

□ 論 文 □

道路交通에 있어서 運轉者 注視特性分析

Study on Analysis of Driver's Visual Characteristics in Road Traffic

金 大 雄

(嶺南大學校 都市工學科)

林 采 文

(大邱大學校 土木工學科)

目 次

I. 序 論

- 1. 研究目的
- 2. 研究背景
- 3. 研究內容 및 方法

II. 資料調查의 概要

III. 注視點에 對한 統計的性質과 注視分布

- 1. 個人 屬性에 對한 注視特性
- 2. 注視點 分布의 統計的 性質

3. 注視分布 特性의 考察

IV. 注視特性의 定量的 分析

- 1. 車線別 注視點 分析
- 2. 速度에 對한 注視點 分布
- 3. 道路線形에 對한 注視點 Model
- 4. 景觀要素에 對한 注視時間 比率

V. 結 論

ABSTRACT

In road traffic, road circumstances, vehicle, and driver are closely related each other. When road facilities are established in road planning, only road structure has been considered. However, relatively little work has been done regarding the relation between road circumstances and human with respect to a driver.

This dissertation focuses on analysis of driver's visual characteristics to improve road circumstances. In this study, driver's visual characteristics are measured with eye-mark recorder and analyzed statistically.

This study includes that visual characteristics, visual range, visual time, distribution of fixation duration, and visual moving angle with respect to road circumstances are established qualitatively and quantitatively by driving testing vehicle on streets, roads and highways. The main features of this study are : The driver's visual ranges are different over 10% depending on lane in multi-lanes. The visual range on two-lanes is more than twice as big as that on multi-lanes at 85% of whole vision. The right and left visual ranges by speed are 34° for 30-50km/hr, 28° for 50-70km/hr, 22° for 70-90km/hr and 16° for over 90km/hr at 95% of visual rate. Accordingly, increasing speed results in narrow visual range.

I. 序 論

1. 研究目的

自動車 交通이 大衆化되고 車輛이 增加하므로 交通混雜 및 交通安全에 대한 社會問題가 크게 擡頭되고 있다. 특히 道路의 線形 및 交通安全施設物이 가지는 問題點은 交通事故의 중요한 要素가 되고있다. 이와 같이 交通安全에 대한 중요한 要素로는 道路의 構造的인 問題와 運轉者의 視野에 관련된 道路環境을 들 수 있다. 道路交通에 있어서 交通의 3요소인 道路環境, 自動車, 運轉者는 相互 關聯에 의하여 走行하고 있으나 道路問題에 있어서 從前에는 構造的인 問題를 重要하게 취급하여 道路設計에 이용되어 왔지만 실제로 運轉者를 主體로 해서 道路環境과 人間과의 相互 對應關係를 적용한 일은 드물다. 즉 高速道路는 물론 一般國道에서도 最近 道路環境을 정비하여 安全한 走行을 하도록 설계하고 있으나 運轉者 注視能力 以上을 要求하거나 危險負擔을 갖고 意思決定을 하여야 하는 부분이 있다. 그러므로 道路環境은 運轉者의 視覺特性을 根據로 道路設計나 交通安全施設物 配置에 고려되어야 한다고 본다. 運轉者의 視覺特性을 分類하면 知覺-反應時間, 視覺, 視野, 注視距離, 距離判斷, 物體感知 등을 들 수 있다. 특히 運轉者의 個人屬性등에 차이는 있으나 統計測定의 結果에서 본다면 80%이상을 視覺에 의존하고 있으므로 運轉者의 注視點 觀察이 道路環境의 絕對的인 요인이 되고있다.^{1), 2)}

우리 나라는 道路의 技術的인 면에서 많은 研究가 進行되고 있으나 道路環境面에서는 아직 研究가 未備한 상태이며 우리나라 運轉者들의 運轉特性 및 注視特性을 無視하고 여러가지 交通安全施設物을 그대로 模倣하고 있는 실정이다.

본 論文에서는 運轉者를 主體로 하여 道路環境과 注視와의 상호대응關係를 동일화면에 연상시켜 道路環境을 運轉者가 利用하고 있는 상태를 實驗의 方法으로 규명하고자 하였다. 특히 차량

운행중 道路의 상태, 운행속도에 따라서 運轉者의 시각적 特性을 分析함으로써 道路의 環境을 運轉者가 利用하고 있는 注視特性을 分析하는데 研究目的이 있다.

2. 研究背景

運轉者의 행동과 道路環境間의 關係는 여러 方法으로 규명하고 있지만 最近에는 運轉者의 注視特性을 分析함으로써 접근하고있다. 運轉者 注視特性에서 제일 중요한 것은 視覺 및 認知이다

視覺은 醫學分野에서 研究가 進行되어 왔으며 最近에는 應用科學 分野(人體工學, 交通工學)에서도 연구가 많이 進行되고 있다.

視覺特性에 관한 研究는 크게 눈의 움직임 자체에 대한 臨床醫學 또는 心理的 메카니즘 (mechanism)에 관한 內的研究와 注視行動과 그 對象物의 關聯性에 관한 外的研究를 나눌 수 있다.

內的研究는 눈의 움직임에 對한 研究로서 30°/sec 以下の 速度로 對象物을 連速注視(追跡運動)할 境遇 빠른 움직임과 停止行爲가 反復하는 現狀에 對해 Dodge^{3), 4)}등이 研究하였다. 注視中 完全히 停止하거나, 微小한 움직임에 對한 研究는 Lord and Wright⁵⁾, Hartridge and Thomson⁶⁾, Ratiff and Riggs^{7), 8)}, Barlow⁹⁾, Ditchburn and Gimsborg¹⁰⁾ 등이 研究하였다. Robinson¹¹⁾등은 눈의 微小運動에 對해 變化를 測定하여 눈을 움직이는 것은 筋肉群의 均衡 (Balance)에 있다고 하였으며 Alder and Fliegelman¹²⁾, Ratiff and Riggs, Higgins and schultz¹³⁾, Pritchard¹⁴⁾등은 눈의 微小移動에 對한 定量的 性質을 振動數와 振幅 등으로 究明하였다. Barlow의 研究에서는 微小移動(Saccadic movement)의 크기는 6'을 超過하는 境遇는 거의 없으며 Ratiff and Riggs의 報告에서는 5'以上은 없은 것으로 記錄되어 있다.

外的研究는 注視點 視野內의 空間의 分布中, 自由探索에서의 注視點의 空間의 分布¹⁵⁾ (Ford,

White)周邊을 보고 中心을 보는 4角形 分布를 하고 있으며, 畫상의 注視點分布¹⁶⁾(NHK研究所)는 T, V畫面에서 停止하고 있는 線上의 對象物에 대한 눈의 移動은 적으나 對象物을 찾을 때 注視點이 빠르게 移動하며 反復한다고 하였다. 이것은 注視對象物에 따른 注視點移動의 原因으로 볼 수 있다. 外的研究의 對象이 되는 自動車 運轉者의 注視行爲의 研究는 光學的 精密測定 裝置의 開發과 함께 1970年을 前後하여 많이 發展되어 왔다. 交通工學에서는 運轉者의 人間工學的 側面과 道路設計와의 結付에 關心을 두게 되며 이러한 研究에는 視野內의 注視點의 空間的 分布, 하나의 對象을 注視하는 時間에 關한 統計의 性格, 道路環境과 注視行動과의 關係, 注視하는 對象과 注視時間 比率등의 研究가 있다. 그 中에서 代表的인 研究로서는 自動車 運轉中의 注視點 分析¹⁷⁾(三浦武天;1970), Simulation 技法을 利用한 눈의 追跡運動에 關한 研究¹⁸⁾(White, and A. Ford; 1960), 運轉者의 視野研究¹⁹⁾(Robinson, G. H, D. T. Brickson, G. L. Thursion, & R. L. Clark, 1972), 高速道路 工事 區間에 있어서의 注視點의 研究²⁰⁾(小林實;1972), 重要한 道路위를 運轉할 때 運轉者 눈 움직임의 特徵²¹⁾(毛利正光) 등 多數의 論文이 있다.²²⁻³³⁾ 그러나 運轉者의 注視特性을 利用하여 交通施設物의 設計 등에 應用된 事例는 아직 微小함으로 앞으로 研究가 必要한 實情이다. 現在 우리 나라에서는 注視特性에 關한 研究가 全無한 實情이므로 注視點에 關한 調查分析을 通하여 實際面에서 發生되는 問題를 研究할 必要가 있다고 思料되며, 앞으로는 이와 같은 實驗的 研究論文의 蓄積이 要望된다.

3. 研究內容 및 方法

각 注視點 측정은 運轉者의 주시거동을 道路 形態別, 速度別로 구분하여 運轉者의 注視點 座標와 注視點과 運轉者間의 距離, 注視點에 대한 運轉者의 注視狀態를 각 항목별로 측정하였다. 測定資料를 注視分布에 대해서 統計的 性質과 注

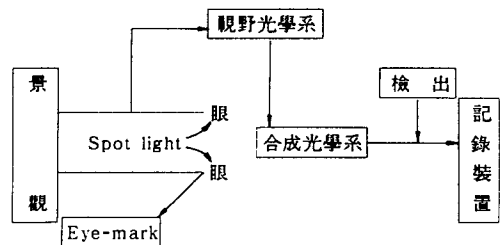
視特性의 定量的 分析을 하였다. 統計的 性質分析은 運轉者의 個人屬性에 대한 인자분석과 注視點 分布 Model을 구하였으며, 道路形態別로 市街地街路, 國道, 高速道路에 대한 주시빈도수와 주시각도를 水平軸, 垂直軸으로 분리하여 分布特性을 구하였다.

注視特性의 定量的 分析은 車線別, 速度別, 道路線形別, 景觀要素別로 注視特性을 分析하였다. 이상의 각 특성치를 利用하여 運轉者가 道路施設物을 利用하고 있는 주시상태를 定量的으로 정리하였다. 앞으로 이와 같은 注視點 分布 特性을 利用하여 道路의 施設物 및 道路設計에 적용 및 운영에 利用 가능할 것으로 본다.

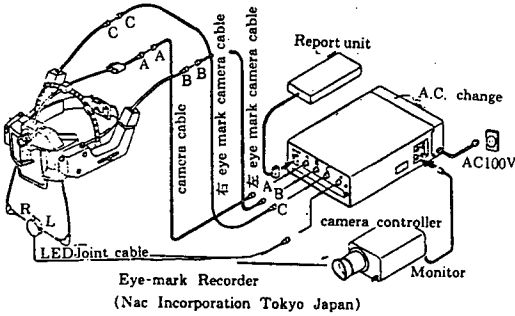
II. 資料 調查의 概要

조사용 실험기계는 眼球運動의 측정방법으로 被驗者의 눈의 活動을 직접 관찰할 수도 있으나 誤差가 크게 일어나므로 最近에는 光學的 方法으로 Eye Mark Recorder에 의하여 注視 特性을 分析하고 있다.

Eye Mark Recorder에 依한 眼球 變位置 檢出은 眼球에 光線을 보내면 그 光線이 眼球表面에서 反射한다. 그 反射은 안구내에서 虛像이 되어 光原이 축소한 像이 된다.³⁴⁾ 이 기계는 3대의 카메라로 構成되어 있으며 중심부에 있는 것은 前方 화면을 攝影하고 양쪽측면에 있는것은 左右 눈의 초점을 攝影하여 이것을 合成光學系(그림 1)에 합성되어 하나의 畫面에 영상시키는 裝置이다. 본 연구에 사용한 기계는 (그림 2)와 같다.



(그림 1) The Principal of Eye Mark Recorder



〈그림 2〉 Eye Mark Recorder

■ 조사지점의 선정은 다음과 같다.

- a) 市街地街路는 직진구간과 交叉點으로 구분하고 交通流의 특성이 相異한 1次에서 3次 순환선을 통과하는 大邱市 동서관통도로 (50師團에서 남부정류장)인 大東, 大西路를 선정하였으며, 交叉點구간은 원호청 交叉點-영대 交叉點-명덕 Rotary-계대 交叉點-원호청 交叉點을 잇는 循環區間을 선정하였다.
- b) 一般國道는 왕복 2차선 국도로서 平面 및 縱斷曲線이 많고 도로표지가 많은 國道 30號線 (大邱 - 星州)을 선정하였다.
- c) 高速道路는 西大邱 I, C에서 東大邱 I, C까지 선정하였다.

■ 被驗者의 선택은, 人的要素인 個人屬性과 운전경력에 따라 분류하였으며 구간별로 25명을 조사하였다. 운전경력은 3年以下, 3~5年, 5~10年, 10年 以上으로 4단계 분류하고, 年齡을 30代, 40代, 50代로 하고, 學力은 大學, 高等, 中學 및 國卒로 구분하였다.

■ 실측하는 방법은, 被驗者는 實驗車 (Stellar 1500cc와 Pony1 1500cc)의 운전석에 앉은 다음 被驗者의 눈의 높이를 측정하여 被驗者 視準의 중심부 座標 (0, 0)와 일치되게 車 유리판에 X, Y座標를 설치한 다음에 Eye Mark Recorder를 머리에 착용한다. 被驗者가 注視對象을 보고 있는 물체와 화면상에 나타난 注視

對象물체가 Monitor에서 +, □가 일치하도록 X, Y 조정나사를 利用하여 일치시킨다. 다른 한 사람은 뒷 좌석에서 Monitor에 연결된 Video Camera에 依해서 時間作動 與否 등을 확인하며, 撮影을 행한다.

이상과 같이 撮影할 경우 문제점은 視野의 범위가 한정되어 있고 어두운 장소에서는 사용할 수 없으며 머리에 機械를 고정시키므로 行動에 制限이 있고, 長時間 사용할 경우 頭痛을 呼訴하는 경우가 있으며 機構設置가 어렵고 +, □ mark를 일치시키는데는 상당한 熟練을 要하므로 檢測까지 運轉者의 疲勞現象이 일어나지 않도록 注意를 要하였다.

■ 조사방법은 Tape의 내용과 그 때에 錄音된 내용 (速度, 認知狀態)을 중심으로 하여 Computer에 入力시키기 위하여 分析項目에 Code Number를 부여하였으며 그 내용은 水平軸, 垂直軸座標 (X, Y axis), 注視對象物 (Object)은 道路環境中에서 被驗者가 注視하고 있는 對象을 22個로 구분, 速度 (Speed)는 5等級으로 구분, 道路構造 (Road Factor)는 道路의 構造의인 형태를 직선구간, 交叉點, 가드레일, 교량, 곡선반경 등 31個로 구분, 車線別 (Lane), 先行車 (for-Wade) 유무, 追越車 (Pass-Car), 勾配 (Grade) 등을 연속화면 중에서 1/12"간격으로 입력 번호를 기입하였다.

그 내용은 〈표 1〉과 같다.

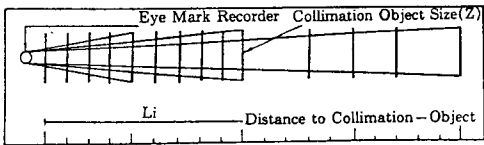
■ 畫面上에서 實距離 算定은 道路施設物의 規格 및 幅을 實測하고 Monitor 上에 나타난 畫象의 길이를 測定하면 注視點에서 부터 注視對象物까지의 實距離를 구한다. 측정방법은 〈그림 3〉과 같이 注視點에 Eye Mark Recorder를 設置하고 直線區間의 距離 Li되는 地點에 크기가 Z인 注視對象物을 設置하여 撮影하면 Monitor上에서는 注視對象物의 크기가 Zi로 된다. Zi값과 Z의 값을 利用하여 縮尺 (Si)를 求하면 다음 式과 같다.

$$Si = Zi / Z \dots\dots\dots (2.1)$$

〈表 1〉 Layout of Fixation Point Analysis

X, Y axis	Objection	Speed	Road	Factor	Lane	Lead-Car	Pass-Car	Grade
X좌표	01 로면	1. 저속도	1 직진구간	31 R50	첫째칸 :	0.50 m 전	○추월하지	○경사도0
Y좌표	02 로건	5-30km/h	2 직진구간	32 R400	전체차선수	방에 선형	않는다.	1 : 3%
	03 도로중심선	2. 중속도	(가로분리)	33 R40	차선수	차 없다.	1. 추월중	2 : 4%
	04 선형차	30-50km/h	3 원호칭 I	34 R100	둘째칸	1. 선형차	2. 신호	3 : -4%
	05 자전거	3. 보통속도	4 영대 I	35 R250	실측차선수	가 있다.	' 대기중	4 : 5%
	오토바이	50-70km/h	5 명덕 R	36 R75	Ex)5.2			5 : -5%
	06 보행자	4. 고속도	6 계대 I	37 R45	5차선중			
	07 허공	70-90km/h	11 교 랑	38 R150	2차선			
	08 주위환경	5. 초고속도	20 고속도로	39 R100				
	09 반사경	90-110km/h	곡선부	40 R500				
	10 대향차		21 가드레일	41 R160				
	11 건물		구간	42 R300				
	12 추월차			43 R200				
	13 중앙분리대			44 R150				
	14 소멸			45 R150				
	15 신호등			46 R60				
	16 주의표시			47 R40				
	17 규제표시			48 R80				
	18 지시표시			49 R60				
	19 보조표시			50 R200				
	20 안내표시			51 R100				
	21 로면표시			52 R30				
	22 차내			53 R50				

Note : 1 : Intersection
R100 : radius of curve is 100 m



〈그림 3〉 Method Photographing the Some Collimation-Object Size According to the Distance

縮尺(Si)을 獨立變數로, 距離(Li)를 從屬變數로 하여 非線形 回歸 Model式을 求하면 그 Model式(2.2)과 같다.^{35), 36)}

$$Li = e^{-1.0461} \quad Si^{-1.165395} \dots \dots \dots (2.2)$$

여기서, 信賴範圍 95%에서
R-squared 95.5%
t=3.157 (5%有意水準 1.68)
F=275.810 (5%有意水準 4.08)

이므로 有意하다.

調査資料 分析中 先行車의 有無判定은 乘用車와 大型車 2가지로 分類하고 乘用車 車幅(1.70 M), 大型車 車幅(2.50M)로 하여 先行車 有無判定은 實驗車와 先行車間의 實距離를 市街地街路, 國道는 50M, 高速道路는 100M以內에 있으면 先行車가 있는 것으로 하였다. 實距離 算定은 式(2.2)에 依하여 計算한 結果, 乘用車가 先行車인 境遇 畫面象의 長이가 國道, 市街地街路

는 2.41cm 이상, 高速道路 1.50cm 이상이면 先行車가 있다고 본다. 大型車가 先行車인 境遇 畫面의 길이가 國道, 市街地街路에서는 3.55cm 이상, 高速道路 2.20cm 이상이면 先行車가 있다고 보았다.

Ⅲ. 注視點에 對한 統計的 性質과 注視分布

1. 個人屬性에 對한 注視特性

運轉者의 注視特性은 도로환경조건에 따라 크게 다르다고 볼 수 있다. 그러나 道路環境이 일정할 때 注視特性이 被驗者의 個人屬性에 따라

차이가 있는지를 다변량 配置法에 의하여 分析을 하였다.³⁷⁾ 개인별 屬性은 운전경력, 연령, 학력 등으로 구분하였으며, 조사대상은 영대 의 대 交又點에서 명덕 Rotary 구간을 택하였다. 注視特性分析의 자료는 X, Y 座標를 從屬變數로, 運轉者 個人屬性을 독립변수로서 反復이 있는 다원 配置에 對한 MANOVA (Multivariate Analyses of Variance)로 解析하여 모든 집단 的 중심값(혹은 平均 Vector)들은 서로 동일하다는 假定 아래서 分析하였으며, 그 결과는 <表 2>와 같다.

<表 2> Values and Significances by MANOVA

Factor	F value		Significance of F	
	X	Y	X	Y
Carrier	0.318	5.073	0.573	0.024
Age	7.340	52.980	0.007	0.000
Education	1.783	35.561	0.182	0.000
Carrier X Education	8.454	0.656	0.004	0.418
Age X Education	3.960	31.090	0.047	0.000

운전경력, 학력의 경우 有意水準 5%에서 假說이 棄却되므로 X좌표에 어느 정도 영향을 준다. 運轉經歷과 學歷의 상관관계는 Y座標에 영향을 미친다는 결과가 나왔다.

위의 분석에서 대체적으로 運轉者의 注視特性은 運轉經歷과 學歷에 따라 左, 右 注視特性에 어느 정도 差異는 보이나 대체로 동질의 성격으로 볼 수 있다고 판단되므로 그룹간 요인간의 분리분석은 행하지 않았다.

2. 注視點 分布의 統計的 性質

교통현상에 대응하여 運轉者 대상주시의 諸特性을 數的으로 數量化하고 注視點 分布를 平均 좌표로 分析하였다. 실험자료에 대하여 注視特性을 分析을 하기 위하여 度數分布를 작성하여 特定值의 변동사항을 관찰하고 注視點에 대한 水平, 垂直에 대해 Plot 하여 頻度分布를 통계 처리 하였다.

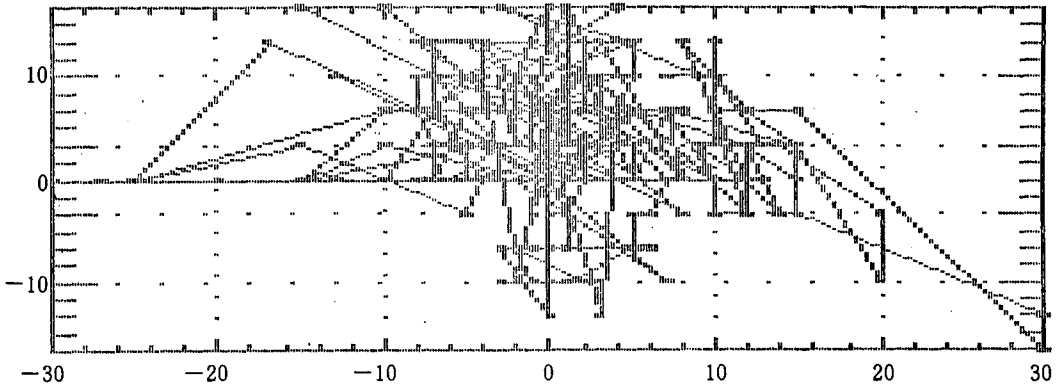
그 중 시가지가로의 自由走行인 경우 被驗者의 水平軸 주시점각도와 垂直軸 주시점각도의 상관관계를 Line plot하여 注視點의 注視分布 Pattern을 나타내면 <그림 4>와 같다.

수평축, 수직축에 대한 注視點의 度數分布 형태는 觀察頻度가 많고 중앙에 집중하고 있으므로 對稱形 度數分布(Symmetrical Frequency)로 보고 正規分布에 적합시켰다.

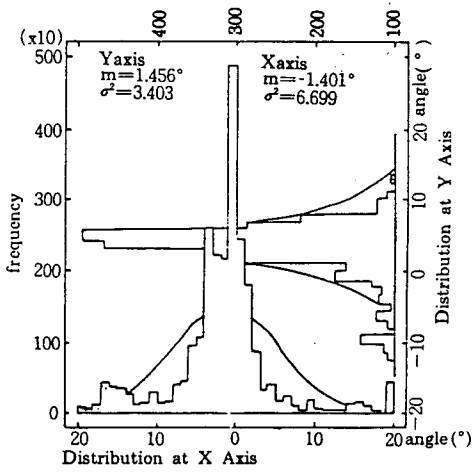
正規分布는 確率變數를 注視點 移動角度(θ)에 의한 주시점 관찰도수로서 理論値와 實測値에 대한 適合性을 검토하였으며, 검토방법은 χ^2 -Test 檢定法으로 하였다.³⁸⁾ 도로종류별 및 도로구조별로 정규분포에 적합시켜 χ^2 -Test를 실시한 결과 유의수준 5% 범위에서 (2° 간격으로 조정) 유의하였으며 <그림 5>와 같다.

3. 注視分布 特性의 考察

운전자의 注視點 分布特性은 도로환경 조건에



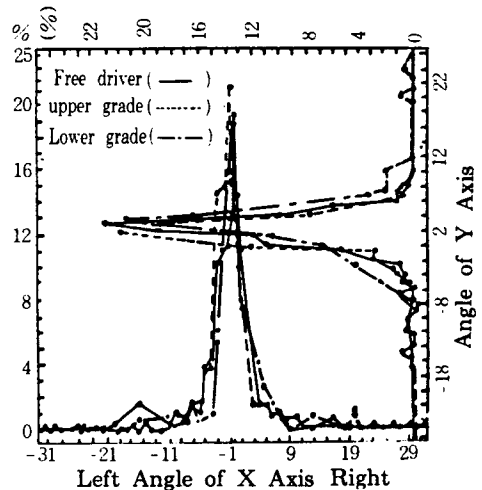
〈그림 4〉 Line Plot of Free Driver (Fixation point)



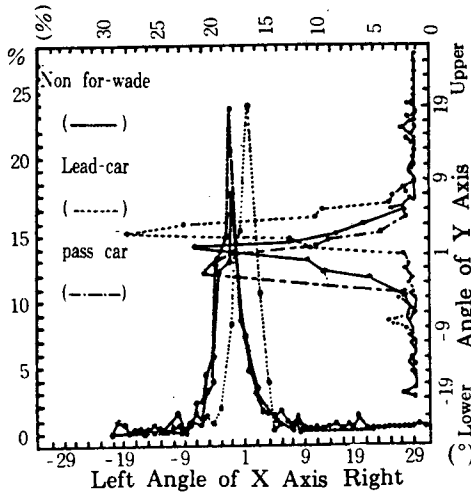
〈그림 5〉 Observed and Theoretical Distribution of Free

따라서 다르게 나타나고 있다. 그러나 도로환경이 일정할 때 개인속성은 다변량 분석에서 크게 차이가 없으므로 구별간 요인별 분석은 행하지 않았다. 분석구간은 다음과 같다. a) 市街地 幹線道路는 직진구간, 교차점구간, 정지구간으로 구분하고 b) 國道區間은 직진구간, 곡선구간으로 하여 상, 하행선으로 구분하고 c) 高速道路區間은 직선구간, 곡선구간, 가드레일, 램프구간으로 분류하여 분석하였다.

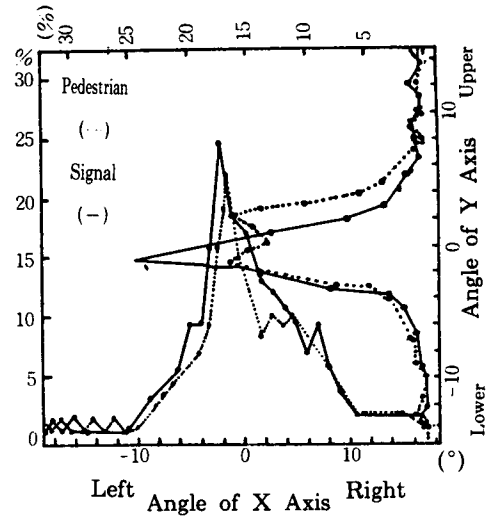
주시점분포를 각 구간요인별로 주시빈도수와 주시각도에 대한 수평축과 수직축으로 분리하여 도표화한 것은 〈그림 6~13〉과 같다. 또 각 구간에 대한 전체 주시범위 중 50%, 85%, 90%에 대하여 주시범위를 구하였다. 그 중에서 고속도로의 주시시야 누적분포상태는 〈表 3~4〉와 같으며, 이상 결과를 다음과 같이 요약하였다.



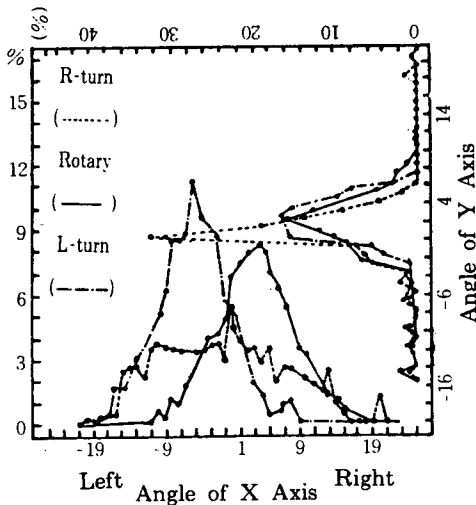
〈그림 6〉 Relative Frequency of Eye-Mark Distribution in the Vertical and Horizontal direction of Road State



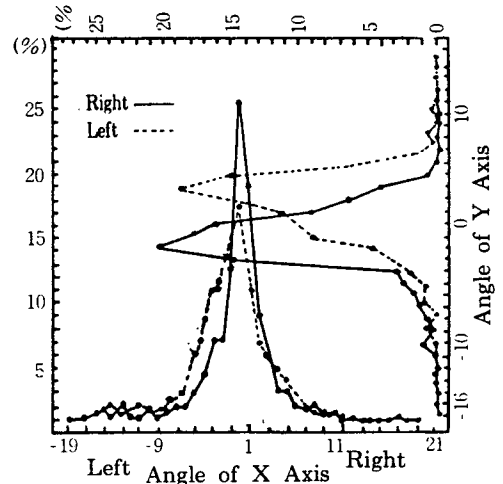
<그림 7> Relative Frequency of Eye-Mark Distribution in the Vertical and Horizontal direction by Traffic Phenomenon



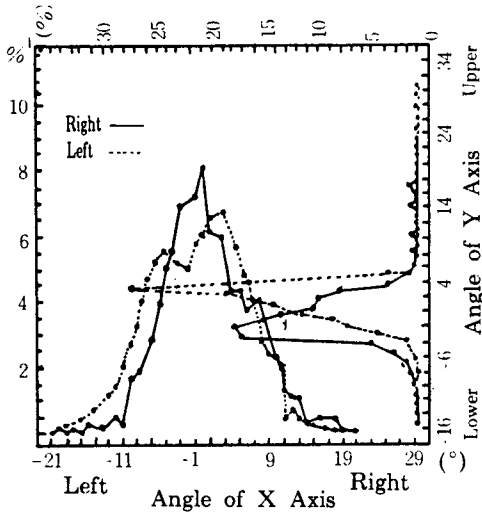
<그림 9> Relative Frequency of Eye-Mark Distribution in the Vertical and Horizontal direction of Stopping Condition



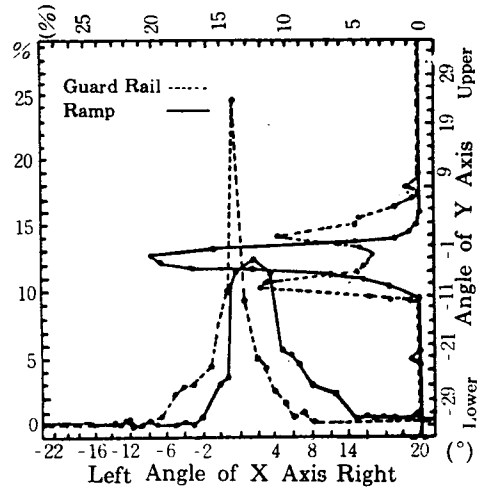
<그림 8> Relative Frequency of Eye-Mark Distribution in the Vertical and Horizontal direction of Intersection



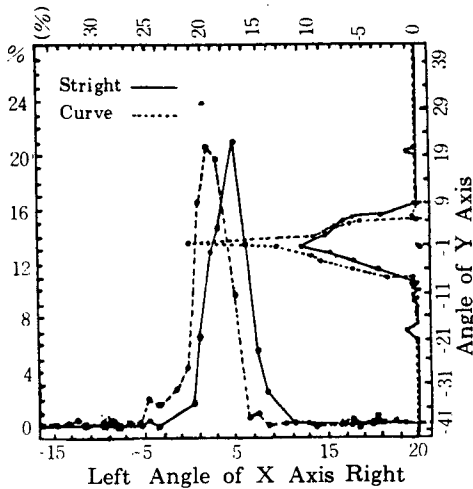
<그림 10> Relative Frequency of Eye-Mark Distribution in the Vertical and Horizontal direction on Straight Section of Road



〈그림 11〉 Relative Frequency of Eye-Mark Distribution in the Vertical and Horizontal on Curve Section of Road



〈그림 13〉 Relative Frequency of Eye-Mark Distribution in the Vertical and Horizontal on Guard Rail or Ramp Section of Highway



〈그림 12〉 Relative Frequency of Eye-Mark Distribution in the Vertical and Horizontal on Straight of Curve Section of Highway

- 1) 시가지가로의 直進區間에서 水平軸의 이동각도는 중심축이 좌측으로 이동하고 있으며 또 自由走行時 주시범위가 가장 크게 일어나고 있다(道路條件과 交通狀況이 運轉에 餘裕가 있다). 追越中 일 때는 안전과 주행차선 진입을 위하여 注視點 이동각도가 우측으로 이동하면서 전체주시 범위중 90%가 5°~6°로 나타났다.
- 2) 垂直軸 주시각도는 縱斷句配에 비례하여 변한다.
- 3) 시가지 幹線道路의 交叉点에서 좌회전 (-15°~5°)과 우회전 (-5°~12°)로 回轉하는 方向으로 注視點 頻도가 높게 나타났으며 로타리 구간(-20°~12°)은 주시점 移動角度가 좌, 우회전보다 2배정도 크고 消滅點도 많다.
- 4) 로타리에서 주시점의 移動角度가 크게 나타나고 있는데 이것은 운전자가 안전

(表 3) Fixation Point Statistics on Straight and Curve

Location and objection	Axis	Observe number	Mean (angle)	Variance	Standard deviation	Critical values			
						Cum. Prob. 50%		Cum. Prob. 90%	
						Lower	Upper	Lower	Upper
Straight Section of High-way	X	1,629	-0.523	11,543	4.253	-3.14	1.44	-7.52	6.47
	Y	1,629	-0.316	18,116	4.942	-3.51	2.23	-8.44	7.81
Curve Section of High-way	X	606	-2.264	8,740	4.289	-4.70	-0.71	-9.32	4.79
	Y	606	-1.614	16,397	4.795	-4.27	1.20	-9.50	6.27

Note: Unit is Degree

(表 4) Fixation Point Statistics on Guard Rail and Ramp Section

Location and objection	Axis	Observe number	Mean (angle)	Variance	Standard deviation	Critical values			
						Cum. Prob. 50%		Cum. Prob. 90%	
						Lower	Upper	Lower	Upper
Guard Rail Section of High-way	X	785	3.034	11,902	8.642	-3.74	2.36	-11.18	17.25
	Y	785	1.323	21,035	9.793	-5.98	0.21	-14.78	17.43
Ramp Section of High-Way	X	832	3.841	9,235	8.093	-1.62	9.30	-9.47	17.15
	Y	832	-2.555	8,156	7.035	-7.30	2.12	-14.13	9.02

Note: Unit is Degree

운행을 위해 周邊 交通狀況을 관찰하기 위한 주시로 해석된다.

- 5) 보행자, 신호 교차점의 정지구간 주시법 위는 좌우 19°로서 크게 분포되고 있으나 주행중의 주시분포는 5°이내로서 중심에 집중하고 있다.
- 6) 국도구간에서 곡선구간의 주시점 移動角度(-9°~12°)는 直線區間(-7°~6°)의 移動角度보다 크게 나타나고 있는데 이는 曲線部 走行時 도로조건에 대한 認知를 위하여 주시각도가 큰 것으로 판단된다. 또 상, 하행선의 주시각 분포는 동일형을 나타내고 있으나 수직축 分布의 差異는 도로종단 句配의 영향이다.
- 7) 高速公路區間에서 95% 注視範圍의 이동각도는 直進과 曲線區間은 국도와 비슷하며, 가드레일과 램프구간은 直進과 曲線區間보다 주시점의 이동각도가 큰 것으로 分析되었다.

IV. 注視特性的 定量的 分析

1. 車線別 注視點 分析

도로주행에서 조사된 被驗者의 주시점자료를 車線別로 분류하여 分布特性을 分析하였다. 본 실험에서는 주행차선(片道車線)대해 水平軸과 垂直軸의 주시범위를 구하기 위하여 회전 極座標를 利用하였다.

x, y의 plot 점을 P₁, P₂, P₃,P_n이라 하면 注視點까지의 距離 R_i는 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \\ R_2 &= \sqrt{x_2^2 + y_2^2} \\ &\vdots \\ R_n &= \sqrt{x_n^2 + y_n^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-1)$$

각 주시점에 대한 중심점부터 移動距離 R₁, R₂, ..., R_n을 구하여 等距離에 있는 각 주시점을 2度 간격으로 度數分布表를 작성하였으며.

統計의 特性은 車線別로 구분하여 주시점 분포는 原點을 (0, 0) 중심으로 算術平均한 값이며, 그 때 分散, 標準偏差는 (表 5)와 같다.

n개의 자료를 R의 값이 작은 것부터 큰 것으로 나열하여 i번째의 값 R_i 의 累積相對度數

f_i 는 i/n 로 되며, 이 때의 f_i 가 0.5(50%), 0.75(75%), 0.85(85%), 0.99(99%)에 해당하는 R_i 를 누적확률로 하였다. 계산결과는 (그림 14)와 (表 6)과 같다.

(表 5) Statistic characteristics by Lane (Visual Angle)

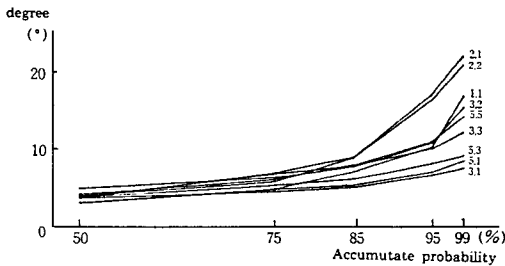
Lane statistics	1 Lane	2 Lanes		3 Lanes			5 Lanes		
	1	1	2	1	2	3	1	3	5
Mean	3.981	5.501	5.244	4.039	4.879	5.103	3.780	4.101	5.221
Stand.	3.284	5.041	4.560	1.275	3.112	1.679	1.789	3.485	5.315
Variance	10.785	25.415	20.795	1.625	9.686	8.623	3.202	10.234	18.235
Range	20.881	42.426	28.284	6.062	28.284	21.334	10.440	21.193	22.132

Note: Unit is Degree

(表 6) Focal-point Accumulate probability by Lane

Lane Confidence rate	50%	75%	85%	95%	99%
1. 1	3.162	5.000	7.220	10.440	16.820
2. 1	3.606	7.000	9.031	17.029	22.026
2. 2	4.000	5.831	8.938	16.279	20.396
3. 1	3.606	4.472	5.090	6.708	7.625
3. 2	5.000	6.325	7.762	10.198	15.524
3. 3	3.895	6.834	7.923	10.011	12.223
5. 1	3.162	4.472	5.376	7.280	8.544
5. 3	3.841	5.217	6.174	8.130	9.240
5. 5	4.251	6.200	8.037	10.873	14.310

Note: Unit is Degree



(그림 14) Focal Point Range by Accumulate Probability

차선에 대한 주시점분포와 누적확률을 分析한 것은 運轉者가 車線의 변화가 있어도 같은 량의

정보를 知覺할 수 있도록 요구하고 있으며, 分析결과는 다음과 같다.

- 1) 중심점 이동각도의 평균치는 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 의 범위로서 차선에 관계가 거의 없다.
- 2) 주시범위의 증가에 의한 車線別 영향을 보면 전체주시중 85%까지는 크게 변화하고 있지 않으나(7°이내) 95%이상 포함하는 범위는 車線에 따라 注視範圍의 差가 크다.
- 3) 주시범위를 넓게보는 車線은 片道 2차선 가로로서 95%範圍에서 $16^{\circ} \sim 17^{\circ}$ 이므로 다차선 도로의 주시범위보다 약 2배

넓게 주시하고 있다.

- 4) 片道 3차선 도로중에서 2차선이 注視範圍가 가장 크다.

2. 速度에 對한 注視點 分布

1) 平均분포특성

차량의 주행에 영향을 미치는 視距, 片句配, 曲線半徑 等은 도로의 幾何構造의 要素를 결정하는 요인이므로 速度의 영향이 크다. 速度에 대한 주시특성은 주행속도를 설계속도에 준하여 시가지 가로(30~50km/h), 시가지가로 및 국도(50~70km/h), 국도(70~90km/h), 고속도로(90km/h以上)로 분류하여 水平軸, 垂直軸에 대

한 注視點 分布를 작성하였다. 水平軸, 垂直軸의 이동에 의한 注視頻度 分布는 앞장에서 正規 分布라 할 수 있으므로 각 분포의 平均値(μ)와 標準偏差(σ)를 구하고 確率變數 X에 대해 표준화 정규분포에서 확률 P는 다음식으로 표시할 수 있다.

$$P[a < x < b] = \Phi \frac{(b-\mu)}{\sigma} - \Phi \frac{(a-\mu)}{\sigma}$$

..... (4-2)

式(4-2)에서 累積確率 P75%, P85%, P95%, P99%에 대하여 이동각도를 구하고, 그 結果는 <表 7>과 같다.

<表 7> Statistics or Confidences of Speed (horizontal Axis)

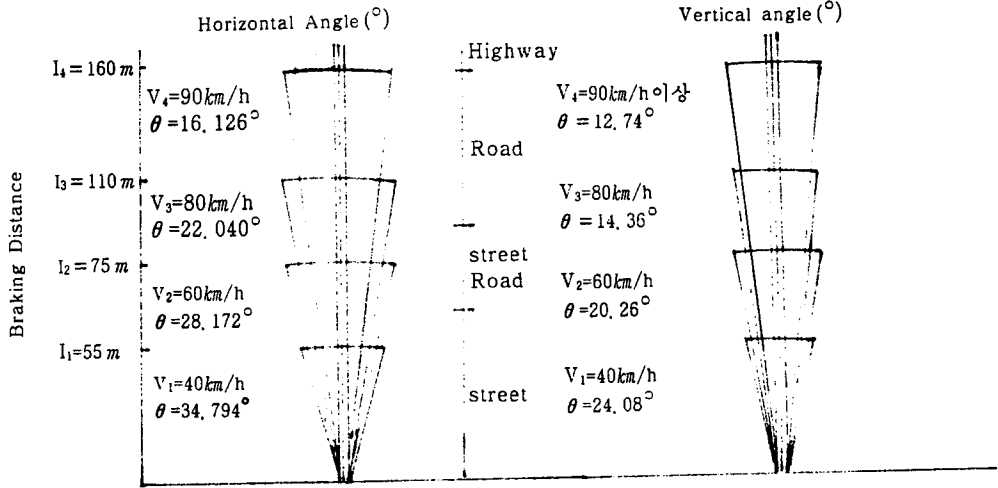
Variable: (km/h)	Speed 30~50	Speed 50~70	Speed 70~90	Speed 90 upper
Sample size	7273	4432	5440	4043
Average	-0.927265	-0.804829	0.126838	0.838734
Median	0	0	0	0
Mode	0	0	0	0
Geometric mean	32768	-32768	-32768	32768
Variance	35.8455	25.1871	19.86418	11.6083
Standard deviation	5.98711	5.01868	3.94073	3.4071
Area at or below 0.005	20.986	21.003	16.311	13.020
Area at or below 0.025	17.397	14.086	11.020	8.063
Area at or below 0.075	11.011	10.075	8.632	6.453
Area at or below 0.025	5.237	4.976	4.236	3.110

Statistics or Confidences of Speed (Vertical Axis)

Variable: (km/h)	Speed 30~50	Speed 50~70	Speed 70~90	Speed 90
Sample size	7273	4432	5440	4043
Average	1.90692	0.175542	-0.297794	-0.838734
Median	2	1	-1	0
Mode	3	2	-2	0
Geometric mean	-32768	-32768	-32768	-32768
Variance	7.86331	13.2655	10.79697	11.6083
Standard deviation	2.80416	3.64218	3.40769	3.4071
Area at or below 0.005	12.885	11.126	9.883	9.719
Area at or below 0.025	12.046	10.136	7.183	6.371
Area at or below 0.075	6.026	6.681	5.091	4.930
Area at or below 0.25	5.369	5.196	4.925	3.345

安全距離에 의한 注視範圍를 구하기 위해 道路構造令에 제시된 最小안전거리를 사용하였다.³⁹⁾ 安全距離에 의한 道路構造에 따른 速

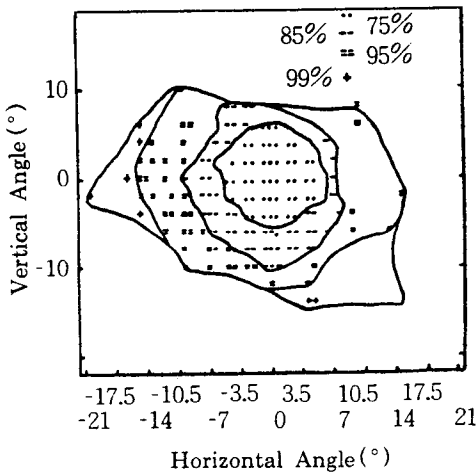
度別 注視點分布는 전체주시중 累積確率 95% 일때 수평주시 범위와 수직주시 범위는 (그림 15)이다



(그림 15) 95% Visual Range by Speed on Confidence Interval

2) 極座標에 의한 注視分布特性

速度別 極座標 $R_1 \dots R_n$ 가지를 式(4.1)에서 求하여 中心點 座標(0, 0)에 對한 分布의 範圍를



(그림 16) Focal-point Accumulate Distribution of Speed (70~90km/h)

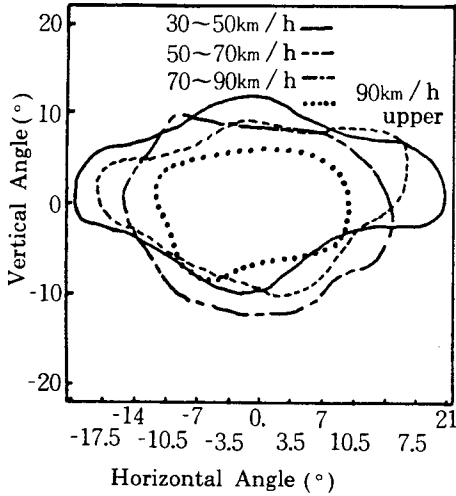
全體의 75%, 85%, 95%, 99%에 해당하는 확률 분포를 작성하였다. (그림 16)은 속도 70~90 km/h일 때 중심점 (0, 0)에서 주시점빈도를 전체의 확률분포에 對해서 75%, 85%, 95%, 99% 주시범위를 圖式化한 것이다.

(그림 16)과 같이 各 頻度에 따라서 X-Y에 對한 二元頻度分布를 求하고 그 중에서 누적분포의 95%, 50%에 對한 注視點 分布를 速度別로 合成한 것은 (그림 17), (그림 18)과 같다.

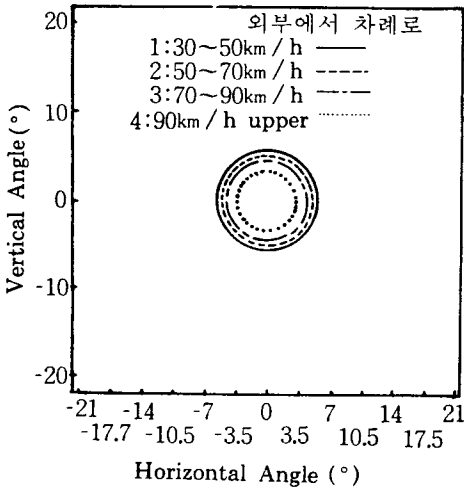
3) 分析結果

自動車 走行速度에 따라서 주시점 이동각도는 다음과 같다.

- 1) 速度의 增加에 의한 注視角度는 減少한다. 走行速度 90km/h의 注視範圍는 50km/h일 때 注視範圍의 1/2보다 적다.
- 2) 注視確率 95% 範圍 區域과 99% 範圍 區域은 特殊한 領域을 除外하고 (左右 쪽) 같은 範圍이다.
- 3) 中心點 (0, 0)에서 누적상대범위 50~



〈그림 17〉 Fixation-point Distribution in Speeds at Accumulate probability 95%



〈그림 18〉 Fixation-point Distribution in Speeds at Accumulate probability 50%

80%는 圓形 혹은 원형에 가까운 형상으로 速度에 依한 變化가 적고 分布가 上下, 左右가 비슷하게 分布한다.

4) 95%의 範圍內에서 分布特性은 速度

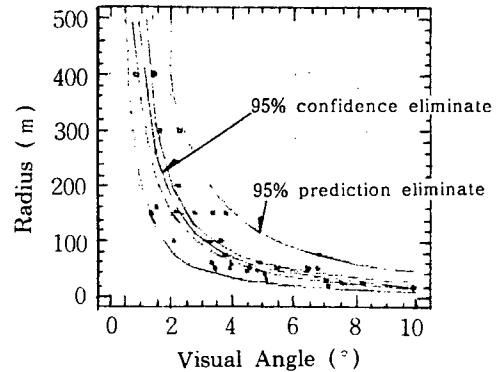
에 크게 關係없는 部分은 上下移動이고 左右移動은 速度에 依한 影響이 크게 나타나고 있다.

5) 理論値와 實測値에 對한 差異는 中央 값의 頻度數가 많고 左右(14°주위)의 頻度數(로건)가 많은 原因이다.

3. 道路線形에 對한 注視點 Model

道路의 線形設計時에는 自動車 走行에 充分한 安全性과 快適性, 經濟性 確保는 물론 道路의 景觀과 周邊의 環境이 잘 造化되어야 한다. 특히 運轉者에게 自然的인 視線誘導가 되도록 할 必要가 있으며 錯覺을 일으키지 않도록 하여야 한다. 本 論文에서는 運轉者가 曲線을 走行하는 境遇 注視點의 위치가 中心點에서 어떻게 움직이고 있는가를 實驗하기 爲하여 23個 曲線區間에 對하여 往復走行時의 注視點 分布特性을 分析하였다.

大邱와 星州間 國道에서 曲線半徑이 많고 3~5% 勾配의 曲線區間을 對象으로 하였으며 注視點의 교각, 반경, 좌우 이동각도는 〈表 8〉과 같다. 曲線半徑과 平均 注視點移動을 相關分析하기 爲하여 半徑 R_i 를 獨立變數라 하고 注視點 平均移動角度 θ_i 를 從屬變數로 하여 曲線回歸 Model을 作成하면 式(4-3)과 같다. 〈그림 19〉는 曲線半



〈그림 19〉 Confidence Limit of Regression Model for Radius or Fixation Point

(表 8) Relation Between Radius of Curve and Focal Point Angle

Number	Intersection angle	Radius (m)	Mean (°)	Standard deviation	Number	Intersection angle	Radius (m)	Mean (°)	Standard deviation
31	62-25-00	50	-4.5 5.51	5.12 6.75	43	18-10-00	200	2.21 -2.25	2.62 8.25
32	11-22-40	400	-0.8 1.48	3.11 1.70	44	19-39-50	150	-2.40 1.34	3.40 1.34
33	55-21-00	40	8.67 -7.42	2.68 4.32	45	21-12-40	150	3.74 3.33	3.74 8.33
34	13-31-40	100	3.34 -3.20	3.43 5.78	46	40-29-40	60	-4.9 4.77	7.04 4.78
35	21-10-50	250	1.50 -1.75	3.45 3.27	47	53-22-00	40	5.04 -5.59	19.55 12.78
36	72-29-00	75	3.72 -3.76	2.07 1.41	48	36-33-40	80	5.71 -4.68	2.48 6.72
37	46-10-00	45	-4.8 4.47	3.68 3.47	49	40-50-00	60	3.28 -3.93	7.60 16.24
38	23-14-00	150	-2.79 2.15	2.79 3.07	50	21-10-00	200	0.91 -1.98	4.91 5.93
39	32-54-00	100	3.01 -3.17	4.61 5.17	51	23-42-20	100	-3.23 2.08	12.53 7.08
40	4-15-00	500	-1.39 1.9	17.54 12.66	52	102-54-20	30	* -5.11	* 3.82
41	13-08-20	160	-1.94 1.54	2.43 1.54	53	24-47-20	50	-3.89 5.46	5.64 2.79
42	11-03-40	300	-1.61 2.44	1.24 2.24					

徑과 注視角度에 의한 回歸曲線과 95%의 信賴 限界 및 豫測限界를 圖式化 한 것이다.

$$\theta_i = e^{6.143301} R_i^{-1.36259} \dots \dots \dots (4-3)$$

여기서, R-square 79.54%
 t=43.4539 (5% 有意水準 1.68)
 F=155.4917 (5% 有意水準 4.08)
 이므로, 이 Model은 5%에 유의하다.

4. 景觀要素에 對한 注視時間 比率

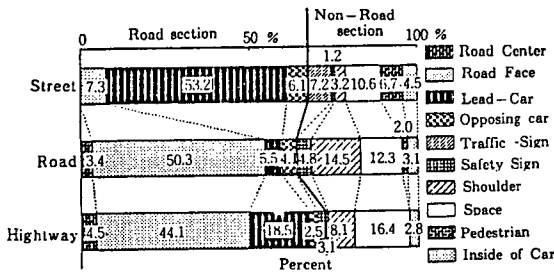
주행중 대상물의 정보를 어떤 時間比率로 보

고 있는가를 조사하기 위하여 都市街路, 國道, 高速道路別로 주시대상물을 道路中央線, 路面, 先行車, 對向車, 交通信號, 交通標識, 路肩, 空間, 步行者, 車內部 등으로 구분하여 注視時間 比率를 分析하였으며, 그 결과는 <그림 20>과 같다.

도로부분(道路中心線, 路面, 先行車, 對向車) 과 도로이의 부분으로 구분하여 볼 때 도로를 보는 率은 시가지에서 66%, 國道 63.3%, 高速도로 69.5%로서 60% 이상이 도로부분을 주시하고 있으며, 國道부분이 도로를 주시하는 率이 가장 적고 高速道路가 크게 나타나고 있다. 또 시가지

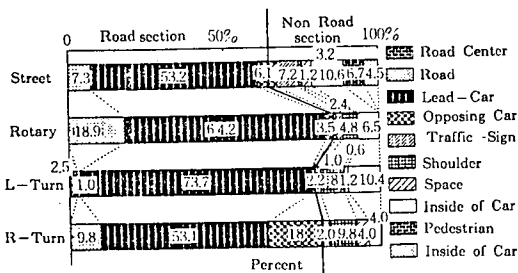
의 가로주행에 대한 注視比率의 50% 이상은 先行車를 주시하고 있다.

이상의 결과를 요약하면 도로 注視率이 60% 이상이고 도로시설물이 설치되어 있는 路肩과 案内標識를 주시하는 率이 시가지가로에는 4.4%로서 거의 보고 있지 않으므로 文型式 및 路面 위에서 설치해야 된다고 사료되며, 目的注視(信號燈, 案内標識, 境界標識, 步行者, 對向車, 車內部)은 시가지 19.6%, 國道 14%, 고속도로 8.1%이므로 전체주시 중 20% 이하이다.



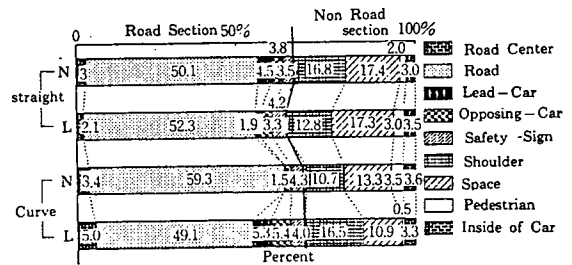
(그림 20) Ratio of Visual Fixation Time by Road Type

시가지가로에서 Rotary와 좌, 우회전에 대한 注視時間比率은 (그림 21)과 같다. 道路注視率이 Rotary 85.7%, 좌회전 78.2%, 우회전 80.3%로서 注視率의 80% 이상이 도로를 주시하고 있고 도로이외의 부분의 주시가 20%이다.



(그림 21) Ratio of Visual Fixation Time on Street

특히 先行車 注視率이 좌회전시 73.3%로 매우 크게 나타나고 우회전인 경우 對向車 注視率이 18%로 크게 나타나고 있다. 이상의 결과를 요약하여 보면 交叉點 구간에는 환경에 따라서 注視時間비율이 매우 다르게 변화하고 있으며, 先行車 등이 視覺妨害를 초래하고 운전제에 관계 없는 知覺對象物의 주시시간이 매우 적게 나타났다.



(그림 22) Ratio of Visual Fixation Time on Road

국도구간에서 경력이 다른 L(經歷 10年), N(經歷 3年이하)인 두사람에 대해서 직진구간과 曲線區間에 대해서 注視時間比率을 측정 한 결과는 (그림 22)와 같다.

屬性이 다른 두사람에 대해서 직진구간과 曲線區間別로 도로부분의 注視時間比率은 직진구간에서 L은 61.4%, N은 59.2%, 曲線區間에서는 L이 64.6%, N은 64.8%로서 經歷에 의한 차이가 없으며, 曲線區間이 直進區間보다 道路注視率이 크게 나타났다. 교통상황에 따라서(先行車有無等) 差異가 있으나 全體注視時間比率은 비슷하게 나타났다.

V. 結 論

道路環境에 대한 注視點特性 分析은 實驗의 高찰을 통하여 高速道路, 國道, 市街地街路에 대하여 調査한 것을 수량화 方法으로 分析한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Eye-Mark Recorder Monitor 화면에 의한 실거리 산정방법이 가능하다.

$$L_i = e^{-1.0461} S_i^{-1.1655} \quad R^2 = 96.50\%$$

2. 運轉者の 注視特性은 도로조건 및 交通安全施設物에 따라서 시선유도 및 頻度數가 다르게 나타났다. 특히 도로시선유도 단절부분(중곡선 정상)은 注視頻度率이 높은 特性이 있다.

3. 注視點 分布 特性은 도로조건에 따라서 差異가 크고 中心點에서 대칭을 이룬다. 運轉者의 좌, 우 注視範圍는 全體 注視角度中 85%일 때 國도 15°, 시가지 10°, 고속도로 7°로서 國도는 고속도로보다 2배 넓게 주시한다. 垂直軸의 주시각도는 중단구배에 비례하고 범위는 85%일 때 고속도로 9°, 國도 6°, 시가지 5°이다. 고속도로의 수직범위는 속도계 및 먼거리 주시의 영향으로 사료된다.

4. 運轉者의 車線別 注視點 範圍는 다차선도로인 경우 車線別 差異가 크게 나타났으며, 2차선도로는 다차선도로 보다 2배 이상 넓게 주시하고 있다. 速도에 의한 注視範圍는 速도에 따라서 變化하고 있다 (30~50km/h P95%=32.54°, 90km/h 이상 P95%=14.93°).

5. 車輛이 道路曲線을 주행할 때 運轉者의 注視點移動角度와 曲線半徑은 밀접한 關係가 있다.

$$\theta_i = e^{6.1431} R_i^{-1.362} \quad R^2 = 79.54\%$$

6. 景觀要素에 대한 注視時間 比率은 도로부분 주시가 市街地街路는 66%, 國道 63.3%, 高速道路 69.5%로서 60% 이상이고 가로의 교차점 구간에는 80% 이상이다. 로건, 교통표지의 注視率은 市街地街路 4.4%, 國道 19.3%, 高速道路 11.2%, 주시하고 있으므로 시가지에서는 문형식표지, 로면표시로서 시선유도할 필요성이 있다고 본다.

〈參 考 文 獻〉

1. 日本交通工學研究會編, “交通工學ハンドブック” 技報堂, pp. 72~82, 682~705, 1968.
2. 毛利正光, “交通安全施設の視認性について注視環境の影響と效果に関する研究”, 文部省 科學研究報告書, 1983. 3.
3. Dodge, R., “Five Types of Eye Movements in the Horizontal Meridian Plane of Field of Regrad”, *Amer. J. Physiol.*, Vol. 8, pp. 307~329, 1903.
4. Dodge, R. and T. S. Cline, “The Angle Velocity of Eye Movements”, *psychol. Rev.*, Vol. 8, pp. 145~157, 1901.
5. Load, M. P. and W. d. Wright, *Eye Movement During Monocular Fixation*, *Nature, Lond.*, Vol. 162, pp. 25~76, 1948.
6. Hartridge, H. and L. C. Thomson, “Method of Investigating Eye Movements”, *Brit. J. Ophthal.*, Vol. 32, pp. 581~591, 1948.
7. Ratiff, F. and L. A. Riggs, “Involuntary Motions of the Eye During Monocular Fixation”, *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 40, No. 6, pp. 687~701, 1950.
8. Riggs, L. A., J. C. Armington and F. Raiff, “Motions of the Retinal Image During Fixation,” *J. O. S. A.*, Vol. 44, pp. 315~321, 1954.
9. Barlow, H. B., “Eye Movements During Fixation”, *J. Physiol.*, Vol. 116, pp. 290~306, 1952.
10. Ditchburn, P. W. and B. L. Ginsborg, “Involuntary Eye Movements During Fixation”, *J. Physiol.*, Vol. 119, pp. 1~17, 1953.
11. Robinson, D. A., “The Mechanics of Human Saccadic Eye Movements,” *J. Physiol.*, Vol. 174, pp. 245~264, 1964.
12. Adler, F. H. and F. Fliegelman, “Influence of Fixation of the Visual

- Acuity", Arch. Ophthal., Vol. 12, pp. 475~483, 1934.
13. Higgins, G. C. and K. F. Schultz, "The Frequency Amplitude of Ocular Tremor," J. O. S. A., Vol. 42, pp. 87, 1952.
 14. Pritchard, R. M., "Stabilized Images on the Retina", Scientific American, Vol. 204, No. 6, pp. 72~78, 1961.
 15. Ford, A., C. T. White, and M. Lichtenstein, "Analysis of Eye Movements During Free Search", Journal of the Optical Society of American, Vol. 3, No. 3, 1959. 3.
 16. 渡邊報, "兩像と注視點の分析", NHK技術研究, Vol. 17, No. 1, 1965.
 17. 石裕當和, 三浦武夫, "自動車運轉中の注視點", 交通工學, Vol. 3, No. 4, 1967.
 18. White, C. T. and A. Ford, "Eye Movement During Simulated Radar Search," J. O. S. A., Vol. 50, pp. 909-913, 1960.
 19. Robinson, G. H., Erickson, D. J., Thurston, G. L., & Clark, R. L., "Visual Search by Automobile Drivers", Human Factors, No. 14, pp. 315~323, 1972.
 20. 小林實, 村田隆裕, 卷上安爾, "高速道路工學區間での注視點調査", 交通工學, Vol. 7, 増刊號, pp. 17~26, 1972.
 21. 毛利正光 "重要する道路うえに運轉とき運轉者の目動の特性", 道路, No. 3, 1977, 6.
 22. Tinker, M. A., "Eye Movement Duration Pause Duration and Reading Time", Psychol. Rev., Vol. 35, pp. 385~397, 1928.
 23. Buswell, G. T., "How People Look at Picture", Univ. of Chicago press, 1935.
 24. Waldram, J. M., "Vision and Eye Movements of Motor Drivers", The New Scientist, Vol. 8, No. 208, pp. 1264~1267, 1960.
 25. Smith, W. L., "The Visual Environments its Effect on Traffic Flow" Traffic R. R., No. 377, 1972.
 26. Luce, R. D., "Individual Choice Behaviour", New York John Wiley, 1959.
 27. Studach, H., & Cohen, A. S., "Augenbewegungen des Autofahrers Beim Befahren von Kurven," Paper presented at the 1st International Congress on Vision and Road Safety, pp. 97~106, 1976.
 28. Kaluger, N. A. & Smith, G. L., "Driver Eye-Movement Patterns Under Conditions of Prolonged Driving and Sleep Deprivation," Highway Research Record, Vol. 336, pp. 92~106, 1970.
 29. 小林實, "交通心理學入門(3)", 交通工學, Vol. 15, No. 1, 1980.
 30. 林采文, "道路環境에 있어서 運轉者の注視點特性에 관한 基礎的研究" 大韓土木學會 學術發表 概要集, 1986. 9.
 31. 大藤泉, "アイマーワレコーダの應用による交通工學に關する基礎的研究", 東京大學土木工學科修士論文, 1969.
 32. 村田隆裕, 中村良夫, "自動車運轉者の注視點", 交通工學, Vol. 5, No. 5, 1970.
 33. 村田隆裕, "自動車運轉者の注視對象に關する景觀工學的研究", 東京大學土木工學科學位論文, 1969.
 34. 小野弘, "Eye Mark Recorderその機能, 取扱いと自動車運轉者の視覚舉動 分析の手法", 名古屋大學土木科大學院論文, 1969. 9.
 35. Draper, N. R., H. Smith, "Applied Regression Analysis", John Wiley &

- Son, Inc., pp. 1~46, 1967.
36. Martin Wohl, V. Martin Brian, "Traffic System Analysis For Engineers and Planners", McGraw-Hill Book Company, pp. 31~50, 1973.
37. 朴聖炫, "現代實驗計劃法", 大英社, 1982.
38. Barnes T. Wesley, "Statistical Analysis for Engineering" Prentice Hall, pp. 61, 1984.
39. "道路設計要領 1, 2, 3卷", 建設部, pp. 61~68, 1987.