

대한교통학회
제2기 교통분석 고급과정
강의 교재

교통수요 관리방안(TDM)

서울시립대학교

교수 원 제 무

목 차

I. 서론

II. TDM의 이론적인 배경

2.1 TDM의 개념 및 특징

2.2 TDM 관리기법의 유형

III. TDM 관련자료의 구축과 분석

3.1 TDM의 분석을 위한 자료구축

3.2 TDM의 분석방법

IV. TDM의 문제점과 극복방안

4.1. 효율성과 형평성

4.2. TDM의 적절한 실행계획

V. TDM기법의 일종인 혼잡세 분석

5.1. 교통시설이용의 경제적 분석

5.2. 혼잡세의 분석

VI. 맺음말

참고문헌

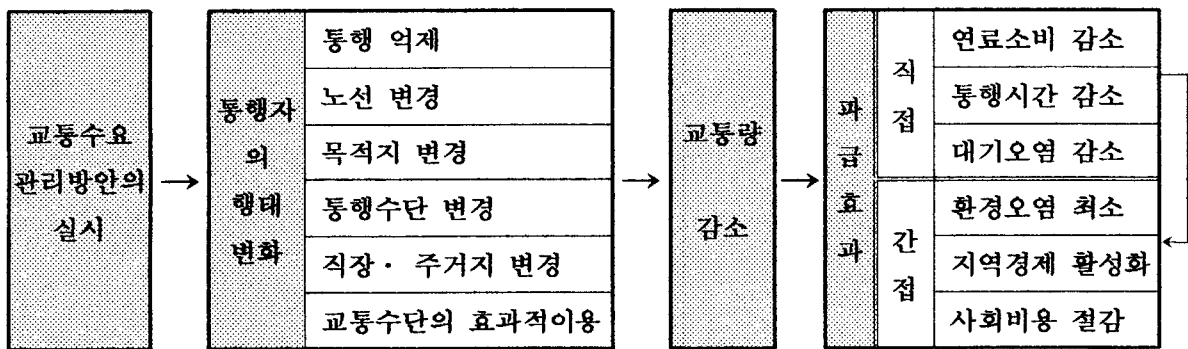
I. 서론

- 교통혼잡은 교통문제의 대부분을 차지하고 있으며, 교통혼잡이 발생되면 교통시설의 비효율적인 이용과 이에 따른 막대한 사회비용의 부담이 불가피하게 된다.
- 기존에 우리나라의 교통혼잡에 대한 많은 연구가 이루어져 있으며, 이에 따라 혼잡의 악영향도 상당부분 인식하게 되었다.
- 교통혼잡은 크게 교통시설과 이를 이용하는 교통류간의 수급불균형에 기인한다고 볼 수 있다. 즉, 도로의 어떤 구간이나 지점이 교통용량보다 많은 교통량의 처리가 요구되는 경우 교통혼잡이 발생하게 된다.
- 국내의 연구기관(교통개발연구원)에서 실행한 연구에 의하면¹⁾ 1991년 현재 1일 교통혼잡으로 인해 53.8억원의 교통혼잡비용이 발생하는 것으로 추정되었다(통행시간비용 포함). 이와 같은 교통혼잡으로 인한 혼잡비용의 발생은 교통수요가 증가하며, 향후에도 꾸준히 증가할 것으로 전망된다.
- 이 연구에서는 이와 같은 교통혼잡 발생의 주요원인으로 아래의 사항을 꼽고 있다²⁾.
 - 외국에 비하여 도로망체계의 역사가 길지 못함
 - 80년대의 GNP에 대비하여 선진국보다 낮은 교통부문의 투자
- 이와 같은 수급불균형을 해소하는 방법으로는 교통시설물의 공급을 조절하는 기법과 수요를 조절하는 기법으로 크게 대별된다. 이중 교통시설물의 공급을 통하여 교통혼잡문제를 해결하는데는 여러가지 제약요인이 있다. 또한 실제 실행에 있어도 교통수요조절기법과 병행하여 실시하여야만 효과가 더해질 수 있으므로 교통수요 조절기법이 상대적으로 중요하다고 볼 수 있다.
- 그러나 이와 같은 수요관리기법 활용효과를 구체적으로 분석하는 기법이 정립되지 않아 체계적인 수요관리기법의 적용에 어려움이 있다.
- 따라서 여기서는 이와 같은 점을 염두해두고 교통수요관리기법(Transportation Demand Management :TDM)의 이론적인 배경에 근거하여 TDM의 효과를 분석하는 방법에 대하여 구체적으로 살펴보고자 한다. 또한 이와 병행하여 TDM의 실행에 따른 고려사항에 대해서도 구체적으로 다루고자 한다.

II. TDM의 이론적인 배경

2.1 TDM의 개념 및 특징

- 교통수요는 일정하게 고정되어 있는 것이 아니라 인구의 증가, 경제적 발전 통행패턴의 변화 등 여러가지 요인에 의하여 변화하게 된다. 특히 급속한 경제발전과 개인교통수단의 이용으로 통행패턴이 변화하는 것은 교통수요의 기하급수적인 증가를 초래하였다.
- 교통수요관리기법을 적용하기 전에는 교통량의 증가에 따라 도로를 포함한 교통시설의 증가와 시설의 효율적인 이용이 도모되어야 한다고 생각되었다. 그러나 도로 및 교통시설을 포함한 교통자원의 공급은 사회경제적인 요인에 의해 제한적일 수밖에 없었다. 이와 같은 수급상의 문제점을 해결하는 방안으로 대두된 것이 교통수요관리방안이다.
- 교통수요관리기법을 이용하면 통행자의 행태변화를 유도할 수 있다. 통행자의 행태변화는 교통량의 감소와 이에 따라 단위시간동안의 처리교통량의 증가, 대기오염의 감소, 연료소비의 감소등과 같은 일련의 효과를 기대할 수 있다. 이를 도식적으로 나타내면 아래의 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 수요관리방안의 실시효과

- 교통수요관리기법은 초기에 도심이나 업무밀집지역에서 정부의 지원과 세제혜택의 도움을 받아 단편적으로 실시되었기 때문에 효과가 국지적이며 연속성을 확보하지 못하였다. 이와 같은 문제점을 보완하고 최근에는 교통수요관리기법의 적용에 다양한 법적규제력과 간접적인 규제 등을 통하여 시행지역을 넓혀가고 있다.

2.2 TDM 관리기법의 유형

◦ 교통수요관리기법은 그 종류와 내용이 매우 다양하기 때문에 효과적이며 체계적인 분류에 많은 어려움이 있다. 이를 정책효과를 중심으로 분류하면 다음 <표 1>과 같은 분류가 가능하다.³⁾

<표 1> TDM의 유형 및 특성

대분류	중분류	구체인 실행안	특성
동행발생 차단	근무스케줄	- 출근일수 단축 - 재택근무	동행자체를 차단함으로써 교통혼잡을 완화하려는 노력으로서 교통수요관리상에서 가장 근원적인 방법으로 꼽을 수 있다. 그러나 이들방안중 일부는 구체적인 실행에 있어 사회경제적인 환경이 조성되어야 한다. 또한 효과가 장시간이 경과된 이후에야 나타난다는 문제점을 안고있다.
	성장관리 정책	- 특정지구성장억제 - 상업건축 가용면적 축소 - 직장과 근거리 거주 유도 - 도심기능 이전 등	
	조세정책	- 고액의 차량등록·구입세 - 고율의 차량보험료	
교통수단 전환 유도정책	경제적기법	- 주차요금정책 - 도심통행료, 혼잡세 징수 - 주행세, 주차세 징수	교통수요관리기법중 가장 보편적으로 이용할 수 있는 방안이다. 기존의 승용차이용자를 다른교통수단으로 전환하는 방법으로 승용차이용에 어려움을 주는 방법과 대중교통이용을 지원하는 방법이 있을 수 있다.
	법적·제도적 장치	- 부제운행 - 주차공간활용억제 - 건물의 교통수요억제 프로그램운영 - 교통위반시 선택적 운행정지 실시 - 기타 차량이용억제 정책	
	대체수단 지원정책	- 대중교통이용 활성화 - 카풀·밴풀 이용촉진 - 자전거이용활성화	

<표 1>에서 계속

대분류	중분류	구체인 실행안	특 성
통행시간 · 노선 재분배		시차제 출근	통행량을 폭넓은 시간으로 재분배하여 침두시 교통혼잡을 완화하는 방안이다.
		교통정보체계이용 출발시간 및 노선조정	
공간적 재분배		지역허가통행제	특정한 지역의 통행제한 및 교통량이 과다한 노선의 통행을 제한함으로써 통행노선을 변경하여 교통량의 공간적 재배분을 한다.
		미터링(차량진입제한)	
		주차금지구역 확대	
		교통방송을 통한 통행노선의 전환	

○ 이밖에도 교통수요관리방안의 실행의 강제성 여부와 실행집단의 특성을 기준하여 아래의 방식으로 구분하기도 한다.

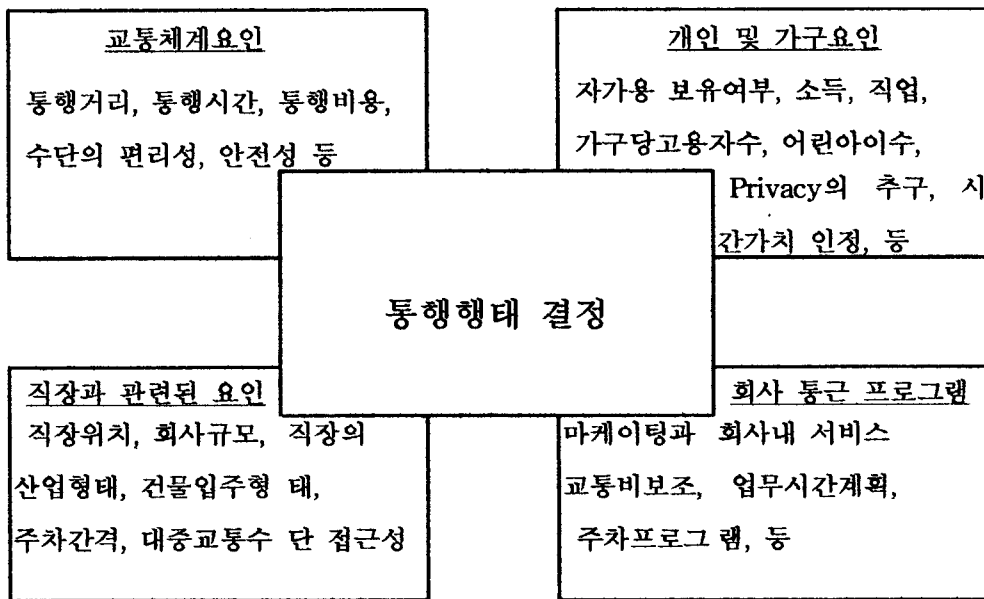
- ┌ 강제적 명령적 업적달성 위주의 규제방식
- └ 시장경제의 원리인 가격체계에 의존하는 방식

- ┌ 개인에게 직접적으로 영향을 주는 방식
- └ 단체나 외부효과를 통하여 간접적으로 영향을 주는 방식

III. TDM 관련자료의 구축과 분석

3.1 TDM의 분석을 위한 자료구축

- TDM의 효과분석은 주로 개인의 통행행태의 변화 특성을 파악하여 이루어질 수있다. 따라서 TDM의 효과분석은 개인의 통행행태에 변화를 주는 요인들을 조사하여 이들이 통행에 미치는 영향을 살펴보는 것으로 가능하다.
- 따라서 실질적인 분석에 앞서 구축되어야 하는 자료는 개인의 통행행태의 변화와 통행 행태변화에 영향을 주는 요인들의 관계라 할 수 있다.
- 개인의 통행행태를 결정하는 요인으로는 아래의 4가지를 꼽을 수 있다.⁴⁾
 - 교통체계요인
 - 개인 및 가구의 요인
 - 직장과 관련된 요인
 - 회사의 통근관련 프로그램
- 앞의 4가지 요인들은 서로 상호작용하며, 개인의 통행결정에 영향을 미친다. 아래의 (그림 2)는 이들 요인들의 영향을 도식적으로 나타낸 것이다.



(그림2) 통행행태 결정에 영향을 주는 요인과 통행행태 결정

참고 : 서울특별시, 지방공무원교육원, 교통행정교재II, 1993

- 구체적인 TDM의 분석은 이들 요인과 통행행태간의 영향관계의 규명을 위한 것으로 우선적으로 행태와 영향요인 관련자료의 구축이 선행되어야 한다.

3.2 TDM의 분석방법

- 교통수요관리기법의 분석은 보다 바람직한 교통수요관리기법의 실행을 보조하는 역할을 하게됨으로 중요한 의미를 가지고 있다. 교통수요관리기법 적용결과를 분석하는 방법으로 아래의 3가지 방법을 활용할 수 있다.⁵⁾

- 효용이론을 통한 접근방법(utility approach)
- 활동행태를 이용한 분석방법(activity-based approach)
- 태도적 접근방법(attitudinal approach)

- 효용이론에 바탕을 둔 접근방법은 개인의 의사결정이 정량화가 가능한 효용에 근거하여 파악될 수 있다는데 이론적인 뿌리를 두고 있다. 이같은 경제학에 근거한 효용이론을 이용하게 되면 TDM의 효과를 일정한 값으로 분석할 수 있다.

- 활동이론에 바탕을 둔 접근방법은 개인이나 개인이 속한 가정, 직장 등의 특성에 의해 통행 패턴을 분석하고 효과를 파악하고자 하는 방법으로 그 이론의 근거는 사회학적인 접근에 있다고 볼 수 있다.

- 태도의 접근방법은 앞서 객관적이고 비교적 구체성을 띠수 있는 분석과는 달리 인간의 심리적인 특성을 통행특성 결정의 주요 요인으로 보기 때문에 이에 바탕을 두고 분석을 실행할 수 있다.

3.2.1 효용이론 접근방법

- 효용이론은 통행자의 통행수단선택, 노선변경, 목적지 변경 등 다양한 통행행태의 변화를 설명하기 위해 활용되고 있는 접근방법이다.
- 전통적인 미시경제학의 소비자의 효용함수(utility function)를 이용하여 소비자의 수요패턴을 파악하고 있다. 이와 같은 맥락에서 교통분야에서도 통행자의 통행패턴을 분석하는데 있어서 효용함수를 활용한다. 즉, 통행자의 노선선택, 수단선택 등과 같은 다양한 통행행태 변화를 예측에 효용함수를 활용하고 있다. 효용함수를 통한 모형의 정립과정에는 소비자 선택이론의 중심이 되는 효용극대화이론을 그 이론적 토대로 하고 있다.
- 통행자가 어떤 선택행위를 함에 있어서 선택된 대안의 효용이 선택되지 않는 대안의 효용에 비하여 상대적으로 크면 그 대안을 선택하게 된다.
- 이러한 대안별 효용(U_i)은 크게 관측가능한 효용(V_i)과 과측불가능한 효용(ϵ_i)으로 구성된다. 이를 식으로 나타내면 아래 식(1)과 같다.

$$U_i = V_i + \epsilon_i \quad \text{-----}(1)$$

여기서 V_i : 통행시간, 통행비용과 같은 관측가능한 효용

ϵ_i : 안락감, 개인의 선호와 같은 관측불가능한 효용

- 통행자의 통행특성은 통행자의 특정 통행에 대한 선택확률을 산출하여 알아볼 수 있다. 즉, 어떤 통행자가 승용차를 이용하여 A라는 노선을 통하여 x라는 목적지에 도착하였다면 통행자가 이와 같은 통행이 다른 어떤 통행에 비하여 높은 효용을 가졌다고 인식하기 때문이다. 이와 같은 비교는 아래의 식(2)를 이용하여, 개별적인 통행의 상대적 효용성 크기 파악을 통하여 설명할 수 있다. 즉 a라는 통행안을 통행자가 선택하는 경우, 이와 같은 통행은 다른 통행을 선택할 확률에 비하여 높은 확률값을 가지고 있다.

$$\Pr(a) = \Pr(U_a > U_i \mid i = \forall 1 \text{ to } N) \quad \text{-----}(2)$$

여기서 $\Pr(a)$: a통행을 선택할 확률

$\Pr(U_a > U_i)$: a통행의 효용이 i통행에 비하여 클 확률

N : 통행가능 대안수

◦ 관측가능한 효용과 관측불가능한 효용을 고려하는 경우 통행안 a를 선택할 확률은 아래의 식(3)을 활용할 수 있다. 식(3)은 식(1)에 (2)식을 대입하여 산출한다.

$$\Pr(a) = \Pr(V_a + \epsilon_a > V_i + \epsilon_i \mid i = \forall 1 \text{ to } N) \text{ -----(3)}$$

$$\Pr(a) = \Pr(V_a - V_i > \epsilon_i - \epsilon_a \mid i = \forall 1 \text{ to } N)$$

◦ 식(3)에서 오차항의 차이($\epsilon_i - \epsilon_a$)는 일정한 분포를 가정할 수 있다. 만일이 오차항의 분포를 웨이블 분포로 가정하면 로짓모형식이 산출되고, 정규분포를 가정하면, 프로빗모형식이 산출된다.

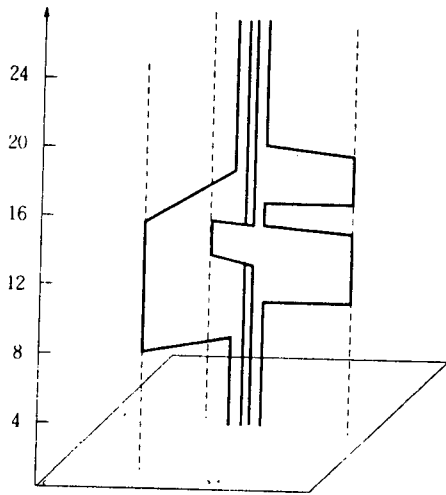
3.2.2 활동중심모형 활용

◦ 활동중심모형은 교통을 그 자체가 어떤 목적을 가진 활동으로 해석하지 않고, 사람들의 통행목적수행을 위해 필요한 수단으로 이해한다. 이 이론에서는 유사한 활동목적 패턴을 가진 개인들의 집단을 규정하고 같은 활동패턴에서 집단간의 차이를 설명하는 변수들을 찾는다.

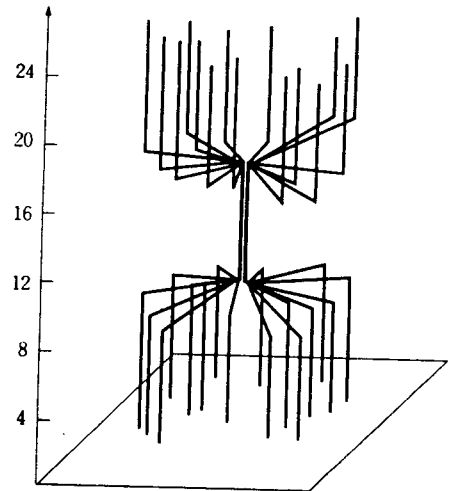
◦ 활동중심모형은 1970년대 말부터 대두되었으나 복잡한 이론을 뒷받침해 줄 방법론이 미흡하여 교통분야에서 사용된 사례는 거의 없다.

◦ 그러나 1990년 초부터 다시 이 접근방식에 새로운 관심이 집중되었다. 근본적인 이유는 교통정책의 흐름이 시스템공학적 접근방법으로 부터 인간행동의 근본적인 이해에 근거한 교통수요관리(TDM)중심으로 옮겨가고 있기 때문이다.

◦ 아래의 (그림 3)는 인간의 통행패턴을 기계적인 접근이 아닌 행태중심의 관점에서 접근하기 위해 기초적으로 구축되는 공간상의 행적도이다.



(a) 4인구성가구의 행적도



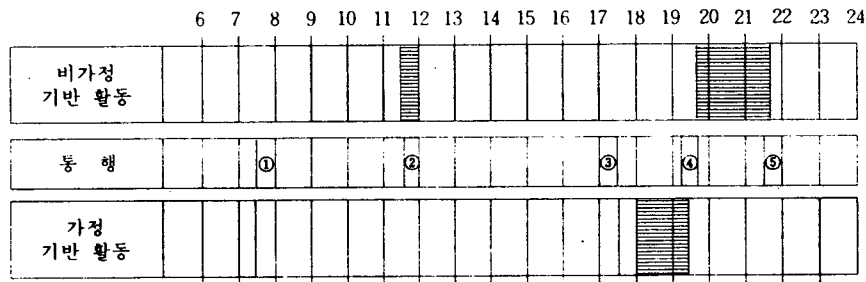
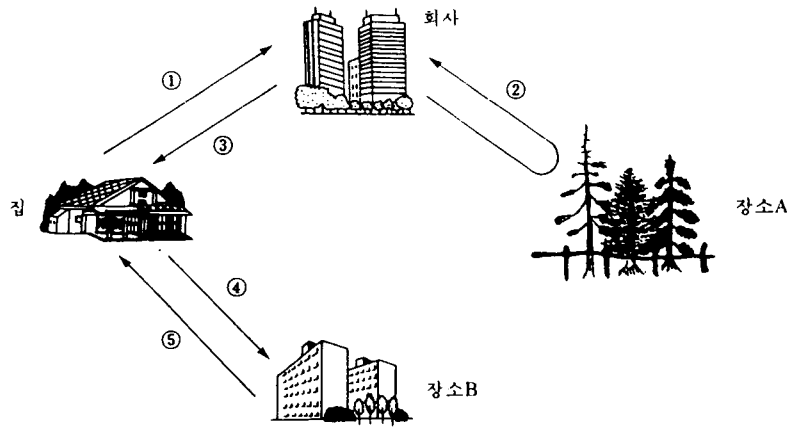
(b) 학생들의 행적도

(그림 3) 행태중심분석의 기초가 되는 공간상의 행적도

◦ 이에 발맞추어 연구의 방향도 인간이 교통과 통행에 관련하여 “어떻게” 행동하는가에서 벗어나 “왜” 그렇게 하는가하는 원인분석(Causality)에 관심이 기울어지게 되었다. 이러한 새로운 흐름을 적절하게 충족하여 주는 방법론을 활동중심모형에서 제공하고 있다.

◦ 현재 활동중심모형을 위한 기법들이 다양하게 소개되고 있다. 이러한 연구의 특징으로는 개인간의 제약변수 등에 관한 분석에 목적을 두고 있다. 이를 좀더 자세히 살펴보면 다음과 같다.

- ① 개인보다는 가구를 다양한 일상활동의 계획을 수행하는 의사결정단위로 이해한다.
- ② 통행행태 분석에 있어서 시간에 대한 취급이 타 연구 방법과 다르다. 즉, 하루, 일주일, 때로는 한달까지 연속 측정된 관측자료를 이용한다.
- ③ 통행행위 자체를 기존의 방법처럼 출발지와 도착지를 연결하는 하나의 동질적인 행위로 보지 않고 습관적 통행, 강제적 통행, 선택적 통행 그리고 회피성 통행 등으로 분류하여 통행자의 행위를 좀더 면밀히 관찰한다.
- ④ 기존에 사용되던 주요 변수들을 고려하고, 그간 사용되지 않았던 새로운 변수들을 강조한다. 예로는 특정 장소에서 체재시간, 일주일 동안 총통행 횟수, 특정통행중 발생한 정지횟수 등이 있다.



(그림 4) 활동중심모형을 활용 기법의 예(HATS: Household Activity Travel Simulation)

3.2.3 태도적 접근방법

- 태도적 접근은 인간의 지각과 이의 행동으로의 도출을 보여주는 심리학적인 접근방법이다. 따라서 기존에 심리학분야에서 인간의 행동과 관련된 일반적인 이론의 정립이 있었으나, 교통분야에서 아직까지 이를 적극적으로 활용하는 단계에 있지 않다.
- 태도는 인간의 내면속에 있는 무의식적이며 비합리적인 경향으로 직접적인 행태로 연관을 시키기에는 상당한 어려움이 있다. 그러나 통행자의 통행 선택에 있어 이성적이며, 합리적인 근거에 바탕을 둔 조건 외에도 비이성적인 부분이 상당한 영향을 준다는 점에서 태도적인 접근방법의 중요성은 커지고 있다.
- 기존에 태도적 접근방법을 활용하여 TDM의 특성을 분석하는 데는 한계가 있으나 조사방법을 개발하고 활용하면 TDM의 분석에 유용한 도구가 될 수 있는 부분이다.

IV. TDM의 문제점과 극복방안

4.1. 효율성과 형평성

- 교통수요관리방안을 현실에 적용하는 데에는 극복되어야 할 몇가지 과제가 있다. 이들 문제점중 가장 강력하게 대두되는 것이 효율성과 형평성 문제이다.
- 효율성의 측면에서 크게 문제점으로 부각되는 것은 아래와 같다.
 - 교통행태가 비용에 비탄력적이기 때문에 혼잡세를 포함한 비용부과 방법을 이용해서는 원하는 결과를 얻을 수 없다.
 - 잠재수요가 있기 때문에 수요관리의 효과가 지속성이 없다.
 - 혼잡세의 부과와 같은 교통비용의 증가를 초래하는 요인은 지역경제에 악영향을 초래할 우려가 있다.
 - 성장잠재력이 큰 도시에서의 교통시설의 투자없이 수요관리만으로 문제해결은 어렵다.
- 효율성 측면의 문제점을 완화하기 위해서는 다음 몇가지 극복방안을 이용할 수 있다.
 - 혼잡비용을 각각의 경우에 적절하게 적용하여 실행효과를 높인다.
 - 교통수요관리방안 실행과 병행하여 추가적인 교통시설의 투자가 뒤따라야 한다.
 - 지역경제의 활성화에 긍정적인 영향을 주는 교통수요와 그렇지 못한 교통수요를 차별화하여 시간적으로 분리한다.
 - 잠재수요 전이로 인한 교통수요관리방안 실행상의 문제점은 TDM의 폭넓은 실시를 통하여 대처한다.
- 반면 형평성의 측면에서 문제점으로 대두되는 것은 아래와 같다.
 - 혼잡비용의 부과의 수혜자가 부유층이 될 수 있다.
 - 혼잡요금의 부과로 인한 사회편익이 정부의 수익금으로 귀속될 수 있다.
 - 국민의 평등한 교통권 행사에 어려움을 줄 수 있다.

○ 이와 같은 교통수요관리방안의 실행에 따라 나타나게 될 형평성의 문제점을 개선하기 위해서는 다음의 조치들을 고려할 수 있다.

- 개인교통수단의 이용비용의 증가로 인하여 교통수단의 전화를 하게되는 경우 이들 수요를 수용할 수 있는 대중교통수단의 마련이 필요하다.
- 교통수요관리기법을 활용하여 발생하는 수입은 교통부문에 재투자되어야 한다.
- 교통권의 보호입장에서 혼잡이 발생되지 않는다면 승용차 이용자들에게 별도의 부담을 부과하지 말아야 한다.

<표 2> TDM의 문제점과 극복방안

구분	문제	문제점 내용	극복 방안
효과성	혼잡완화 효과	- 극심한 혼잡에 많은 비용을 징수하여야 하므로 시민들의 부담가중 - 정확한 요금산정 어려움	- 비교적 적은 요금의 징수를 통해서도 높은 수준의 혼잡완화 효과
	교통시설 투자	- 성장하는 도시의 교통시설에 대한 지속적인 투자가 필요	- 잠재적 수요로 인한 시설투자의 효과가 잠식당하므로 지속적인 수요관리 정책의 활용이 필요
	지역경제	- 혼잡비용의 결과 지역의 경제성장이 위축	- 교통수요관리 방안을 효율적으로 수행하는 경우 접근비용이 감소됨으로 수익금의 시설에 대한 추가적인 투자가 가능 - 교통서비스와 운송차량의 부담 감소
	잠재수요	- 수요관리방안의 효과가 잠재적수요로 인하여 잠식 혹은 다른 곳으로 전이되는 현상이 나타날 우려가 있음	- 잠재수요에 의한 교통수요관리방안의 잠식은 입증되지 않았음 - 교통수요 관리방안을 통한 다양한 수요억제와 수익금의 교통시설에로 투자
형평성	수혜자	- 수요관리를 통한 편익이 시간가치가 큰 부유층의 점유물로 될 우려 - 기존의 대중교통 이용자의 대중교통 이용에 따른 혼잡의 가중으로 피해	- 대중교통이용자가 많은 곳에서 수혜자는 부유층이 아닌 대중교통이용자가 됨 - 대중교통수단의 용량을 탄력적 운용이 가능
	수익금	- 수익금의 적절한 배분이 이루어지지 않고 정부의 수익금으로 대치될 우려	- 수익금은 대중교통이용자의 비용절감에 우선적으로 활용
	교통권	- 모든 사람이 공평하게 교통할 권리를 정부가 최대한 보장하여야 함	- 교통자원에 혼잡이 없는 경우에 자유로운 접근이 가능 - 각종 수요관리방안 마련에 형평성을 우선적으로 고려

참고 : 황기연, 교통수요관리 문제점의 극복, 대한교통학회지 제13권 제3호, 1994. page 92

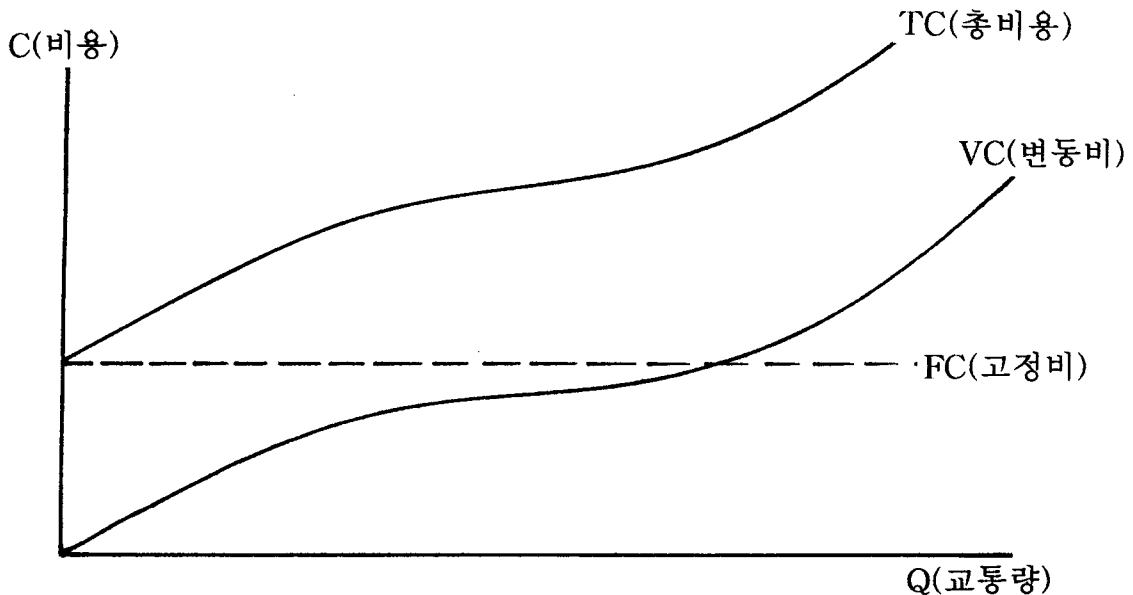
4.2. TDM의 적절한 실행계획

- TDM의 실행상에 나타나는 문제점을 해결하기 위한 방안으로는 적절한 TDM의 실행 계획을 수립하는 것을 꼽을 수 있다. 이같은 실행계획에 포함되어져야 하는 내용은 아래와 같다.
 - 실행할 TDM기법
 - TDM기법을 통한 재원의 징수와 이의 적절한 재원의 이용계획
 - 재원의 징수규모 및 징수방법과 시기
 - 재원징수의 기술적인 방안
- 도로를 포함한 교통시설은 그 시설이 입지한 지역의 특성과 시설자체의 특성에 따라 적용되어야 할 TDM기법은 차별화될 수 있다. 실행계획에서는 이를 구체적으로 설명하여야 한다.
- TDM기법을 이용하여 교통처리를 하는 경우 징수재원이 발생한다. 이와 같은 재원의 구체적인 사용계획이 병행하지 않는다면 TDM기법을 적용하는 실행계획은 균형을 잃은 계획이 될 수 있다.
- TDM기법의 적용은 용량을 초과하는 교통량에서 수요의 전환에 그 의미를 두고 있으므로, 수요의 시간 및 지역적인 조절을 고려하여, 징수재원의 규모와 징수방법 및 시기를 적절하게 고려하고 이를 계획에 포함하여야 한다.
- TDM기법을 적용하여 재원을 징수하는 경우 징수를 위한 징수장치를 포함한 여러가지 기술적인 방안이 구체화되어야 한다.

V. TDM기법의 일종인 혼잡세 분석

5.1. 교통시설이용의 경제적 분석

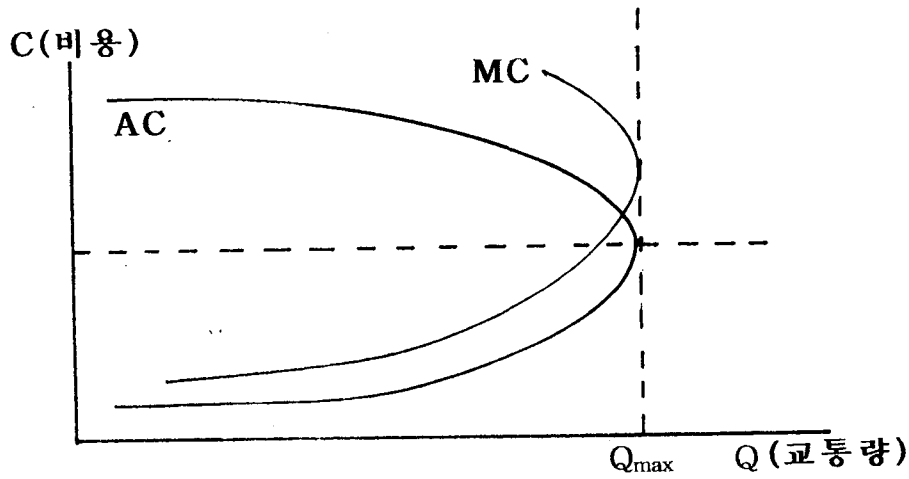
- TDM의 대표적인 기법인 혼잡세의 효과를 분석하기 위해서는 교통시설이용을 경제적인 논리에서 한정된 자원의 활용과 연관시켜 접근하는 것이 필요하다.
- 교통시설의 이용에 따라 소요되는 총비용은 고정비와 변동비의 합이다. 고정비는 시설의 설치와 유지 관리에 소요되는 비용과 같이 일정한 수준의 고정적인 비용이다. 연료비와 통행시간 등과 같이 시설의 이용에 따라 변화하는 비용을 변동비라 한다. 총비용과 고정비·변동비의 관계를 그래프로 나타내면 아래의 (그림 5)와 같다.



(그림 5) 교통시설 이용에 소요되는 총비용과 고정비·변동비의 관계

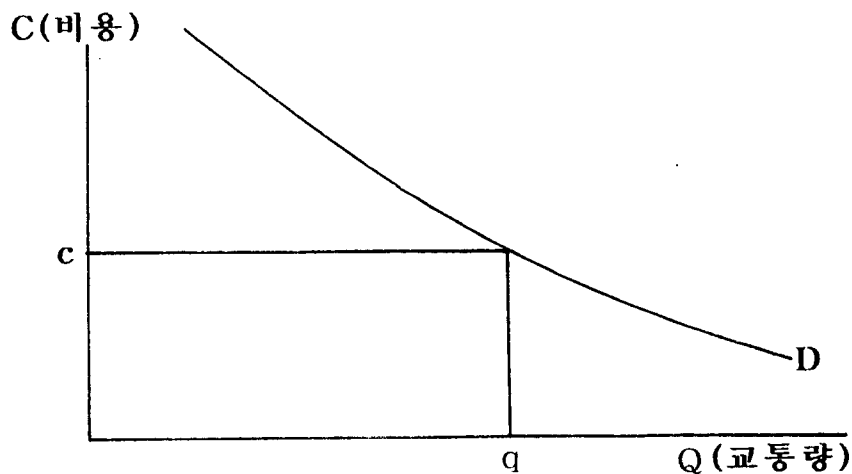
- (그림 5)에서 보는 바와 같이 고정비는 교통량의 증가에 상관없이 일정하게 고정되어 있다. 그러나 변동비는 교통량의 증가에 따라 완만하게 증가한다. 일정수준이상(그래프상의 변곡점)에서는 급격한 증가를 보여주고 있다.
- 통행에서 개인에게 부담되는 비용은 변동비가 대부분이다. 즉 대부분의 도로, 교량, 터널과 같은 교통시설투자비용은 공공적인 차원에서 부담된다. 따라서 통행에 개인이 직접적으로 지불하는 비용은 연료비와 자동차유지관리비 및 통행시간비용으로 교통시설상의 교통량이 증가할수록 증가하게 된다. 이와 같은 통행량의 증가에 따른 평균비용의 증가는 한계비용이 평균비용에 비하여 크다는 것을 보여준다. 이를 그래프로 나타내면 (그

림 6)과 같이 나타낼 수 있다.



(그림 6) 교통량에 대한 평균비용과 한계비용의 관계

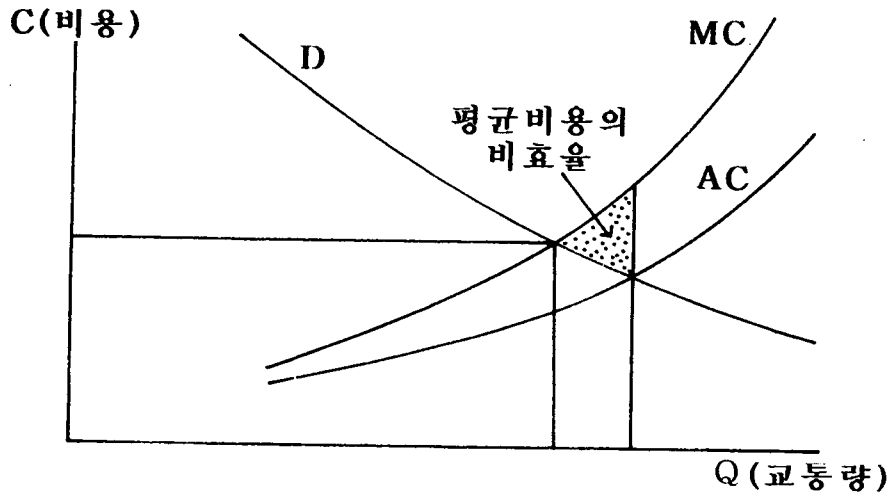
교통시설의 이용에 필요한 개인의 비용분담 증가는 이를 이용하는 통행의 감소를 유발한다. 반대로 통행에 소요되는 비용의 감소는 통행의 증가에 영향을 준다. 이는 교통상품의 가격에 따른 구매량을 보여주는 것으로 넓은 의미의 수요곡선으로 생각할 수 있다. 이를 그래프로 나타내면 아래의 (그림 7)과 같다.



(그림 7) 통행으로 유발되는 편익에 따른 수요

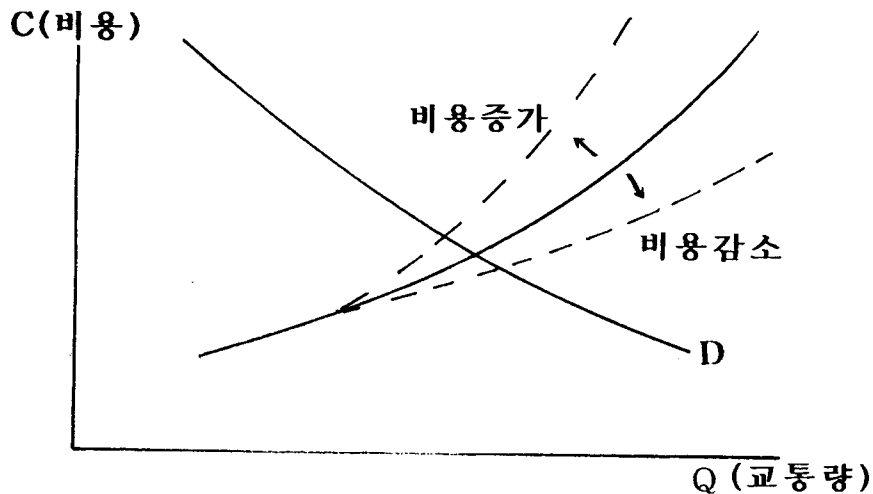
- 교통량에 따른 통행비용의 결정은 비용곡선과 수요곡선의 접점에서 결정된다. 그러나

통행비용의 설정에는 두가지 문제가 있다. 그중 하나는 한계비용의 적절한 설정이며, 다른 하나는 평균비용으로 통행비용을 설정할때 한계비용 이하에도 통행하는 비효율적인 부분이 발생하는 것이다.



(그림 8) 교통량과 통행비용

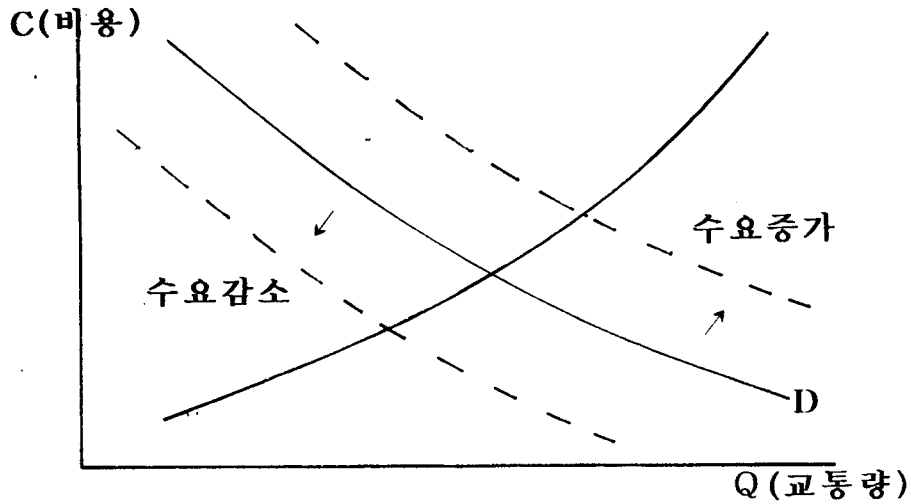
◦ 단기적인 측면에서 비용곡선과 수요곡선은 고정적이다. 그러나 도로의 신·증설과 같은 교통용량의 증가는 비용함수를 우측으로 이동시킨다. 반면, 도로의 일정부분이 사용금지하는 것과 같이 용량을 감소시키는 경우에는 비용함수를 좌측으로 이동시킨다.



(그림 9) 장기적인 측면의 비용곡선 이동

◦ 수요함수의 장기적인 측면의 이동은 단지개발, 재개발 등으로 인한 통행수요의 증가 요인과 TDM의 효율적인 활용과 같이 감소적인 요인이 있을 수 있다. 통행수요의 증가 요인은 수요곡선을 우측으로 이동시키며, 반면 감소적인 요인은 수요곡선을 좌측으로 이

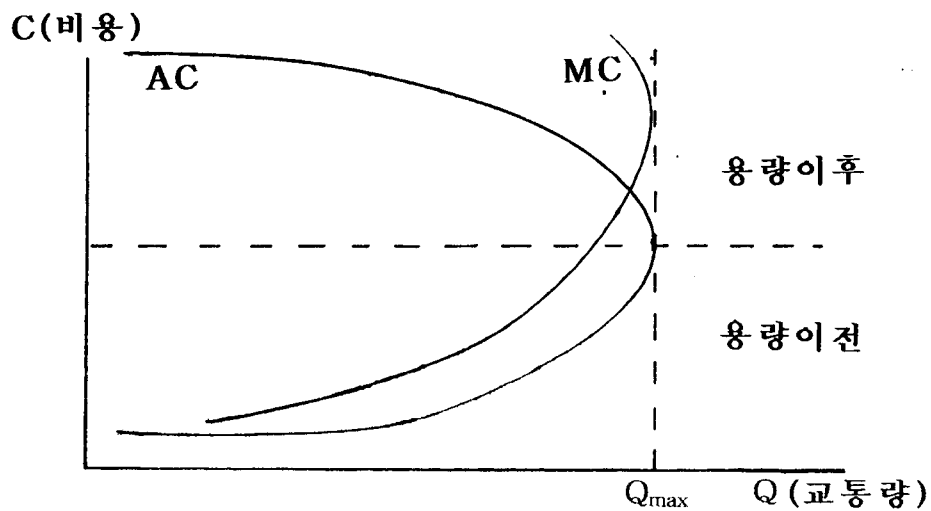
동시킨다.



(그림 10) 장기적인 측면의 수요곡선 이동

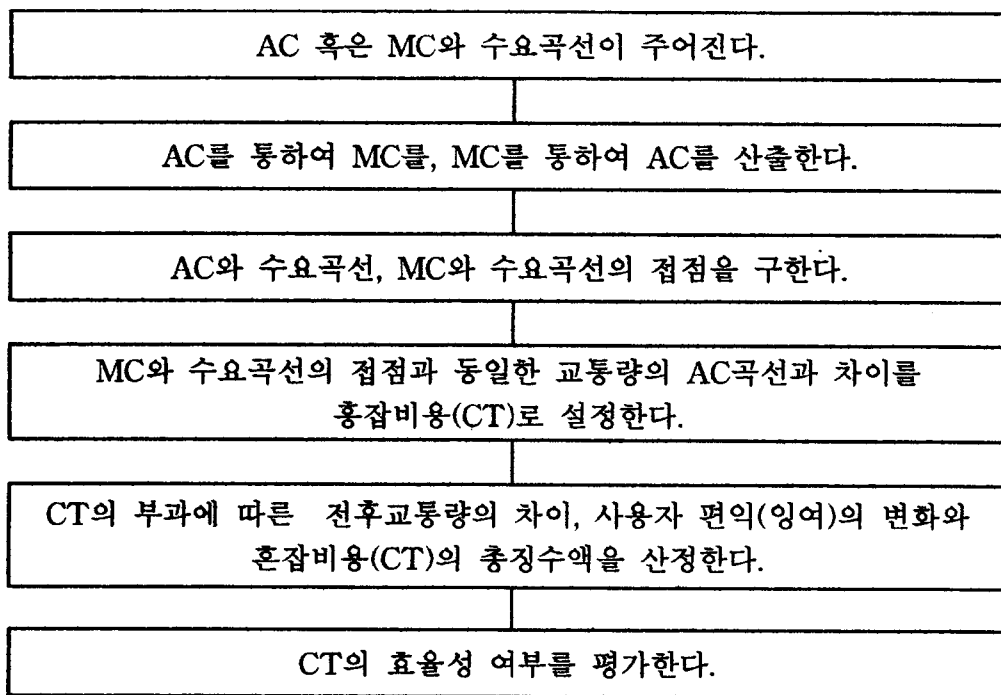
5.2. 혼잡세의 분석

○ 효용이론에 근거하여 TDM을 직접적으로 적용할 수 있으며 AC(평균비용곡선)에서 MC(한계비용곡선)로 비용전환이 용이한 기법이 혼잡세의 징수방법이다. 혼잡세의 징수는 크게 용량이전 단계 즉, 교통량 증가가 비용의 증가로 결과되는 단계와 용량이후 단계 즉, 교통량증가가 비용감소로 결과되는 단계로 구분하여 고려할 수 있다.



(그림 11) 용량전·후단계의 AC와 MC

- TDM의 일종인 혼잡세의 효과는 정량적인 분석을 통한 파악이 필수적이다. 다음은 용량이전단계(일반상태)의 혼잡비용효과와 용량이후단계(과포화상태)의 혼잡비용효과를 파악하는 방법에 대하여 설명하고자 한다.
- 혼잡세의 설정은 AC와 MC의 차이를 통하여 설정한다. 따라서 혼잡비용을 설정하기 위해서는 AC혹은 MC의 특성과 교통수요곡선의 특성이 규명되어야 한다.
- AC 혹은 MC와 수요곡선을 통하여 혼잡비용(CT)의 크기와 CT의 효과를 알기 위해서는 (그림 12)의 과정도에서와 같은 연속적인 분석이 필요하다.



(그림 12) AC 혹은 MC와 수요곡선을 통한 혼잡세(CT)의 크기와 효과추정

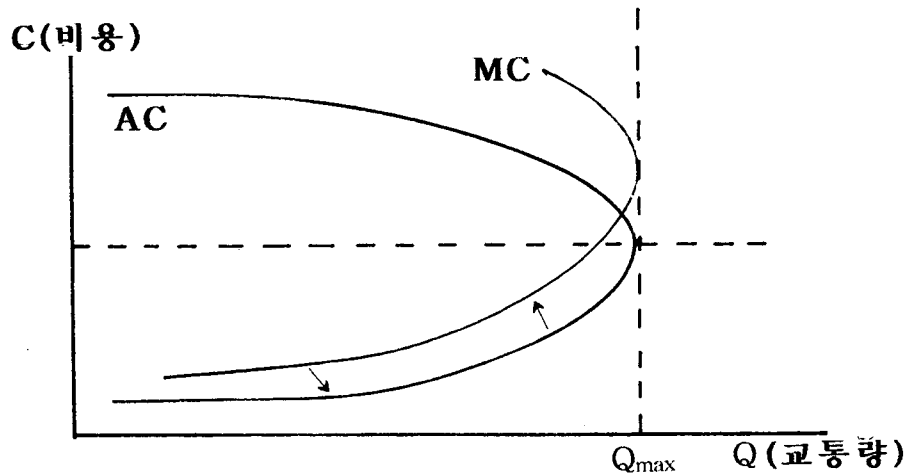
- AC로 MC를, MC로 AC를 도출할 수 있다.
 - ① AC를 알고 있는 경우에 MC는 다음과 같은 방법을 통하여 산출한다.
AC가 “ $f(v) = av + \beta$ ”이며 MC는 “ Δ 총통행비용/ Δ 교통량 = $\Delta f(v) \cdot v / \Delta v$ ”이다. 따라서 아래의 식(4)를 이용하여 구할 수 있다.

$$h(v) = \frac{df(v) \cdot v}{dv} = 2a \cdot v + \beta \quad \text{-----(4)}$$

- ② MC를 알고 있는 경우에 AC는 다음과 같은 방법을 이용하여 구한다.

MC가 " $h(v) = a_1v + \beta_1$ "인 경우 평균비용 $f(v)$ 는 아래의 식(5)를 이용한다.

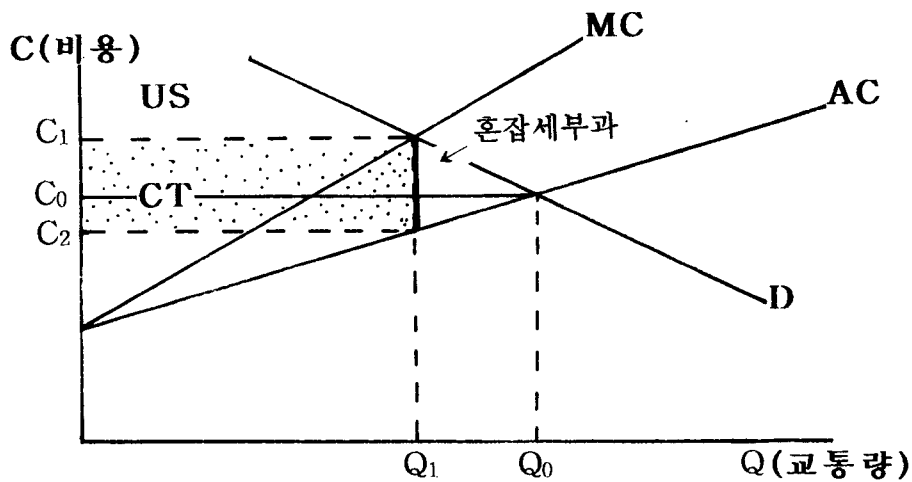
$$f(v) = \frac{1}{v} \int_0^v h(x)dx = \frac{1}{v} \left(\frac{a_1}{2} \cdot v^2 + \beta_1 \cdot v \right) = \frac{a_1}{2} \cdot v + \beta_1 \quad \text{---(5)}$$



(그림 13) AC로 부터 MC의 추정 또는 MC로 부터 AC의 추정

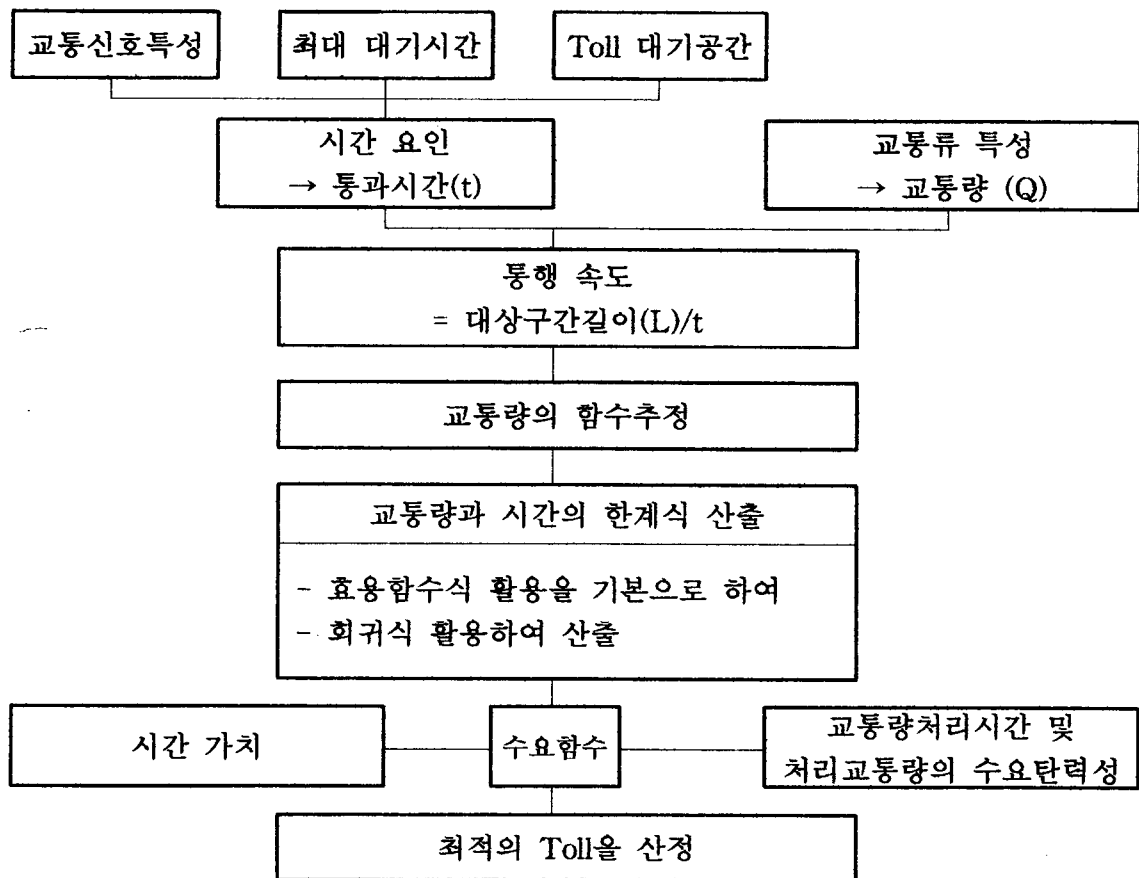
- 이상에서와 같이 AC와 MC를 알고 수요곡선을 알게 되면 AC와 수요곡선, MC와 수요곡선이 만나는 점의 교통량, 비용을 산출한다. 또한 AC와 수요곡선의 접점을 현상태로 보고 MC와 수요곡선이 만나는 점을 혼잡비용설정이 성공된 경우로 본다.
- 이에 따라 MC와 수요곡선이 만나는 점과 교통량이 동일한 AC곡선상의 점간의 차이를 혼잡비용(CT)의 크기로 본다. CT는 아래의 식(6)을 이용하여 구할 수 있다.

$$CT = (MC_{\text{수요곡선과 접점}} - AC_{\text{MC와 수요곡선이 만나는 점과 같은 교통량상태}}) \quad \text{-----(6)}$$



(그림 14) 적정한 CT의 산정

- 이상의 과정이 끝나면 CT의 부과전·후의 교통량 증감과 사용자편익(잉여)의 변동을 살펴본다. 또한 CT를 통한 혼잡세 징수액을 보고 CT의 적절한 실행 여부를 판단한다.
- 앞서 분석에서 살펴볼 수 있는 CT의 효과는 정량적인 특성치이다. 그러나 이밖에도 혼잡세의 실시를 통해서 아래 두가지 효과를 기대할 수 있다.6)
- ① 도로이용자들에게 혼잡세를 부과하여 사회의 다른 구성원들에게 이를 배분하는 효과
- ② 도로이용자들에게 혼잡비용을 부과함으로써 도로시스템이용의 효율적인 의사결정 보조
- 앞서 실질적인 분석에서 활용하였던 한계비용은 이론적으로 파악이 가능하나 구체적으로 적용함에 어려움이 있다. 따라서 통행량의 전환을 유도하여 최적의 사회비용을 도출할 수 있는 혼잡세(toll)를 파악하기 위해서는 다음의 방법을 이용하여 최적의 혼잡비용을 산출할 수 있다.7)



(그림 15) 최적 Toll(혼잡세) 산정

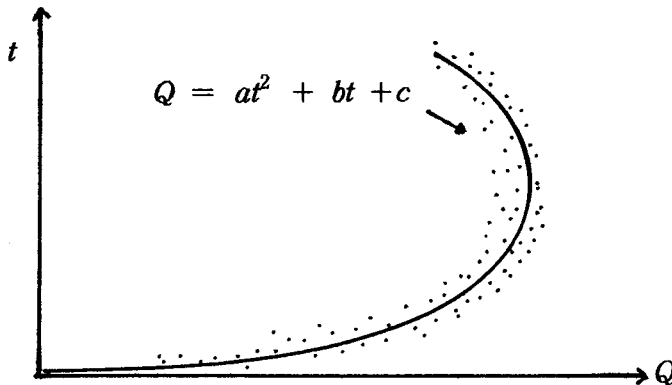
○ (그림 15)의 최적의 혼잡비용산정을 단계에 따라 구체적으로 설명하면 아래의 설명과 같다.

1 단계 : 교통량과 통행비용(통행시간)과의 관계규명

- 대상도로에 대한 시간대별 교통량 조사(Q)
- 대상도로에 대한 시간대별 통행시간 조사(t) : 대상구간의 거리를 측정해둔다.
- 통행시간을 교통량에 대한 함수로 규정($t = f(Q)$)
- 조사교통량을 설명변수로, 통행시간을 종속변수로, 회귀식 정립 및 회귀분석 수행

$$Q = at^2 + bt + c \text{ 여기서 } Q : \text{교통량, } t = \text{통행시간}$$

- 회귀분석을 통한 계수도출



2 단계 : 평균비용함수와 한계비용함수 도출

- 교통량-통행시간 관계식을 정리

$$t(Q) = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4a(c-Q)}}{2a}$$

- 통행시간을 교통량으로 미분하여 교통량에 대한 한계통행비용을 구함

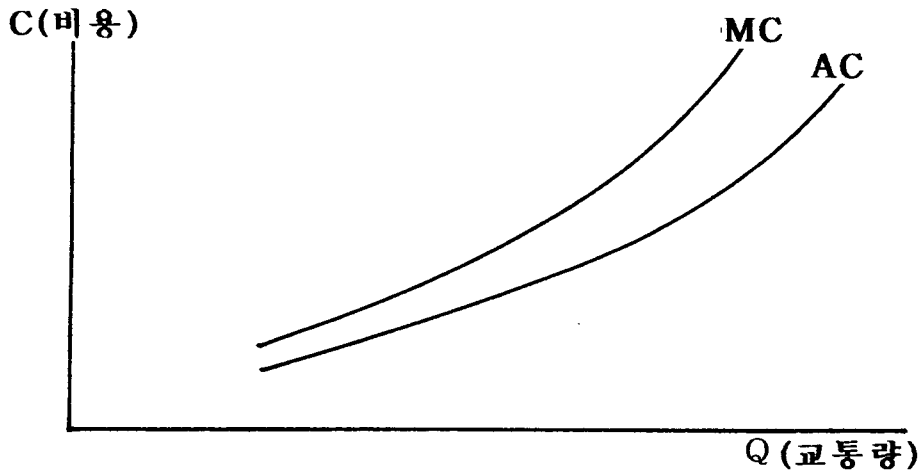
$$\frac{\delta t(Q)}{\delta Q} = \frac{1}{2at+b}$$

- 교통량에 대한 이용자의 평균통행비용식과 한계통행비용식 도출

$$AC(\text{평균통행비용}) = \omega \times t(Q)$$

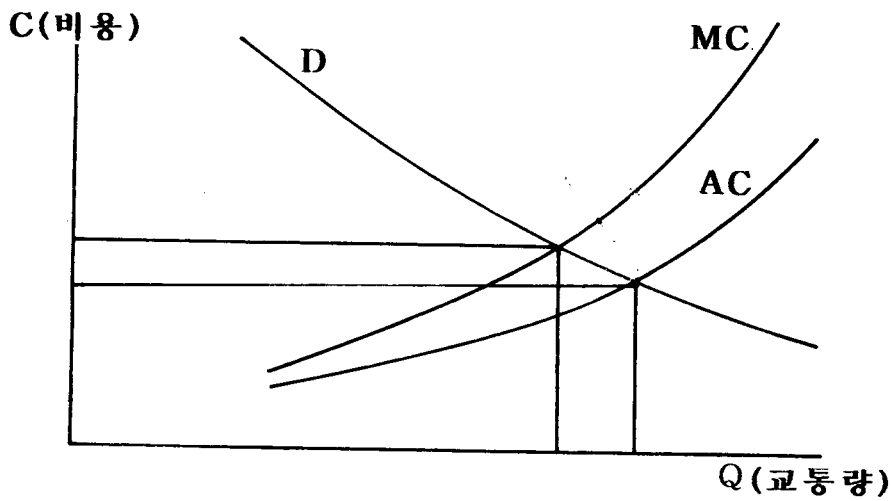
$$MC(\text{한계통행비용}) = \omega \times \frac{\delta AC \cdot Q}{\delta Q} = \omega \times \left[\frac{\delta t(Q)}{\delta Q} \times Q + t(Q) \right]$$

여기서 ω : 시간가치(원/단위시간)



3 단계 : 수요함수추정

- 평균통행비용곡선과 한계통행비용곡선을 교통량을 X축, 통행비용을 Y축으로 하는 좌표공간에 표시한다.
- 통행비용에 대한 수요의 탄력성을 구한다.



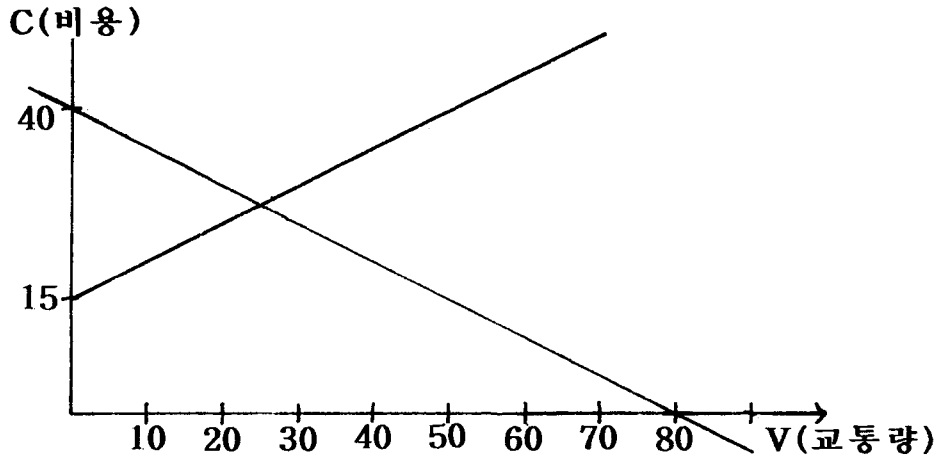
4 단계 : 한계비용가격원칙에 의거하여 혼잡세 산정은 앞의 일반적인 혼잡비산정의 효과분석 방법을 활용한다.

5.3 혼잡세 효과추정

☐ 용량이전 단계(단위 : 교통량 100대, 비용 100원, 이후 단위 생략)

전제) 평균비용함수 : $f(v) = 0.5v + 15$

교통량수요함수 : $g(c) = -0.5c + 40$

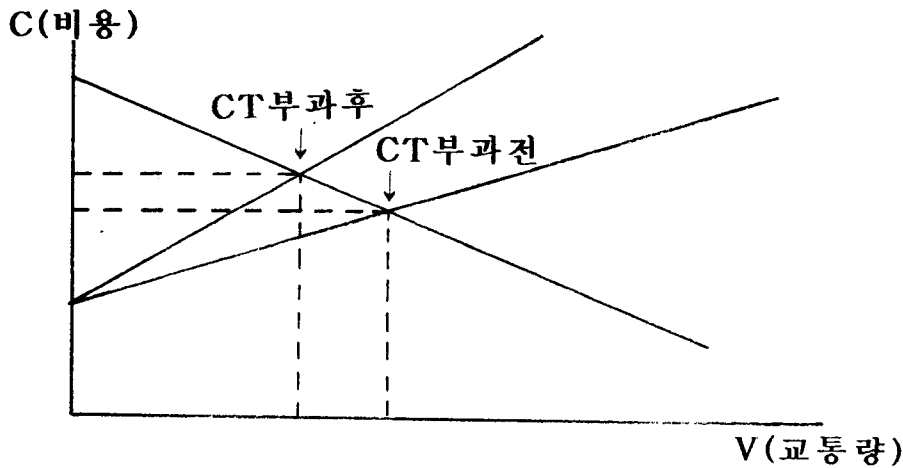


풀이) - 한계비용산출 : 한계비용 = Δ 총비용/ Δ 교통량 = 총비용'

$$\text{총비용} = \text{평균비용} \times \text{교통량} = f(v) \times v$$

$$= 0.5 v^2 + 15v$$

$$\text{한계비용} = v + 15$$



- 혼잡세 부과전 조건

전제의 식을 변환하면 아래와 같다.

$$c = 0.5v + 15$$

$$v = -0.5c + 40$$

위식을 연립하여 풀면 “교통량(v) = 26 비용” “(c) = 28”을 구할 수 있다.

- 혼잡세부과후 조건

$$\text{한계비용식 } c = v + 15$$

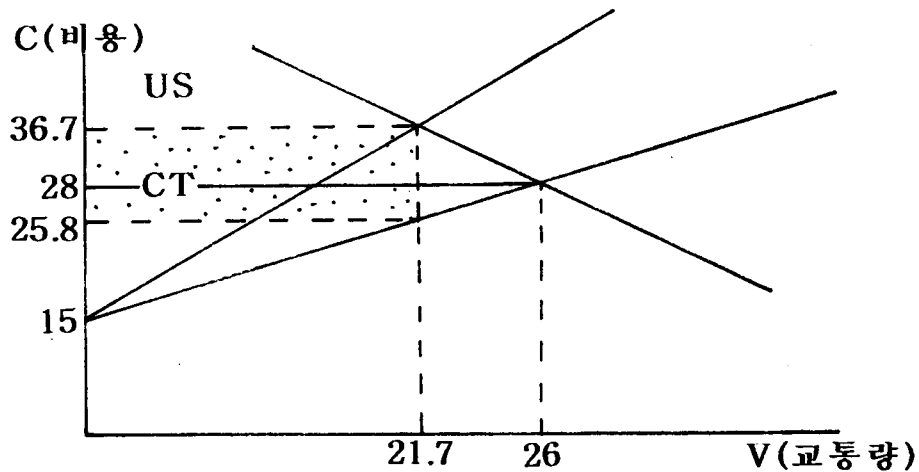
수요함수식 $v = -0.5c + 40$ 을 연립하여 풀면

“교통량(v) ≃ 21.7” “비용(c) ≃ 36.7”을 구할 수 있다.

- 혼잡세 설정 및 혼잡세 규모

혼잡세 부과후 교통량을 21.7으로 유지하기 위해서는 CT(혼잡통행세)를

혼잡세 설정후 AC와 MC의 차 즉, $(36.7 - 25.8) = 10.9$ 로 설정하여야 한다.



- CT부과시 총통행량이 21.7이며, CT로 $10.9 \times 21.7 = 236.53$ 이 징수된다.

사용자 편익은 $1/2 \times 26 \times (40 - 28) = 156$ 에서

$1/2 \times 21.7 \times (40 - 36.7) = 144.3$ 의 차이인 11.7만큼 준다.

- 따라서 혼잡세의 실행에 따라

236.53(백만원)의 CT가 징수되며

11.7(백만원)의 사용자 편익이 감소된다.

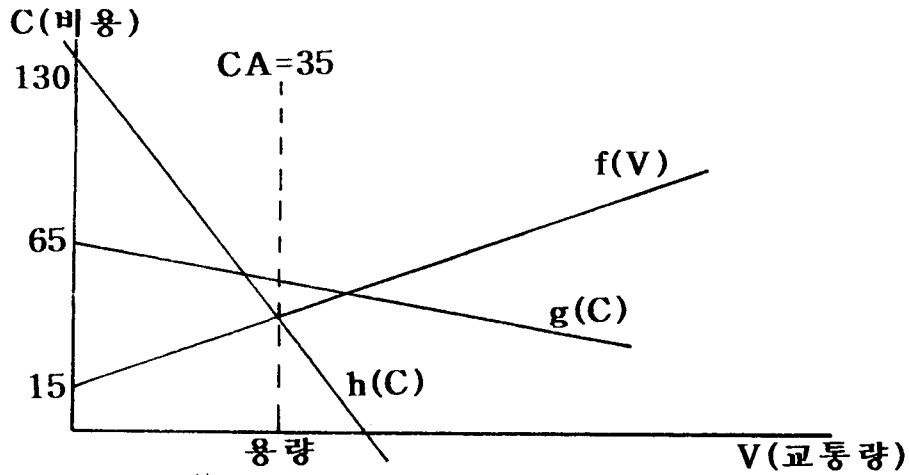
또한 통행면에서는 5.3(백대)의 통행량의 감소효과가 발생하였다.

☒ 용량이후 단계(단위 : 교통량 100대, 비용 100원, 이후 단위 생략)

전제) 평균비용함수 : $f(v) = 0.5v + 15$

교통량수요함수 : $g(c) = -0.5c + 65$

용량초과구간의 교통량 $h(c) = -2c + 130$ 용량 $Ca = 35$



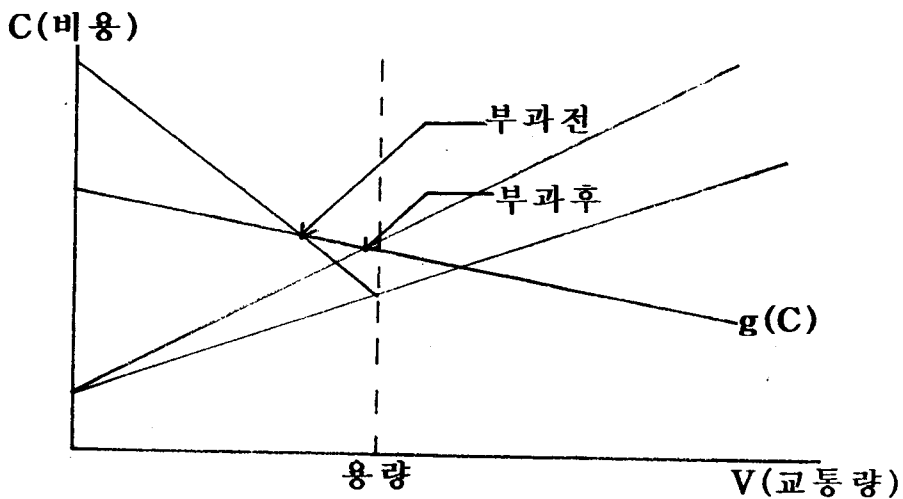
풀이) - 용량이전 단계와 동일한 방법으로 C_a 이전의 한계비용함수를 구하면

한계비용산출 : 한계비용 = Δ 총비용 / Δ 교통량 = 총비용'

$$\text{총비용} = \text{평균비용} \times \text{교통량} = f(v) \times v$$

$$= 0.5 v^2 + 15v$$

$$\text{한계비용} = v + 15$$



- 혼잡세부과전 조건

전제의 식을 변환하면 아래와 같다.

$$\text{용량이후의 교통량비용 관계식 } v = -2c + 130$$

$$\text{교통량 수요함수 } v = -0.5c + 65$$

식을 연립하여 풀면 “교통량(v) = 16.8 비용” “비용(c) = 56.6”을 구할 수 있다.

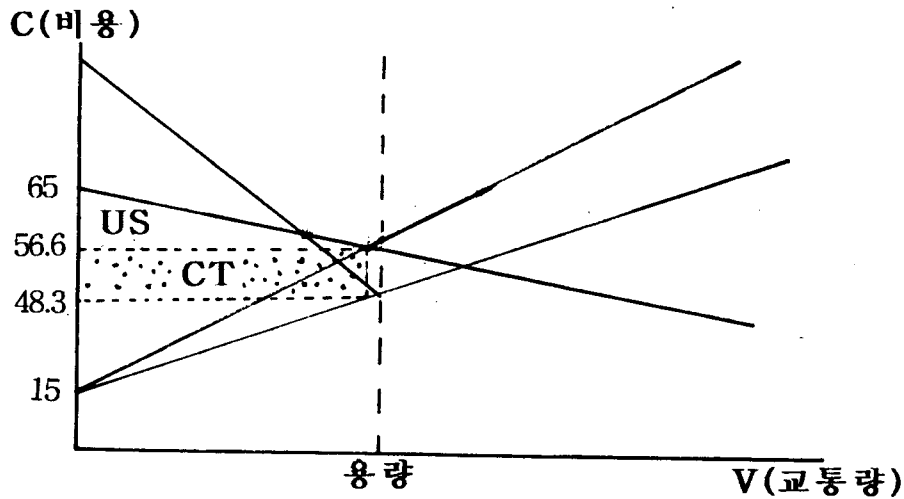
- 혼잡세부과후 조건

$$\text{한계비용식 } c = v + 15$$

수요함수식 $v = -2c + 130$ 을 동시에 만족하므로

“교통량(v) = 48.3” “비용(c) = 33.3”이 된다.

- 용량 이전단계의 계산과 유사한 방법으로 혼잡세를 산정하면 16.45가 된다.



- CT부과시 총통행량이 33.3이므로, 총 547.785(백만원)이 징수된다.

- 또한 사용자 편익은 CT를 부과하기 전에 총 70.56(백만원)이며,

$$1/2 \times 16.8 \times (65 - 56.6) = 70.56$$

CT를 부과시, 278.05(백만원)으로 207.49(백만원)의 사용자 편익이 증가하였다.

$$1/2 \times 33.3 \times (65 - 48.3) = 278.05$$

- 따라서 한계비용으로 혼잡세를 실행한 결과

547.785(백만원)의 CT가 징수되며

207.49(백만원)의 사용자 편익이 증가된다.

또한 통행면에서는 16.5(백대)의 통행량의 증가효과를 기대할 수 있다.

○ 이상의 실증적인 계산의 결과 혼잡으로 인해 교통처리능력이 감소되는 경우의 CT활용이 매우 유용하다는 것을 알 수 있다.

VI. 맺음말

◦ 교통수요관리는 교통혼잡으로 인해서 발생하는 사회적 손실을 줄임으로써 사회적 편익을 최대화하기 위한 제시책으로 활용된다. 또한 교통수요관리는 여타 단기교통계획과 달리 정책지향적이며 수요자를 대상으로 한다는 점에서 명확히 구분된다.

◦ 그러나 교통수요관리정책만으로는 교통문제를 근원적으로 해결할 수는 없다. 특히 서울과 같은 우리나라의 대도시에서는 잠재수요가 클 뿐만 아니라 교통수요가 총량적 규모 면에서 지속적으로 증가하고 있다는 점을 감안할 때 교통수요관리정책은 교통시설의 공급과 상호 병행할때 충분한 효과를 기대할 수 있다.

◦ 교통수요관리는 교통문제의 완화와 교통시설투자의 효율화를 위해서 시급히 도입해야 할 과제가 되었다. 특히 최근의 체증심화에 따라 교통시설의 이용효율성이 급격히 저하되고 있는 점, 또한 교통시설의 신규건설 및 공급을 통해서 교통문제를 완화하기까지는 아직도 많은 시간을 기다려야 함을 고려할 때 교통수요관리의 필요성은 더욱 강조되어야 한다.

◦ 다만 교통수요관리방안을 시행함에 있어서 몇가지 고려해야 할 점이 있는데 이는 다음과 같이 요약정리 될 수 있다.

- ① 교통수요관리의 목적을 통행량 감소를 통한 사회적 편익의 최대화에 두기 보다는 사회/경제적 활동이 최대한 보장되도록 해야 한다. 이를 위해서는 인간의 통행행태 변화에 능동적으로 대처할 수 있도록 점증적인 접근법을 시도하여야 한다.
- ② 교통수요관리방안중 즉각적인 실행이 가능한 방안은 기존의 제도를 최대한 활용할 수 있는 범위내에서 시행함으로써 시민생활에 커다란 변화를 유발하지 않도록 하며 장기적인 관점에서 실행되어야할 방안은 주변여건 및 교통자원의 형평적 배분과 결부된 정책으로 구상하여야 한다.
- ③ 이밖에도 교통수요관리기법의 이론적 토대가 되는 수요와 비용관계를 보다 명확히 규명하기 위한 연구가 선행되어야 한다. 특히 교통시설이용에 있어서 수요의 비용탄력성은 TDM의 실행 성패에 밀접한 관계가 있을 뿐만 아니라 교통수요관리의 효과를 측정하는데 필수적인 도구가 된다.

- 주(note) -

- 1) 교통개발연구원, 교통혼잡비용예측 연구, 1992. 12. page 21-22
- 2) 전계서, page 33
- 3) 황기연, 교통수요관리-이론과 실제, 대한교통학회지, 1995
- 4) 전계서
- 5) 황기연, "교통문화와 교통수요", 교통행정과정교재Ⅱ, 서울특별시 지방공무원교육원, 1993.
- 6) Andrew W. Evans, "Road Congestion Pricing: When is it a Good Policy", Journal of Transport Economics And Policy, 1992. 9. page 213~243
- 7) Jai Mu Won, "Theory and Application of Roadway Pricing for Los Angeles International Airport", 1979. page 58

참고문헌

- 1) 교통개발연구원, 대도시교통관원인과 대책-정책토론회 자료-, 1994. 3. 9.
- 2) 교통개발연구원, 서울시 교통정비기본계획에 관한 연구, 1993. 12,
- 3) 교통개발연구원, 혼잡비용예측연구, 1992. 12.
- 4) 서울시정개발연구원, 서울시 교통수요관리방안 최종보고서, 1993. 12
- 5) 서울시정개발연구원, 자치구 5개년 교통개선계획 도입방안 연구, 1993. 12
- 6) 서울특별시지방공무원교육원, 교통행정과정교재Ⅱ, 1993.
- 7) 원제무, 도시교통론, 박영사, 서울, 1995.
- 8) 진삼현, "교통혼잡비 이론을 적용한 승용차이용행태 분석에 관한 연구", 서울대 박사학위논문, 1993.
- 9) 清野一治저, 이재길역, 혼잡에 따른 교통요금제도의 개선, 교통정보 90. 4
- 10) 황기연, 교통수요관리 문제점의 극복, 대한교통학회지 제13권 제3호, 1994. page 83-95
- 11) 황기연, "교통수요관리 이론과 실제", 서울시정연구 제2권 제2호, 서울시정개발연구원, 1994.
- 12) Andrew W. Evans, "Road Congestion Pricing: When is it a Good Policy", Journal of Transport Economics And Policy, 1992. 9.
- 13) Jai Mu Won, "Theory and Application of Roadway Pricing for Los Angeles International Airport", 1979.
- 14) Kenneth A. Small, The Incidence of Congestion Tolls on Urban Highways, Journal of Urban Economics 13, 90-111 (1983)
- 15) Martin Wohl & Chris Hendrickson, Transportation Investment and Pricing Principles, John Wiley & Sons, Inc. Canada, 1984
- 16) Malachy Carey & Peter K. Else, A Reformulation the Theory of Optimal Congestion Taxes, Journal of Transportation Economics and Policy, 1985, 1
- 17) Peter K. Else, No Entry for Congestion Taxes?, Transportation Research Vol. 20A, No2