

차량 종적 제어 시스템

劉 松 旻

慶熙大學校 工科學科 機械工學科

1. 서론

운송수단의 개발은 인적 및 물적자원의 이동시간 단축으로 생산성 및 생활수준 향상 등에 기여한 바가 크지만 날로 증가하는 차량의 수는 기존 도로망을 포화상태에 이르도록 하였고 이에 따라 경제적인 손실이 날로 증대되는 심각한 현상을 초래하게 되었다. 따라서 이를 해결하기 위한 좀더 효과적인 교통수단 또는 기존 교통 수단을 보다 효율적으로 이용토록 하는 방안을 강구하게 되었다. 아울러 날로 증가하는 교통사고에 따라 좀더 안전하게 운행할수 있는 차량에 대한 관심도도 증가하게 되었다. 이러한 요구사항들에 대한 궁극적인 해결방안에 하나로 제기되고 있는 지능차량도로시스템 (IVHS: Intelligent Vehicle Highway System)은 아래와 같은 분야로 이루어지고 있다.^[1,3]

- 첨단 교통제어 (ATMS : Advanced Transportation Management System)
- 첨단운전정보제공 (ADIS : Advanced Driver Information System)
- 자동차량제어 (AVCS : Automated Vehicle Control System)

1) 종적제어 (Vehicle Longitudinal Control)
 2) 횡적제어 또는자동조향(Vehicle Lateral Control)
 자동차량제어중 전자의 경우에는 주행중에 차간의 거리(headway)를 기존의 운전자들이 유지하는 거리보다 작은 거리로 일정하게 유지하여 일정한 도로시설에 최대한의 차량이 운행될수 있도록 한다.^[4,5] 이에 따라 교통량을 증가시키며, 장기 주행시에 야기되는 운전자의 피로감을 경감시킬수 있으므로 사고를 미연

에 방지할 수 있다. 이러한 종적제어 장치를 장착한 차량들은 일정한 크기의 소대 (platoon)를 이루며 이 소대내의 차량간에 유지하여야 하는 일정거리(intervehicle headway) 개념 및 소대사이에 유지하여야 하는 소대간격 (Interplatoon headway) 개념의 도입으로 임의의 소대내에서 기계 또는 전자장치등의 결합으로 인한 돌발사태에도 위험요소가 후속 소대까지 파급되지 않도록 하는 안전개념을 내포하고 있다. 또한 이 제어장치는 반응지연 효과를 최소화 시켜 정차 후 출발시 후속차량의 지연출발 현상도 최소화 시킬수 있다. 그림 1 은 이러한 종적제어 장치를 장착한 소대의 구성이다. 차량횡적제어시스템의 경우는 차량의 진행방향, 속도, 가속도 및 도로의 곡률반경을 고려하여 차량이 중앙선을 따라 주행할 수 있도록 한다.^[6]

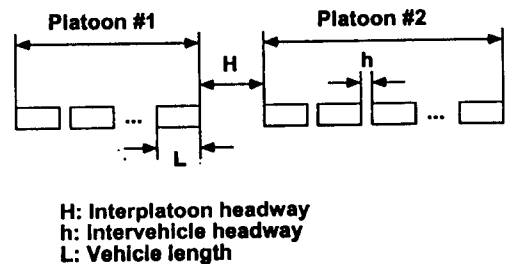


그림 1. Platoon Configuration

1. 제어시스템의 구성요소

종적제어시스템은 기능에 따라 감지장치, 제어신호 처리장치, 제동 및 가속장치, 통신장치 및 노변제어 시설(WCF: wayside control facility)등으로 분류할 수가 있다.^[6,8] 감지장치 부분은 종적제어에 필요한

제반정보를 감지하는 장치로 레이다(radar), 레이저(laser) 및 초음파를 이용하고 있다.^[5,9,11] 측정센서 또는 통신장치로부터 전달받은 정보는 마이크로프로세서로 구성된 자로처리장치에 의하여 필요한 제어신호가 발생되며 이에 따라 제동장치와 트로틀(throttle)에 설치된 actuator의 작동으로 인한 적당량의 감속 및 가속으로 차간거리(headway)를 조절한다.^[12,15] 통신장치로는 레이저 또는 라디오(radio)를 이용한 방식을 채택하고 있다. 차량의 이상상태를 감지하는 자가진단장치(self diagnosis system)는 자로처리장치내에 내장된 장치로서 제반 기기의 이상상태를 상시 점검하는 기능을 갖고있다.

노변제어시설은 도로변에 위치하며 전체 또는 구간별로 통과하는 소대들을 통제한다. 곳곳의 상화에 따라 후속 소대의 속도등을 조절하는것을 비롯 개별 차량의 제어신호를 지시하는 기능까지도 포함하고 있다. 그림 2 는 종적제어장치의 구성을 나타낸다.

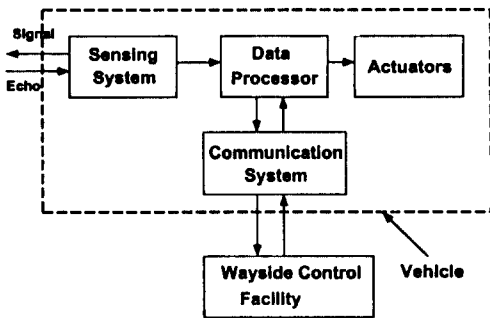


그림 2. VLCS Components and Data Flow Diagram

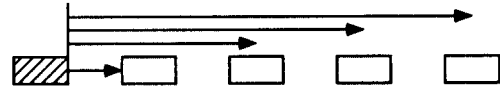
2. 차량정보전달

차량종적제어장치는 일정한 거리를 유지하기 위해 선행차량들의 운전정보(속도 및 가속도)를 통신장치를 통해 전달받게 되는데 이때의 전달방식에 따라 분배(distribution, parallel)식 및 순차(sequence, series)식으로 구분된다 (그림 3).

- 분배방식: 선두 차량의 정보가 후속차량에게 모두 전달됨.
- 순차방식: 앞차의 정보가 바로 뒤의 차량에게 순차적으로 전달됨.



(a) Sequence



(a) Sequence
(b) Distribution

▨ : Lead Vehicle

(b) Distribution

그림 3. Information Path

순차방식의 경우 운전정보를 차량간에 통신장치에 의하여 전달하기도 하지만 도플러(doppler) 효과를 이용한 레이다 또는 레이저를 사용하여 거리 및 접근속도(closing rate)를 측정한다. 이외에도 각방식의 장점만을 살리기 위하여 위의 두가지 방식을 결합하여 사용하기도 한다. 일반적인 종적제어시스템에 관한 연구는 위의 각 전달방식을 사용하고 제환 또는 최적제어를 이용하여 속도를 조절하거나 소대의 선두 차량에대한 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)

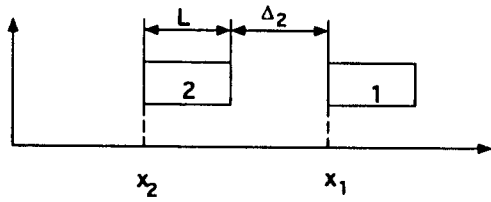
종적제어시스템은 이와 같이 전달되는 정보의 종류에 따라 시스템의 응답특성이 달라지며 결과로서 나타나는 승차감 및 반응의 안정성여부에도 크게 영향을 미치게 된다.

Ⅱ. 차량소대의 동력학적 모델 및 제어방식의 설정

1. 차량소대의 모델

이러한 종적제어시스템의 모델은 시간에따른 차량

의 위치를 이용하여 다음과같이 나타낼 수 있다. 그림 4는 2대의 차량으로 구성된 가장 기본적인 소대의 모델을 나타낸다.



x₁: Position of first vehicle
x₂: Position of second vehicle
Δ₂: Current intervehicle headway

그림 4. Model Structure

그림 4에 나타난 소대가 직선도로를 따라 움직이고 있을때 각 차량의 위치는 그림에 표시된 좌표축에 나타난 차량의 후미 범퍼부의 위치 x₁ 및 x₂로 정의한다. 그림에서 차량의 길이는 L로 나타낸다. 이때 첫째와 둘째차량사이의 간격 Δ₂ 및 상대속도 Δ̇₂는 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta_2 = x_1 - x_2 - L \tag{1}$$

$$\dot{\Delta}_2 = \dot{x}_1 - \dot{x}_2 \tag{2}$$

이것을 i번째 차량에 적용시키면

$$\Delta_i = x_{i-1} - x_i - L \tag{3}$$

$$\dot{\Delta}_i = \dot{x}_{i-1} - \dot{x}_i \tag{4}$$

이때의 간격은 미리 지정한 차간거리, h와 같아야 한다.

$$\Delta_i = h \tag{5}$$

각 차량의 동역학적인 모델은 공기저항을 고려할 때 다음과 같이 표시된다.

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

m_i: 차량의 질량

c_i: 공기저항상수

F_i: 엔진출력 (가속 및 제동력)

sign(x_i): x_i 방향에 따른 부호

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

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

T_i: 각 엔진의 시간상수

t_d: 신호의 지연

u(t): 엔진 입력(제어신호)

그림 5는 i번째 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 구할수 있지만 앞차의 감.가속도는 별도의 통신장치를 통해 전달받는 것이 더욱 정확하다.

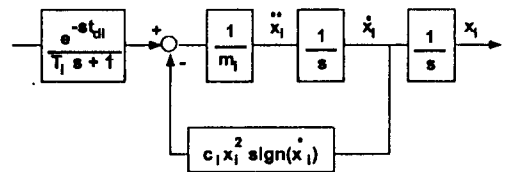


그림 5. Dynamic Model of i-th Vehicle

최소량의 정보만으로 종적제어를 할수 있도록 (1) 차간거리 또는 (2) 차간거리 및 접근속도를 모두 이용한 제어의 경우는 아래와 같이 표시할 수 있다.

$$(1) u_i(t) = K_p(h - \Delta_i) + K_v \int (h - \Delta_i) \tag{8}$$

$$(2) u_i(t) = K_p(h - \Delta_i) + K_v \int (h - \Delta_i) + K_{vp} \Delta_i + K_{vr} \int \Delta_i \tag{9}$$

각각이 계수는 제어상수이며 (h - Δ_i)는 요구되는 차간거리와 측정에 의한 현재의 거리와의 오차를 나타낸다. Eq.(8)은 Eq.(9)에서 속도를 포함하는 성분을 제외한 것이다.

2. 승차감

종적제어시스템의 제어장치의 설계는 계의 안정성을

고려하여 설계하는 것도 중요하지만 실제로 차량을 운행할 때 승객모두가 안락한 승차감을 느낄 수 있어야 한다. 상기 제어장치를 이용하면 다음과 같이 제어변수 선정에 따른 영역을 구분할 수 있다 (그림 6-9).

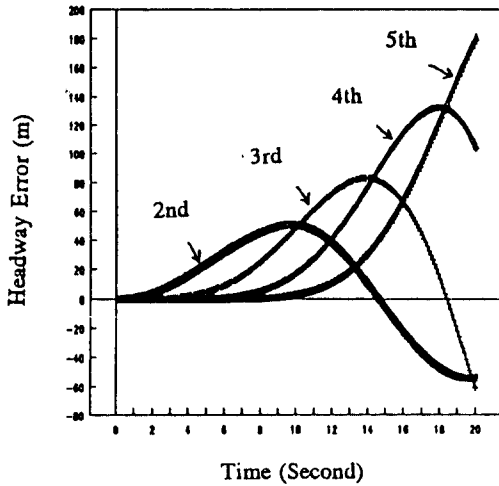


그림 6. Headway Error for Unstable Response

- 안정성 및 안락감 (Stable and comfortable ride)
- 안정성 및 불편감 (Stable and uncomfortable ride)
- 불안정성 (Unstable ride)

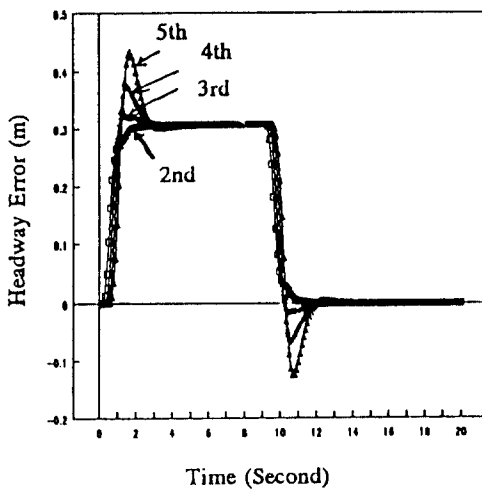


그림 7. Headway Error for Stable Response

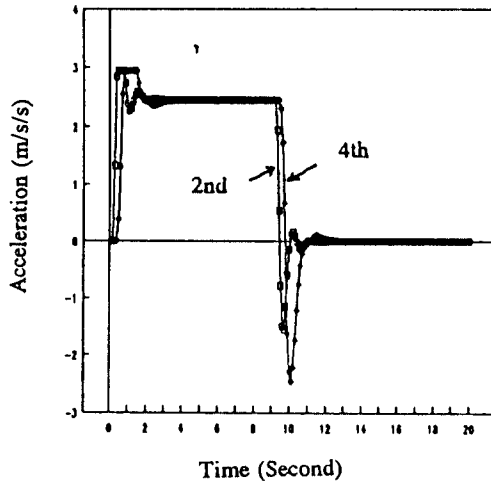


그림 8. Acceleration for Stable Response

Ⅲ. 전용차선에의 응용

종적제어시스템을 응용하기 위한 연구는 각국에서 지속적으로 진행되고 있지만 이러한 시스템이 실용화 되기까지는 아직도 선결되어야 할 과제들이 많은 실정이다.

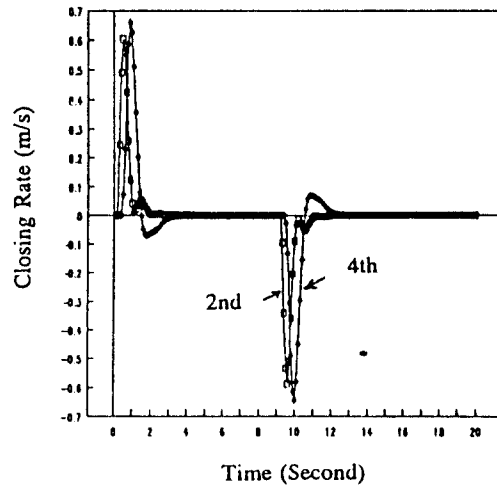


그림 9. Closing Rate for Stable Response

이 시스템을 시험적으로 적용시키기에 가장 적합하다고 할 수 있는 도로구조는 일반차량들과 쉽게 분리하여 운행될 수 있는 전용차선(HOV lane: high occupancy vehicle lane)이다.

1. 소대거리

종적제어시스템에 의해 소대를 형성하여 차량을 운행할 경우 각 소대내에 차량사이의 차간 간격(intervehicle headway) 및 소대사이의 간격(interplatoon headway)을 지정하여야 한다. 소대내의 차량간의 간격은 도로상에 차량의 밀도를 높이기 위해 1m 정도를 선정하여 이에 따른 안전성을 연구하고 있다. 소대내에 차량간의 좁은 간격으로 인하여 선두차량이 고장등의 경우 허용치 이상으로 급속히 제동시에 후속차량간의 충돌은 피할수 없지만 경미한 충돌로 인명피해를 방지할수 있다.

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

표 1. Minimum Headway Requirement

운전속도 (Km/h)	선두 차량의 가속도 (m/s/s)	
	2.0 g	1.0 g
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

2. 전용차선의 구조

상기 시스템을 장착한 차량의 운행가능성 여부를 타진하기 위하여 선택된 전용차선은 일반적으로 2-3인 이상의 승객을 태운 차량만이 이용할 수 있는 전용도로로서 최초의 진입로와 후반부의 진출로를 제외하고는 다른 차선과는 분리되므로 차량종적제어시스

템을 장착한 차량을 비장착 차량과 구분하여 운행하기에는 이상적인 시설이다. 차량종적제어시스템을 이용하여 차량의 운전을 수동에서 자동으로 전환 소대를 형성하기 위하여는 우선 장치의 작동상태를 점검할수 있는 안전점검지대가 필요하고 차량의 진입 및 소대의 형성을 통제할수 있는 구간이 설정되어야 한다. 이러한 것을 고려할때 다음과 같이 전용차선을 구간별 분류할 수 있다 (그림 10).

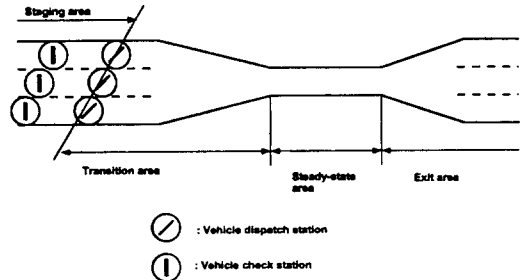


그림 10. HOV Lane Structure

1) 변이구간(Transition Section)

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

A. 차량점검소 : 전용차선으로 진입하는 차량들은 우선 이곳을 통과하며 탑재장치들의 작동여부를 점검받는다. 만일 어느 장치의 고장이 발견되면 별도의 통로를 통하여 우회도로 또는 정비공장으로 유도된다 (그림 11).

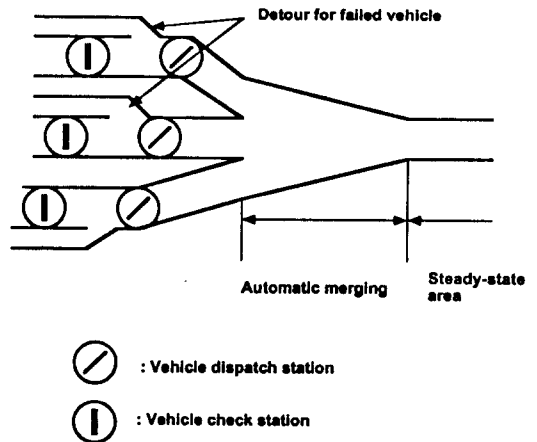


그림 11. HOV Structure with Failed Vehicle Detour

B. 분배소 : 점검을 마친 차량들이 이동하여 소대의 형성을 준비하는 지점으로 노변제어시설(WCF)에 의해 차량의 이동 및 출발이 통제된다. 이 지점을 통과한 차량들은 가속을 하며 다음 구간으로 진입하게 된다. 그림 10에서와 같이 변이구간은 여러개의 고립된 차선들로 이루어지며 각각의 차선으로는 동일한 차종의 유입만이 허용된다. 차량분배소를 출발한 차량들은 가속 및 감속을 통해 차간거리를 조절하며 정상상태속도에 이르며 변이구간의 후반부에 위치한 합류지점에서 노변제어시설에 의해 충돌없이 다른경로로 부터의 차량과 합류한다.

2) 정상상태구간(Steady-State Section)

정상상태속도에 이른 소대가 합류부를 통과하여 한개의 차선으로 합류한 후 일정한 속도로 계속 주행을 하는 구간이다. 각 차량분배소를 통과한 소대는 한개의 차선으로 진입을 하는데 이때 서로 충돌하지 않고 진입후 소대간격이 유지되도록 각 분배소에 위치한 노변제어시설은 각 차량들의 출발시간을 통제한다.

3) 분리구간(Exiting Section)

차량소대의 상태로 주행을 마친후 자동장치에 의한 운전에서 운전자에게로 차량운전이 전환되기 전에 준비구간이다. 이 구간에서는 차량소대 해체되고 차간간격이 더욱 넓어져서 수동으로 운전이 전환되어도 안전하도록 하여준다.

3. 차량의 분배

노변제어장치는 분배소에 차량이 도착할때 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.

4. 시뮬레이션

앞에서 정의된 전용차선의 구조물에 따라 다음과 같은 전제하에 시뮬레이션이 실시된다.

1) 차량종적제어시스템을 장착한 차량은 승용차, 승합차, 버스의 3종류로 구분하였으며 각각의 특성 및 제한은 표 2와 같다. 각 차량의 특성중 사용된 가속도는 차량변속기의 특성을 고려하지 않았다.

2) 차량들은 차종에따라 각기 고립된 경로를 통해 차량점검소에 이르게 되며 안전점검을 마친후 분배소

에 임의의 시각에 도착되는데 각 차량의 도착 간격은 negative exponential distribution에 의해 아래와 같이 결정된다.

$$I_n = -3600 / ar \times \ln(r) \tag{10}$$

이때 \ln, ar 및 r 은 도착간격(second), 시간당 도착 차량대수 및 0과 0.1 사이의 uniform random number 이다.

3) 분배소에서 합류부까지는 각 차량이 저속 또는 정지상태에서 정상상태 속도까지 충분히 가속할수 있는 길이로 설계된다.

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

5) 동일 차종끼리만 소대의 형성이 가능하다.

그림 12는 차종의 조합비율에 따른 ar값과 실제 통과량을 나타낸다. 버스의 비율이 낮을수록 (0 %) 최대 통과량은 시간당 1190대로 높아지며 버스의 비율이 증가할수록 (15 %) 증가하는 ar값에 따라 실제 통과량은 시간당 960대로 오히려 감소하는데 이는 차종 및 ar값의 증가에 따른 복합적인 영향으로 소대의 형성이 감소하기 때문이다. 표 3은 이러한 결과를 더욱 확실히 나타내며 버스 비율이 증가할수록 평균 소대당 차량대수가 1.7 대에서 1.4대로 감소하는 것을 나타내고 있다.

표 2. Vehicle Characteristics

Type	Length (m)	Acceleration (m/s/s)	Deceleration (m/s/s)
Car	4.5	2.53	6.70
Van	6.0	1.51	6.70
Bus	12.0	0.67	6.70

표 3. Radway Capacity and Platoon Size

Vehicle Mix (Car: Van: Bus)	Capacity (veh/hr)	소대당 차량수 (veh/hr)
70:30:0	1190	1.7
60:30:10	1050	1.5
55:30:15	960	1.4

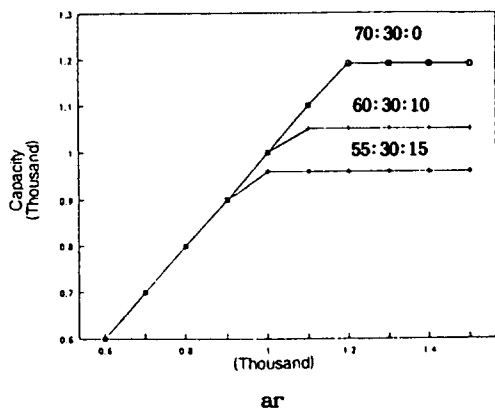


그림 12. Capacity and ar

IV. 결론

전술한 바와 같이 차량종적제어시스템은 지능차량도로시스템(IVHS)을 구현시키기 위한 기술로 이를 실용화 시키기 위하여는 선결하여야 할 기술적 및 법적인 문제들이 산적해 있는 실정이다. 차량종적제어시스템과 관련되어 있는 문제들을 요약하면 다음과 같다.


- 시스템의 안정성 및 신뢰성
- 승객의 승차감
- 도로구조물(infrastructure)의 설계
- 각종 시스템간의 기술적인 호환성 및 안정성
- 법적 제도적인 문제
- 시스템의 시장성

문명의 이기로서 사용되고 있는 차량을 효과적으로 운행하기 위한 상기 기술들은 분명히 자동차 산업분야 발전에 획기적인 전기를 마련할 수 있을 것이며 아울러 이와 관련된 인접산업분야의 발전을 도모할 수 있는 무궁무진한 잠재력을 무시할 수는 없을 것이다.

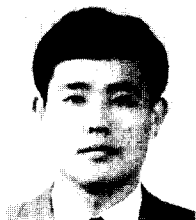
參考文獻

[1] W.J. Harris and G.S. Bridges, "An Introduction to Mobility 2000".

- Proceedings of a Workshop on Intelligent Vehicle/Highway Systems, pp 1-6, 1989.
- [2] J.G. Bender, "An Overview of Systems Studies of Automated Highway Systems", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol. 40, No. 1, pp 82-99, 1991.
- [3] M.M. Kamal, "A General Motor's Perspective on Intelligent Vehicle/Highway System", SAE 901483, 1990.
- [4] E. Shirley, "Automated Vehicle Control Systems", Proceedings of a Workshop on Intelligent Vehicle/Highway Systems, pp 37-40, 1989.
- [5] S.E. Shladover, "Operation of Automated Guidway Transit Vehicles in Dynamically Reconfigured Trains and Platoons", UMTA Report, UMTA-MA-0085-79-2, 1979.
- [6] S. Shladover, C.A. Desoer, K. Hedrick, M. Tomizuka and J. Walrand, "Automatic Vehicle Control Developments in the Path Program", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol. 40, No. 1, pp 114-130, 1991.
- [7] S.E. Shladover "Longitudinal Control of Automotive Vehicles in Close-Formation Platoons", *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, Vol. 113, pp 231-241, 1991.
- [8] S.E. Shladover and R.E. Parsons, "Safety Issues for Intelligent Vehicles/Roadway Systems", ASME Annual Meeting, 1989.
- [9] P. Mallinson and A.G. Stove, "Car Obstacle Avoidance Radar at 94 GHz", Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers, 7th International Conference on Automotive Electronics, pp 297-302.
- [10] S. Aono, "Electronic Applications for Enhancing Automotive Safety", SAE 901137, 1990.

- [11] G.T. Clemence and G.W Hurlbut. "The Application of Acoustic Ranging to the Automatic Control of Ground Vehicles", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol. 32, No. 3, pp 239-244, 1983.
- [12] R.E. Fenton and R.J. Mayhan, "Automated Highway Studies at the Ohio State University - An Overview", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol. 40, No. 1, pp 100-113, 1991.
- [13] R.E. Fenton, K.W. Olson and R.J. Mayhan, "On Future Automated Ground Transport Individual Vehicle Longitudinal Control", Ohio State University Report, 1976.
- [14] A.S. Hauksdottir and R.E. Fenton, "On the Design of a Vehicle Longitudinal Control", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol. 34, No. 4, pp 182-187, 1985.
- [15] A.A. Frank, S.J. Liu and S.C. Liang, "Longitudinal Control Concepts for Highway Automation", AATT Conference, San Diego, pp 61-68, 1989. 

筆者紹介



劉 松 叡

1959年 7月 21日生

1982年 2月 서울대학 공과대학 기계공학과(학사)

1985年 12月 버클리대학 (UC Berkeley) 기계공학과(공학석사)

1990年 2月 버클리대학 (UC Berkeley) 기계공학과(공학박사)

1990年 3月 ~ 1992年 2月 버클리대학 자동화연구소 선임연구원

1992年 3月 ~ 현재 경희대학교 공과대학 기계공학과 조교수

주관심 분야 : 생산가공 관련분야 (계측진단, 자동화), 자동차량제어분야(차량종적제어 시스템)