

수학답사를 통한 도로 노면표시의 인지에 대한 수학적 분석

서보억*

충남대학교 수학교육과

Mathematical Analysis on the Perception of Pavement Markings Using 'Math Field Trip'

SUH, Bo Euk*

Department of Mathematics Education, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: eukeuk@cnu.ac.kr

Abstract

The study documents the analysis on characters and symbols shown in the pavement markings in the perspective of mathematics educators. The purpose of this study is to propose a pavement marking method that can enhance readability from the driver's eye position. To this end, this study analyzed the figure of the pavement markings that can be actually recognized by the projective geometry perspective. As a result, it proposed alternatives to the current pavement markings by introducing the concept of the compression ratio. Results of the study are as follows. First, the rule was established to obtain the compression ratio. If the observation of two viewing angles are x and y , then the compression ratio S is $\sin y / \cos\left(\frac{x-y}{2}\right)$. Second, we presented two alternatives to the pavement marking method for the displayed information. One is a method for improving the pavement markings in terms of the compression ratio, the other is a method by varying vertical length of the pavement markings while holding its width constant. Based on the outcomes from this study, a mathematical analysis can be further studied for the perception of speed according to the types of pavement marking line.

Keywords: compression ratio, mathematical modeling, pavement marking(road marking), projection geometry, viewing angle

초록

이 연구는 수학교육자의 시각에서 도로 노면에 표시된 기호와 문자에 대해 분석한 결과이다. 연구의 목적은 운전자의 시각에서 가독성이 높은 도로 노면표시 방법을 제안하는데 있다. 이를 위해 이 연구에서는 사영기하학과 함수의 관점에서 도로 노면표시가 실제로 인식되는 모양을 분석하고, 압축비의 개념을 도입하여 바람직한 도로 표시의 대안을 제시하였다. 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 압축비를 구하는 공식을 수립하였다. 노면표시에 대한 두 관찰각을 x , y 라 하면 압축비 S 는 $\sin y / \cos\left(\frac{x-y}{2}\right)$ 이 된다. 둘째, 압축비 및 실제로 운전자가 지각하는 노면표시에 대한 정보로부터 수학적 분석을 통해 노면표시에 대한 대안을 두 가지로 제시하였다. 하나는 압축비의 관점에서 노면표시를 개선하는 방법이고, 다른 하나는 가로 방향의 폭을 고정된 상태에서 세로 방향의 폭의 조절을 통해 개선하는 방법이다. 본 연구를 바탕으로 점선에 따른 속도 감각 인식에 대한 수학적 분석 연구가 진행될 수 있다.

주요어: 압축비, 수학적 모델링, 노면표시, 사영기하, 관찰각

J. Korean Soc. Transp.
Vol.34, No.3, pp.248-262, June 2016
<http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2016.34.3.248>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 27 January 2016

Revised: 18 March 2016

Accepted: 29 April 2016

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

1. 연구의 배경 및 목적

수학의 학문적 중요성을 여기에서 논하기에는 다소 어울리지 않는다는 생각을 하지만, 역사적으로 볼 때 수학의 학문적 발달은 거의 모든 학문에 적지 않은 영향을 주었다는 것은 자명한 사실이다. 이러한 경향은 수학교육에서도 그대로 전해져 내려오고 있다. 비록 최근에는 수학이 현실과 동떨어진 지극히 추상적인 학문으로 흘러가는 것도 부정할 수 없는 사실이지만, 수학적 시각으로 현상을 바라보는 것은 가치 있는 연구임에 틀림없다.

현재 수학 분야에서 가장 중요한 이슈는 산업수학이고, 수학교육분야에서는 실세계 현상의 수학교육적 활동이다. 이에 본 연구에서도 수학답사활동을 실시하는 과정에서 필연적으로 부딪힐 수밖에 없는 현실 상황을 기초로 하고 있다. 답사활동을 다니면 다양한 교통수단 특히, 자가용과 버스를 자주 이용하게 되는데, 이동 도중 도로 노면에 표시된 다양한 표시에 대한 시각적 인식 경험이 본 연구의 계기가 되었다. 답사활동은 장거리를 이동하여 실시하는 경우가 많은데, 답사 현장으로 이동 과정에서 발견한 수학의 실제적인 측면을 본 연구에서 다루고 있다. 매우 당연해 보이지만, 아무도 수학적으로 접근하지 않았던 도로의 노면에 표시된 다양한 기호, 문자, 숫자 등에 관심을 가지고 수학적 관점에서 그것이 타당한지 고찰한다.

운전자의 입장에서 도로 노면에 표시된 정보는 다양한 측면에서 유익한 정보를 제공해 준다. 자신이 가고자 하는 방향에 대한 정보, 향후 갈 방향에 대한 안전 운행 정보, 속도 정보 등이 그 대표적인 예라 할 수 있다. Figure 1은 고속도로를 100km/h의 속도로 달리는 자동차에서 30m 앞 노면에 표시된 '서울↑'을 촬영한 것인데, 거의 인식이 불가능한 상태이고, 불과 1.08(초)후 운전자는 이 글씨 위를 통과해 버린다. 실제로 인식이 가능한 것은 10m 전방에서 집중해서 보아야만 겨우 가능한 수준이다(Figure 2). 그런데, 0.36(초)후에 이 지점을 통과하게 된다는 점을 고려하면, 고속도로에서 노면의 글씨에 대한 인식은 쉽지 않다.

이러한 현실에도 불구하고, 노면표시에 대한 연구는 가독성보다는 이해성에 더 초점을 맞추어져 있다. 예를 들어, Tark and Shin(2012)는 교통노면표시의 인지도 분석을 실시하였는데, 이 연구에서는 특정 노면표시에 대한 정보를 운전자가 정확하게 인지하고 있는지 통계적으로 분석하고 있다. 이 연구의 전제는 모든 운전자가 운전 중에 모든 노면표시를 정확하게 읽었다는 것을 전제로 하고 있다는 점에서 본 연구와는 차별된다. 또한 Shin(2013), Choi, Lee, Yoon and Lee(2014)는 노면표시에 대한 연구를 수행하였는데, 이 연구의 관점은 노면표시의 인식에 초점을 맞추었지, 어떻게 표현하는 것이 타당한가와 이에 대한 수학적 분석과는 차이가 있어 본 연구와는 차별화된다.



Figure 1. 30m view(1 second ago)



Figure 2. 10m view(.36 second ago)

본 연구는 수학을 전공한 수학교육자이면서 한 명의 평범한 운전자의 입장에서 도로 노면에 표시된 정보를 수학의 시각으로 바라본 연구이다. 연구의 발단은 간단하다. 운전을 하면서 노면에 표시된 정보가 명확하게 전달되지 않는다는 점에서 출발하였다. 이러한 불편함의 원인을 수학의 관점에서 진단하고, 그 분석 결과를 바탕으로 바람직한 노면표시에 대한 대안적인 방법을 제시하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

1) 자료 수집 및 연구 대상

본 연구를 위해 도로 자료 수집은 수학답사활동을 진행하는 과정 속에서 이루어졌다. 답사를 하면서 차량의 블랙박스 영상을 이용하여 영상 자료를 수집하였다. 또한 경찰청에서 제작한 'Korean National Police Agency(2012)' 자료를 수집하였다. 이러한 실제 자료 수집과 문서를 바탕으로 도로 노면표시에 대한 수학적 분석 대상을 선정하였다. 분석 대상은 기호 4종류, 문자(숫자 포함) 2종류이다.

2) 수학적 분석 실시

노면에 표시된 기호와 문자에 대한 수학적 분석을 실시하기 위해 도로의 노면이라는 실제 상황을 수학적인 상황으로 변환하였다. 이러한 변환은 수학적 모델링의 과정을 통해 이루어졌고, 이를 통해 노면의 다양한 표시에 대해 분석하였다. 분석의 효율성을 위해 $s = vt$, 압축비, 함수 $\tan^{-1}x$ 등을 수학적 모델로 설정하였다. 또한 수치 계산을 효율적으로 진행하기 위해 Excel program을 사용하여 오차를 최소화하였다.

3) 설문 조사 실시

노면표시에 대한 지각의 최적화를 유도하기 위해 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 총 6문항으로 5지 선다형으로 구성하였다. 가장 빠르고 정확하게 노면에 표시된 정보를 인식하도록 하는 노면표시의 가로, 세로 길이의 비에 대한 시사점을 도출하는데 활용한다.

4) 유의미한 시사점 도출을 위한 분석 및 적용 방향 제시

압축비를 통한 노면표시에 대한 수학적 분석, 설문 조사를 통한 시사점 도출 등을 기반으로 이상적인 기호, 문자의 노면표시 방법을 제안한다. 그리고 노면표시에 대한 수학적 결론은 도로의 세 유형별로 이루어진다.

기존 문헌 고찰

1. 노면표시에 대한 정보

도로의 노면에 표시되는 정보는 선, 기호, 문자 정보가 가장 대표적이다. 본 연구에서 필요한 점선을 중심으로 살펴보고, 기호나 문자의 경우에는 대표적인 몇 가지를 중심으로 고찰한다.

1) 점선: 도로에 따른 선의 표준

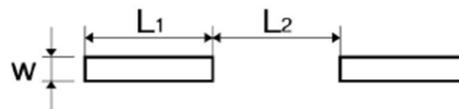


Figure 3. Dotted line

Table 1. Standard of dotted line

(unit: meter)

Type		city road	local road	highway
centerline	L_1	3	3	3
	L_2	3	3	3
	W	0.15-0.20	0.15-0.20	0.15-0.20
lane	L_1	3	5	10
	L_2	5	8	10
	W	0.10-0.15	0.10-0.15	0.10-0.15

도로 노면에서 가장 중요한 것은 선이다. 노면표시에 사용되는 선은 점선, 실선, 복선 세 가지로 구분할 수 있다. 이 중에서 본 연구와 관련이 있는 것은 점선이다. 점선의 경우 색칠된 선의 길이(L_1), 색칠이 없는 선의 길이(L_2), 폭(W)으로 구분한다(Korean National Police Agency, 2012). Table 1은 도로의 유형에 따른 점선의 규격을 L_1 , L_2 , W 를 중심으로 나타낸 것이다.

2) 기호

본 연구에서 선택한 노면 기호는 Figure 4의 네 가지다. 이를 선택한 이유는 보편성 때문이다. 아래 표시는 순서대로 기호1, 기호2, 기호3, 기호4라 하자.

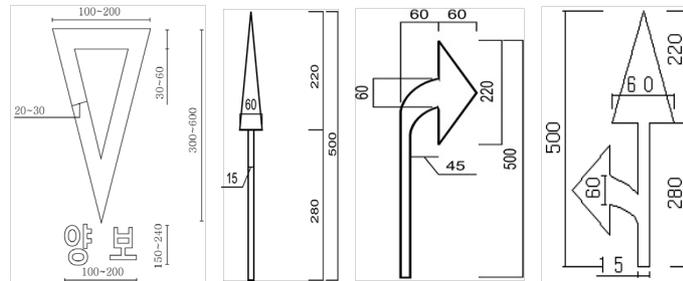


Figure 4. Pavement marking: sign

기호1에서 글씨를 제외한 나머지 부분에 대한 가로와 세로의 길이를 측정하여 직사각형 속에 넣어 보면 가로의 길이와 세로의 길이는 각각 200cm와 600cm이다. 기호2는 직사각형 속에 넣어 보면 가로의 길이와 세로의 길이는 각각 60cm와 500cm이다. 기호3은 가로와 세로의 길이가 각각 120cm와 500cm인 직사각형 안에 넣을 수 있다. 기호4는 가로와 세로의 길이가 각각 140cm와 500cm인 직사각형 안에 넣을 수 있다.

3) 문자(숫자)

본 연구에서 선택한 노면에 표시된 문자와 숫자는 아래 두 가지다. 아래 표시는 문자1, 문자2라 하자.

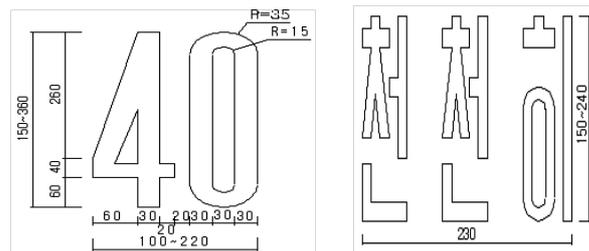


Figure 5. Road marking: letter and numbers

문자1에서 숫자 40의 가로의 길이와 세로의 길이를 측정하여 직사각형 속에 넣어 보면 가로의 길이와 세로의 길이는 각각 220cm와 360cm이다. 문자2는 직사각형 속에 넣어 보면 가로의 길이와 세로의 길이는 각각 230cm와 240cm이다.

2. 시간과 속도, 사영 등 수학적 기초

본 연구에서 사용되는 수학적 개념은 복잡하지 않다. 시간과 속도의 관계식, 사영, 삼각함수 등이다. 이에 대한 이해를 돕기 위해 간단히 살펴본다.

1) 시간과 속도의 관계식

도로 위에서 자동차의 속도는 일정하지 않다. 그러나 본 연구는 이상적인 속도에서 운전자의 눈에 보이는 노면표시에 대한 연구이므로, 일정한 속도를 가정한다. 사실 모든 도로는 제한 속도가 규정되어져 있다. 따라서 도로에 따른 가장 보편적인 제한 속도를 연구의 기준으로 삼았다. 본 연구에서는 세 유형의 도로, 즉 시내 도로, 국도, 고속국도를 선정하였고, 시내 도로는 60km/h, 국도는 80km/h, 고속국도는 100km/h를 기준으로 하였다.

속도 v , 이동한 시간 t , 이동한 거리 s 이면 $s = vt$ 인 관계가 있다. 이를 통해, 첫째, 제한속도 v km/h인 도로에서 L m이동하는데 소요되는 시간 t (초)는 $t = \frac{18L}{5v}$ (초)이고, 이동거리 L 는 $L = \frac{5v}{18}$ 을 얻는다.

2) 사영과 그에 따른 길이의 가변적 인식

우리가 운전하는 공간은 3차원 유클리드 공간(\mathbb{R}^3)이다. 그런데 운전자가 지각하는 것은 앞 유리창을 통해 보이는 2차원 공간이다. 운전자의 시각은 3차원 공간을 바라보고 있지만, 실제 지각은 평면 유리창에 투영하여 들어온다. Figure 6에서와 같이 운전자의 눈은 3차원 공간을 앞 유리창(2차원)에 투사하여 인식한다(Beak, 1991; Adler, 1967).

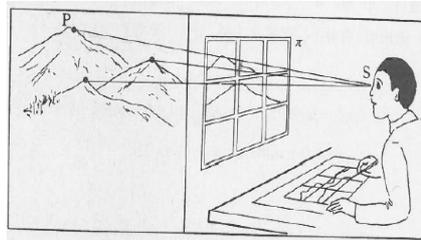


Figure 6. Projection

사영은 사영기하학의 가장 기본적인 개념이다. 사영 현상이 일어나면 길이가 보존되지 않는다. 가장 대표적인 사영이 정사영인데, 정사영에 의해 선분의 길이는 사영된 각의 크기에 종속되어 변한다(Lee, 1989). 예를 들어, Figure 7과 같이 선분 AB 가 평면 α 와 이루는 각의 크기를 θ 라 하면, 선분 AB 는 평면에 선분 $A'B'$ 으로 사영되고, 길이는 $AB \cos\theta$ 가 된다(kim et al., 2014).

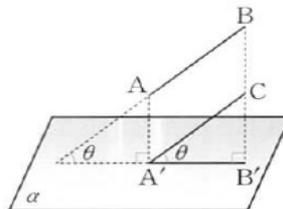


Figure 7. Orthographic

우리가 사물을 바라보는 행위는 사영에 의한 것이고, 사영은 곧 길이의 변화를 필연적으로 가져온다. 이러한 길이의 변화를 Figure 8을 통해 보면 명확하다. 분명, 서로 다른 도형이지만, 운전자의 눈에는 동일한 물체로 인식된다(Meserve and Izzo, 1969). 이러한 인식은 운전자가 노면에 표시된 기호나 문자를 바라볼 때, 왜곡 현상을 가져온다.

운전자가 사물을 바라볼 때, 왜곡현상이 일어나는 것은 분명하므로, 실제로 보이는 크기에 대한 정확한 이해가 필요하다. Figure 9의 왼쪽에서처럼 운전자의 시각 P에서 바라보는 물체가 서로 평행이 되는 평면 α 에 비친 길이로 인식된다는 것이다. 그림에서처럼, 삼각형 PAB가 이등변삼각형을 이룰 때, 선분 AB의 길이만큼으로 인식된다. Figure 9의 오른쪽 그림처럼 운전자가 사물을 바라볼 때, 비스듬한 평면 M' 에 비친 것으로는 인식되지 않는다.

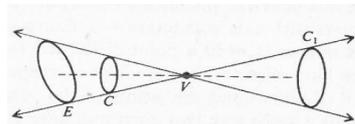


Figure 8. Projected figure

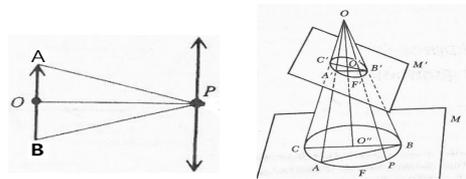


Figure 9. Perception of projected figure

3) 삼각함수

Figure 10과 같이 좌표평면 위에서 원점 O를 중심으로 반지름의 길이가 r인 원을 그리고, 시초선 OX를 각의 크기 θ 만큼 회전한 동경과 원주각의 교점을 P(x, y)라고 하면, $\sin\theta = y/r$, $\cos\theta = x/r$, $\tan\theta = y/x$ 을 구할 수 있는데, 이러한 함수들을 삼각함수라고 한다(Park, Jung and Ahn, 2013).

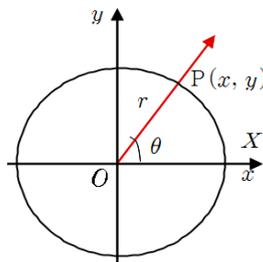


Figure 10. Definition(1)

또한 Figure 11에서 $\angle BAC$ 를 x° 라고 하면, $\tan x = a/b$ 가 되는데, 탄젠트의 값으로 a/b를 가지게 하는 각 x의 크기를 구하는 함수를 생각할 수 있다. 이 함수는 탄젠트 함수의 역함수로 $\tan^{-1}(a/b) = x$ 로 표현한다.

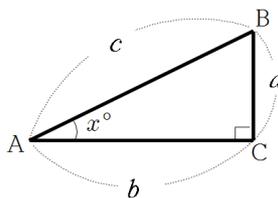


Figure 11. Definition(2)

3. 관찰각과 속도에 따른 이동 시간

1) 높이가 1.2m인 승용차

Ministry of Interior(2011)의 도로교통법 시행규칙에 따르면 운전자가 노면에 있는 기호, 문자를 인식하는 거리에 대한 규정은 없다. 하지만, 야간에 전조등을 비추고 관찰각에 대한 거리가 30m 라는 사실을 근거로 본 연구에서는 노면표시 인식 표준 거리를 30m로 설정하였다. Figure 12는 노면의 표시로부터 30m 거리에 있는 운전자의 눈의 높이가 1.2m일 때, 관찰각이 2.3°임을 보여 준다. 관찰각은 $\tan^{-1}(1.2/30) \approx 2.3^\circ$ 이 된다. 거리 x 에 따른 관찰각의 크기는 $\tan^{-1}(1.2/x)$ 이고, Table 2는 x 의 값에 따른 관찰각의 크기를 나타낸 것이다.

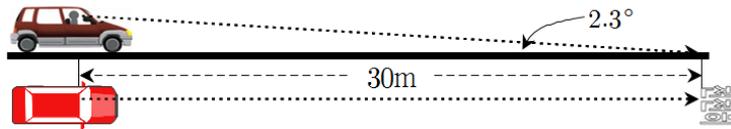


Figure 12. Viewing angle: 2.3°

Table 2. Viewing angle according to the distance(1)

distance(x m)	10	12	15	18	20	24	30
angle(°)	6.8	5.7	4.6	3.8	3.5	2.9	2.3

앞에서 얻은 공식 $t = 18L/5v$ 를 이용하여 이동거리에 따른 속도별 소요시간을 정리하면 Table 3과 같다.

Table 3. Taking time according to the distance

distance(m)	10	12	15	18	20	24	30	
angle(°)	6.8	5.7	4.6	3.8	3.5	2.9	2.3	
velocity (km/h)	60	0.60	0.72	0.90	1.08	1.20	1.44	1.80
	70	0.51	0.62	0.77	0.93	1.03	1.23	1.54
	80	0.45	0.54	0.68	0.81	0.90	1.08	1.35
	100	0.36	0.43	0.54	0.65	0.72	0.86	1.08

2) 높이가 1.5m인 승용차

이번에는 높이가 높은 승용차를 기준으로 살펴보자. Figure 13은 노면의 표시로부터 30m 거리에 있는 운전자의 눈의 높이가 1.5m일 때, 관찰각이 2.87°임을 보여 준다. 관찰각은 $\tan^{-1}(1.5/30) \approx 2.87^\circ$ 이 된다. 거리 x 에 따른 관찰각의 크기는 $\tan^{-1}(1.5/x)$ 이고, Table 4는 x 의 값에 따른 관찰각의 크기를 나타낸 것이다.



Figure 13. Viewing angle: 2.87°

Table 4. Viewing angle according to the distance(2)

distance(x m)	10	12	15	18	20	24	30
angle(°)	8.54	7.13	5.72	4.77	4.29	3.58	2.87

연구결과

본 연구에서는 SUV 승용차를 기준으로 운전자의 눈높이가 1.5m 인 경우로 제한하여 연구를 진행하였다. SUV 승용차의 시야에서도 노면에 표시된 글씨가 명확하지 않다는 점을 강조하기 위해 일반적인 승용차의 높이인 1.2m로 하지 않았다. 이를 통해 본 연구의 주장이 더 설득력이 있을 것으로 기대된다. Figure 14는 30m 거리에 대한 관찰각 2.29°, 35m 거리에 대한 관찰각 1.96°로 할 때, 도로 노면의 글씨에 대한 압축비 0.034202에 따른 운전자가 실제로 보이는 글씨의 모양을 나타낸 것이다. 이에 대한 내용을 구체적으로 살펴보자.



Figure 14. 30m view of letter

1. 압축비

압축비라는 용어는 본 연구의 효율적인 진행을 위해 새로 도입된 용어이다. 실제 노면에 표시된 세로의 길이와 운전자가 지각하게 되는 세로의 길이의 비를 이용하여 정의한다.

1) 압축비의 정의

도로는 직선이라고 가정한다. 직선 도로에서 노면 위의 글씨를 바라본다고 가정하자. 운전자의 시각에서 먼 거리에 있는 글씨의 경우, 관찰각에 따라 글씨의 상하 거리(Figure 15의 r_1)는 압축되어져 보인다(단, 글씨의 좌우 길이는 고정된 것으로 가정한다). 사영기하 입장에서 길이의 변화가 생긴 것으로 지각된다. 따라서 ‘원래 상하 거리’에 대한 ‘실제로 보이는 상하 거리’의 비를 압축비(S)라고 정의한다. 압축비는 가로 방향으로 길이가 일정하고, 세로 방향으로 길이가 줄어드는 비이다.

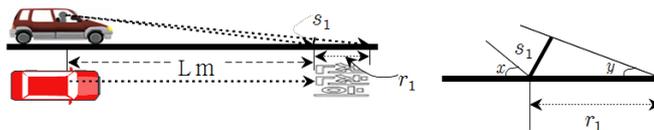


Figure 15. Compress ratio(1)

2) 거리와 관찰각에 따른 압축비의 값

노면표시의 상하거리를 r_1 , 그 표시의 상하 양 끝 지점을 바라보는 관찰각의 크기를 x, y 라고 할 때, 실제 보이는 거리 s_1 의 길이를 구해보자. 이때, $\frac{s_1}{r_1}$ 이 압축비이다. 현실 문제상황을 해결하기 위한 수학적 모델링에 의해 평면도형을 모델로 설정하면, 이 문제는 곧 삼각형 ABC에서 \overline{AB} 를 찾는 문제로 귀결시킬 수 있다(Figure 16 참조).

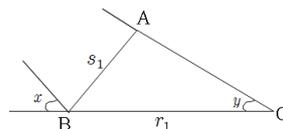


Figure 16. Compress ratio(2)

$\angle ABC = 90 - \left(\frac{x+y}{2}\right)$ 이고, $\angle BAC = 90 + \left(\frac{x-y}{2}\right)$ (Figure 16)이다. 삼각형 ABC에서 사인법칙을 적용하면

$s_1 : \sin y = r_1 : \sin\left(90 + \frac{x-y}{2}\right)$ 이 성립하므로, 이를 정리하면 s_1 의 값을 다음을 얻는다.

$$s_1 = \frac{\sin y}{\sin\left(90 + \frac{x-y}{2}\right)} \times r_1 = \frac{\sin y}{\cos\left(\frac{x-y}{2}\right)} r_1$$

이 식으로부터 운전자가 노면의 표시를 바라보는 관찰각이 x, y 일 때, 압축비 S는 다음과 같다. 이를 통해 볼 때, 압축비는 관찰각에 대한 함수이다.

$$S = \frac{s_1}{r_1} = \left\{ \frac{\sin y}{\cos\left(\frac{x-y}{2}\right)} r_1 \right\} \div r_1 = \frac{\sin y}{\cos\left(\frac{x-y}{2}\right)}$$

2. 노면에 표시된 기호와 문자에 따른 분류

앞에서 살펴본 압축비에 대한 정의를 이용하여, 운전자의 입장에서 노면표시까지의 거리에 따른 압축비를 구하면 Table 5와 같다. 연구 대상으로 선정된 여섯 종류의 표시에 대한 관찰각, r_1, s_1 , 압축비를 거리 10m, 20m, 30m로 구분하여 구한 값이다.

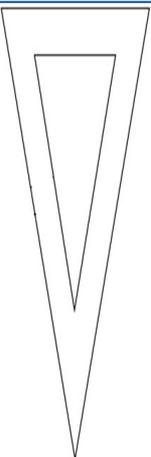
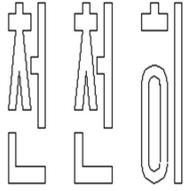
Table 5. Compress ratio of pavement markings

L & angle		10m		18m		20m		24m		30m	
		<i>x</i>	<i>y</i>								
sign 1	view angle(°)	8.54	5.36	4.77	3.58	4.29	3.30	3.58	2.87	2.87	2.39
	r_1 (cm)		600		600		600		600		600
	s_1 (cm)		56		37		35		30		25
	S		0.093		0.062		0.058		0.050		0.042
sign 2	view angle(°)	8.54	5.72	4.77	3.73	4.29	3.43	3.58	2.96	2.87	2.45
	r_1		500		500		500		500		500
	s_1		49		33		30		26		21
	S		0.099		0.065		0.060		0.052		0.042
sign 3	view angle(°)	8.54	5.72	4.77	3.73	4.29	3.43	3.58	2.96	2.87	2.45
	r_1		500		500		500		500		500
	s_1		49		33		30		26		21
	S		0.099		0.065		0.060		0.052		0.042
sign 4	view angle(°)	8.54	5.72	4.77	3.73	4.29	3.43	3.58	2.96	2.87	2.45
	r_1		500		500		500		500		500
	s_1		49		33		30		26		21
	S		0.099		0.065		0.060		0.052		0.042
letter 1	view angle(°)	8.54	6.29	4.77	3.97	4.29	3.64	3.58	3.11	2.87	2.56
	r_1		360		360		360		360		360
	s_1		39		25		23		20		16
	S		0.109		0.069		0.063		0.054		0.045
letter 2	view angle(°)	8.54	6.90	4.77	4.21	4.29	3.83	3.58	3.25	2.87	2.65
	r_1		240		240		240		240		240
	s_1		29		18		16		14		11
	S		0.120		0.073		0.067		0.057		0.046

3. 현재 도로 노면표시에 대한 실제 지각 상태

앞의 Table 5를 참고로 하여, 6종류의 노면표시들에 대한 거리별 실제로 운전자가 지각하는 모양은 Table 6과 같다.

Table 6. Real perception of pavement markings according to the distance

item	pavement marking	real perception	item	pavement marking	real perception
sign1		10m  20m  30m 	sign2		10m  20m  30m 
sign3		10m  20m  30m 	sign4		10m  20m  30m 
letter1		10m  20m  30m 	letter1		10m  20m  30m 

4. 분석 결과를 통한 노면표시에 대한 수학적 해법

1) 가독성에 대한 설문조사

설문조사를 위해서 현재 노면에 표시되어진 기호, 문자를 기준량으로 설정하고, 이 기준량으로부터 압축비를 1.0, 0.5, 0.2, 0.1, α 로 세분화하여 인식 가능한 표시를 모두 찾도록 하는 방식으로 설문을 진행하였다. α 의 값은 운전자의 눈높이 1.5m, 표시까지의 거리 30m일 때, 해당 표시에 대한 압축비이다. α 의 값은 기호나 문자의

종류에 따라 최소 0.042에서 최대 0.046까지의 범위에 있다. 설문 조사에 참여한 인원은 45명이다. 설문 조사의 결과는 Table 7과 같다. 이를 통해 볼 때, 압축비가 0.1이상일 때는 대부분의 응답자가 인식 가능한 것으로 나타났다. 따라서 압축비가 최소한 0.1 되도록 노면표시를 할 필요가 있다.

Table 7. Result of survey

item	response rate(%)				
	S=1.0	S=0.5	S=0.2	S=0.1	S=α
1	100	100	100	93.3	13.3
2	100	100	100	100	55.6
3	100	100	100	97.8	8.9
4	100	100	100	100	11.1
5	100	100	100	97.8	44.4
6	100	100	100	91.1	6.7
mean	100	100	100	97.78	26.66

2) 속도에 따른 노면표시에 대한 수학적 대안

노면표시에 대한 지각은 1(초) 정도의 여유가 필요하다. 따라서 Table 3으로부터 세 유형의 도로에 따른 노면표시의 인식을 위한 최소 거리를 구하면, 60km/h는 18m, 80km/h는 24m, 100km/h는 30m가 된다. 압축비가 작을수록 노면표시에 대한 인식이 용이하다는 장점이 있지만, 표시의 상하 길이가 길어지는 단점이 있다. 따라서 설문 조사를 바탕으로 대부분의 사람이 인식 가능한 S=0.1로 노면표시에 대한 대안으로 결정하였다.

여기서 새로운 수식이 필요하다. 현재 노면표시를 기준으로 압축비가 0.1이 되도록 기존 노면표시의 세로의 길이를 조정해 주는 것이다. 변경하고자 하는 노면표시의 압축비를 S, 현재 표시의 세로의 길이를 h, 압축비 0.1에서의 세로의 길이를 p라고 하면 다음 비례식을 얻을 수 있다.

$$S : h = 0.1 : p$$

이 식으로부터 변환식 $p = \frac{0.1h}{S}$ 를 얻을 수 있다.

(1) 60km/h 도로

기호 1은 가로와 세로의 길이가 200×600(cm)이다. 시속 60km/h의 속도로 달리면 1초 후 18m 거리를 이동하게 되고, 현재 노면표시로는 압축비가 0.062로 본 연구에서 설정한 0.1일 때의 모양보다는 식별이 어렵다. 따라서 S=0.1일 때의 크기에 맞추기 위해 변환식 $p = \frac{0.1h}{S}$ 을 통해 p=960을 근삿값으로 얻을 수 있다. 즉, 기호1의 노면표시는 200×960(cm)으로 수정할 필요가 있다. 이와 유사한 방법으로 본 연구 대상에 대한 새로운 기준을 설정하면 Table 8과 같이 정리할 수 있다.

Table 8. Length of 18m

(unit: cm)

item	sign1	sign2	sign3	sign4	letter1	letter2
horizontal×vertical	200×960	60×769	120×769	140×769	220×520	230×326

위의 표에 따라 기호1의 가로와 세로의 길이의 비를 200×960로 수정하여 제시하면 Figure 17과 같고, 문자 1의 가로와 세로의 길이의 비를 220×520로 수정하여 제시하면 Figure 18과 같다.

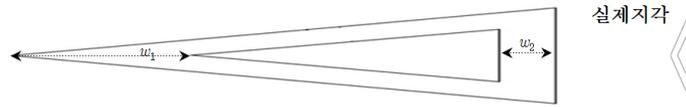


Figure 17. First adjustment of sing1

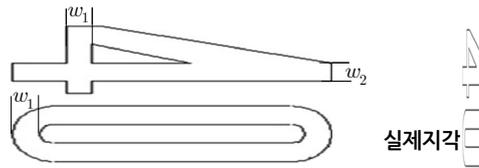


Figure 18. First adjustment of letter1

그런데, 이 모양을 18m 거리에서 보면 각각 , 와 같이 보이게 된다. 그림에서 w_1 부분과 w_2 부분을 비교해 보자. , 의 그림에서 w_1 부분은 인식이 가능하지만, w_2 부분은 폭이 거의 없는 것으로 지각된다. 그 이유는 먼 거리에서 운전자의 시각에서는 높은 압축비로 인해 w_2 를 이루는 두 선분 사이의 거리가 거의 없어지기 때문이다. 따라서 Table 8에서의 가로와 세로의 길이와 더불어 기호나 문자의 폭의 길이도 조절할 필요가 있다. Figure 19는 ‘서울’이라는 글씨를 10m 앞에서 본 사진이다. 매우 가까운 거리임에도 불구하고 ‘ㅇ’, ‘ㅍ’, ‘르’이 거의 구분이 되지 않는다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 세로 방향으로 글씨의 폭을 조절할 필요가 있다.

이러한 점을 고려하여 압축비에 의해 수정된 표시를 다시 재수정할 필요가 있다. Figure 17과 Figure 18에서 w_1 에 해당하는 부분의 폭을 2배로 확대하여 최종 노면표시를 Figure 20과 Figure 22와 같이 제안할 수 있다. 나머지 기호와 문자에 대한 제안은 Table 8을 기준으로 동일한 방법으로 제안할 수 있다.



Figure 19. Perception of letter: 10m

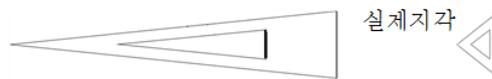


Figure 20. Final adjustment of sing1



Figure 21. Final adjustment of letter1

(2) 80km/h 도로

기호1은 가로와 세로의 길이가 200×600(cm)이다. 시속 80km/h의 속도로 달리면 1초 후 24m 거리를 이동하게 되고, 현재 노면표시로는 압축비가 0.050로 본 연구에서 설정한 0.1일 때의 모양보다는 식별이 어렵

다. 따라서 $S = 0.1$ 일 때의 크기에 맞추기 위해 변환식 $p = \frac{0.1h}{S}$ 을 통해 $p = 1198$ 을 근삿값으로 얻을 수 있다. 즉, 기호1의 노면표시는 200×1198 (cm)으로 수정할 필요가 있다. 이와 유사한 방법으로 본 연구 대상에 대한 새로운 기준을 설정하면 Table 9와 같이 정리할 수 있다. 시속 60km와 같이 동일한 방법으로 노면표시에 대한 대안은 Table 9와 같다.

Table 9. Length of 24m (unit: cm)

item	sign1	sign2	sign3	sign4	letter1	letter2
horizontal×vertical	200×1198	60×968	120×968	140×968	220×663	230×423

(3) 100km/h 도로

기호1은 가로와 세로의 길이가 200×600 (cm)이다. 시속 100km/h의 속도로 달리면 1초 후 30m 거리를 이동하게 되고, 현재 노면표시로는 압축비가 0.042로 본 연구에서 설정한 0.1일 때의 모양보다는 식별이 어렵다. 따라서 $S = 0.1$ 일 때의 크기에 맞추기 위해 변환식 $p = \frac{0.1h}{S}$ 을 통해 $p = 1439$ 을 근삿값으로 얻을 수 있다. 즉, 기호1의 노면표시는 200×1198 (cm)으로 수정할 필요가 있다. 이와 유사한 방법으로 본 연구 대상에 대한 새로운 기준을 설정하면 Table 10과 같이 정리할 수 있다. 시속 60km와 같이 동일한 방법으로 노면표시에 대한 대안은 이 표를 이용하여 제작할 수 있다.

Table 10. Length of 30m (unit: cm)

item	sign1	sign2	sign3	sign4	letter1	letter2
horizontal×vertical	200×1439	60×1170	120×1170	140×1170	220×806	230×519

결론 및 제언

결론을 내리면서 Figure 22를 통해 본 연구의 의도를 전달하고자 한다. 이 그림을 아래쪽 바닥 방향에서 위로 바라보면, 어떻게 보이는지 관찰해 보자.

본 연구는 수학을 전공한 수학교육자이면서 한 명의 평범한 운전자의 입장에서 도로 노면에 표시된 정보를 수학의 시각으로 바라본 연구로서, 수학답사활동을 다니면서 도로 위에서 느낀 연구자의 수학적인 관점을 드러낸 것이다. 운전 중 노면에 표시된 정보가 명확하게 전달되지 않는다는 불편함의 원인을 수학의 관점에서 진단하고, 그 결과를 바탕으로 바람직한 노면표시에 대한 대안을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 도로 노면표시에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 거리에 따른 글씨의 인식 정도를 수학적으로 분석하기 위한 도구로 '압축비'를 사용하였다. 압축비는 노면에 표시된 기호와 문자들의 상하 거리에 대한 실제로 보이는 상하 거리의 비를 압축비로 도입하였다.

둘째, 압축비를 구하는 공식을 수립하였다. 노면표시에 대한 두 관찰각을 x, y 라 하면 압축비 S 는 $\frac{\sin y}{\cos(\frac{x-y}{2})}$ 이 된다.

셋째, 연구 대상으로 선정된 여섯 종류의 노면표시에 대한 관찰각, r_1, s_1 , 압축비를 10m, 20m, 30m로 구분하여 구하였고, 이를 통해 실제로 운전자가 보이는 노면표시의 모양을 결정하였다.

넷째, 압축비 및 실제로 운전자가 지각하는 노면표시에 대한 정보로부터 수학적 분석을 통해 노면표시에 대한 대안을 제시하였다. 노면표시는 운전자가 노면표시에 도달하기 1(초) 전의 위치를 기준으로 하였고, 그 결과 60km/h에서는 18m, 80km/h에서는 24m, 100km/h에서는 30m 이고, 이 거리가 노면표시에 대한 관찰각의 기준이 되었다.

본 연구를 마무리하면 결론적으로 다음과 같은 두 가지 측면에서의 노면표시의 대안적 방법을 제시할 수 있다.

첫째, 압축비의 관점에서 노면표시를 개선하는 방법이다. 이 방법은 세로의 길이를 대폭 확대함으로 인해 운전자

에게 명확한 정보를 정확하게 제시할 수 있다는 장점이 있지만, 세로의 길이가 지나치게 확장되어 노면표시 작업의 현실적인 어려움이 발생할 수 있다는 단점이 있다.

둘째, 가로 방향의 폭을 고정한 상태에서 세로 방향의 폭의 길이의 조절을 통해 개선하는 방법이다. 즉, Figure 18의 w_1 의 폭을 Figure 21과 같이 2배 이상 크게 하는 방법이다. 이 방법은 가로와 세로의 길이의 비를 조절하지 않는다는 면에서 다소 노면표시의 왜곡이 발생할 수 있지만, 세로 방향의 폭을 조절함으로 인해 노면표시의 선명도를 높일 수 있다는 장점과 더불어, 노면표시 작업이 현재와 크게 차이나지 않는다는 측면에서 작업의 편리성이 있다.

셋째, 압축비와 세로 방향의 폭을 동시에 조절하여 개선하는 방법이다. 이 두 부분을 모두 고려하는 것이 가장 이상적이다. 글씨에 대한 명확성과 더불어 선명도까지 함께 높일 수 있다는 측면에서 장점이 있다.

본 연구에서 제안한 노면표시에 대한 수학적 분석 결과는 수학적 관점에서 바라본 결과로 다른 측면은 고려하지 않았다. 본 연구 결과를 활용하기 위해서는 노면표시에 대한 체계적인 재분석 작업이 선행되고, 이를 바탕으로 표준화된 노면표시 방법에 대한 수학적 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 기대된다. 본 연구 결과의 실제적인 적용이 된다면, 운전자가 도로 상에서 정확한 정보를 신속 정확하게 수집할 수 있을 것으로 기대되며, 이를 바탕으로 안전한 교통 문화 정착을 위한 기틀을 다질 것으로 기대된다.



Figure 22. Compression letter

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government (NRF-2013S1A5A8023979).

REFERENCES

- Adler C. F. (1967), Modern geometry, McGraw-Hill, 128-148.
- Beak Y. B. (1991), Modern geometry, Kyohak Yeonusa, 115-116.
- Choi K. J., Lee S. H., Yoon I. S., Lee Y. J. (2014), A Methodology Development for Estimating the Retroreflectivity of Pavement Markings and Traffic Guide Signs Using Digital Images, Journal of the Korean Society of Civil Engineers., 34(1), Korean Society of Civil Engineers, 185-194.
- Kim W. K., Jo M. S., Bang G. S., Yoon J. K., Jo J. K., Lee K. J., Kim K. T., Park S. Y., Park J. S., Park J. H., Yoon Y. S.,

Jung S. I. (2014), Geometry and Vector, BisangKyoyeok, 122-125.
 Korean national police agency (2012), Pavement Marking Manual, Bunshinsa.(경찰청 교통노면표시 설치 관리 매뉴얼)
 Lee S. H. (1989), Analytic geometry, JinmeoungMoonhwasa, 14-16.
 Meserve B. E., Izzo J. A. (1969), Fundamentals of Geometry, Addison-Wesley Pub, 131.
 Ministry of interior (2011), Enforcement Regulations of the Road Traffic Law, No.213.
 Park J. M., Jung S. Y., Ahn J. H. (2013), Calculus, ShinSung, 19-23.
 Shin K. W. (2013), Drivers' Understanding of Traffic Pavement Markings, Journal of the Korean Society of Civil Engineers., 33(2), Korean Society of Civil Engineers, 711-718.
 Tark J. H., Shin K. W. (2012), A Recognition Analysis of Pavement Markings, The 60th Conference of KST, Korean Society of Transportation, 468-473.

〈부록〉 설문지

아래 기호 혹은 문자(숫자)를 보고, 인식 가능한 해당 번호에 ○표를 하십시오.

설문1) ①	설문2) ①	설문3) ①	설문4) ①	설문5) ①	설문6) ①