

대한교통학회  
제2기 교통분석 고급과정  
강의 교재

# 차량 및 보행자교통특성 분석

— 차량 및 인간(운전자, 보행자)의 특성 —

중앙대학교 건설대학

교수 이 용 재

# 목 차

## 1. 차량의 특성

- 1.1 규격 및 중량
- 1.2 설계기준 차량
- 1.3 차량의 운동
- 1.4 제동거리(Braking Distance)
- 1.5 차량의 배기가스

## 2. 운전자의 특성

- 2.1 운전자의 반응시간
- 2.2 황색신호시간과 Dilemma Zone
- 2.3 운전자의 명시성과 시인성
- 2.4 운전자의 외적반응시간(PIEV)

## 3. 보행자 특성

- 3.1 보행자의 통행속도
- 3.2 보행자의 제원

## 4. 자전거의 특성

- 4.1 자전거시설의 종류
- 4.2 자전거 교통류의 특성
- 4.3 서비스 수준
- 4.4 자전거의 곡선반경
- 4.5 자전거의 종단경사
- 4.6 자전거 차선의 폭

## 5. 참고문헌

# 車輛 및 人間(運轉者, 步行者)의 特性

중앙대학교 건설대학

이 용재

시설을 설치하고 운영하기 위해서는 이 시설을 사용할 대상에 대하여 고려하여야 한다. 교통 시설을 이용할 주요대상은 인간과 차량이기 때문에 이들에 대한 특성분석은 교통공학의 연구분야에서 기초지식이 된다. 교통운영은 물론 교통시설의 설계와 설치에 관련하여 차량의 물리적인 특성과 한계, 사람 특히 운전자와 보행자에 대한 행태분석은 시설 사용시의 소통측면과 안전측면에서 볼 때 필수적으로 연구되어야 할 과제이다. 본 장에서 다루는 주요과제는 차량의 특성중 정태적인 특성과 운동에 관한 기초이론, 운전자의 행태 및 보행자의 행태에 관한 일반적인 특성이다.

## 1 車輛의 特性

### 1.1 規格 및 重量

차량의 분류는 나라마다 조금씩 다르다. 우리나라의 경우 외국과는 달리 차량의 물리적 성능에 기준으로 한 것이 아니고 용도에 따라 분류된다는 점이 특이하다. 즉 현행 자동차관리법(제 3조) 및 자동차관리법시행규칙(제 2조)에 따르면 자동차의 종별분류는 <표 2-1>과 같이 승용자동차, 승합자동차, 화물자동차, 특수자동차, 이륜자동차등 5개의 종별로 분류하고 또 이를 유형 및 규모별로 나누는 바 유형별로는 일반형, 승용겸 화물형, 짙형 및 기타형으로 분류하고 규모별로는 소형, 중형, 대형의 3가지로 분류하고 있다. 이 분류의 기준은 주로 차량의 행정적인 문제인 자동차의 등록, 자동차등록번호, 자동차의 형식승인, 자동차검사의 유효기간등의 결정에 사용된다. 따라서 차량의 차체가 동일한 경우라도 승차정원에 따라 분류하게 되어 차량의 운행과 관리상에 많은 문제점을 노출하고 있다.

도로교통의 안전과 소통을 위하여 제정된 도로교통법에서는 기본적으로 자동차의 구분을 자동차관리법에 의거하여 분류하고 있지만 특히 긴급자동차와 배기량 125cc 이하의 이륜자동차를 원동기장치자전거로 분류하여 자동차에서 분리시킨점이 다소 차이를 갖고 있다. 도로교통법에서는 자동차 종별기준을 범칙행위 및 범칙금의 수준, 차선에 따른 통행차량기준, 운전면허등에 활용하고 있다.

교통류 분석의 대상이 되는 차량은 승용차, 버스, 화물차, 2륜차 등으로 분류되며 종류에 따라 크기나 중량이 크게 다르다. 또한 서로 상이한 차량의 제원은 도로시설을 설계할 때에 구조적인 면에서나 기하학적인 면에서 큰 영향을 미치게 된다. 한 차선의 폭은 통상 3.5m 내외이며 차

종 별	정 의	유형별 분류		규모별 분류			
		명 칭	내 용	분류기준	명 칭		
					소 형	중 형	대형(고급)
특 수 자동차	특수한 설비를 구축하여 사람 또는 화물을 운 송하거나 특별 한 작업요인을 수행하도록 제 작된 자동차(승 용·승합·화물 차는 제외)	구난형	고장·사고 등으로 운행이 곤란한 자 동차를 견인할 수 있는 구조	견인능력	5톤 이하	5톤 초과 10톤 미만	10톤 이상
		견인형	피견인차를 견인하 는 구조	오분하중	5톤 이하	5톤 초과 10톤 미만	10톤 이상
		특 수 작업형	사람 또는 화물을 운반하는 구조가 없는 특수작업용인 것(구난형·견인형 외의 것)	총중량	3톤 이하	3톤 초과 10톤 미만	10톤 이상
이 른 자동차	주로 1-2인을 운송하기에 적 합한 2륜의 자 동차 또는 이에 1륜의 축차를 붙인 자동차(배 기량 50cc 미만 또는 정격출력 0.59킬로와트미 만의 것은 제 외)	일반형	자전거로부터 진화 한 구조로서 사람 또는 소량의 화물 을 운송하기 위한 것	배기량	100cc 이하	100cc 초과 260cc 이하	260cc 초과
				정격출력	1kw 미만	1kw 이상 1.5kw 초과	1.5kw 초과
		특수형	경주용·오락용이 나 운전의 즐거기 위한 경쾌한 구조 로 된 것	배기량	100cc 이하	100cc 초과 260cc 이하	260cc 초과
				정격출력	1kw 미만	1kw 이상 1.5kw 초과	1.5kw 초과
		삼륜형	승차정원 1인의 3 륜형(축차제외)의 것으로 100kg이하 의 화물을 운송하 기 위한 것	배기량	100cc 이하	100cc 초과 125cc 이하	-
				정격출력	1kw 미만	1kw 이상 1.5kw 이하	-
적재량	60kg 이하	60kg 초과 100kg 이하	-				

주 : 분류기준에 따른 규모가 서로 다른 경우 소형+중형은 중형, 중형+대형은 대형,  
소형+대형은 대형으로 분류하였음.

(자료: 교통개발연구원, "자동차 종별 분류기준의 개정방안", 1994, pp 8-9)

또한, 도로포장의 종류나 규격에 따라서 허용 축하중이나 바퀴하중이 달라진다. 따라서 도로시  
설물의 설치에는 이런 제한사항을 반영하여 설계되어야 한다. 우리나라의 자동차안전기준에 관  
한 규칙(교통부,1990)에 규정된 차량의 규격 및 중량제한은 <표 2-2>과 같다.

<표 2-2> 차량의 규격 및 중량제한

제 원	규 모
길 이	12.0m 이하(승용및 승합)
폭	2.5m 이하
높 이	4.0m 이하
차 량 무 게	20톤 이하(화물및 특수제외)
축 하 중	10톤 이하
바 퀴 하 중	5톤 이하
연 결 차	16.7m 이하(견인및 피견인차의 연결)

자료 : 교통부, 자동차안전기준에 관한 규칙, 1990. 5.26,교통부령 제928호

12 設計基準車輛

도로구조의 설계에 기초가 되는 차량을 설계기준차량이라고 정의된다. 미국 도로구조및 시설의 지침서(AASHTO,1990)에는 설계기준차량의 적용에 있어 차선의 폭, 곡선상에서 차선폭, 최소곡선반경 그리고 이와 유사한 요소들의 기하학적인 도로 특징을 다양하게 조사하여 활용하고 있다. 기하학적인 도로설계요소 중에서 설계기준차량의 제원에 가장 많은 영향을 받는 것은 차량의 높이와 최소 회전반경이다. <표 2-3>는 AASHTO 설계기준차량의 차종별 제원이다.

<표 2-3> AASHTO 설계기준차량의 차종별제원

차종별 \ 제원	축거 (ft)	앞내민길이 (뒤내민길이)	최소곡선반경 (ft)	길이 (ft)	너비 (ft)	높이 (ft)
승용차 (P)	11	3(5)	24	19	7	4.25
트럭, 버스 (SU)	20	4(6)	42	30	8.5	13.5
세미트레일러 (WB-40)	40	4(6)	40	50	8.5	13.5
(WB-50)	50	3(2)	45	55	8.5	13.5

자료 : A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO,1990,P21.

우리나라의 설계기준차량에 대한 언급은 '도로의 구조·시설 기준에 관한 규정'(1990)에서 규정하는 바 도로구조령 제 4조에 의하면 "도로를 설계함에 있어서 고속도로, 도시고속도로 및 주간선도로에 대해서는 세미트레일러 연결차(자동차의 전차축이 없는 피견인차의 결합체로서 피견인차의 일부가 자동차에 얹혀지고, 피견인차 및 적재물 중량의 상당한 부분이 자동차에 의하여 지지되고 있는 것을 말한다)가 안전하고 원활하게 통행할 수 있도록 하고 그 외의 도로에 대해서는 소형 및 중·대형자동차가 안전하고 원활하게 통행할 수 있도록 하여야 한다" 고 규정하고 있다. 따라서 이러한 규제에 의하여 모든 도로의 설계와 운영이 이루어 진다. 참고로 우리나라의 설계기준차량의 차종별제원은 <표 2-4>과 같다.

<표 2-4> 우리나라 설계기준차량의 차종별제원 (단위: m)

차종별 \ 제원	길이	폭	높이	축거	앞내민길이 뒷내민길이	최소회전 반경
소형 자동차	4.7	1.7	2.0	2.7	0.8(1.2)	6.0
중·대형 자동차	13.0	2.5	2.0	6.5	2.5(4.0)	12.0
세미트레일러연결차	16.7	2.5	2.0	전축거 4.2 후축거 9.0	1.3(2.2)	12.0

비고) 1. 축거 : 앞바퀴축의 중심으로부터 뒷바퀴축의 중심까지의 거리를 말한다.

2. 앞내민길이 : 차량의 전면으로부터 앞바퀴축의 중심까지의 거리를 말한다.

3. 뒷내민길이 : 뒷바퀴축의 중심으로부터 차량의 후면까지의 거리를 말한다.

자료 : 토목학회, 도로의 구조, 시설기준에 관한 규정(해설 및 지침),1990. P12.

### 1.3 車輛의 運動

#### 가. 車輛의 直線運動

##### 1) 時間의 函數인 直線運動

차량의 속도(velocity)는 일반적으로 시간에 대한 거리의 변화량으로 표현되는 벡터량이 된다. 만약 어떤 차량이 dt시간 동안에 dx거리 만큼 이동하였다면 이때의 속도 v는 다음과 같이 나타난다.

$$v = \frac{\text{거리의 변화량}}{\text{시간의 변화량}} = \frac{dx}{dt}$$

차량의 속력(speed)은 속도의 크기를 나타내는 스칼라량이 된다. 그러나 속도나 속력은 때때로 혼동되어 사용되고 있다. 가속도(Acceleration) a는 시간에 대한 속도의 변화량으로 나타내는 벡터량이다.

$$a = \frac{\text{속도의 변화량}}{\text{시간의 변화량}} = \frac{dv}{dt}$$

a는 양수, 0, 음수가 될 수 있으나 특히 음의 가속도를 감가속도(Deceleration)라 한다.

속도와 가속도가 시간의 함수로 표현되는 경우 관련된 변수들의 관계는 다음과 같이 정리된다.

$$x(t) = \text{거리(distance) [m]}$$

$$v(t) = \text{속도(velocity) [m/s]} = dx / dt$$

$$a(t) = \text{가속도(acceleration) [m/s}^2] = dv / dt = d^2x / dt^2$$

$$k(t) = \text{가속도의 변화량(jerk) [m/s}^3] = da / dt = d^3x / dt^3$$

여기에 각 변수의 초기치를 적용하면 아래와 같다.

$$x(t) = x_0 + \int_{t_0}^t v(t) dt$$

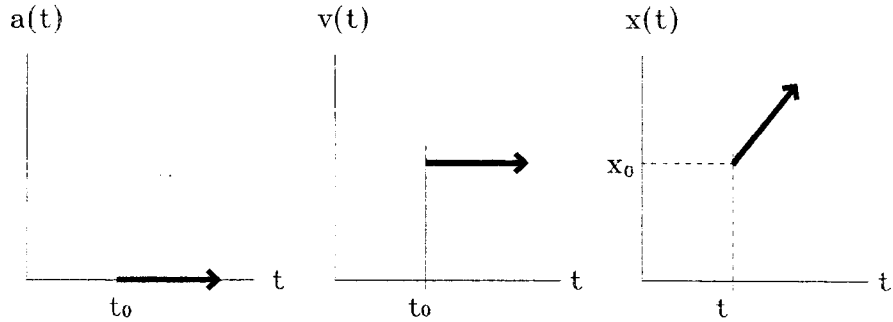
$$v(t) = v_0 + \int_{t_0}^t a(t) dt$$

$$x(t) = x_0 + \int_{t_0}^t v_0(t) dt + \int_{t_0}^t a(t) dt$$

<예제 1>  $a(t) = 0$  의 경우, 가속도, 속도, 거리와 시간과의 관계를 구하라.

(풀이)

$$v(t) = \text{constant}, \quad x(t) = x_0 + \int_{t_0}^t v \, dt = x_0 + v(t - t_0)$$



<그림 2-1>  $a(t) = 0$  의 경우, 가속도, 속도, 거리와 시간과의 관계

<예제 2>  $a(t) = a$ (상수)의 경우, 가속도, 속도, 거리와 시간과의 관계를 구하라.

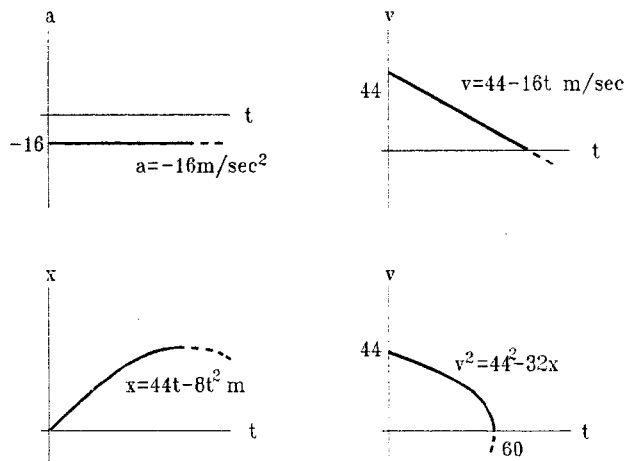
(풀이)

$$v(t) = v_0 + \int_{t_0}^t a \, dt = v_0 + a(t - t_0)$$

$$\begin{aligned} x(t) &= x_0 + \int_{t_0}^t v(t) \, dt \\ &= x_0 + \int_{t_0}^t [a(t - t_0) + v_0] \, dt \\ &= x_0 + \frac{a(t - t_0)^2}{2} + v_0(t - t_0) \end{aligned}$$

여기서,  $t_0 = 0$  일 때  $x_0 = 0$  이라면

$$x(t) = v_0 t + \frac{a}{2} t^2 \text{ 이 된다.}$$



<그림 2-2>  $a(t) = \text{상수}$ 의 경우, 가속도, 속도, 거리와 시간과의 관계

<예제 3>  $a(t) = A - Bt$ 의 경우, 속도, 거리와 시간과의 관계를 구하라. (단,  $A, B > 0$ )

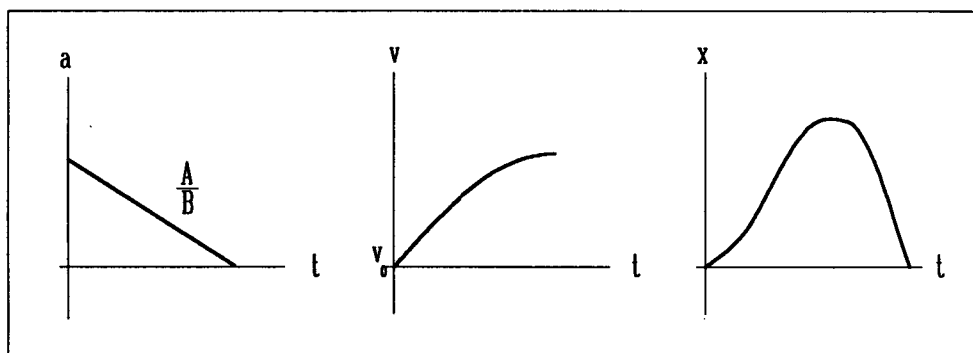
(풀이)

$$\begin{aligned} v(t) &= v_0 + \int_{t_0}^t a(t) dt \\ &= v_0 + \int_{t_0}^t [A - Bt] dt \\ &= v_0 + A[t - t_0] - \frac{B}{2} [t^2 - t_0^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x(t) &= x_0 + \int_{t_0}^t v(t) dt \\ &= x_0 + \int_{t_0}^t [v_0 + A(t - t_0) - \frac{B}{2} (t^2 - t_0^2)] dt \\ &= x_0 + \left[ v_0 - \frac{(A - B)}{2} t_0 - \frac{B}{6} t_0^2 \right] + \frac{(3A - Bt_0)}{6} t - \frac{B}{6} t^2 [t - t_0] \end{aligned}$$

여기서  $t_0 = 0$  일 때,  $x_0 = 0$  이라고 가정한다면,

$$x(t) = v_0 t + \frac{A}{2} t^2 - \frac{B}{6} t^3$$



<그림 2-3>  $a(t) = A - Bt$ 의 경우 속도, 거리와 시간과의 관계

## 2) 距離의 函數인 直線運動

일반적으로 직선운동은 시간의 함수로 표현된다. 그러나, 거리도 때때로 중요한 변수가 될 수 있다. 이 경우 다음의 연쇄법칙이 성립된다.

$$\begin{aligned} a &= \frac{dv}{dt} = \left( \frac{dv}{dx} \right) \cdot \left( \frac{dx}{dt} \right) = \left( \frac{dv}{dx} \right) v \\ &\text{혹은 } v dv = a dx \end{aligned}$$



특히, 교통공학에서 구간속도의 개념은 거리의 함수로 표현된다. 시간의 함수인 경우 속도는

$$v(x) = \frac{1}{dt/dx} \text{ 으로 표현되고 이를 다시 쓰면,}$$

$$\frac{v(x)}{dx} = \frac{1}{dt} \text{ 따라서 } dt = \frac{dx}{v(x)}$$

양변에 적분을 취하면,

$$t(x) = t_0 + \int_{x_0}^x \frac{dx}{v(x)}$$

가속도 또한 거리의 함수로 표현이 가능하다. 즉,

$$\begin{aligned} a(x) &= \frac{d[v(x)]}{dt} = \frac{d[v(x)]}{dx} \frac{dx}{dt} \\ &= \frac{d[v(x)]}{dx} v(x) = \frac{d\left[\frac{1}{2}(v(x))^2\right]}{dx} \end{aligned}$$

따라서,

$$\begin{aligned} v(x)^2 &= v_0^2 + 2 \int_{x_0}^x a(x) dx \\ v(x) &= \sqrt{v_0^2 + \int_{x_0}^x a(x) dx} \end{aligned}$$

Remark.(Slowness):

*Slowness* is the *change in time per unit distance*[s/m] which is defined as  $w(x) = \frac{dt(x)}{dx}$  .(W. Leutzbach, 1972)

<예제 4> Slowness  $w(x) = w$ (상수) 이고  $t_0 = 0$  일 때  $x_0 = 0$  이고  $x = 1000\text{m}$  라고 한다면  $x$  의 함수인 시간  $t$  를 구하라.

(풀이)

$$t(x) = t_0 + \int_{x_0}^x w dx = t_0 + w(x - x_0)$$

따라서,

$$t(x) = t_0 + \frac{(x - x_0)}{v} = 1000 w$$

즉 1 km 을 통행하는데 요구되는 시간(초)는 Slowness  $w$ ( s/km )가 된다. 이것은 같은 길이의 구간에서 속도의 크기가 크면 클 수록 통행시간의 변화가 적다는 의미가 된다.

### 3) 速度的 函數인 直線運動

만약 가속도가 속도의 함수로 표현된다고 가정하자. 그러면,  $a(v) = \frac{dv}{dt}$  이고 이것은 다시  $dt = \frac{dv}{a(v)}$  가 된다. 양변을 적분하면,

$$t(v) = t_0 + \int_{v_0}^v \frac{dv}{a(v)}$$

같은 방법에 의하여,

$$x(v) = x_0 + \int_{v_0}^v \frac{v}{a(v)} dv \text{ 가 된다.}$$

<예제 5>  $a(v) = A - Bv$ 의 경우 가속도, 속도, 거리와 시간과의 관계를 구하라.(단,  $A, B > 0$ )  
(풀이)

$$dt = \left(\frac{1}{a(v)}\right) dv \text{ 를 이용하여}$$

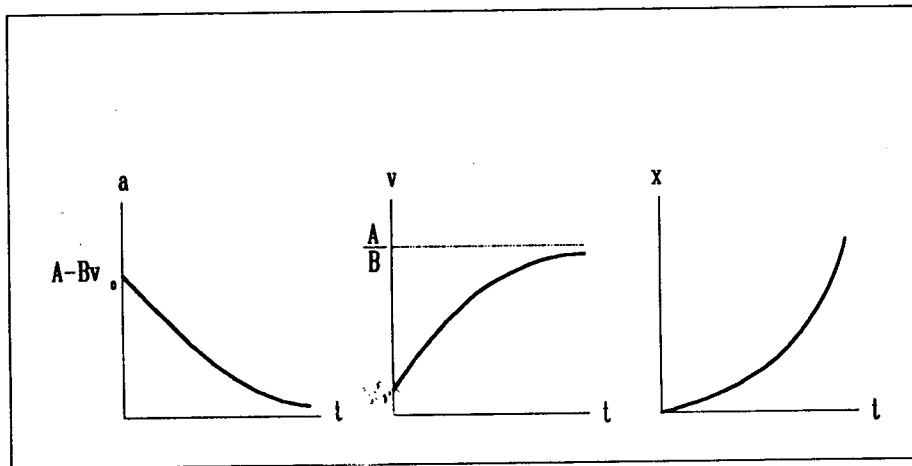
$$\int_{v_0}^v \left[\frac{1}{(A - Bv)}\right] dv = \int_{t_0}^t dt \text{ 를 풀면}$$

$$\left(-\frac{1}{B}\right) \ln \left[\frac{(A - Bv)}{(A - Bv_0)}\right] = t - t_0$$

$$v = \left(\frac{A}{B}\right)[1 - e^{-B(t-t_0)}] + v_0 \cdot e^{-B(t-t_0)}$$

$$a(v) = (A - Bv_0)e^{-B(t-t_0)}$$

$$x(t) = \left(\frac{A}{B}\right)t - \left(\frac{A}{B^2}\right)(1 - e^{-Bt}) + \left(\frac{v_0}{B}\right)(1 - e^{-Bt})$$



<그림 2-4>  $a(v) = A - Bv$ 의 경우 가속도, 속도, 거리와 시간과의 관계

Remark.(Journey Speed 와 Route Speed)

차량의 속도는 운전자의 행태에 따라 변할 뿐 아니라 도로의 상태에 따라서도 변화하게 된다. 이러한 현상은 속도의 실제 조사에서도 나타난다. 만약 시간의 간격을 통하여 관측한 통행속도( $v_t$ )와 구간을 나누어 관측한 노선속도( $v_n$ )가 있다면 다음과 같

은 관계를 유도하여 볼 수 있다. (통행속도는 공간평균속도의 개념과 같고 노선속도는 시간평균속도의 개념과 같다.) 각 속도의 평균값은 아래와 같다.

$$\bar{v}_t = \frac{1}{T} \int_{t_0}^t v(t) dt \quad \text{와} \quad \bar{v}_x = \frac{1}{X} \int_{x_0}^x v(x) dx$$

여기서 T = 총 관측한 시간, X = 총 관측한 거리

$$\int_{t_0}^t v(t) dt = \int_{t_0}^t \frac{dx}{dt} dt = \int_{x_0}^x dx = X \quad \text{라는 사실에서}$$

$$\bar{v}_t = \frac{X}{T} \quad \text{가 된다.}$$

또한 각 평균속도에 대한 분산(Variance)는 아래와 같이 주어진다.

$$\sigma_t^2 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^t [v(t) - \bar{v}_t]^2 dt = \frac{1}{T} \int_{t_0}^t v(t)^2 dt - \bar{v}_t^2$$

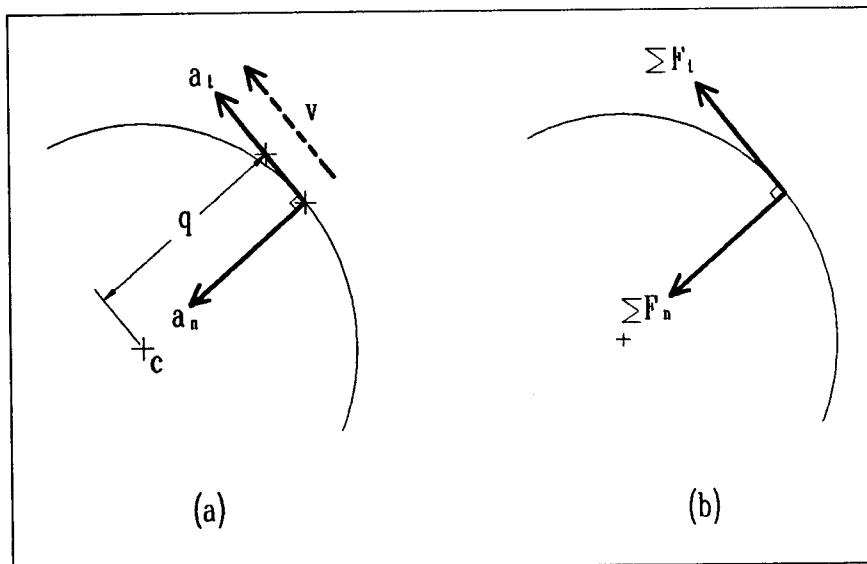
$$\sigma_x^2 = \frac{1}{X} \int_{x_0}^x v(x)^2 dx - \bar{v}_x^2$$

<예제 6> 통행속도( $\bar{v}_t$ )와 노선속도( $\bar{v}_x$ )와의 관계는 아래와 같다. 관계식의 유도과정을 기술하라.

$$\bar{v}_x = \bar{v}_t + \frac{\sigma_t^2}{\bar{v}_t}$$

나. 車輛의 曲線運動

아래의 <그림 2-5>에서 차량의 가속도 a 는 법선방향의 성분과 접선방향의 두 크기로 나누어 볼 수 있다. 접선방향의 가속도 크기  $a_t$  와 법선방향의 가속도 크기  $a_n$  은 다음과 같이 주어진다.



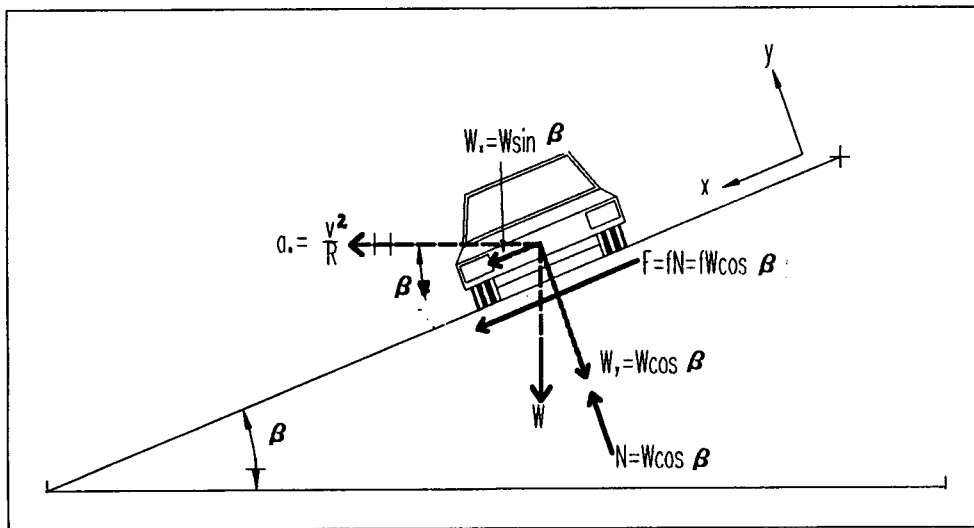
<그림 2-5> 차량의 곡선운동

$$a_t = \frac{dv}{dt}, \quad a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

만약 곡선의 반경을 R 이라고 하고 곡선상으로 차량이 주행한다면, Newton 의 제 2 법칙에 의한 관성력은 다음과 같이 주어 진다.

$$\sum F_t = m\left(\frac{dv}{dt}\right), \quad \sum F_n = \frac{mv^2}{R}$$

이 때 차량이 곡선상에서 미끄러지지 않기 위해서는 타이어와 노면과의 횡방향 마찰력이 원심력을 지탱하든지 노면의 경사도를 급하게 하여 원심력으로 인하여 곡선 밖으로 튀어 나가는 힘을 이겨야 한다. 원심력을 지탱하기 위하여 노면의 경사를 주는 것을 편구배(Superelevation)라고 하고 이 값은  $e = \tan \beta$  로 주어 진다. X-방향의 힘의 균형을 고려하면 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.



<그림 2-6> 회전차량에 미치는 힘의 상태

Remark.(Offtracking)

차량이 곡선부를 주행할 때 앞 바퀴 중심의 궤적과 뒤바퀴 중심의 궤적의 거리차이를 말한다.

<그림 2-6>에서 X-방향의 힘의 균형을 살펴보면,

$$\begin{aligned} W \sin \beta + f_s W \cos \beta &= m a_n \cos \beta \\ &= \frac{W}{g} \left( \frac{v^2}{R} \right) \cos \beta \\ e + f_s &= \frac{v^2}{gR} \end{aligned}$$

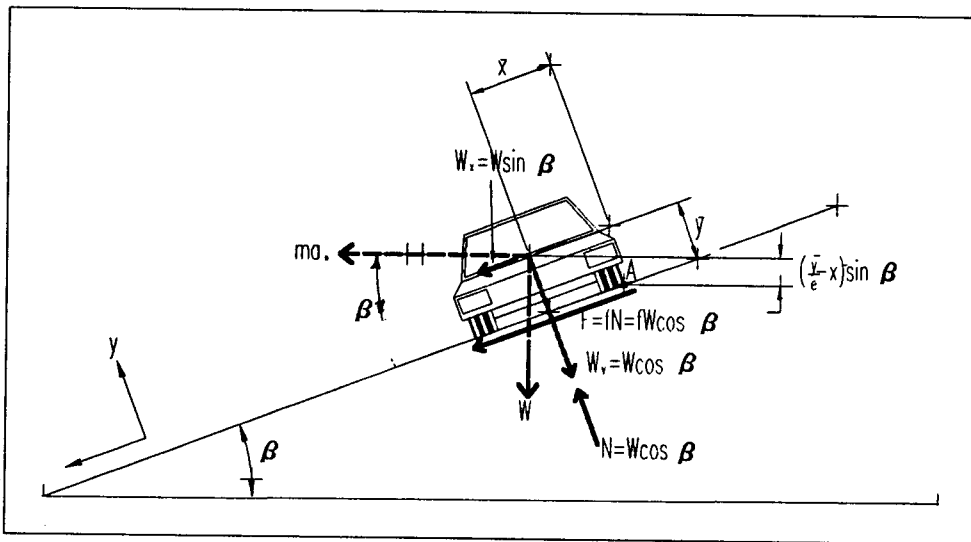
여기서,  $e = \tan \beta$ 이며,  $f_s$  는 횡방향 마찰계수

만약 차량의 무게중심이 차량의 위쪽에 있다면, 차량의 곡선주행시 전도(overturning)의 위험이 있다. <그림 2-7>은 이러한 현상에 대한 도식이다. 전도가 일어날 때 법선방향의 힘은 바깥 바퀴에 가해지고 그림의 A 지점에서 전도가 일어난다고 가정하자. 지점 A 에서 모멘트를 생각하면 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$XW\cos\beta + YW\sin\beta = \left(\frac{Y}{e} - X\right)(\sin\beta)ma_n$$

이를  $W\cos\beta$  로 나누면,

$$\frac{v^2}{gR} = \frac{X + Ye}{Y - Xe}$$



<그림 2-7> 전도되는 경우의 힘의 조합

<예제 7> 설계속도가 60KPH 이고 편구배율이 0.06 m/m 일 때 최소 곡선반경을 구하라.

단, 노면과 타이어의 횡방향 마찰계수는 0.15 로 가정하라.

(풀이)

$$R = \frac{(60)^2}{127(0.06 + 0.15)} = \frac{3600}{26.67} = 135 (m)$$

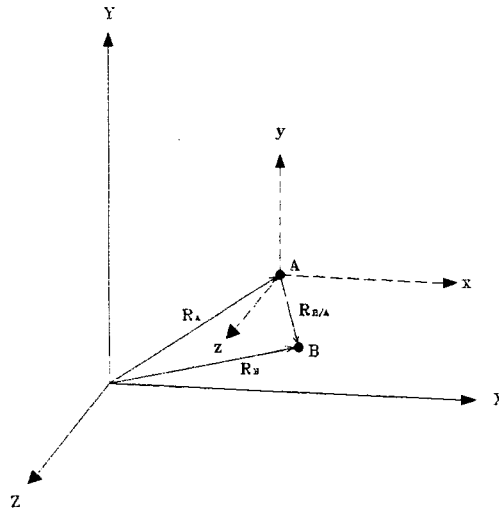
#### 다. 車輛의 相對運動

움직이는 차량에서 상대 차량의 운동에 대한 연구를 할 경우 차량의 상대운동에 대한 지식이 필요하다. 이 경우 <그림 2-8>에서와 같이 두 개의 좌표계가 사용된다. 즉, B 위치에서 A 에 대한 상대 위치는

$r_B = r_A + r_{B/A}$  로 주어지고

이를 시간에 대하여 미분하면

$v_B = v_A + v_{B/A}$  와  $a_B = a_A + a_{B/A}$  를 얻을 수 있다.



<그림 2-8> 두입자의 상대위치

<예제 8> 차량의 상대속도와 상대가속도를 측정할 수 있는 레이더를 장치하고 있는 교통순찰차가 있다. 순찰차의 속도가 80 km/h 이고 가속도가  $3 \text{ m/s}^2$  으로 속도위반차량이라고 의심되고 있는 차량을 추적하고 있다. 레이더에 의한 상대속도는  $-8 \text{ km/h}$  이고 이 때의 상대가속도가  $-4 \text{ m/s}^2$ 이라고 할 때 추적하고 있는 차량의 실제속도와 가속도를 계산하라. 또한 만약 이 도로의 제한속도가 60 km/h 이라고 할 때 속도위반의 여부를 판단하라.

(풀이)

만약 교통순찰차의 현재 위치를 A 라고 하고 추적하고 있는 차량의 위치를 B 라고 한다면

$$v_{B/A} = v_B - v_A$$

$$-8 = v_B - 80$$

$$\therefore v_B = 72 \text{ km/h}$$

같은 방법으로,  $a_{B/A} = a_B - a_A$

$$-4 = a_B - 3$$

$$\therefore a_B = -1 \text{ m/s}^2$$

따라서 추적당하고 있는 차량은 규정속도보다 12 km/h 위반하고 있고 현재  $1 \text{ m/s}^2$ 의 가속도로 속도를 줄이고 있다고 판단된다.

라. 車輛運動과 摩擦(Resistance)

차량의 운동은 필연적으로 마찰의 문제를 고려하여야 한다. 차량의 운행에 관련된 마찰에는 타이어와 노면의 마찰, 공기의 마찰, 경사가 진 길을 운행할 때 발생하는 경사가 차량에 미치는 마찰, 차량이 곡선부에 운행할 때 고려하여야 하는 곡률마찰, 속도의 변화를 극복하기 위한 관성마찰 등이 있다.

1) 回轉摩擦(Rolling Resistance)

회전마찰은 차량의 바퀴와 노면과의 접촉으로 발생하는 것으로 바퀴의 압력에 의한 마찰이나 변속기에 가해지는 내부마찰등이 포함된다. 일반적으로 표면의 상태가 고르지 않을 때 높은 회전마찰력이 생긴다. 자가용 승용차의 회전마찰력은 다음과 같이 표현된다.

$$R_r = (a + bv^2) W \quad (\text{승용차인 경우})$$

$$= (c + dv) W \quad (\text{트럭인 경우})$$

여기서,  $R_r$  = 회전마찰력(Newton = kg m /sec<sup>2</sup>)

a,b,c,d = 차종에 따른 상수

v = 차량의 속도(km/hour)

W = 차량의 무게(kg)

2) 空氣摩擦(Air Resistance)

공기마찰은 차량의 표면과 공기와의 마찰에 의해 발생하는 것으로 공기마찰력은 다음과 같이 표현된다.

$$R_a = \beta \frac{\rho A v^2}{g}$$

여기서,  $R_a$  = 공기마찰력(N)

$\beta$  = 공기저항계수(Aerodynamic Drag Coefficient)

$\rho$  = 공기밀도(kg/m<sup>3</sup>)

v = 차량의 속도(kph)

g = 중력가속도(= 9.8 m/sec<sup>2</sup>)

3) 傾斜摩擦(Grade Resistance)

경사에 의한 마찰력은 차량이 경사진 곳을 오를 때 차량에 대하여 발생하는 마찰의 크기로서 차량의 무게 중 경사면에 수직으로 작용하는 힘이다.

$$R_g = \frac{WG}{100}$$

여기서,  $R_g$  = 경사마찰력

$W$  = 차량의 총중량(kg)

$G$  = 경사도(%)

#### 4) 曲率摩擦(Curve Resistance)

차량이 곡선부에서 운행할 때 차량이 밖으로 튀어 나가지 않게 차량에게 작용되는 횡방향의 저항이다. 곡률마찰력은 차량의 중량과 속도의 제곱에 비례하며 곡선반경에 반비례한다.

$$R_c = \gamma \frac{v^2 W}{gR}$$

여기서,  $R_c$  = 곡률마찰력

$\gamma$  = 단위환산계수

$v$  = 차량의 속도(kph)

$W$  = 차량의 총중량(kg)

$R$  = 곡선반경(m)

$g$  = 중력가속도( = 9.8 m/sec<sup>2</sup>)

#### 5) 慣性摩擦(Inertial Resistance)

속도를 변하게 할 때 이겨야할 저항력을 말하며, 이것은 차량의 무게와 가속도의 크기에 비례한다.

$$R_i = \frac{Wa}{g}$$

여기서,  $R_i$  = 관성마찰력

$W$  = 차량의 총중량(kg)

$a$  = 차량의 가속도(m/sec<sup>2</sup>)

$g$  = 중력가속도( = 9.8 m/sec<sup>2</sup>)



마. 車輛의 重量/馬力の 比

무게/추진력은 차량의 성능을 표현할 수 있는 지표이다. 특히 오르막 도로구간을 오를 때 차량이 가속할 수 있는 능력 및 속도를 유지할 수 있는 능력을 판단할 수 있는 주요한 지표가 된다. 이것은 차량의 무게는 대체로 차량의 마찰력과 비례하고 따라서 무게/마력 이 클수록 차량이 가속할 능력이 떨어 지게 된다. 특히 교통용량산정에서 트럭에 대한 용량보정에서 매우 중요한 역할을 한다.

바. 加速度

가속에 미치는 요인으로는 차량의 마력, 차량의 속도, 경사도 등이고 가속도의 크기는 일반적으로 무게/마력 비의 함수로 표현된다. 또한 가속능력은 차량의 무게와 엔진의 추진력 및 극복해야 할 마찰력에 따라 달라진다. 즉, 가속능력은 엔진의 추진능력에서 차량을 움직이는데 발생하는 각종 마찰력을 극복한 후 남은 추진력에 비례하며 차량의 무게에 반비례한다.

$$F = R + \frac{W \cdot a}{g}$$

여기서 : F = 엔진의 추진력(kg)

R = 마찰(kg)

W = 차량의 무게(kg)

a = 가속도(m/sec<sup>2</sup>)

g = 중력가속도(9.8m/sec<sup>2</sup>)

각 속도에 따른 최대가속도가 일정하지 않는 것은 속도가 증가할수록 공기저항과 엔진압축에 의한 저항이 커지기 때문이며 일반적으로 고속에서의 최대가속도(Maximum acceleration rates)는 저속에서의 최대가속도보다 작다. 일반적으로 관측된 승용차의 정상가속도는 <표 2-5>와 같다.

<표 2-5>는 일반도로에서 승용차가 정지상태에서 24km/h, 48km/h 의 속도가 될 때까지의 정상가속률과 주행속도를 48, 64, 80, 96km/h로 증가시킬 때의 정상가속률을 보여주고 있다. 이 수치는 운전자가 급속한 가속을 하지 않은 때의 가속률로서, 4차선 도로를 지나는 승용차가 녹색신호를 받고 출발할 때를 기준으로 하였다.

<표 2-5>

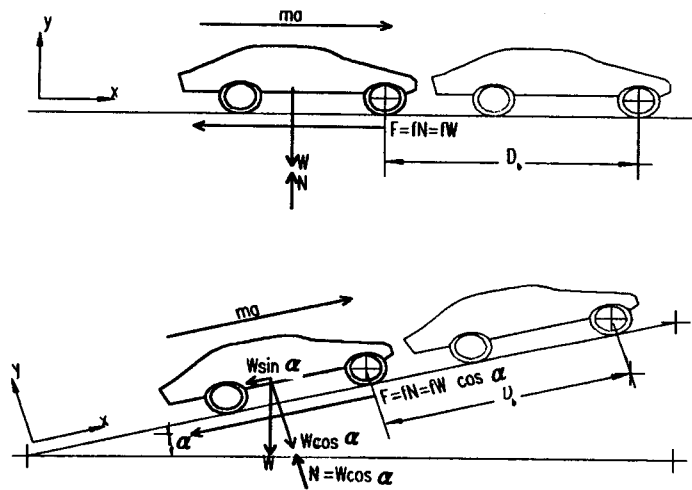
정상가속도 및 감속도

속도 변화 (km/h)	가속도 (km/h/s)	감속도 (km/h/s)
0 - 24	5.3	8.5
0 - 48	5.3	7.3
48 - 64	5.3	5.3
64 - 80	4.2	5.3
80 - 97	3.2	5.3
97 - 113	2.1	5.3

자료 : Alexander French, "Vehicle Operating Characteristics", ITE

1.4 制動距離(Braking Distance)

제동거리는 일반적으로 수평거리로 환산된다. 즉 <그림 2-9>에서 주어진 X-축의 거리  $x$  에 대하여 제동거리  $D_b = x \cos \alpha$  로 표시된다.



<그림 2-9> 차량제동시 힘의 조합

Y 방향의 힘의 균형상태는 차량중량의 Y 방향요소와 수직응력  $N = W \cos \alpha$  에 의해 구성되며 X 방향의 균형상태는 다음과 같다.

$$\left(\frac{W}{g}\right)a = Wf \cos \alpha + W \sin \alpha$$

$$\therefore \left(\frac{W}{g}\right)a - Wf \cos \alpha - W \sin \alpha = 0$$

한편, 한 차량이 최초속도  $v_0$ 에서 최종속도  $v$ 로 될때까지 주행한 거리는

$$x - x_0 = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

가속도  $a$ 는

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2(x - x_0)} = (v^2 - v_0^2) \frac{\cos \alpha}{2D_b}$$

x 방향 균형상태를 나타내는 공식에 위 식을 대입하고 감가속도로 놓으면

$$\left(\frac{W}{g}\right)(v_0^2 - v^2) \frac{\cos \alpha}{2D_b} + Wf \cos \alpha + W \sin \alpha = 0$$

$$\frac{(v^2 - v_0^2)}{2gD_b} = f + \tan \alpha$$

여기서  $\tan \alpha$  는 도로의 구배이므로 G 로 나타내면 제동거리  $D_b$  는

$$D_b = \frac{v^2 - v_0^2}{2g(f \pm G)}$$

다시 속도를 km/시로 나타내면 아래와 같다.

$$D_b(m) = \frac{(1000/3600)^2 (V^2 - V_0^2)}{2g(f \pm G)}$$

$$= \frac{V^2 - V_0^2}{2 \cdot (3.6)^2 \cdot 9.8 \cdot (f \pm G)}$$

$$= \frac{V^2 - V_0^2}{254(f \pm G)}$$

여기서  $D_b$  = 제동거리(m)

$G = \tan \alpha = \text{종단구배}/100$

$g = 9.8 \text{ m/sec}^2$

$V_0$  = 최초속도(km/h)

$V$  = 나중속도(km/h)

$f$  = 노면 - 타이어 마찰계수

- 정지한 경우(  $V = 0$  )

$$D_b = \frac{v_0^2}{2g(f \pm G)} = \frac{V_0^2}{254(f \pm G)}$$

- 정지하지 않은 경우

$$D_b = \frac{v_0^2 - v^2}{2g(f \pm G)} = \frac{v_0^2 - v^2}{2a}$$

- 만약  $G = 0$  이면

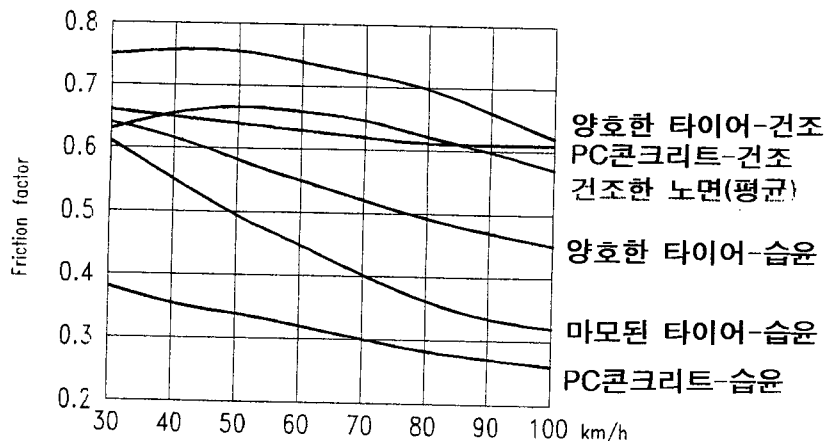
$$D_b = \frac{v_0^2 - v^2}{2gf} = \frac{v_0^2 - v^2}{2a}$$

따라서  $a = gf$

임을 알 수 있다.

최소정지거리를 얻기 위해서는 최대감속도를 사용하며, 정지표시나 신호등 앞에서 정상적인 정지를 하기 위해 필요한 적절한 길이와 시간을 얻기 위해서는 정상적인 감속율을 사용한다. 최대마찰계수는 속도, 타이어 마모상태, 포장노면의 종류, 노면상태에 따라 달라지며 고속에서의 마찰계수는 저속에서의 경우에 비해 작으므로 같은거리의 정지거리를 확보하기 위해서는 고속주행 시 저속때 보다 높은 감가속도가 필요하다.

<그림 2-10>는 속도와 노면상태 및 타이어 마모상태에 따른 미끄럼 마찰계수를 나타내는 것으로서, 그림이 개략적임에도 불구하고 AASHTO에서 대부분의 경우 설계기준으로 사용되었다. <그림 2-10>에서 보는바와 같이, 같은 속도라 하더라도 노면상태나 타이어 마모상태에 따라 최대 마찰계수는 큰 차이를 나타내고 있다. 타이어의 마모정도에 따른 마찰계수의 변화를 보면, 70kph에서 양호한 타이어인 경우의 최대마찰계수는 0.73인 반면 많이 마모된 타이어의 마찰계수는 0.40이다. 또한 노면상태에 따른 마찰계수 변화는 70kph에서 건조한 PC콘크리트 노면의 마찰계수가 0.62이며, 같은 PC콘크리트이면서도 노면이 젖었을 경우의 마찰계수는 0.30 밖에 되지 않는다.



<2-10> 노면 및 타이어 상태에 따른 미끄럼 마찰계수

자료 : William R. Mcshane & Roger P. Ross, "Traffic Engineering", 1990

정지거리는 교통공학이나 도로설계에서 중요한 요소이다. 정지거리는 차선의 중심선상 1.0m의 눈높이에서 전방의 15cm 높이의 장애물을 인지하고 제동을 걸어 정지하기 위해 필요한 거리 즉, 인지 및 반응시간동안 달린 공주거리와 제동거리를 합한 거리이다. 즉,

$$D = \frac{V}{3.6} t_r + \frac{V^2}{2g(3.6)^2(f \pm G)} = 0.694 V + \frac{V^2}{254(f \pm G)}$$

여기서 D = 정지거리 (m)

G = 경사 (m/m, 오르막 +, 내리막 -)

t<sub>r</sub> = 운전자 반응시간 (= 2.5sec, 교차로 시거에는 2.0 sec)

V = 차량속도 (Km/h)

f = 노면-타이어 마찰계수

g = 중력가속도 (9.8m/sec<sup>2</sup>)

실제의 상황에서 가능한 모든 조건을 포함하면서 가장 안전한 마찰계수는 설계목적상 정지시거를 계산할 때에 사용되며, 정지시거는 <표 2-6>에서와 같이 확보되도록 하여야 한다.

<표 2-6> 정 지 시 거 (단위 : m)

설 계 속 도 (km/h)	마 찰 계 수	정 지 시 거
120	0.10	280
100	0.11	200
80	0.12	140
70	0.13	110
60	0.14	85
50	0.15	65
40	0.16	45
30	0.16	30
20	0.16	20

자료 : 건설부, 도로의 구조.시설기준에 관한 규정(해설및 지침), 1991, P200.

### 1.5 차량의 排氣가스

배기가스는 통상 엔진의 냉각상태와 더워진 상태에서 표준시험 운영을 함으로써 측정한다. 냉각엔진은 일반적으로 가열된 엔진일 때보다 더 많은 오염물질을 방출하며, 그 방출률은 엔진에 흡입되는 연료-공기비에 따라 달라진다. 차량운행으로 인하여 배출되는 대기오염물질의 1차 생성물로는 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 탄화수소(HC), 황산화물(SO<sub>x</sub>), 납및 중금속등이 있고, 2차 생성물로는 오존, 알데이드, 수소산화물, 황산등이 있다.

#### 배기가스에 의한 공해효과

- 직접적인 효과

급성적인 영향 : 시정감소, 정신적 피로감, 호흡기 및 순환기 질환유발,  
만성질환의 급성화, 이차감염유발, 폐기능저하

만성적인 영향 : 생체발육장애, 만성호흡기질환, 퇴행성질환의 촉진 등

- 간접적인 효과 : 온실효과, 오존층파괴효과, 생태계파괴효과, 산성무현상,  
광화학적 스모그현상, 복합오염효과

우리나라 대기오염에 대한 환경기준치는 <표 2-7>과 같다.

<표 2-7> 우리나라 주요 오염물질의 환경기준치

설 정 항 목	기 준
아황산가스 (SO <sub>2</sub> )	연간 평균치 0.05 ppm 이하 24시간 평균치 0.15 ppm 이하(연간 3회 이상 초과해서는 안된다.)
일산화탄소 (CO)	1개월 평균치 8 ppm 이하 8시간 평균치 20 ppm 이하(연간 3회 이상 초과해서는 안된다)
질소산화물 (NO <sub>2</sub> )	연간 평균치 0.05 ppm 이하 1시간 평균치 0.15 ppm 이하(연간 3회 이상 초과해서는 안된다)
부유분진 (TSP)	연간 평균치 150 μg/m <sup>3</sup> 이하 24시간 평균치 300 μg/m <sup>3</sup> 이하(연간 3회 이상 초과해서는 안된다)
옥시단트 (O <sub>3</sub> )	연간 평균치 0.02 ppm 이하 1시간 평균치 0.1 ppm 이하(연간 3회 이상 초과해서는 안된다)
탄화수소 (HC)	연간 평균치 3ppm 이하 1시간 평균치 10 ppm 이하(연간 3회 이상 초과해서는 안된다)

자료 : 교통개발연구원, 교통부문의 에너지소비및 대기오염 저감방안 연구,1992.

참고로 차량의 제작시 배출가스 허용기준<표 2-8>과 운행시 배출가스 허용기준<표 2-9>를 살펴 보면 아래와 같다.

<표 2-8 >

제작차 배출가스 허용기준

차종	CO	NOx	HC			매연	측정방법
			배기관	부로바이	증발		
휘발유연료	경자동차	8.0 g/km	1.5 g/km	2.1 g/km	0 g/주행	4.0 g/Test	
	승용차	2.11	0.62	0.25	0	2.0	CVS-75
	소형화물차	6.21	1.43	0.5	0	2.0	
	중량차	6.21 g/KWH	11.4 g/KWH	1.3 g/KWH	0		G-13
경유연료	경유자동차	980ppm 33.5	IDI450 DI850 ppm	670ppm			50% D-6

<표 2-9 > 운행차 배출가스 허용기준

사용연료	차종	일산화탄소	배기관 탄화수소	매연	측정방법
휘발유	승용차	1.2%이하			정지가동
	가스	1.2%이하	400ppm이하		
휘발유	경자동차	4.5%이하	1,200ppm 이하		
	가스	소형화물			
		중량차			
경유	승용차			40%이하	무부하급가속
	소형화물				
	중량차				

또한 배기가스는 차량의 속도에 의하여 배출량이 달라진다. 아래의 <표 2-10>은 차종별 배출계수를 나타낸 것이다.

<표 2-10>

차종별 주행속도별 오염물질 배출계수(단위: g/km)

속도 (Km/h)	일산화탄소(CO)				질소산화물(NOx)			
	승용차	택시	트럭	버스	승용차	택시	트럭	버스
5	29.89	32.32	4.80	2.67	1.42	1.85	2.96	2.95
10	19.35	16.18	3.15	2.06	1.05	1.45	2.32	2.27
15	15.03	10.81	2.46	1.77	0.86	1.24	1.87	1.79
20	12.57	8.12	2.07	1.59	0.80	1.18	1.56	1.48
25	10.95	6.50	1.81	1.46	0.82	1.20	1.37	1.29
30	9.79	5.43	1.63	1.37	0.87	1.25	1.27	1.19
35	8.91	4.66	1.48	1.29	0.92	1.30	1.22	1.15
40	8.21	4.08	1.37	1.23	0.91	1.28	1.18	1.11
45	7.64	3.63	1.28	1.18	0.79	1.15	1.14	1.05

자료: 국립환경연구원, 도시지역 대기질 개선에 관한 연구(II), 1990.

자료재인용: 교통개발연구원, 교통부문의 에너지소비 및 대기오염 저감방안 연구, 1992

## 2 運轉者의 特性

차의 운전자는 차량의 주행 이외에도 차를 실질적으로 제어하는데 필요한 중요한 기능을 갖는다. 예를 들면, 운전자는 차량제어의 방향과 시기를 결정해야하는 것이다. 운전자의 행동으로 나타나는 몇가지 제어기능은 <표 2-11>에서 일반적 형태를 보여주고 있는데, 이것은 일반적인 운전자의 차량 운행 상태를 파악하는데 사용된다.

<표 2-11>

운전자의 기능과 특성 분석의 일반적 양식

구분	A. 여행계획		B. 차량운행결정			C. 차량운행		D. 차량유지	
	계획	경로	도로	속도	고장	가속	방향	집	여행중
정보 자료 입력									
실행 범위 출력									
실행의 평가									
선택과 배치									
개인의 훈련									

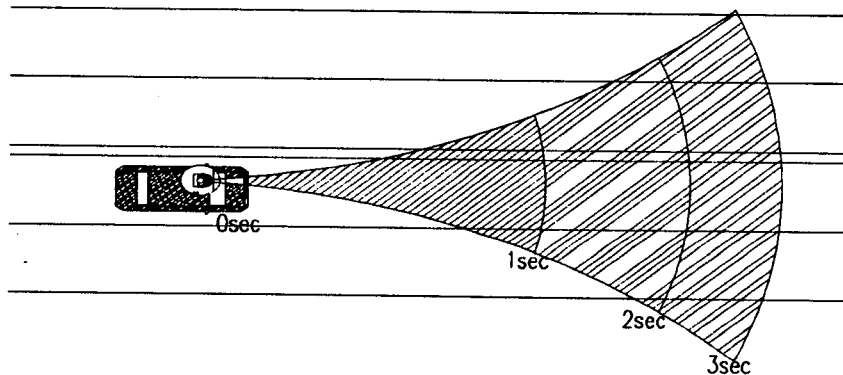
자료:Slade F.Hulbert and Albert Berg, "Human Factors in Transportation system," Systems, Psychology, Kenyon B. De Green, ed, New York:Mcgraw-Hill, 1970



운전자들이 장애물을 발견하고 그 장애물의 상태를 판단하여 적절한 반응을 나타낼 때 까지는 어느 정도의 시간이 필요하다. 즉, 운전자의 어떤 상황에서 차량을 정지시키고, 재출발하는데 걸리는 운전자의 인지-반응시간은 대체로 장애물로 부터의 거리, 운전자의 시야, 운전자의 개인 특성, 도로의 가시거리, 도로의 형태 및 상태, 신호등의 주기, 장애물의 형태 등 여러가지 조건에 의해 반응이 나타나게 되며, 차량의 속도와 도로의 주변환경 역시 이에 영향을 주게 된다. 운전자들이 운행을 하는 동안 발생하는 돌발사태에 대하여 즉각적으로 대처할 수는 없다. 그러므로, 다음 순간 몇 초내에 발생하는 상태의 변화를 인지해서 반응하는 데에는 부득이하게 시간이 길어지는 것이다.

<그림 2-11>은 운전자의 인지-반응 관계에 있어서 운전자가 인지할 수 있는 범위를 나타내는 부채꼴모양의 형태를 보여 준다. 이 그림은 운전자가 시각적으로 보는 범위를 나타내지만, 그 범위는 차량의 속도, 회전반경, 제동거리, 운전자의 반응시간에 따라 변할 수 있으며, 차량이 진행할 때 부채꼴모양의 지역은 시간이 지남에 따라 가시폭이 확대되고, 속도와 도로사정에 따라 시야의 폭이 변함을 나타내고 있다.

<그림 2-11> 운행차량 운전자의 시간에 따른 시각 변화



자료 : Slade F.Hulbert, "Driver Information Systems," Human Factors in Highway Traffic Safety Rdaserch, T.W.Forves, ed. , New York:Wiley, 1972

운전자들의 인지-반응시간은 속도가 높을 때 짧아지며, 주차차량, 접속도로, 횡단보도, 신호등의 주기, 사람들의 움직임과 도로시설물 등의 여러 장애물로 인하여 도시내를 주행하는 운전자의 인지-반응시간이 짧아지게 된다.

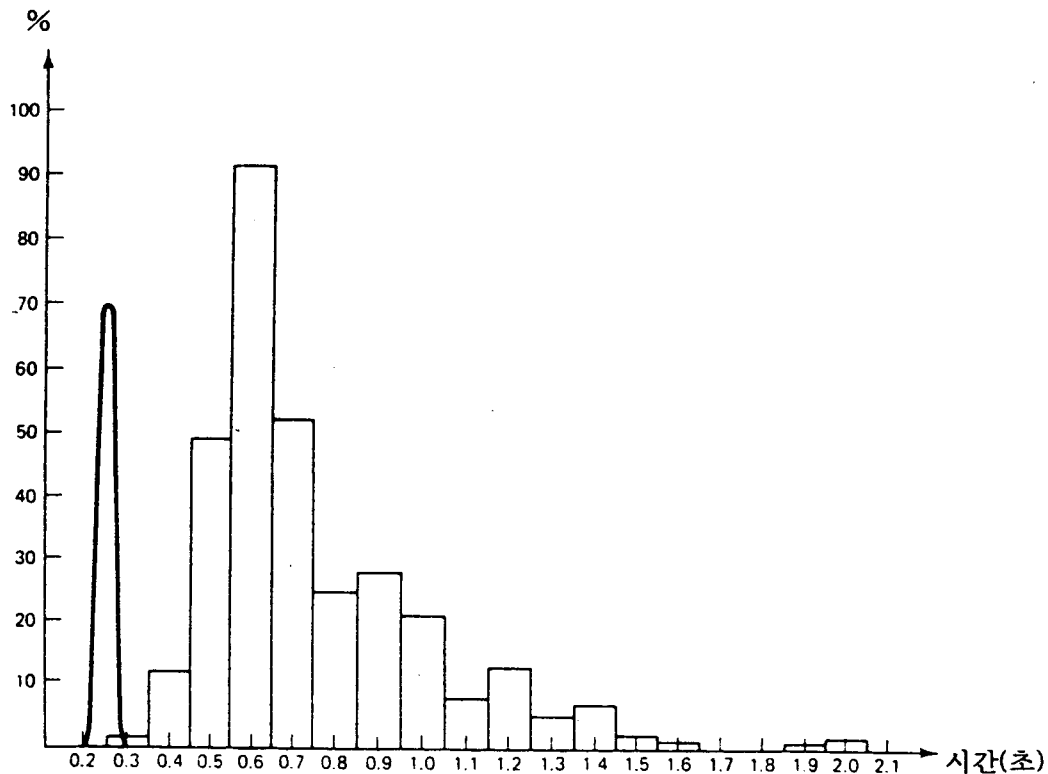
## 2.1 運轉者의 反應時間

운전자의 예상반응시간을 파악하는 것은 운전자의 거동을 이해하는데 아주 중요하다. 그리고 이것을 알게 됨으로서 교통흐름을 안전하고 효율적으로 이끄는 데 도움이 된다. 여러 도로여건에 따른 운전자의 반응은 여러 측면에서 연구되고 있다. 이 중에서 운전자의 반응시간에 대한 평균 값을 1971년 Johansson과 Rumar가 발표했는데, 이 보고서에서는 321명의 운전자를 조사하여 실

제적인 조사자료를 모아 운전자의 반응정도를 도식적인 값으로 나타냈다.

<그림 2-12>에서 운전자의 반응시간은 평균값이 0.66초 이고, 1.5초 이상의 반응시간을 나타내는 운전자들도 전체의 10%에 이른다는 사실을 알 수 있다. 미국의 MIT에서 수행한 연구에서 반응시간은 0.64초 이었으며 1.0초 이상의 반응시간을 나타내는 운전자들은 전체 연구대상 운전자들 중 5%였다. 한편 Norman이 수행한 연구에서는 반응시간의 범위가 0.4-1.7초에 해당하였다.

Johansson가 Rumar의 연구에서는 도시내의 운전자들 중 교통신호등이 갑자기 나타나는 경우, 반응시간이 1초 정도 길어짐을 밝히고 있다. 정상적인 운전자일 경우는 1.5초 정도의 반응시간을 나타낸다. 이러한 연구결과에서 최소-반응시간은 1.64초 정도였으며, 도로조건의 다양성 및 복잡성을 감안할 때, 1.6초보다 긴 최소반응시간을 나타냄을 알 수 있다. 또한, 도로설계에서는 사용자에 대한 최대한의 안전성을 확보하기 위해서 2.5초를 반응 시간으로 적용하고 있다.



<그림 2-12>운전자의 반응 시간 분포(321명의 운전자 대상 조사)

자료:G.Johansson and K.Rumar, "Drivers' Brake Reaction Time, "Human Factors, 3(1), 26(1971)

<표 2-12>은 돌발사태나 자극적인 상황에 대한 운전자들의 정지반응시간을 나타낸다. 여기서 50%이상의 운전자들이 0.9초의 반응시간을 보였으며, 10%정도는 1.5초 이상의 반응시간을 보였고, 소수운전자들은 2초 내지 2초 이상의 반응시간을 나타냈다.

<표 2-12>

돌발사태나 자극적인 예상상황에서의 정지 반응 시간

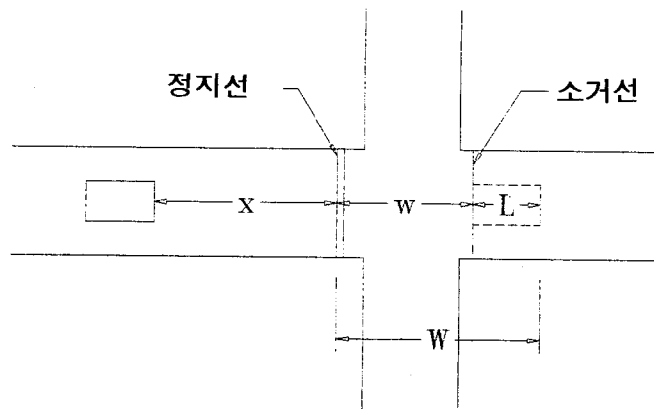
구분	관측자수		중간값(초)		시간 범위(초)	
	sb	ab	sb	ab	sb	ab
A	10	10	0.88	0.6	0.7-1.1	0.5-0.7
B	10	10	0.6	0.5	0.6-1.0	0.5-0.8
C	10	10	0.9	0.55	0.7-1.0	0.5-0.8
D	10	10	0.7	0.55	0.6-0.7	0.5-0.6
E	10	10	0.6	0.5	0.5-0.9	0.4-0.6
합과평균	50	50	0.73	0.54	0.5-1.1	0.4-0.8

주 : sb(돌발사태 정지반응), ab(자극적인 예상상황)

자료 : G.Johansson and K.Rumar, "Drivers' Brake Reaction Time", Human Factors, 12(1), 99(1971)

### 2.2 黄色信號時間과 Dilemma Zone

신호교차로를 접근하고 있는 차량은 간혹 적색시간이 시작되기 전에 교차로를 통과할 것인지 정지선에 멈출 것인지에 대하여 말설일 때가 있다. 이 경우를 위하여 Gazis는 황색신호시간의 필요성을 주장하였다. 이 경우 최소의 황색신호시간에는 운전자의 인지반응시간과 정상 가속도를 감안하고 있다. 만약 교차로의 형태가 <그림 2-13>과 같다고 할 때 교차로를 횡단하려고 하는 차량의 현위치에 따라 교차로의 통과여부를 판단하는 과정은 다음과 같다.



<그림 2-13> 교차로로 접근하는 차량의 딜레마 존

여기서  $x$  는 현 차량의 위치에서 정지선까지의 거리이고  $w$  는 정지선에서 소거선까지의 거리,  $L$  은 차량의 길이이다. 따라서 차량이 완전히 통과하기 위해서는  $(x + w + L)$  를 통과하여야 한다.

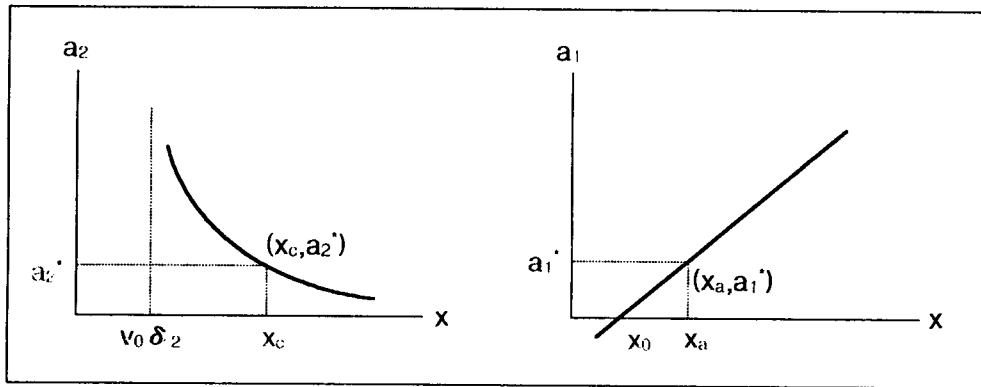
만약 차량이 정지선에서 멈추기 위한 과정은 다음과 같이 정리된다. 우선 차량의 현 위치에서 운전자가 정지를 인지하고 반응하는 시간을  $\delta_1$  이라고 하고 차량의 최대감가속도를  $a_1$  이라고 하면 교차로의 법정 제한속도를  $v_0$  라 가정할 때 차량이 안전하게 정지선에 멈추기 위해서는 다음을 만족하여야 한다.

$$x - v_0\delta_1 \geq \frac{v_0^2}{2a_1}$$

즉 <그림 2-14>에서와 같이 차량의 정지거리를 짧게하기 위해서는 적어도 아래의 감가속도를 적용하여야 하지만 실제 운전자가 안전하게 정지하기 위해서는 이 보다 적은 감가속도(즉  $a_1^*$ )를 적용하게 된다. 따라서 실제의 정지거리는 계산치보다 더 길어야 한다. 이 때의 길이를  $x_s$  라 하자.

$$a_1 = \frac{v_0^2}{2(x - v_0\delta_1)}$$

$$x_s = v_0\delta_1 + \frac{v_0^2}{2a_1^*}$$



<그림 2-14> 차량이 멈추기 위한 가속도 및 차량이 통과하기 위한 가속도

만약 황색시간(Y)동안 차량이 교차로를 완전히 안전하게 통과하기 위해서는 통과를 결정하기까지 운전자의 인지-반응시간을  $\delta_2$ , 이 때의 가속도를  $a_2$  라고 하면 아래와 같은 관계식이 성립된다.

$$x + w + L - v_0\delta_2 \leq v_0(Y - \delta_2) + \frac{1}{2}a_2(Y - \delta_2)^2$$

식의 우측은 황색신호시간에서 운전자의 인지반응시간을 제외한 시간동안 진행한 거리를 말하며 이 거리가 교차로의 폭, 차량의 길이, 정지선까지의 거리의 합보다도 클때 안전하게 통과할 수 있다. 이 경우도 <그림 2-14>와 같이 최대가속도를 적용하여야 주어진 황색시간동안 교차로를 통과할 수 있다. 그러나 실제 적용되는 가속도는 정상가속도( $a_2^*$ )이기 때문에 통과시간이 더 길게 된다.

$$a_2 = \frac{2x}{(Y - \delta_2)^2} + \frac{2(w + L - v_0Y)}{(Y - \delta_2)^2}$$

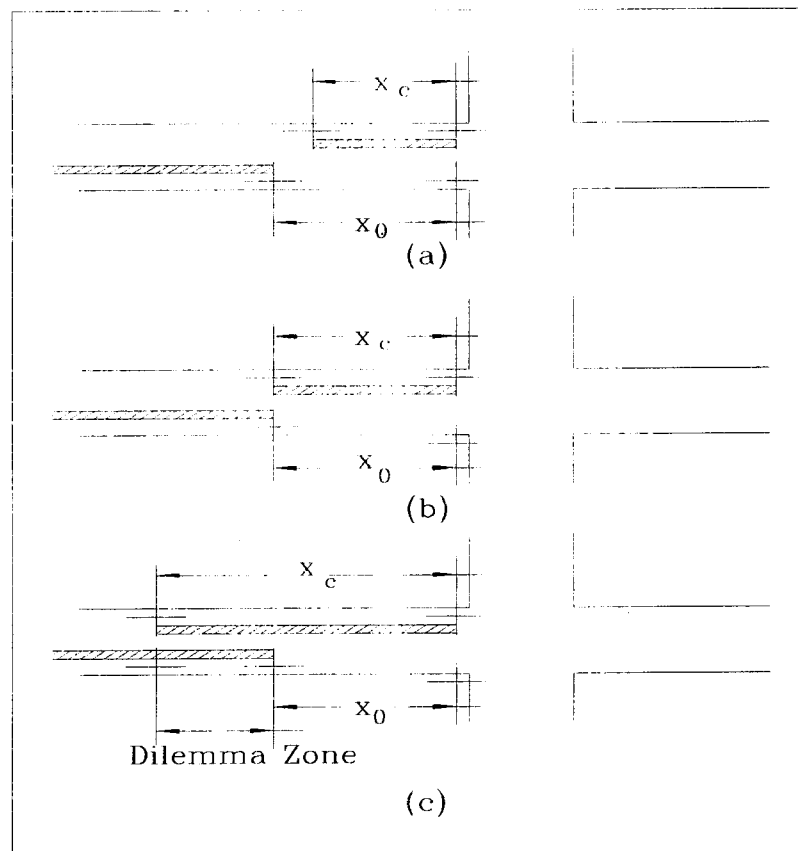
만약 차량이 가속하지 않고 황색신호시간동안 안전하게 통과할 수 있는 거리  $x_c$

라고 한다면  $x_c$  의 값은 다음과 같이 구해진다.

$$x_c = v_0 Y - (w + L)$$

여기서 <그림 2-15>에서와 같이 (a)  $x_s < x_c$  이면 통과를 시도하게 되고 (b)  $x_s > x_c$  이면  $x_s - x_c$  만큼의 Dilemma Zone이 생기게 된다. 즉 차량이  $x_s$  보다 교차로에서 멀리 있으면 정지를 하지만 이 보다 가까이 있으면서 통과를 할 수 없는 지역이 존재하게 된다. 이를 딜레마존이라고 한다. 최소 황색신호시간은 법정 속도제한에서 정지할 수 없는 최후의 차량이 완전히 소거될 때까지의 시간을 의미하게 되고 이 때  $x_s = x_c$  가 된다. 따라서 최소 황색신호의 길이를 산출하는 공식은 아래와 같이 표현된다.

$$Y_{\min} = \delta_1 + \frac{v_0}{2a_1^*} + \frac{w + L}{v_0}$$



<그림 2-15> Dilemma Zone

<예제 9> 교차로에서의 속도제한이 36 km/h 이고 운전자의 인지-반응시간을 1.5s 이고 안전가속도를  $3 \text{ m/s}^2$  이며 자동차의 길이를 5m, 교차로의 폭을 15 m라고 할 때 최소 황색신호를 결정하라.

(풀이)

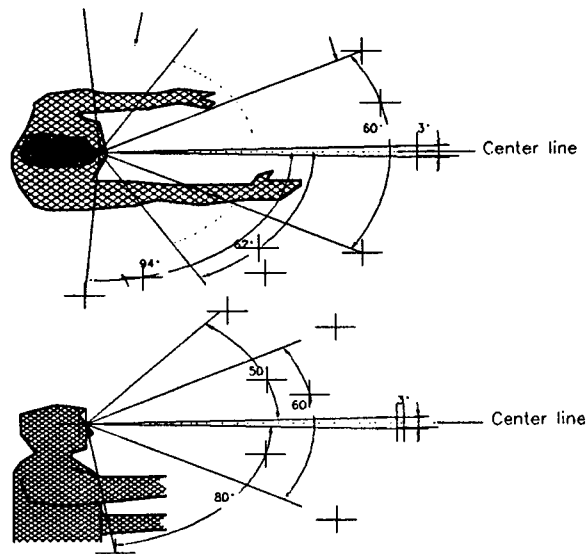
최소 황색신호시간(  $Y_{min}$  )은 아래와 같이 주어진다.

$$Y_{min} = 1.5 + \frac{10}{2 \times 3} + \frac{5 + 15}{10} = 5.5 \text{ 초}$$

### 2.3 運轉者의 明視性和 視認性

운전자가 차량을 운전할 때 운전자는 인접 차량, 장애물, 교통관제시설, 및 주변도로 상황을 끊임없이 주시하고 판단하면서 이러한 조건에 따라 운전상의 제어를 한다. 여기서 운전자의 시각적 요인을 명시성(Visual Acuity)과 시인성으로 나뉘볼 수 있다.

운전자의 명시성은 운전자가 물체를 볼 때의 명확성을 일컫는 말이며, 운전자의 시인성은 운전자가 바라볼 수 있는 시계의 정도를 의미한다. 즉, 시야의 각도와 물체 구분의 정도이다. <그림 2-16>는 운전자의 시계를 나타내고 있다. 여기서 운전자의 중심시야를 기준으로 우측시계와 좌측시계, 경계시계의 정도를 알 수 있다. 일반적으로 중심시야를 중심으로 상하 1.5도가 가장 좋은 시야이며 상하 5도는 비교적 좋은 시야를 갖게 되며 상하 80도이상은 거의 보이지 않는다. 따라서 도로표지판, 신호등의 설치에 중심시야의 상하 5도안에 위치하도록 하여야 한다. 명시성에 영향을 주는 요인으로는 물체의 밝기, 주위와의 대비, 조명정도, 물체와의 상대속도 등이다.



<그림 2-16> 운전자의 시계

자료 : Transportation Engineering, University of Wisconsin, 1987

<예제 9> 20/20의 시력을 가진 운전자가 40m의 거리에서 교통표지판을 읽을 수 있다면 20/40의 상대시력을 가진 자가 크기 5cm의 교통표지판 글자를 읽기 위해서 필요한 거리를 계산하라.

(풀이)

$$\text{필요 거리} = (40) \left( \frac{20}{40} \right) = 20\text{m}$$

즉, 상대시력 20/20의 정상인은 40m거리에서 볼 수 있는데, 20/40의 측정대상자는 20m에서 볼 수 있다.

시인성은 대상물체의 크기, 모양, 밝기등에 따른 식별능력을 의미하는 것으로 도로표지의 경우 글자의 크기, 굵기, 한글과 한자, 영어등의 모양, 색의 대비등에 따라 운전자의 인식정도가 달라진다고 할 수 있고 이를 시인성이라고 정의한다. <그림 2-17>은 운전자가 도로의 폭과 장애물의 접근거리에 따라 차량의 진행에 주는 영향을 분석하는 것으로 운전자는 일반적으로 도로의 폭이 좁을 수록 장애물과의 거리가 가까울 수록 장애물의 반대방향으로 진행하는 습관을 가지고 있다. 이러한 관찰은 도로의 설계등에 있어 측방여유폭의 중요성을 시사한다.

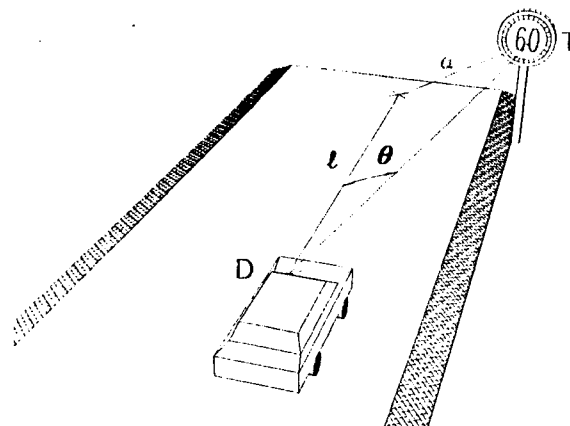
여기서,

$$l = a \cot \theta$$

$$\frac{dl}{dt} = -a \csc^2 \theta \frac{d\theta}{dt}$$

$$\frac{dl}{dt} = -v \text{ 이고, } \csc^2 \theta = \frac{(a^2 + l^2)}{a^2}$$

$$\text{따라서, } \frac{d\theta}{dt} = \frac{va}{(a^2 + l^2)}$$



<그림 2-17> 시인성의 개념도

자료 : C.S Papacostas & P.D. Prevedouros, "Transportation Engineering and Planning",  
2nd Edition, Prentice-Hall, 1993.

<예제 10> 다리의 교대로부터 100 m 의 거리에서 교대의 1.5m 우측상에 있는 장애물을 보고 진행의 방해를 받고 있다고 느끼는 운전자가 있다. 이 때의 속도가 54 Km/h였다. 만약 같은 운전자가 72 km/h 로 같은 장애물을 향하여 간다고 하면 얼마의 거리에서 부터 같은 느낌을 갖게될 것인지 판단하라.

(풀이)

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_c = \frac{va}{(a^2 + l^2)} = \frac{(15)(1.5)}{(1.5)^2 + (100)^2} = .00225 \text{ rad/s}$$

$$.00225 = \frac{(20)(1.5)}{(1.5)^2 + l^2}$$

$$\therefore l = 115.5 \text{ m}$$

## 2.4 運轉者의 外的反應時間(PIEV)

### 가. PIEV의 定義

- 지각(Perception) : 다른 목적물과 함께 자극을 느끼는 과정
- 식별(Identification) : 자극을 식별하고 이해하는 과정
- 행동판단(Emotion) : 적절한 행동을 결심하는 의사결정 과정
- 행동 및 제어 반응(Reaction) : 행동의 실행 및 이에 따른 차량의 작동이 시작되기 직전까 지의 과정

### 나. PIEV 時間

실험에 의하면 이 시간은 0.2-1.5초 정도이며, 이 시간은 피실험자가 실험실에서 예상되는 자극에 대하여 측정한 값이므로, 실제 운행중에 발생하는 시간은 0.5-4.0초로 이보다 길다. 그러므로, AASHTO 는 안전정지시거를 계산하는 데는 이 값을 2.5초, 교차로 시거를 계산할 때는 2.0초로 사용할 것을 권장하고 있다. PIEV시간의 적용대상은 안전시거, 교차로에서의 안전접근속도, 교통신호기의 황색 주기, 응급시 운전자의 대처속도 등이다.

## 2.3 步行者의 特性

<표 2-13>에서 보는 바와 같이 매년 40만명의 보행자들이 차량 사고로 부상을 당하고 있다. 이 중 1만명 정도는 아주 치명적인 부상을 입는다. 비록 사망자수는 일정한 감소율을 가지고 줄어들고 있지만 아직도 도시지역에서 차량사고가 1일 기준 1도시에서 11명정도의 보행자 사망율을 기록하고 있다.

어린이나 신체 장애인, 남녀노소 누구나 도로시설물을 통행로로 이용하기 때문에 통행은 보행거리를 반드시 포함하게 되고 차량 사고는 끊임없이 일어난다. 그러므로 보행자의 특성을 연구함으로써,



보행자의 안전과 통행의 효율성을 높일 수 있다.

보행자의 특성은 보도의 설계, 횡단보도 설치 및 운영, 통로, 계단, 승강기 및 보행자 전용도로의 설계 등에 직접적인 관련이 있다. 우리나라의 교통사고에 있어 보행자 사고는 전체 사고건수의 47.8%나 차지하고 있으며, 대부분 횡단보도나 도로의 횡단 상태에서 발생하고 있어 보행자의 특성 분석은 필수적이다.

<표 2-13> 1994년 교통사고시 상태별·연령층별 사상자통계

연령	상태	계		자동차승차		이륜차승차		자전거승차		보행중		기타	
		(명)	비율	명	비율	명	비율	명	비율	명	비율	명	비율
계	사망	10,402	100	3,687	100	1,046	100	334	100	4,849	100	486	100
	부상	337,679	100	165,126	100	40,986	100	8,504	100	110,499	100	12,564	100
7세 이하	사망	654	6.3	111	3.0	0	0.0	17	5.1	520	10.7	6	1.2
	부상	23,934	7.1	3,926	2.4	202	0.5	341	4.0	19,326	17.5	139	1.1
8-14	사망	344	3.3	60	1.6	13	1.2	35	10.5	232	4.8	4	0.8
	부상	20,464	6.1	3,422	2.1	452	1.1	1,669	19.6	14,592	13.2	329	2.6
15-20	사망	650	6.2	162	4.4	242	23.1	15	4.5	166	3.4	65	13.4
	부상	28,264	8.4	7,416	4.5	9,785	23.9	898	10.6	8,388	7.6	1,777	14.1
21-30	사망	1,924	18.5	1,169	31.7	226	21.6	24	7.2	441	9.1	64	13.2
	부상	78,595	23.3	49,021	29.7	10,968	26.8	808	9.5	15,448	14.0	2,350	18.7
31-40	사망	2,017	19.4	1,124	30.5	188	18.0	23	6.9	622	12.8	60	12.3
	부상	82,105	24.3	54,984	33.3	8,510	20.8	940	11.1	15,290	13.8	2,381	19.0
41-50	사망	1,470	14.1	603	16.4	149	14.2	32	9.6	603	12.4	83	17.1
	부상	47,042	13.9	26,887	16.3	5,592	13.6	1,002	11.8	11,511	10.4	2,050	16.3
51-60	사망	1,424	13.7	308	8.4	137	13.1	71	21.3	798	16.5	110	22.6
	부상	33,350	9.9	13,660	8.3	3,900	9.5	1,348	15.9	12,115	11.0	2,327	18.5
61세 이상	사망	1,851	17.8	146	4.0	89	8.5	117	35.0	1,430	29.5	69	14.2
	부상	23,634	7.0	5,704	3.5	1,557	3.8	1,486	17.5	13,693	12.4	1,194	9.5
당사자 불명	사망	68	0.7	4	0.1	2	0.2	0	0.0	37	0.8	25	5.1
	부상	291	0.1	106	0.1	20	0.0	12	0.1	136	0.1	17	0.1

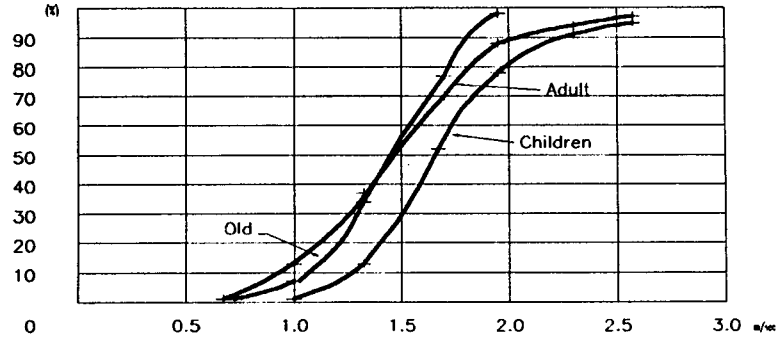
(자료 : 도로교통안전협회, 1994년판 교통사고 통계분석, 1994, pp 215)

### 3. 보행자 특성

#### 3.1 歩行者의 通行速度

보행자의 도로횡단시 통행속도에 대해서는 몇가지 연구결과가 있는데, 이 중 Sleight는 성인의 통행속도를 대략 1.4 m/s, 어린이는 1.6 m/s의 속도로 통행한다고 발표했다. <그림 2-18>는 관측된 통행속도를 보여 준다. 전문가들은 1.2 m/s의 통행속도를 보행자의 평균속도로 보고 있으나, 0.9-1.0m/s의 통행자도 있다. Weiner는 평균통행속도를 1.29 m/s로, 여자의 통행속도를 1.13 m/s이고, 보행자들이 모여서 걸을 때, 남자의 경우 1.17m/s, 여자의 경우 1.11m/s정도라고 발표했다.

실제 보행시설을 설계할 때 적용되는 보행속도는 1.2m/s이나, 보행로가 복잡하면 그 속도는 떨어진다. 또한 보행속도는 각 개인의 육체적 조건이나 심리적 상태에 따라 크게 달라진다.



<그림 2-18> 도로횡단시 보행자의 속도

자료 : Transportation and Traffic Engineering Handbook, ITE, 1978

가. 步行速度와 密度

통행량과 밀도가 증가하게 되면, 보행속도는 감소하고 밀도는 커지며, 보행공간은 감소한다. 따라서 보행자에게 주어지는 이동성의 정도도 감소하고 보행평균속도는 떨어지게 된다. 최근 우리나라의 조사에 의하면, 보행자 속도를 지역 유형에 따라 아래와 같이 보고하였다.

- 상가지역 : 보행자 속도 =  $1.2477 - 0.0066 \cdot \text{밀도}(\text{ped}/\text{m}^2)$
- 혼합지역 : 보행자 속도 =  $1.2826 - 0.0077 \cdot \text{밀도}$
- 업무지역 : 보행자 속도 =  $1.2893 - 0.0082 \cdot \text{밀도}$
- 학교지역 : 보행자 속도 =  $1.0915 - 0.0078 \cdot \text{밀도}$

나. 通行量과 密度의 關係

보행자 교통량은 아래의 식과 같이 보행속도와 보행밀도의 함수로 표현된다. 그러나 보행속도 혹은 밀도에 비례하여 교통량이 증가하는 것이 아니라 일정 한계에 까지는 비례적으로 증가하다가 이후 감소하게 되는 경향이 있다. 이러한 현상은 차량의 흐름과 비슷한 특성을 갖고 있다.

$$Q = S \times D$$

여기서,

- $Q$  = 통행량 (인/min · m)
- $S$  = 보행속도 (m/min)
- $D$  = 보행밀도 (인/m<sup>2</sup>)

#### 다. 速度와 通行量의 關係

통행량이 증가하면 다른 보행자들과의 밀접한 상호작용 때문에 보행속도는 감소한다.

#### 3.2 步行者의 諸元

도로시설중 보행자의 통행시설을 설계, 계획하는 과정에서 가장 중요시되는 것은 성인의 체격과 보행자들간의 공간, 활동폭, 물건을 운반할 때 상대 보행자에 미치는 영향 등이다. 인체측정학, 인체공학, 보행자의 거동 및 역학적 요인 등에 관한 연구는 여러가지 편하고 자유로운 수준의 인간 거동의 공간적 요소들을 밝혀냈다. 보행자 통행류에 있어서 이러한 요소들은 보행자 서비스 수준과의 연관성을 갖게 된다. 이것은 보행자 밀도에 따라 달라지며, 도로교통분석에서 사용되는 보행자 서비스수준과 관련된다.

<그림 2-19>에서 보듯이, 보행자 서비스수준은 다음과 같이 정의된다.

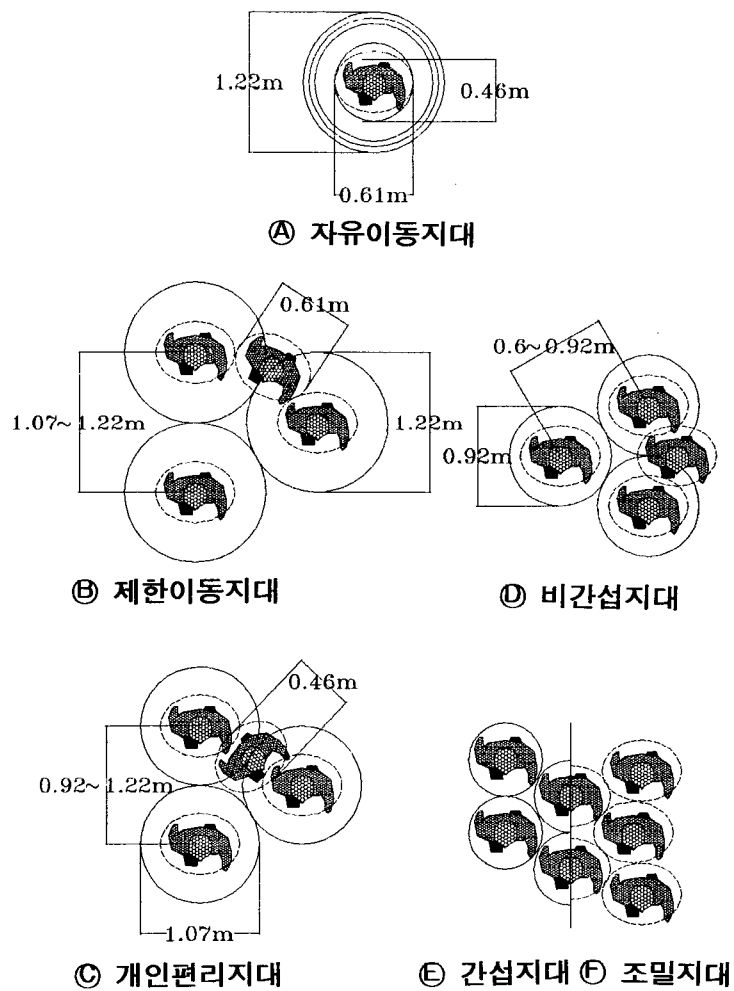
- (가) 서비스 수준 A(자유이동지대:Free Circulation Zone) : 이 수준은 보행자간 간격이 1.2m 혹은 그 이상의 간격을 유지하고, 자유롭게 움직일 수 있으며 차량이나 다른 물체에 의해 방해받지 않는다.
- (나) 서비스 수준 B(제한이동지대:Restricted Circulation Zone) : 이 수준은 보행자간 간격이 1.07-1.22m 정도이며, 제한된 행동 반경이지만 단 보행자를 자유롭게 추월할 수 있는 수준이다.
- (다) 서비스 수준 C(개인편리지대:Personal Comfort Zone) : 이 수준은 보행자간 간격이 0.92-1.07m 정도이며, 보행자가 정지해 있는 것은 허용되지만 다른 보행자들에 의해 방해를 받음으로서 행동반경에 어느 정도 제한을 받는다.
- (라) 서비스 수준 D(비간섭지대:No-Touch Zone) : 보행자간 거리는 0.61-0.92 정도이며, 다른 보행자와 접촉이 없다면 정지해 서 있을 수 있다. 그러나 그자리에서 마음대로 행동할 수 없으며 통행자간 간격이 조밀한 상태이다. 단지, 한방향으로의 보행은 방해를 받지 않는다.
- (마) 서비스 수준 E(간섭지대:Touch Zone) : 보행자간 거리는 0.61m 정도이거나 그 이하이다. 이동을 멈출 수 있으나 다른 사람과의 접촉이 생긴다. 접촉을 피할 수 없고 행동 반경이 극히 좁다.
- (바) 서비스 수준 F(조밀지대:Body Ellips) : 점유면적은  $0.22m^2$  혹은 그 이하이며, 잠시동안 정지하더라도 신체의 접촉이 심하며 신체적, 심리적으로 불편함과 압박감을 느낀다.

수준 E와 F는 정원수가 꽉 찬 엘리베이터 속에서 느끼는 수준이다. 수준 C는 입석차량속에 승차한 정도의 수준이며, 수준 B는 버스정류장 등에서 줄을 지어 기다리는 수준이다. 이를 종합

하면 <표 2-14>와 같다.

<표 2-14> 보행자 서비스 수준의 분류

서비스수준	지역구분	행동반경	점유면적(m <sup>2</sup> )
A	자유이동지대	> 1.22	
B	제한이동지대	1.07-1.22	1.17
C	개인편리지대	0.92-1.07	0.90
D	비간섭지대	0.61-0.92	0.66
E	간섭지대	< 0.61	0.20
F	조밀지대	0.61 - 0.46	0.22



<그림 2-19> 여러가지 상황에서의 보행자 서비스 수준

자료 : Transportation and Traffic Engineering Handbook, ITE, 1978

## 4 自轉車의 特性

### 4.1 自轉車設施의 種類

자전거를 위한 시설은 시설의 계획과 위치에 따라 아래의 3 가지로 구분한다.

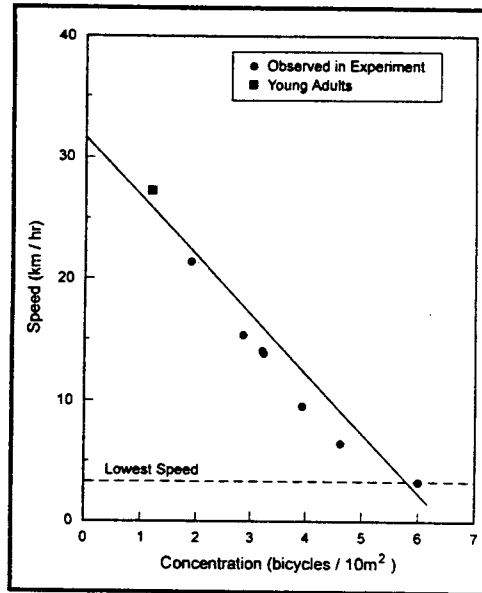
- 자전거도(Bike Path): 차도로 부터 분리되어 있고 자전거만의 통행을 위하여 설치한 도로를 말한다. 일반적으로 도로의 일부분으로 설치되는 경우가 많고, 때로는 특별히 설치하기도 한다. 차도와 구분되어 약간 높게 설치되고 가로와 횡단에 따른 시설을 필요로 한다.
- 자전거차선(Bike Lane): 도로 포장면의 일부를 자전거 이용자에게 편리하도록 설치한 차선을 의미한다. 일반적으로 포장의 끝부분이나 노상주차장과 차도의 끝차선 사이에 설치되며, 가로를 따라 통행할 때는 자전거전용차선이 되나, 횡단시에는 차량 및 보행자와 함께 사용한다.
- 자전거노선(Bike Route): 도로표지에 의하여 자전거 통행로로 지시되지만 자전거 통행에 대하여 특별한 조치를 취하지 않는 도로를 말한다.

### 4.2 自轉車 交通流의 特性

차량이나 보행자의 흐름과 마찬가지로 자전거의 흐름도 속도는 통행량과 밀도에 따라 감소하고 밀도는 통행량에 따라 증가한다. 차이점은 자전거는 차량과 보행자의 흐름의 중간에 있다는 점이다.

#### 가. 速度와 密度

자전거 이용자의 성별, 나이, 신체적조건등에서 차이가 있겠지만 최근 연구된 자료에 의하면 자전거의 속도와 밀도는 아래 그림과 같은 관계를 갖는다. 여기서 밀도는 총 면적에 대한 자전거 수로 정의 한다. 최저속도 4km/h 는 밀도가 6대/10m<sup>2</sup> 일 때 이며 자유속도는 약 30 km/h로 나타난다.

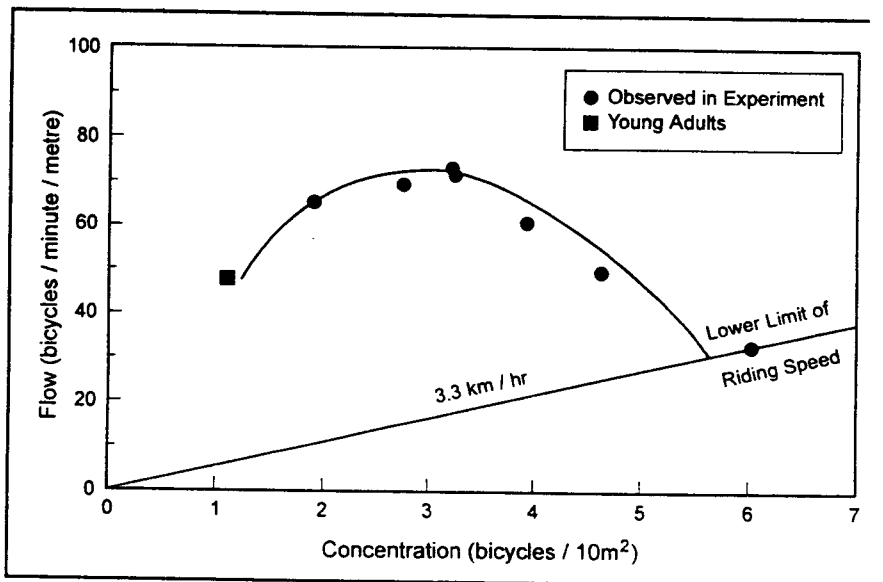


<그림 2-20> 자전거 교통류의 속도와 밀도와의 관계

자료: F.P.D. Navin, Bicycle Traffic Flow Characteristics: Experimental Results and Comparisons, ITE Journal, 1994. 3

나. 交通量和 密度

일반적으로 자전거 통행에서는 최고 교통량의 관측이 용이하지 않다. ITE의 보고에 의하면 밀도가 3대/10m<sup>2</sup> 일때 최고 72대/분/m 의 교통량이 통과되는 것으로 되어 있다. 아래의 <그림 2-21>은 자전거 통행에서 교통량과 밀도와의 관계를 나타 낸 것이다.



<그림 2-21> 자전거 교통류의 교통량과 밀도의 관계

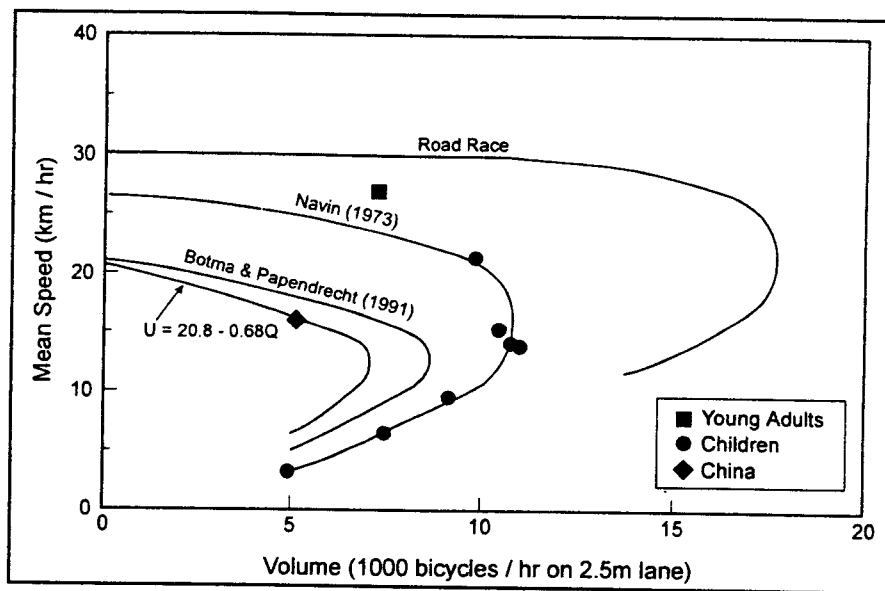
자료: F.P.D. Navin, Bicycle Traffic Flow Characteristics: Experimental Results and Comparisons, ITE Journal, 1994. 3

#### 다. 速度와 交通量

자전거의 평균속도와 교통량을 살펴 보면 아래의 <그림 2-22>과 같다. 이 그림은 자전거의 차선폭이 2.5m 일 때의 경우를 살펴 본 것으로 자전거 운동선수의 경우 속도가 25Km/h 일 때 최고 22,000대/시 의 교통량이 흘러 갈 수 있다고 생각된다. 속도가 15 Km/h 일 때는 시간당 11,000대의 교통량이 통과될 수 있고, 12 km/h 일 때 최고 9,000대의 교통량이 통과된다.

미국 FHWA의 지침에 의하면 2차선인 경우 차선당 3,400 대/시 를 건의하고 있으며, Homberger and Kell의 보고서에는 5,600 대/시를 제시하고 있다. 이 경우는 포화교통류율에 대한 승용차환산계수를 0.2로 감안하여 산출하였다. 영국의 경우는 8,000 대/시를 제시하고 있다.

중국의 경우는 상하이 연구 결과는 차선폭 2.5m 에 대하여 5,250 대/시, 북경의 경우 5,220 대/시로 보고되었으며 이 때 속도는 15km/h 였다. 이러한 연구 결과를 종합하여 볼 때 자전거 통행의 최고 교통량은 속도 15 km/h에서 약 10,000 대/시 가 될 것으로 추정된다.



<그림 2-22> 자전거 교통량과 속도와의 관계

자료: F.P.D. Navin, Bicycle Traffic Flow Characteristics: Experimental Results and Comparisons, ITE Journal, 1994. 3

#### 4.3 서비스 水準

서비스의 수준은 일반적으로 통행시의 편안함과 이동시의 자유도로서 결정된다. 따라서 자전거 통행의 서비스 수준은 자전거통행에 의하여 점유되는 면적으로 나타내어 진다. 일반적으로 자전거 통행에는 통행의 범위에 따라 3가지 지역으로 구분한다.

- 충돌지역(Collision Zone): 약 0.9 x 2.4m 의 지역내를 의미하며 대개 자전거 1대의 활동 범위에 해당된다.
- 안전지역(Comfort Zone) : 약 1.3 x 3.4m 의 범위를 의미하며 다른 자전거 이용자의 방해가 특별히 없는 경우 통행할 수 있는 범위에 해당된다.
- 순환지역(Circulation Zone): 약 2.3 x 4m 의 범위이고 이 지역에서는 자전거의 이동이 자유로운 지역이다.

따라서 각 서비스 수준의 특성은 다음과 같이 정의될 수 있다.

- 서비스 A : 모든 자전거의 통행이 완전히 자유로운 상태를 말한다.
- 서비스 B : 병행하는 두대의 자전거에 의하여 순환지역이 중첩되는 경우를 말한다.
- 서비스 C : 병행하는 두대의 자전거에 의하여 안전지역을 충분히 확보할 때를 말한다.
- 서비스 D : 병행하는 자전거에 의하여 안전지역이 중복되는 경우이다.
- 서비스 E : 최고 교통량을 나타내며 이 때의 차두거리간격은 약 2.6m가 된다.
- 서비스 F : 자전거의 순환이 불가능하고 충돌의 위험이 있는 경우를 말한다.

이상의 정의에 의한 서비스 수준을 도표로 나타내면 아래의 <표 2-15>와 같다.

<표 2-15> 자전거 통행의 서비스 수준

LOS	m <sup>2</sup> / 대	밀도(대/m <sup>2</sup> )	교통량(대/시)	속도(Km/h)	V/C	지역범위
A	> 9.3	0.11	2,000	25	0.30	
B	> 7.0	0.14	4,000	22	0.40	순환지역
C	> 4.7	0.25	7,000	17	0.70	
D	> 3.4	0.29	8,500	12	0.80	안전지역
E	> 3.0	0.33	10,000	10	1.00	충돌지역
F	< 3.0	0.33	-	-	-	

#### 4.4 自轉車의 曲線半徑

자전거에 적용되는 곡선반경은 차량의 곡선반경과 유사한 점이 많다. 일반적으로 주어지는 곡선반경과 속도 및 도로조건과의 관계식은 다음과 같다.

$$R = \frac{v^2}{g(\tan \phi + e)}(1 - e \tan \phi)$$

$$= \frac{v^2}{g(\mu + e)}(1 - e \mu)$$



- 여기서,  $R$  = 곡선의 반경  
 $e$  = 편구배(0.02)  
 $\phi$  = 경사도  
 $v$  = 자전거의 속도  
 $g$  = 중력 가속도(= 9.81 m/sec<sup>2</sup>)  
 $\mu$  = 마찰계수(= 0.30, 속도가 25 km/h 일때)

속도를 21 km/h ( i.e., 85 퍼센타일 속도)를 적용하면 최소 곡선반경은 20m 가 계산된다. 호주에서는 설계속도를 30 km/h 로 하여 최소 곡선반경을 22 m 로 규정하고 있고, 중국의 경우는 설계속도 20 km/h 에 곡선반경 15m 를 설계기준으로 하고 있다. 따라서, 자전거 도로의 설계시에는 최소 10m 에서 이상적으로는 20m 로 곡선반경을 잡는 것이 좋다.

#### 4.5 自轉車의 縱斷傾斜

자전거에 의한 최소 추진력은 각종 마찰력을 이길 수 있는 힘의 크기와 같아야 한다. Whitt 와 Wilson에 의해 제시된 이론적인 관계식은 다음과 같다.

$$P = \left( C_D \frac{\gamma A v^2}{2g} - \frac{WG}{100} \right) v$$

- 여기서,  $C_D$  = 공기저항계수(i.e., 0.09)  
 $\gamma$  = 공기밀도(i.e., 1.18 kg/m<sup>3</sup>)  
 $A$  = 앞면적(i.e., 0.5 m<sup>2</sup>)  
 $v$  = 자전거의 속도(m/sec)  
 $W$  = 자전거와 사람의 무게(i.e., 70 kg)  
 $G$  = 종단구배(%)  
 $P$  = 추진력(i.e., 0.75 watt)

따라서 설계에 이용되는 종단구배는 아래와 같이 구해진다.

$$G = 0.146 \left( \frac{75}{v} - 0.271 v^2 \right)$$

상기의 공식을 사용하면, 속도를 15 km/h 로 유지하기 위해서는 구배가 2.7 %로 하여야 하고 속도가 10 km/h 가 되면 구배가 4.7% 까지 설계가 가능하다. 자전거의 평균속도를 10 km/h 정도로 보면 종단구배를 5% 로 설계하는 것이 좋다. 그러나 종단길이가 100m 이하인 경우는 이보다 다소 높아도 무방하지만 10% 이상으로 하면 안된다.

#### 4.6 自轉車車線의 幅

자전거의 차선평은 자전거의 최소 폭인 0.91 m 와 길이 2.44m 를 기준으로 하여 결정된다. 일반적으로 최소 2.5m( 2 방향; 일방향인 경우 1.5m) 를 설계폭으로 하나 가급적으로 3m 로 하는 것이 좋다.

#### 5 參考文獻

1. 교통부, "자동차 안전기준에 관한 규칙", 1990,5,26
2. 건설부, 도로의 구조. 시설기준에 관한 규정(해설및 지침), 1991
3. William R. Mcshane & Roger P.Ross, "Traffic Engineering", Prentice-Hall, 1990.
4. AASHTO, "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", 1990.
5. C.S. Papacostas & P.D. Prevedouros, "Transportation Engineering and Planning", 2nd Edition, Prentice-Hall, 1993.
6. ITE, "Transportation and Traffic Engineering Handbook", 2nd edition, Prentice-Hall, 1982
8. TRB, "Highway Capacity Manual", Special report 209, 1985.
9. Slade F.Hulbert and Albert Berg, "Human Factors in Transportation system," Systems, Psychology, Kenyon B. De Green, ed, New York:Mcgraw-Hill, 1970
10. Alexander French, "Vehicle Operating Characteristics", ITE
11. 교통개발연구원, "자동차 종별분류기준의 개정방안", 연구총서 94-04, 1994 12.
12. 도로교통안전협회, 교통사고 통계분석, 각년도
13. 도로교통안전협회, 횡단보도 보행자의 횡단특성에 관한 연구, 92-15-169, 1992
14. F.P.D. Navin, Bicycle Traffic Flow Characteristics: Experimental Results and Comparisons, ITE Journal, 1994. 3
15. G.Johansson and K.Rumar, "Drivers' Brake Reaction Time, "Human Factors, 3(1), 26(1971)
16. Slade F.Hulbert, "Driver Information Systems," Human Factors in Highway Traffic Safety Research, T.W.Forves ed. , New York:Wiley, 1972
17. Human Factors In Trasport Research, Edited by D.J. Osborne and J.A. Levis, vOL. 1 and Vol 2, Academic Press, 1980
18. Gazis, Denos, R. Herman, and A. Maradudin, "The Problem of the Amber Signal in Traffic Flow," Operations Research, 8, 1960, 112-132
19. W. Leutzbach, Introduction to the Theory of Traffic Flow, Springer-Verlag, 1972