluation of Variable Message Signs : Target Value, Legibility and Viewing Comfort, TRR 1376, TRB, 1992, pp. 35~44.
16. M. Wardman et al., Driver Response to Variable Message Signs : A Stated Preference Investigation, Transportation Research Part C, Vol.5C, No.6, 1998, pp. 385~405.
17. H. L. Woltman, T. J. Szczech, Sign Luminance as a Methodology for Matching Driver Needs, Roadway Variables, and Signing Materials, TRR 1213, TRB, 1989, pp. 21~26.
18. H. T. Zwahlen, Traffic Sign Reading Distances and Times during Night Driving, TRR 1495, TRB, 1995, pp. 140~146.
19. C. L. Dudek, Changeable Message Signs, NCHRP Synthesis of Highway Practice 237, TRB, 1997.
20. C. L. Dudek, Guidelines on the Selection and Design of Message for Changeable Message Signs, Interim Report, FHWA/TX-92/1232-10, Texas Transportation Institute, Nov 1992.