

# 차량 종적 제어시스템 소개



유 송 민

경희대학교 기계공학과

●1959년생.  
●기계가공 및 제어를 전공하였으며, 정밀가공, 계측 및 차량운행제어에 관심을 가지고 있다.

## 1. 머리말

날로 증가하는 차량의 수는 기존 도로망을 포화상태에 이르도록 하였고 이에 따른 경제적인 손실이 날로 심각해짐에 따라 좀더 효과적인 교통수단 또는 기존 교통수단을 보다 효율적으로 이용토록 하는 방안을 강구하게 되었다. 아울러 날로 교통사고가 증가함에 따라 좀더 안전하게 운행할 수 있는 차량에 대한 관심도도 증가하게 되었다. 이러한 요구사항들에 대한 궁극적인 해결방안의 하나로 제기되고 있는 지능차량도로시스템(IVHS ; intelligent vehicle highway system)은 아래와 같은 분야로 이루어지고 있다.<sup>(1~3)</sup>

- 첨단교통제어(ATMS ; advanced transportation management system)
- 첨단운전정보제공(ADIS ; advanced driver information system)
- 자동차량제어(AVCS ; automated vehicle control system)
  - 1) 종적제어(vehicle longitudinal control)
  - 2) 횡적제어 또는 자동조향(vehicle lateral control)

자동차량제어중 전자의 경우에는 주행중에 차량의 거리(headway)를 기존의 운전자들이 유지하는 거리보다 작은 거리로 일정하게 유지

하여 일정한 도로시설에 최대한의 차량이 운행될 수 있도록 한다.<sup>(4,5)</sup> 이에 따라 교통량을 증가시키며, 장기 주행시에 야기되는 운전자의 피로감을 경감시킬 수 있으므로 사고를 미연에 방지할 수 있다. 이러한 종적제어 장치를 장착한 차량들은 일정한 크기의 소대(platoon)를 이루며 이 소대내의 차량간에 유지하여야 하는 일정거리(intervehicle headway) 개념 및 소대 사이에 유지하여야 하는 소대간격(interplatoon headway) 개념의 도입으로 임의의 소대내에서 기계 또는 전자장치 등의 결함으로 인한 돌발사태에도 위험요소가 후속 소대에까지 파급되지 않도록 하는 안전개념을 내포하고 있다. 또한 이 제어장치는 반응지연 효과를 최소화시켜 정차후 출발시 후속차량의 지연출발 현상도 최소화시킬 수 있다. 그림 1은 이러한 종적제어 장치를 장착한 소대의 구성을 나타내며, H는 소대간의 이격거리, h는 차량간의 이격거리, L은 차량의 길이를 나타낸다. 차량횡적제어시스템의 경우는 차량의 진행방향, 속

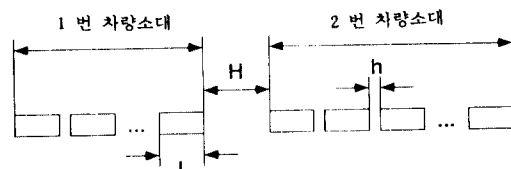


그림 1 차량소대의 구성

도, 가속도 및 도로의 곡률반경을 고려하여 차량이 중앙선을 따라 주행할 수 있도록 한다.<sup>(6)</sup>

### 1.1 제어시스템의 구성요소

종적제어시스템은 기능에 따라 감지장치, 제어신호처리장치, 제동 및 가속장치, 통신장치 및 노변제어시설(WCF; wayside control facility) 등으로 분류할 수가 있다.<sup>(6~8)</sup> 감지장치 부분은 종적제어에 필요한 제반정보를 감지하는 장치로 레이더(radar), 레이저(laser) 및 초음파를 이용하고 있다.<sup>(5,9~11)</sup> 측정센서 또는 통신장치로부터 전달받은 정보는 마이크로프로세서로 구성된 자료처리장치에 의하여 필요한 제어신호가 발생되며 이에 따라 제동장치와 드로틀(throttle)에 설치된 액츄에이터의 작동으로 인한 적당량의 감속 및 가속으로 차간거리(headway)를 조절한다.<sup>(12~15)</sup> 통신장치로는 레이저 또는 라디오(radio)를 이용한 방식을 채택

하고 있다. 차량의 이상상태를 감지하는 자가진단장치(self diagnosis system)는 자료처리장치에 내장된 장치로서 제반 기기의 이상상태를 상시 점검하는 기능을 갖고 있다. 노변제어시설은 도로변에 위치하며 전체 또는 구간별로 통과하는 소대들을 통제한다. 곳곳의 상황에 따라 후속 소대의 속도 등을 조절하는 것을 비롯하여 개별 차량의 제어신호를 지시하는 기능까지도 포함하고 있다. 그림 2는 종적제어장치의 구성을 나타낸다.

### 1.2 차량정보전달

차량종적제어장치는 일정한 거리를 유지하기 위해 선행차량들의 운전정보(속도 및 가속도)를 통신장치를 통해 전달받게 되는데 이 때의 전달방식에 따라 그림 3에 나타낸 바와 같이 분배(distribution)방식 및 순차(sequence)방식으로 구분된다.

○분배방식: 선두 차량의 정보가 후속차량에 모두 전달됨.

○순차방식: 앞차의 정보가 바로 뒤의 차량에 순차적으로 전달됨.

순차방식의 경우 운전정보를 차량간에 통신장치에 의하여 전달하기도 하지만 도플러(doppler)효과를 이용한 레이더 또는 레이저를 사용하여 거리 및 접근속도(closing rate)를 측정한다. 이외에도 각방식의 장점을 살리기 위하여 위의 두 가지 방식을 결합하여 사용하기도 한다. 일반적인 종적제어시스템에 관한 연구는 위의 각 전달방식을 사용하고 제환 또는 최적제어를 이용하여 속도를 조절하거나 소대의 선두차량에 대한 상대거리를 조절하여 차간거리를 유지하는 부문에 초점을 두고 진행되어 왔다. 측정되거나 전달되는 차량간의 정보의 종류에는 다음과 같은 것이 있다.

- 현재의 차간거리(current headway)
- 차간거리 및 상대접근속도(closing rate)
- 차간거리, 상대접근속도 및 가속도(acceleration)

종적제어시스템은 이와 같이 전달되는 정보

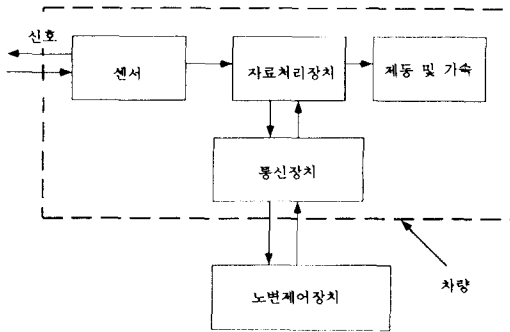
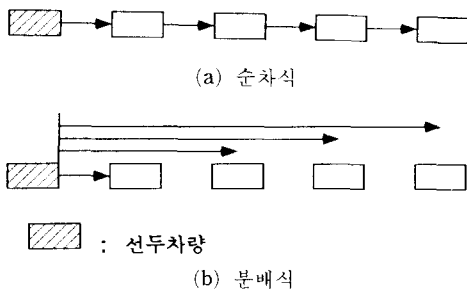


그림 2 제어장치의 구성요소



(a) 순차식

(b) 분배식

그림 3 정보전달 방식

의 종류에 따라 시스템의 응답특성이 달라지며 결과로서 나타나는 승차감 및 반응의 안정성 여부에도 크게 영향을 미치게 된다.

## 2. 차량소대의 동역학적 모델 및 제어방식의 설정

### 2.1 차량소대의 모델

이러한 종적제어시스템의 모델은 시간에 따른 차량의 위치를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다. 그림 4는 두 대의 차량으로 구성된 가장 기본적인 소대의 모델을 나타낸다. 그림 4에 나타난 소대가 직선도로를 따라 움직이고 있을 때 각 차량의 위치는 그림에 표시된 좌표축에 나타난 차량의 후미 범퍼부의 위치  $x_1$  및  $x_2$ 로 정의한다. 그림 4에서  $L$ 은 차량의 길이,  $x_1$ 은 선두차량의 위치,  $x_2$ 는 후미차량의 위치,  $\Delta$ 은 현재의 차간거리를 나타낸다. 이때 첫째와 둘째차량 사이의 간격  $\Delta_2$  및 상대속도  $\dot{\Delta}_2$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta_2 = x_1 - x_2 - L \quad (1)$$

$$\dot{\Delta}_2 = \dot{x}_1 - \dot{x}_2 \quad (2)$$

이것을  $i$ 번째 차량에 적용시키면 식 (3), 식 (4)와 같다.

$$\Delta_i = x_{i-1} - x_i - L \quad (3)$$

$$\dot{\Delta}_i = \dot{x}_{i-1} - \dot{x}_i \quad (4)$$

이 때의 간격은 미리 지정한 차간거리,  $h$ 와 같아야 한다.

$$\Delta_i = h \quad (5)$$

각 차량의 동역학적인 모델은, 공기저항을

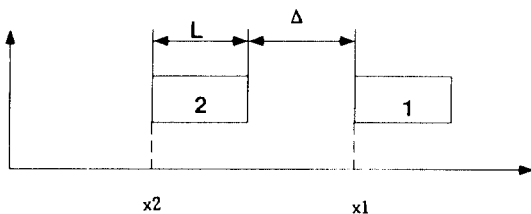


그림 4 차량모델의 구조

고려할 때 다음과 같이 표시된다.

$$m_i \ddot{x}_i = F_i - c_i (\dot{x}_i)^2 \text{sign}(\dot{x}_i) \quad (6)$$

여기서,  $m_i$ 는 차량의 질량,  $c_i$ 는 공기저항상수,  $F_i$ 는 엔진출력(가속 및 제동력),  $\text{sign}(\dot{x}_i)$ 는  $\dot{x}_i$  방향에 따른 부호를 나타낸다.

엔진출력은 엔진 특성 및 신호의 지연 등을 고려할 때 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$F_i(t) = (1 - e^{-t/T_i}) u(t - t_d) \quad (7)$$

여기서,  $T_i$ 는 각 엔진의 시간상수,  $t_d$ 는 신호의 지연,  $u(t)$ 는 엔진 입력(제어신호)을 나타낸다.

그림 5는  $i$ 번째 차량의 동역학적 모델이다. 앞에서 설명한 바와 같이 반사되어 돌아오는 신호를 측정하여 거리 및 접근속도를 구할 수 있으며 이에 따라 앞차의 현재속도를 계산할 수 있다. 역시 계산을 하여도 구할 수 있지만 앞차의 감·가속도는 별도의 통신장치를 통해 전달 받는 것이 더욱 정확하다. 최소량의 정보만으로 종적제어를 할 수 있도록 차간거리(식

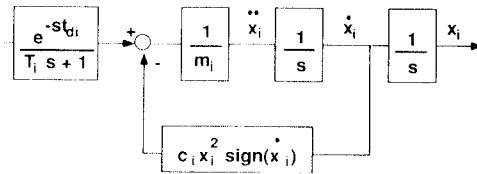


그림 5  $i$ 번째 차량의 모델

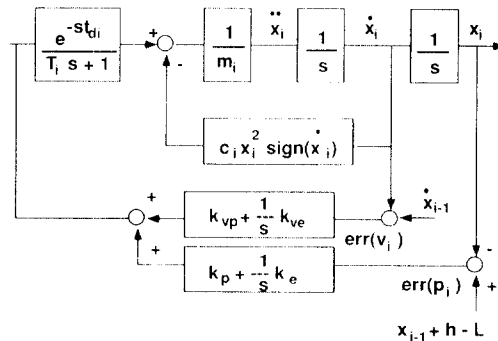


그림 6 제어장치의 블럭선도

(8) 또는 차간거리 및 접근속도(식 (9))를 모두 이용한 제어의 경우는 아래와 같이 표시할 수 있다.

$$u_i(t) = K_p(h - \Delta_i) + K_e f(h - \Delta_i) \quad (8)$$

$$u_i(t) = K_p(h - \Delta_i) + K_e f(h - \Delta_i) + K_{vp}\dot{\Delta}_i + K_{ve}f\dot{\Delta}_i \quad (9)$$

각각의 계수는 제어상수이며  $(h - \Delta_i)$ 는 요구되는 차간거리와 측정에 의한 현재의 거리와의 오차를 나타낸다. 식 (8)은 식 (9)에서 속도를 포함하는 성분을 제외한 것이다. 그림 6은 이러한 제어장치의 블록선도(block diagram)를 나타낸다.

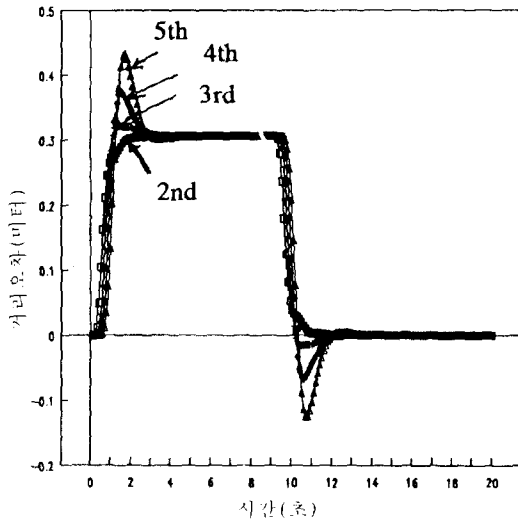


그림 7 안정되고 안락한 운행시 거리오차

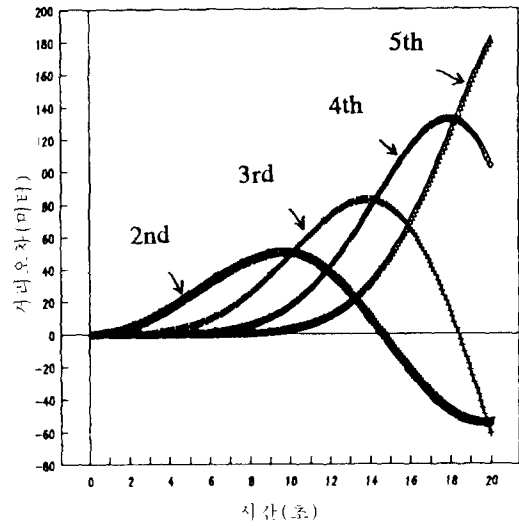


그림 9 불안정된 운행시 거리오차

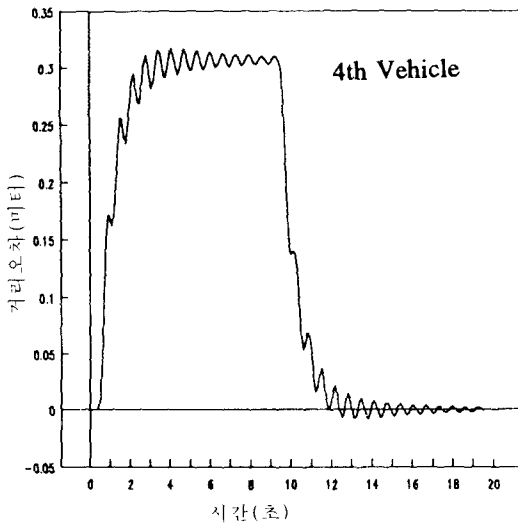


그림 8 안정되지만 불쾌한 운행시 거리오차

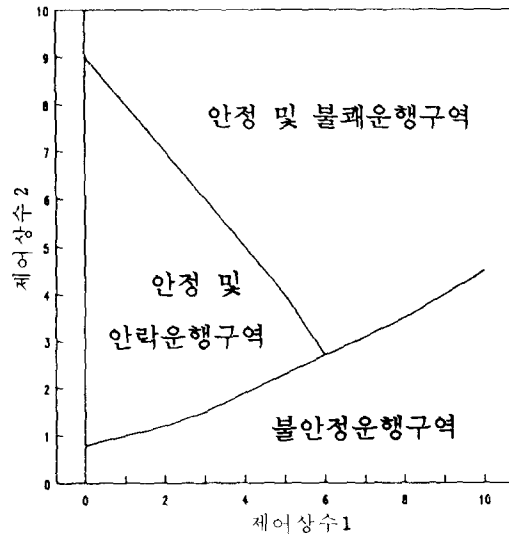


그림 10 운행구역

## 2.2 승차감

종적제어시스템의 제어장치의 설계는 계의 안정성을 고려하여 설계하는 것도 중요하지만 실제로 차량을 운행할 때 승객 모두가 안락한 승차감을 느낄 수 있어야 한다. 상기 제어장치를 이용하면 다음과 같이 제어변수 선정에 따른 영역을 구분할 수 있다. 그림 7부터 그림 10까지를 참고하기 바란다.

- 안정성 및 안락감(stable and comfortable ride)
- 안정성 및 불편감(stable and uncomfortable ride)
- 불안정성(unstable ride)

## 3. 전용차선의 응용

### 3.1 소대거리

종적제어시스템에 의해 소대를 형성하여 차량을 운행할 경우 각 소대내에 차량 사이의 차간 간격(intervehicle headway) 및 소대 사이의 간격(interplatoon headway)을 지정하여야 한다. 소대내의 차량간의 간격은 도로상에 차량의 밀도를 높이기 위해 1m 정도를 선정하여야 이에 따른 안전성을 연구하고 있다. 소대내에 차량간의 좁은 간격으로 인한 선두차량의 고장 등의 경우 허용치 이상으로 급속히 제동시에

후속차량간의 충돌은 피할 수 없지만 경미한 충돌로 인명피해를 방지할 수 있다.

소대간의 간격은 동일한 속도로 운전중 앞소대가 급감속 하였을 때 뒤의 차량의 반응 지연(response delay) 등을 고려한 후 완만한 감속도로 감속하여도 소대간에 추돌사고가 발생하지 않도록 하는 소대간의 최소거리로 정의된다. 표 1은 여러가지 차량속도의 경우 선두차량이 2.0g 및 1.0g으로 급격히 감속하고 후속차량이 반응지연시간 0.1초 후에 0.3g 정도로 완만한 감속을 실시한다고 가정하였을 때의 충돌을 피할 수 있는 최소한의 소대간격을 나타내고 있다.

### 3.2 전용차선의 구조

이 글에서 사용된 전용차선은 2~3인 이상의 승객을 태운 차량만이 이용할 수 있는 전용도로로서 최초의 진입로와 후반부의 진출로를 제외하고는 다른 차선과는 분리되므로 차량 종적 제어시스템을 장착한 차량을 비장착 차량과 구분하여 운행하기에는 이상적인 시설이다.

차량 종적 제어시스템을 이용하여 차량의 운전이 수동에서 자동으로 전환 소대를 형성하기 위하여는 우선 장치의 작동상태를 점검할 수 있는 안전점검지대가 필요하고 차량의 진입 및 소대의 형성을 통제할 수 있는 구간이 설정되어야 한다. 이러한 것을 고려할 때 그림 11과 같이 전용차선을 구간별로 분류할 수 있다.

#### (1) 변이구간(Transition Section)

이 구간은 차량들에 장착된 장치를 점검하고 소대를 구성하기 전까지의 구간이며 점검소(check station)와 분배소(dispatch station)로 구분할 수 있다.

1) 차량점검소 : 전용차선으로 진입하는 차량들은 우선 이곳을 통과하며 탑재장치들의 작동 여부를 점검받는다. 만일 어느 장치의 고장이 발견되면 그림 12와 같이 별도의 통로를 통하여 우회도로 또는 정비공장으로 유도된다.

2) 분배소 : 점검을 마친 차량들이 이동하여 소대의 형성을 준비하는 지점으로 WCF에 의

표 1 소대간의 최소거리

속 도(Km/h)	선두 차량의 가속도(m/s <sup>2</sup> )	
	2.0g	1.0g
20	6.1	4.2
30	12.2	8.5
40	19.8	16.1
50	30.5	23.2
60	41.7	33.8
70	57.9	46.3
80	74.7	61.1
90	94.5	77.5
100	115.1	95.2

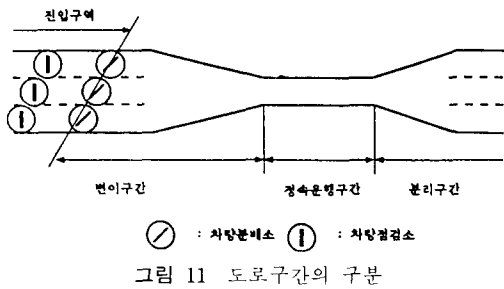


그림 11 도로구간의 구분

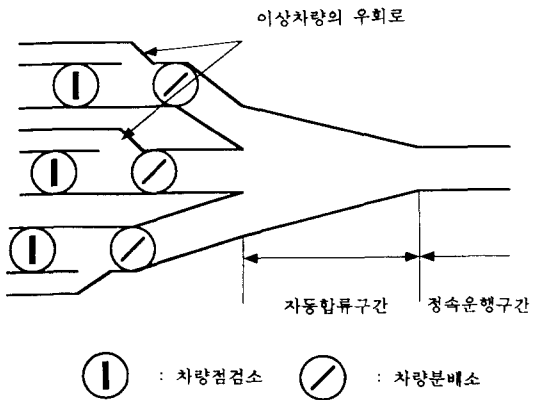


그림 12 고장 및 이상차량의 우회로

해 차량의 이동 및 출발이 통제된다. 이 지점을 통과한 차량들은 가속을 하며 다음 구간으로 진입하게 된다.

그림 11에서와 같이 변이구간은 여러 개의 고립된 차선들로 이루어지며 각각의 차선으로는 동일한 차종의 유입만이 허용된다. 차량분배소를 출발한 차량들은 가속 및 감속을 통해 차간거리를 조절하며 정상상태속도에 이르며 변이구간의 후반부에 위치한 합류지점에서 노변제어장치에 의해 충돌없이 다른 경로로부터의 차량과 합류한다.

(2) 정상상태구간(Steady-State Section)

정상상태속도에 이른 소대가 합류부를 통과하여 한 개의 차선으로 합류한 후 일정한 속도로 계속 주행을 하는 구간이다. 각 차량분배소를 통과한 소대는 한 개의 차선으로 진입을 하

는데 이때 서로 충돌하지 않고 진입후 소대간격이 유지되도록 각 분배소에 위치한 노변제어장치는 각 차량들의 출발시간을 통제한다.

(3) 분리구간(Exiting Section)

차량소대의 상태로 주행을 마친후 자동장치에 의한 운전에서 운전자에게로 차량운전이 전환되기 전에 준비구간이다. 이 구간에서는 차량소대가 해체되고 차간 간격이 더욱 넓어져서 수동으로 운전이 전환되어도 안전하도록 하여 준다.

3.3 차량의 분배

노변제어장치는 분배소에 차량이 도착할 때 이들이 출발후 합류부에 도착될 예정시각을 계산하여 이것이 다른 경로를 통해 출발한 차량들의 합류부 도착시각과의 상충여부를 판단하며 충돌이 예상될 때는 통과를 지연시킨다. 이때 노변제어장치는 일정시간마다 각 분배소에 차량도착 여부를 점검하고 출발조건의 만족여부를 판단한다.

3.4 시뮬레이션

앞에서 정의된 전용차선의 구조물에 따라 다음과 같은 전제하에 시뮬레이션이 실시된다.

1) 차량종적제어시스템을 장착한 차량은 승용차, 승합차, 버스의 세 종류로 구분하였으며 각각의 특성 및 제원은 표 2와 같다. 각 차량의 특성중 사용된 가속도는 차량변속기의 특성을 고려하지 않았다.

2) 차량들은 차종에 따라 각기 고립된 경로를 통해 차량점검소에 이르게 되며 안전점검을 마친후 분배소에 임의의 시각에 도착되는데 각

표 2 차량의 가속 및 감속특성

차종	길이 (m)	가속도 (m/s <sup>2</sup> )	감속도 (m/s <sup>2</sup> )
승용차	4.5	2.53	6.70
승합차	6.0	1.51	6.70
버스	12.0	0.67	6.70

차량의 도착 간격은 Negative Exponential Distribution에 의해 아래와 같이 결정된다.

$$\ln = -3600/ar \times \ln(r) \quad (10)$$

이때  $\ln$ ,  $ar$  및  $r$ 은 도착간격(second), 시간당 도착 차량대수 및 0과 0.1 사이의 유니폼 랜덤 수이다.

3) 분배소에서 합류부까지는 각 차량이 지속 또는 정지상태에서 정상상태 속도까지 충분히 가속할 수 있는 길이로 설계된다.

4) 임의의 경로를 통해 분배소에 도착한 차량이 가속하여 합류지점에 도착했을 때 다른 경로를 통해 이미 출발한 차량과 상충된다고 판단될 때 노변제어장치는 그 차량의 통과를 지연시킨다.

5) 동일 차종끼리만 소대의 형성이 가능하다.

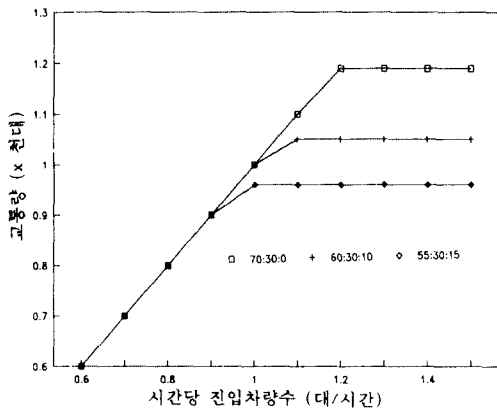


그림 13 최대 교통량

표 3 도로의 수용교통량 및 소대당 차량수

차종별혼합비율 (Car : Van : Bus)	수용교통량 (대/시간)	소대당 차량수 (차량/소대)
70 : 30 : 0	1190	1.7
60 : 30 : 10	1050	1.5
55 : 30 : 15	960	1.4

그림 13은 차종의 조합비율에 따른  $ar$ 값과 실제 통과량을 나타낸다. 버스의 비율이 낮을 수록(0%) 최대 통과량은 시간당 1190대로 높아지며 버스의 비율이 증가할수록(15%) 증가하는  $ar$ 값에 따라 실제 통과량은 시간당 960대로 오히려 감소하는데 이는 차종 및  $ar$ 값의 증가에 따른 복합적인 영향으로 소대의 형성이 감소하기 때문이다. 표 3은 이러한 결과를 더욱 확실히 나타내며 버스 비율이 증가할수록 평균 소대당 차량대수가 1.7대에서 1.4대로 감소하는 것을 나타내고 있다.

#### 4. 맺음말

차량종적제어시스템을 이용한 운행장치에서 측정센서에 의하여 감지되는 정보량에 따른 응답특성은 다음과 같다.

1) 종적제어시스템(longitudinal control system)을 이용하여 소대를 형성하는 과정에서 순차형태로 정보를 전달할 때는 거리만을 이용하는 경우보다 거리 및 접근속도를 모두 사용하는 것이 훨씬 안정된 소대의 형성을 나타내었다.

2) 제어장치에서 제어상수의 선정에 따라 구분되는 세 가지의 영역이 정의되었다. 쾌적한 운행의 판단은 빠른 주기로 변화하는 응답특성이 나타나는지의 여부로 결정할 수가 있다. 즉 빠른 주기로 감가속을 변화시켜야 할 경우에는 안락한 승차감을 기대할 수 없다.

차량종적제어시스템을 일차선 도로에 효과적으로 적용시킬 수 있는 방법을 모색하기 위해 전용차선을 세 구간으로 구분 정의하여 응용한 결과는 다음과 같다.

1) 차량종적제어시스템을 장착한 차량을 통제없이 한 차선의 도로에 진입시킬 경우 이 장치의 최대 장점인 통과차량의 극대화를 기대할 수가 없다. 따라서 시스템의 작동여부를 판단하고 차량의 출발을 통제하는 기능을 지닌 변이구간의 설정은 위와 같은 문제점을 해결하는 방안으로 사용될 수 있다.

2) 시뮬레이션을 통한 차량통과량을 계산한 결과 단일차종, 즉 동일한 특성 및 재원을 지닌 차량의 비율이 클수록 큰 값으로 나타남을 확인하였다.

3) 차종이 증가하고 비율이 균등해짐에 따라 평균 소대당의 차량 수는 감소하였다.

### 참고문헌

- (1) Harris, W.J. and Bridges, G.S., 1989, "An Introduction to Mobility 2000," Proceedings of a Workshop on Intelligent Vehicle / Highway Systems, pp. 1~6.
- (2) Bender, J.G., 1991, "An Overview of Systems Studies of Automated Highway Systems," IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 40, No. 1, pp. 82~99.
- (3) Kamal, M.M., 1990, "A General Motor's Perspective on Intelligent Vehicle / Highway System," SAE 901483.
- (4) Shirley, E., 1989, "Automated Vehicle Control Systems," Proceedings of a Workshop on Intelligent Vehicle / Highway Systems, pp. 37~40.
- (5) Shladover, S.E., 1979, "Operation of Automated Guidway Transit Vehicles in Dynamically Reconfigured Trains and Platoons," UMTA Report, UMTA-MA-0085-79-2.
- (6) Shladover, S.E., Desoer, C.A., Hedrick, K., Tomizuka, M. and Walrand, J., 1991, "Automatic Vehicle Control Developments in the Path Program," IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 40, No. 1, pp. 144~130.
- (7) Shladover, S.E., 1991, "Longitudinal Control of Automotive Vehicles in Close-Formation Platoons," ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol. 113, pp. 231~241.
- (8) Shladover, S.E. and Parsons, R.E., 1989, "Safety Issues for Intelligent Vehicles / Roadway Systems," ASME Annual Meeting.
- (9) Mallinson, P. and Stove, A.G., "Car Obstacle Avoidance Radar at 94 GHz," Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers, 7th International Conference on Automotive Electronics, pp. 297~302.
- (10) Aono, S., 1990, "Electronic Applications for Enhancing Automotive Safety," SAE 901137.
- (11) Clemence, G.T. and Hurlbut, G.W., 1983, "The Application of Acoustic Ranging to the Automatic Control of Ground Vehicles," IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 32, No. 3, pp. 239~244.
- (12) Fenton, R.E. and Mayhan, R.J., 1991, "Automated Highway Studies at the Ohio State University-An Overview," IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 40, No. 1, pp. 100~113.
- (13) Fenton, R.E., Olson K.W. and Mayhan, R. J., 1976, "On Future Automated Ground Transport-Individual Vehicle Longitudinal Control," Ohio State University Report.
- (14) Hauksdottir A.S. and Fenton, R.E., 1985, "On the Design of a Vehicle Longitudinal Control," IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 34, No. 4, pp. 182~187.
- (15) Frank, A.A., Liu, S.J. and Liang, S.C., 1989, "Longitudinal Control Concepts for Highway Automation," AATT Conference, San Diego, pp. 61~68.
- (16) McMahan, D.H., Hedrick J.K. and Shladover, S.E., 1990, "Vehicle Modelling and Control for Automated Highway Systems," Automatic Control Conference, San Diego.
- (17) Sheikholeslam, S. and Desoer, C.A., 1989, "Longitudinal Control of a Platoon of Vehi-



- cles," PATH Research Report, ITS-Prr-98-3.
- (18) Garrard, W.L. and Kornhauser, A.L., 1973, "Design of Optimal Feedback Systems for Longitudinal Control of Automated Transit Vehicles," Transportation Research, Vol. 7, pp. 125~144.
- (19) Cars and Driver, April 1990. 