

■ 論 文 ■

톨게이트의 용량, 서비스수준평가 및 설계교통량 산정

The Determination of Tollgate Capacity, Measures of Level of service
and design hourly volume

박 창 수

(경주대학교 도시공학과 전임강사)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구목적 및 필요성
 - 2. 연구내용 범위 및 방법
- II. 자료조사 및 분석
 - 1. 조사방법
 - 2. 자료분석
- 1) 포화교통류율 산정방법
- 2) 중차량 보정 및 승용차 환산계수 산정
- 3) 서비스 평가방법
- 4) 설계교통량 산정방법
- III. 결론 및 향후과제
- 참고문헌

요 약

고속도로의 Tollgate는 상습 정체지역으로 개선방안이 시급히 요구되어진다. 이에 본 연구는 요금징수소 정체 해결의 기본자료로서 중요한 역할을 수행할 요금징수소의 평균서비스시간 산정, 설계교통량 결정 및 서비스수준 결정 규정을 제시하였다. 연구방법으로는 공간적인 연구범위인 경주 Tollgate의 교통류 특성을 비데오 카메라로 촬영하여 이를 서비스시간 측정기를 사용하여 포화서비스시간을 분석하였다. 이를 통하여 포화교통류율을 산정하였고, 또한 중차량 포화서비스시간을 산정하여 중차량 보정 및 승용차 환산계수를 제시하였다. 설문지 조사를 통한 운전자의 서비스수준 결정인자와 방법에 대해 조사하고 SPSS를 사용하여 분석하였다. 그리고 설계교통량 결정을 위해서 대기행렬대수 및 대기행렬 지속시간을 매개 변수로 하여 경제성 분석을 실시하였으며, 이를 통하여 게이트 수 결정 방법을 제시하였다.

본 연구는 학술진흥재단의 연구비 지원에 의해 수행된 과제임.

I. 서론

1. 연구목적 및 필요성

세계 대도시는 지금 심한 교통체증에 몸살을 앓고 있으며, 교통공해 및 소음으로 생태계의 파괴는 물론이고 인간의 생명을 위협하고 있다. 교통체증은 우리나라도 예외일수 없고 오히려 짧은 교통역사로 인한 교통문화의 결핍과 팽배한 이기주의, 교통시설의 부족으로 인해 더욱 심한 고통을 느끼고 있으며, 서울을 비롯한 대도시는 평균주행속도 20mph대로 주차장을 방불케하고 있다.

우리의 고속도로 또한 예외는 아니다. 80년대 이후 국민경제의 활성화로 승용차보유 및 이용의 증가, 화물 수요의 증대 등으로 고속도로의 교통수요가 크게 증가한데 비하여 고속도로의 시설이 수요에 미치지 못하여 교통체증이 가중되는 현상을 나타내고 있다. 통행료 징수원들의 빠른 손놀림과는 대조적으로 대기행렬은 줄지 않고 있으며, 차량들이 내뿜는 배기가스에 이미 그들중 일부는 직업병을 호소하는 이가 많다. 이렇게 톨게이트에서 발생하는 교통혼잡을 근본적으로 해결할 수 있는 방법은 전자식요금징수체계(Electronic Toll Collection:ETC)를 개발하여 도입하는 것인데, 현재 국내외에서 이에 대한 활발한 연구와 투자가 이루어지고 있다. 이미 현재 선진외국에서는 자동차량 인식 전용차선을 설치하여 운영하고 있으며, 동시에 기존의 방법을 병행하여 사용하므로 톨게이트의 효율을 높이고 있다. 우리나라에서도 전자식 요금징수방법에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 자동인식장치(AVI) 개발에 박차를 가하고 있으며, 그 검지기(Detector)로서 RFID, 루프(Loop), 영상인식(Image Processing)등 다양한 방법을 시도하고 있으며, 현재 RFID를 이용한 스마트 카드 방식이 대세를 이끌고 있다. 이와 같은 혁신적인 전자 시스템에 의존하기 위해서는 우선 기존 시스템의 장단점 분석, 최적화 작업 및 경제성 분석을 통해서 기존시스템의 운영 효율화 작업이 선행 연구되어야 한다. 즉 AVI이전의 현행 기계식 시스템의 특성, 평균서비스시간을 통한 용량분석 및 서비스수준 결정이 선행 연구되어야 미래첨단시스템과의 조화 균형발전을 기

할 수 있을 것이다. 특히 본 연구는 공간적인 연구범위인 경주 톨게이트의 분석으로 경주 문화 Expo에 대비한 톨게이트의 운영에 효과적으로 활용하기 위함이다.

2. 연구내용 범위 및 방법

통행료 징수소 부근의 교통혼잡 제거를 위한 대책으로는 정확한 용량과약을 통한 지점에 맞는 수의 톨부스(Booth)의 설치일 것이다. 그러기 위해서는 다음과 같은 기초연구가 필수 불가결하다.

본 연구의 내용으로는 크게 3가지로 구분할 수 있다. 첫째는 설계시간 교통량 설정, 둘째는 평균 서비스 시간 분포를 통한 포화서비스시간 및 중차량 보정 및 승용차 환산계수 산정, 셋째는 서비스 수준 평가 척도 개발로 구분할 수 있다.

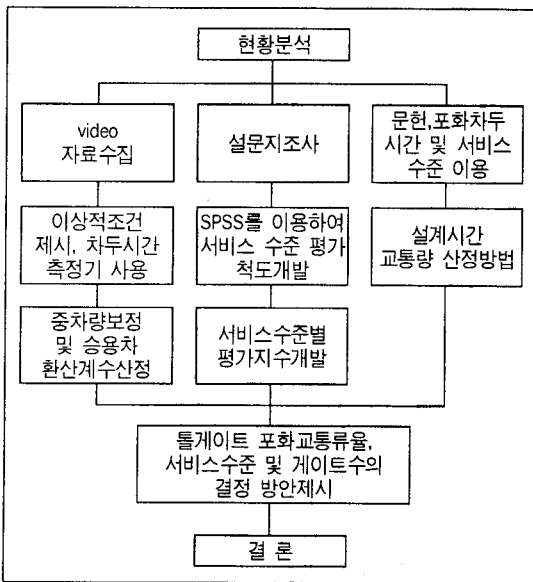
첫째, 설계시간 교통량 설정은 대기행렬대수 및 대기행렬 지속시간을 매개변수로 부스(Booth)수 산정을 위한 설계기준을 제시하여, 과대 용량 산정으로 인한 예산의 낭비를 막고, 또한 용량부족으로 인한 혼잡을 억제하고자 한다. 톨부스에서 대기행렬과 부스 수와의 균형을 유지하기 위한 분석은 서비스평가척도 및 용량이 산정되면 이를 토대로 지체비용 및 에너지 소비량을 추출하여 총손실비용을 산정하고, 설치비, 인건비와 유지관리비의 합인 총설치비용을 산정하여, 경제성 분석을 통해서 설계시간 교통량을 산출한다.

둘째, 평균서비스시간의 산정이다. 톨게이트에서의 서비스 시간이란 차량진입시간, 통행권과 요금지불시간 및 통과시간으로 구분할 수 있는데, 이와 같은 서비스 시간에 영향을 주는 요소는 차량의 종류, 적재량, 요금 지불 방법(현금, 카드), 통행료 징수원(server)의 숙련도, 진입요금수 및 운전자 행태 등 매우 다양하여 포화서비스시간을 산정하기가 어렵다. 그래서 이상적인 조건을 설정하여 포화서비스시간을 산정하고 이를 통하여 포화교통류율을 구한다. 그리고 중차량(중차량-승용차) 서비스시간을 산정하여 중차량 보정 및 승용차 환산계수를 제시하고자 한다.

셋째, 서비스 수준 설정에 관한 기준제시이다. 우선 서비스수준을 산정하기 위한 기준을 설정하기 위해서 운전자들에게 설문지 조사를 실시하고자 한다. 설문

지 조사를 통해서 통행료 징수소에서 운전자들이 느끼는 서비스평가 척도(지체시간, 대기행렬길이, 정지수)를 설정하고, 서비스수준 등급 구분을 위한 기준을 제시하고자 한다.

이제까지 연구는 어느 것이 우선적으로, 또는 독립적으로 연구될 것이 아니고 상호 유기적인 관계를 유지하면서 연구되어 질 것이며, 또한 본 연구의 공간적인 범위는 경주 톨게이트로 한정한다. 연구과정의 흐름도는 다음과 같다.



〈그림 1〉 연구과정의 흐름도

II. 자료조사 및 분석

1. 조사방법

본 연구에서 선정된 조사지역은 경주 톨게이트의 입구 1개차선과 출구 1개차선을 선정하여 조사하였다. 본 조사 차선은 포화서비스시간을 산정하기 위하여 승용차가 다른 차선보다 많이 활용하는 차선이며, 도로여건이 양호하고 서비스 시간 이외의 다른 교통조건들에 영향을 받지 않는 지점으로 선정하였다.

조사시간은 차량통행이 많은 10월 25, 26일(토요일, 일요일) 양일간 아침 10시부터 저녁 6시까지로 하였다. 그 이유는 포화서비스시간을 산정하기 위해서는

적어도 차선별 3~4대 정도의 대기행렬을 유지하여 차량도착의 형태로 인해서 또는 대기행렬 부족으로 인해서 서비스시간에 영향을 미치는 요인을 배제하기 위해서이다. 시간은 우선 운전자가 정상적인 신체적 반응을 보일 수 있고, 요금징수원들 또한 정상적인 상태의 시간대로 간주할 수 있는 낮시간으로 한정하였다.

조사방법은 비디오 카메라를 이용하는 방법으로 유입, 유출부의 램프가 모두 촬영될 수 있는 지점에 카메라 1대씩을 설치하여 자료를 수집하였다. 또한 경주 톨게이트의 교통류 상황을 조사하기 위하여 차선별, 요일별, 월별 유출입 상황도 경주영업소 데이터 베이스를 활용하여 조사하였다.

그리고 서비스평가 척도를 개발하기 위해서는 300매의 설문지를 공간적인 연구범위인 경주지역 내에서 다양한 방법으로 경주시 버스조합, 학교, 택시조합, 도로변 등에서 설문지조사를 실시하였다.

시간과 정밀성이 요구되는 작업인 자료분석은 0.01초 단위의 비디오 텍과 차두시간측정기를 사용하여 승용차와 중차량을 구분하여 유출 입별로 평균서비스시간을 산출하였고, 이를 통하여 이상적인 조건에서의 승용차 포화서비스시간 및 중차량 포화서비스시간을 통하여 중차량 보정계수를 산정하였으며, 모든 작업은 SPSS를 사용하여 설문지조사 및 비디오 조사자료의 결과를 분석하였다.

설계시간 교통량은 평균서비스시간이 산정되어 포화교통유율이 결정되고, 서비스수준 평가척도가 결정되면, 이를 토대로 대기행렬 지속시간과 대기행렬의 변수를 매개로 총설치비용과 총손실비용을 산출하여 경제성분석을 통하여 마지막으로 설정한다.

2. 자료분석

1) 포화교통류율 산정방법

톨게이트의 유출입 형태를 보면 중형차-승용차, 중형차-중형차, 승용차-중형차, 승용차-승용차로 구분할 수 있는데, 이상적인 조건하에서의 포화교통류율을 산정하기 위하여 전체 자료중 유입 유출부별 승용차-승용차로 진행하는 차량을 분석하였다. 첫째로 톨게이트의 포화서비스시간을 산정하기 위해서 이상적인 조건을 제

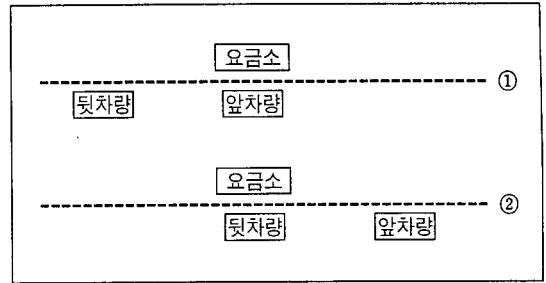
시하여야 하는데, 본 연구에서 포화서비스시간을 산정하기 위하여 제시하는 이상적인 조건은 다음과 같다.

- ① 교통류가 승용차-승용차로 구성
- ② 경사가 없는 평지
- ③ 적정 대기행렬 유지
- ④ 통행료 징수원의 정상적인 활동시간 (9시부터 6시 사이)
- ⑤ 지역을 잘 이해하는 운전자
- ⑥ 기상상태가 맑고 양호하며 적정 온도를 유지
- ⑦ 기계식 통행료 징수소
- ⑧ 도로포장상태가 양호
- ⑨ 톨게이트 통과후 정상적인 운행가능 (교통량 및 속도 정상유지)

요금징수방법이 지역에 따라서는 현금으로만 지불하는 경우와 현금과 카드를 동시에 지불하는 경우가 있는데, 카드로 지불하는 경우는 서비스시간이 단축될 수 있다. 본 연구에서는 현금으로 지불하는 경우의 포화서비스시간을 산정하였다. 또한 통행료 징수원의 경력에 따른 서비스시간의 차이도 고려할 수 있으나 사실상 통행료 징수원의 업무는 단순업무로서 경력과는 차이가 없는 것으로 간주하여 이 또한 포화서비스시간 산정에 영향을 미치지 않는 것으로 고려하였다.

둘째로 포화 서비스시간을 산정하기 위해서는 서비스시간을 정의하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 서비스시간을 입구와 출구로 분리하여 다음과 같이 정의한다.

- 출구 : 비디오 분석의 용이성을 고려하여 아래 <그림 2>와 같이 앞차량이 통행료 징수소를 출발하는 순간부터 뒷차량이 통행료 징수소에 정지하여 요금을 지불하고 출발하는 순간까지를 서비스시간이라 정의한다.
- 입구 : 입구에서도 위<그림 2>와 같이 앞차량이 통행료 징수소를 출발하는 순간부터 뒷차량이 통행료 징수소에 정지하여 티켓을 발부 받아 출발하는 순간까지를 서비스시간이라 정의한다.



<그림 2> 서비스시간의 정의

셋째, 포화교통류를 산정방법은 포화 서비스시간이 산정되면 이를 입구, 출구로 구분하여 포화교통류를 산정하는데 이는 식(1)을 이용한다.

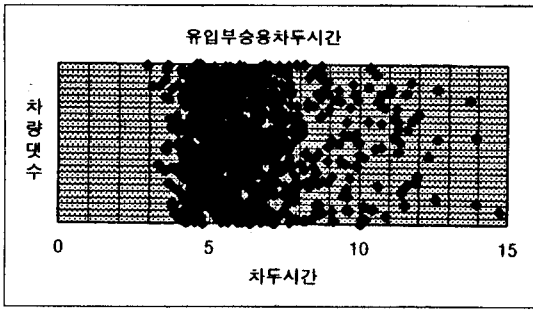
$$C = \frac{3600}{s} \tag{1}$$

여기서, C : 포화교통류율

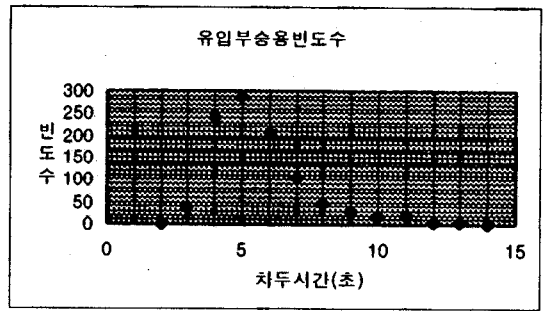
s : 포화서비스시간(유입부, 유출부)

우선 유입부의 포화서비스시간을 산정하기 위하여 유입부 램프에 비디오 카메라를 설치하여 촬영한 후 차두시간 측정기를 사용하여 승용차-승용차로 유입하는 경우를 측정하였다. 전체 데이터의 수는 99.7%의 신뢰도와 ±2.5%의 에러(error)범위를 확보할 수 있는 900대보다 많은 1,000대를 추출하여 데이터를 분석하였다. 그 결과 유입부는 다음 <그림 3>과 같이 평균서비스시간이 6.14초, 최빈값이 5초, 표준편차가 1.77이었다. 그리고 빈도수 분포는 정상분포(Normal Distribution)형태를 보이고 있으며, 극소수의 차량이 10초이상의 서비스시간을 나타내고 있다. 그러나 이 또한 관광지 톨게이트에서 발생할 수 있는 사항이므로, 유입부의 포화서비스시간은 평균값인 6.14초로 산출하였다.

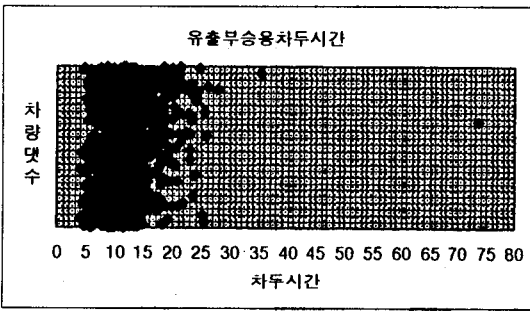
유출부도 같은 방법으로 포화서비스시간을 산출한 결과 <그림 4>와 같이 평균서비스시간은 12.15초, 최빈값은 11초, 표준편차는 4.58로 산출되었다. 그리고 유출부에서의 최대서비스시간은 73.42초, 최소값은 3.94초로 서비스시간 대역이 넓게 나타났다. 이 또한 모든 톨게이트에서 발생할 수 있는 요인들이고, 빈도수가 많지 않아 전체 서비스시간에 영향을 미치지 않기 때문에 포화서비스시간 산정에 데이터로 사용되었다. 따라서 유출부에서의 포화서비스시간은 평균값인 12.15초로 산정하였다.



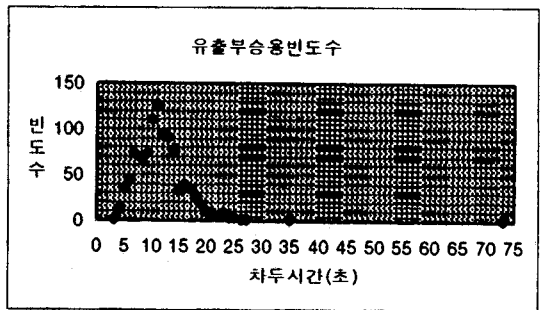
〈그림 3-a〉 유입부 승용차 서비스시간



〈그림 3-b〉 유입부 승용차 빈도수



〈그림 4-a〉 유출부의 승용차 서비스시간



〈그림 4-b〉 유출부의 승용차 빈도수

유입부와 유출부에서의 포화교통류율은 식(1)을 이용하여, 경주 톨게이트의 유입부 포화교통류율은 586대/시, 유출부 포화교통류율은 296대/시로 산정되었다.

2) 중차량 보정 및 승용차 환산계수

이상적인 조건에서 산정된 포화교통류율을 주어진 도로, 교통조건에서의 용량을 분석하기 위해서는 용량에 영향을 미치는 각각에 대해서 보정을 할 필요가 있다. 본 연구의 장소적 범위를 경주톨게이트로 한정하였기 때문에 통행로 징수소의 형태를 기계식 요금징수소로 한정하였고, 요금지불방법도 현금 및 카드지불방법 모두를 데이터로 사용하였다. 또한 톨게이트에서는 도로조건 및 징수과정에서의 인적 제반변수가 일정하다고 가정하고, 오로지 중차량만이 용량에 영향을 미치는 요인으로 고려하여 영향의 정도를 분석하고자 한다. 중차량을 크게 버스와 중형차로 구분하여 각각의 포화교통류율의 정도를 분석하여 보정계수를 산정하고자 한다. 경주의 특성상 대형트럭 및 트레일러는 극히 한정되어 있어 분석에서 제외시켰다. 중차량 보정계수의 산정방법은 이상적인

조건에서의 포화교통류율과 중차량이 포함되었을 시의 포화교통류율의 비율을 아래와 같이 규정하여 분석하였다.

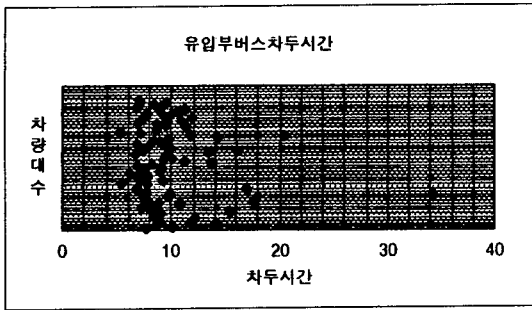
$$f_{nv} = \frac{S_{nv}}{S_i} \quad (2)$$

여기서, f_{nv} : 중차량보정계수

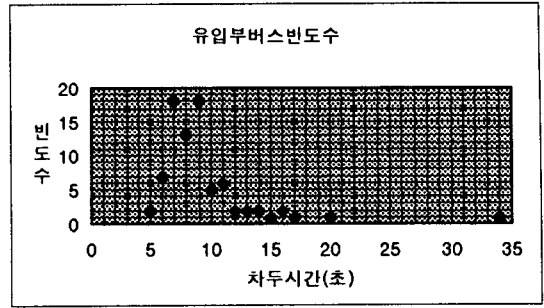
S_{nv} : 중차량에 따른 포화교통류율

S_i : 이상적인 조건에서의 포화교통류율

중차량이 포함되었을 경우 유입, 유출순서에 따라 크게 3가지로 구분할 수 있다. 중차량-승용차, 승용차-중차량, 중차량-중차량, 3가지 중에서 본 연구의 서비스시간 정의에서는 승용차-중차량은 서비스시간에 영향을 미치지 않으므로 본 연구에서는 유입순서가 중차량-승용차, 중차량-중차량인 경우를 중심으로 중차량 보정 및 승용차 환산계수를 산정하고자 한다. 우선 버스와 중형트럭을 분리해서 서비스시간을 산정해보고자 한다. 데이터의 수는 95%의 신뢰도와 $\pm 5\%$ 의 에러(error)범위를 확보하기 위해서 버스와 중형차량을 유입 유출로 구분해서 각각 96대보다 많은 최대 206대를 추출하였다.



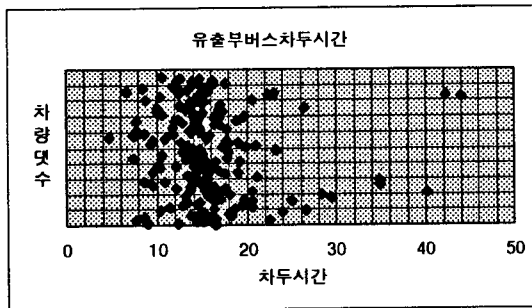
〈그림 5-a〉 유입부 버스 서비스시간



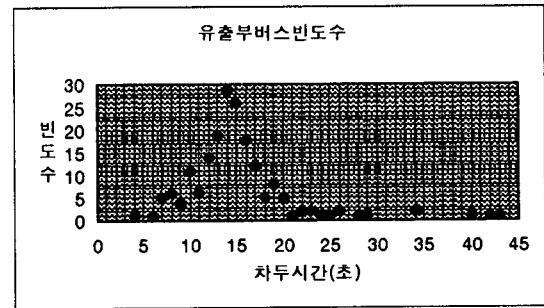
〈그림 5-b〉 유입부 버스 빈도수

유입부의 분석결과, 〈그림 5〉와 같이 버스의 평균 서비스시간은 9.83초, 최빈값은 7.9초, 표준편차는 3.9

초로 나타났다. 따라서 유입부의 버스의 포화서비스시간은 9.83초로 산정하였다.



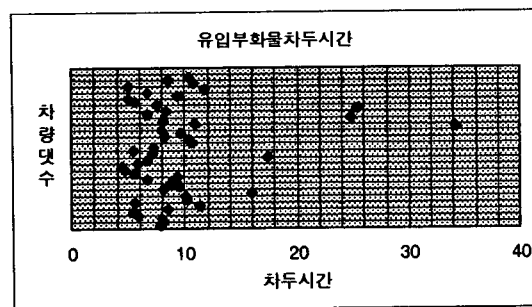
〈그림 6-a〉 유출부 버스 서비스시간



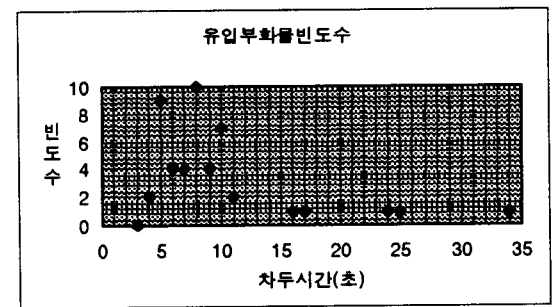
〈그림 6-b〉 유출부 버스 빈도수

〈그림 6〉과 같이 유출부에서의 평균버스서비스시간은 15.60초, 최빈값은 14초, 표준편차는 5.55로 나타나, 유출부에서의 버스 포화서비스시간을 15.60초로 산정

하였다. 유출부에서도 유입부에서와 같이 최대값 43.00와 최소값 4.75초로 나타나 상대적으로 편차가 크게 나타나고 있다.



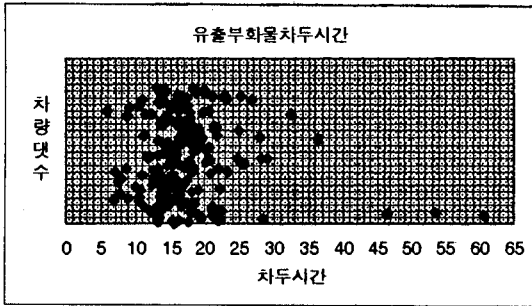
〈그림 7-a〉 유입부 화물차 서비스시간



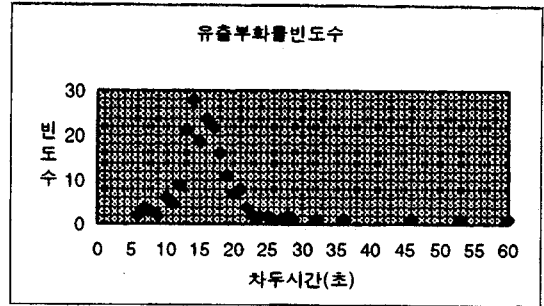
〈그림 7-b〉 유입부 화물차 빈도수

〈그림 7〉과 같이 유입부에서의 중형화물차의 평균 서비스시간은 9.61초, 최빈값은 8초, 표준편차는 5.66

초로 나타났다. 따라서 유입부에서의 중형화물차량의 포화서비스시간은 9.61초로 산정하였다.



<그림 8-a> 유출부 화물차 서비스시간



<그림 8-b> 유출부 화물차 빈도수

유출부에서의 중형화물차의 평균서비스시간은 16.97초, 최빈값은 14초, 표준편차는 6.30초로 크게 나타났다. 따라서 포화서비스시간은 16.97초로 산정하였다. 그런데 분석결과 버스와 중형화물차의 포화서비스시간은 $\pm 5\%$ 에러(error)범위 내에 있기 때문에, 두집단간에 평균서비스시간간에 차이가 있다고 할 수 없다. 따라서 두집단 샘플을 합산하여 계산한 결과 유입부

에서의 중차량 포화서비스시간은 9.72초, 유출부에서의 중차량 포화서비스시간은 16.28초로 산정하였다. 중차량 포화교통류율을 중차량 포화서비스시간으로 산정해 보면, <표 1>과 같이 유입부에서는 370대/시, 유출부에서는 221대/시로 산정되었다. 따라서 식(2)에 의하면 중차량 보정계수를 산정하면 유입부에서는 0.63, 유출부에서는 0.75로 제시될수 있다.

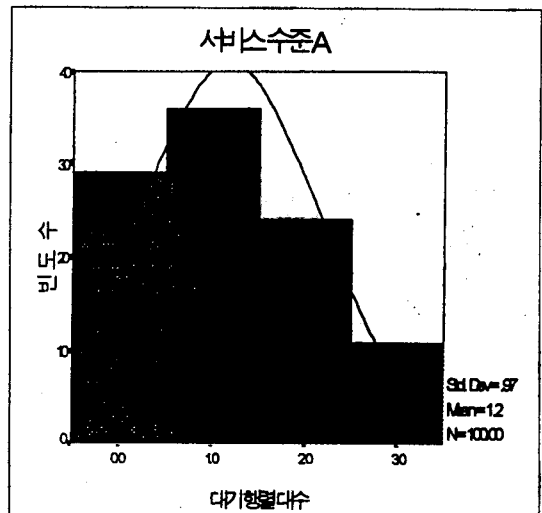
<표 1> 본 논문에서 제안된 포화교통류율 및 중차량 보정계수

구분	도로공사의 차선당 용량	이상적인 조건에서의 차선당 포화교통류율	중차량 포화교통류율	중차량 보정계수	승용차 환산계수
유입부	600대/시	586대/시	370대/시	0.63	1.6
유출부	257대/시	296대/시	221대/시	0.75	1.3

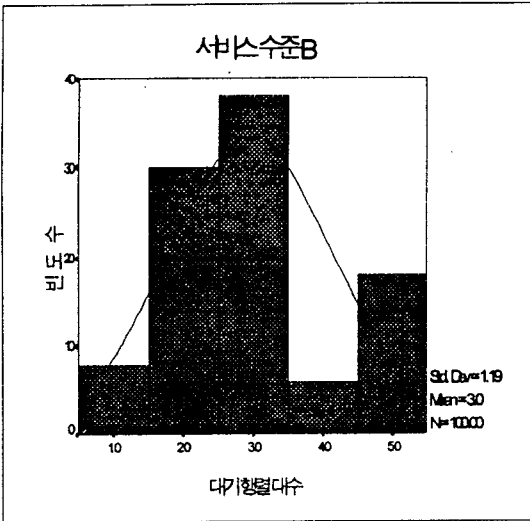
3) 서비스 평가방법

톨게이트의 서비스 평가방법을 제시하기 위하여 공간적인 연구범위인 경주지역 운전자 300명을 무작위로 선정하여 설문지조사를 실시하였다. 운전자들에게 나이, 성별, 운전경력, 운전경력을 질의하고, 또한 톨게이트 통과시 서비스의 질을 평가하는 척도를 대기차량수, 지체도, 정지횟수, 기타로 지정하여 선택하게 하였으며, 특정 평가척도를 선택한 경우 선택한 척도의 수준을 평가하기 위해서 매우불쾌함, 쾌적함, 보통, 불쾌함, 매우불쾌함으로 구분하여 정도를 기술하게 하였다. 설문지 조사의 결과 일반 운전자의 대부분이 서비스 질의 평가방법은 대기차량의 수 및 지체의 정도를 선호하였다. 그 중에서도 전체의 1/3인 100여명이 대기차량의 수를 선택하였으며, 서비스수준 평가방법도 가장 합리적이었다. 그런데 지체의 정도를 선택한 운전자도 30%로 나타났으나 그 결과가 편차가 심해, 본 논문에서는 서비스 평가척도를 대기차량수

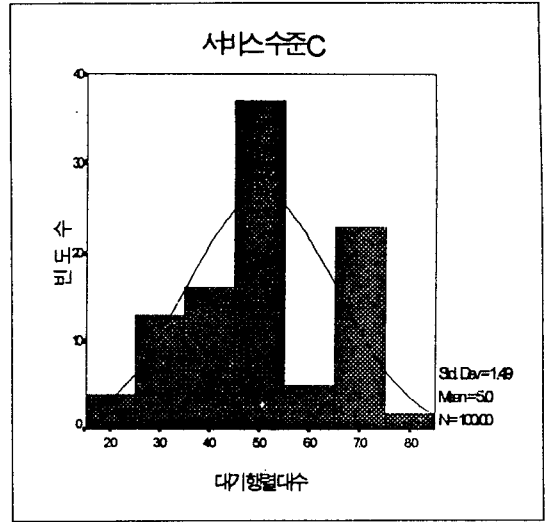
로 선정하였다. 본 설문지 조사의 분석을 위한 도구로서는 SPSS를 사용하였으며, 그결과는 다음과 같다.



<그림 9> 서비스수준 A



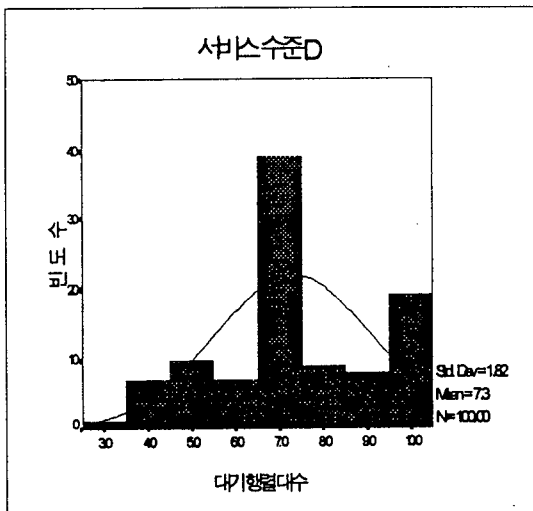
<그림 10-a> 서비스수준 B



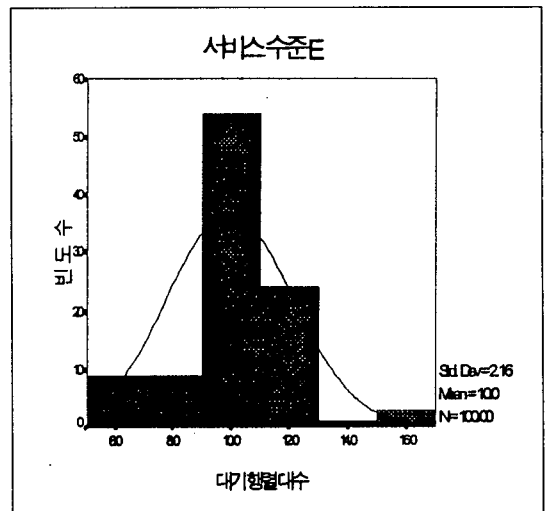
<그림 10-b> 서비스수준 C

응답한 운전자를 살펴보면, 20대가 45%, 30대가 30%, 40대와 50대와는 각각 10%, 60대는 5%로 나타났으며, 전체 설문지 응답자의 70%가 남성이었다. 설문지에 답한 운전자의 경력은 주로 3년이상 10년 미만으로 나타났다. 그리고 <그림 9>에서와 같이 설문지의 서비스수준 평가방법중 매우쾌적함을 나타내는 서비스 수준 A는 주로 대기차량수가 1,0,2대순이며, 평균 1.2대, 표준편차 0.97로 나타나 서비스 수

준 A는 1대 이하로 선정하였다. 설문지의 서비스 수준 평가 방법중 쾌적함을 나타내는 서비스 수준 B는 주로 2,3대순으로 답하였으며, 평균3.0대, 표준편차 1.19로 산출되어, 서비스 수준 B는 3대이하로 선정하였다. 설문지의 보통을 나타내는 서비스 수준 C는 대부분의 운전자가 5대로 답하였으며, 평균 5.0대, 표준편차 1.49로 나타나 서비스 수준 C는 5대이하로 선정하였다.



<그림 11-a> 서비스수준 D



<그림 11-b> 서비스수준 E

설문지의 불쾌함을 나타내는 서비스 수준 D는 7대로 응답한 운전자가 대부분이며, 평균 7.3대, 표준편차 1.82로 나타나 서비스 수준 D를 7대 이하로 선정하였다. 매우 불쾌함을 나타내는 서비스 수준 E는 주로 10대로 답하였으며, 평균 10.0대, 표준편차 2.16으로 나타나 서비스 수준 E는 10대 이하로 선정하였다. 따라서 본 설문지의 결과를 요약하여 서비스 수준을 다음 <표 2>와 같이 선정하였으며, 이는 대만의 서비스수준 결정기준과 비교할 수 있다.

<표 2> 톨게이트의 서비스수준 결정기준

서비스수준	대만의 서비스수준 결정기준	본 논문에서 제안된 대기행렬대수
A	≤ 1	≤ 1
B	≤ 2	≤ 3
C	≤ 3	≤ 5
D	≤ 6	≤ 7
E	≤ 10	≤ 10
F	> 10	> 10

4) 설계교통량 산정방법

현재우리나라의 톨게이트 설치기준은 대기행렬 이론에 근거하여 적정 서비스 차선수를 결정한다. 그런데 본 논문에서는 톨부스(Toll-booth) 1개소의 설치비

용, 인건비, 유지관리비를 총설치경비라 하고, 본 논문에서 제안된 평균서비스시간을 활용하여 대기행렬대수 및 지속시간을 매개변수로 하여 지체시간비용, 에너지소비비용을 총지체비용으로 간주하여 경제성 분석을 통하여 게이트 수를 결정하고자 한다. 연구방법은 총설치비용을 연 비용으로 환산하여 연총설치비용과 연총지체비용의 변화를 통한 톨게이트수 증감 시점을 산정하고자 한다. 즉 대기행렬대수의 변화와 대기행렬대수의 총지속시간의 변화를 변수로 톨게이트수를 산정하고자 한다. 이를 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$\text{임계값} = 0 = T_L - T_C$$

(부수수 증가) $0 < T_L - T_C$

여기서 T_L : 총손실비용(지체비용+유류소비량)
 T_C : 총설치비용(설치비용+유지관리비)

위식에서 총손실비용이 총설치비용보다 많은 경우에 톨게이트수를 증가시켜야 한다. 이를 위해서는 우선 총설치비용을 산정하여야 하는데, 이를 항목별로 살펴보면, <표 3>과 같으며 이는 도로공사의 97년도 운영 기준표를 참조하였다.

<표 3> 톨부스 부분별 비용산정 내역 (한국도로공사 97년도 운영기준표)

구분	항목	금액	수명		
설치비	톨부스 자체 설치비	13,000천원/부스	7년		
	전기, 조명 시설비	8,460천원/부스	7년		
	TCS관련 통신 시설비	개방식	33,708천원/부스	7년	
		폐쇄식	입구	26,430천원/부스	7년
			출구	59,845천원/부스	7년
	기타관련 부속시설(캐노피, 안전섬 등)	40,000천원/부스	반영구적		
운영비	톨부스 자체 내부 시설 유지관리비 (에어컨, 전화 등)	2,400천원/부스/년			
	TCS관련 통신시설 유지 관리비 (기기수리비, 운영관련 외부 용역비)	5,328천원/부스/년			
	톨부스 운영관련 전기료 및 유지관리비	2,877천원/부스/년			
인건비	영업직 평균 임금	25,965천원/인/년	3교대로 운영 임시직 2인		

<표 3>에 의해 개방식과 폐쇄식의 인건비 및 유지관리비를 포함한 총설치비용을 각각 산정하여 이를 이차율 10%로 간주하여 연비용으로 환산하면 다음과 같다.

<표 4> 톨부스 설치 연비용

요금징수방법	구분	비용(부스/년, 원)
개방식	입구, 출구	51,901,000
	입구	50,406,000
폐쇄식	입구	57,269,000
	출구	57,269,000

다음은 차량이용자의 시간가치를 화폐화하는 방법으로 다양한 방법이 있으나, 본 연구에서는 임무통행의 시간가치는 임금율과 동일한 것으로 가정하여 임금율을 기준으로 통행시간가치를 산정하고자 한다. 우선 자가용 승용차의 운전자와 승객, 버스승객, 화물차 운전자 등의 임금수준이 다르다. 그러나 본 논문에서는 차량별 운전자와 승객의 임금수준을 같다는

가정하에 분석하고자 한다. 노동부의 매월노동 통계 조사보고서를 인용하면 다음 <표 5>와 같다.

<표 5> 임금 및 임금상승률 (노동부 '매월노동통계보고서')
(단위 : 원/달)

구분	1993년	1994년	1995년	1996년	1997년
명목임금	975,000	1,098,984	1,222,097	1,344,306	1,478,736
증감율	12.2%	12.7%	11.2%	10%	10%

<표 5>를 월평균 근로시간인 208.5시간으로 나누어 시간당 가치로 환산하면 아래 <표 6>과 같다.

<표 6> 운전자 및 승객의 업무통행 시간가치
(동아일보사 '동아년감')

월평균소득	월평균 근로시간	1시간당 가치
1,478,736원	208.5 시간	7092원/시간

그리고 대기시 유류소비량은 환경부의 통계자료에서 다음 <표 7>과 같이 제시되고 있는데, 승용차의

분당 평균 유류소비량을 25cc, 버스 및 트럭의 분당 유류소비량을 28.4cc로 환산하고 1리터당 유류가격을 현재의 가격으로 계산하였다.

<표 7> 공회전시 차종별 분당 에너지 소비량
(환경부 '교통공해과 홍보자료', 97.4.16)

차 종	승용 차		경유 차
	배기량 1500cc	배기량 2000cc	버스, 트럭
연료소비량	20cc	20~30cc	28.4cc
유류가격	1000원/리터		600원/리터

유입부의 평균서비스시간(승용차:6.14초, 중형차:9.72초)과 유출부의 평균서비스시간(승용차:12.15초, 중형차:16.28초)을 대기행렬대수로 곱하여 지체시간으로 환산하고, 이를 다시 연지체시간으로 환산하여 시간가치비용과 유류비용을 곱하여 연총손실비용을 환산하였으며, 그리고 고속도로에서의 중차량 혼입율을 30%로 하였다.

<표 8> 유입부 대기행렬대수 및 지속시간별 총지체비용 (단위 : 원)

시간	2시간	3시간	4시간	5시간	6시간	7시간	8시간	9시간	10시간
2대	10,348,000	15,522,000	20,697,000	25,871,000	31,045,000	36,220,000	41,394,000	46,568,000	51,742,000
3대	15,522,000	23,284,000	31,045,000	38,807,000	46,568,000	54,330,000	62,091,000	69,853,000	77,614,000
4대	20,697,000	31,045,000	41,394,000	51,743,000	62,091,000	72,440,000	82,788,000	93,137,000	103,486,000
5대	25,871,000	38,807,000	51,743,000	64,678,000	77,614,000	90,550,000	103,486,000	116,421,000	129,357,000
6대	31,045,000	46,568,000	62,091,000	77,614,000	93,137,000	108,660,000	124,183,000	139,706,000	155,229,000
7대	36,220,000	54,330,000	72,440,000	90,550,000	108,660,000	126,770,000	144,880,000	162,990,000	181,100,000
8대	41,394,000	62,091,000	82,788,000	103,486,000	124,183,000	144,880,000	165,577,000	186,274,000	206,972,000
9대	46,568,000	69,853,000	93,137,000	116,421,000	139,706,000	162,990,000	186,274,000	209,559,000	232,843,000
10대	51,742,000	77,614,000	103,486,000	129,357,000	155,229,000	181,100,000	206,972,000	232,843,000	258,715,000

<표 8>에 의한 경제성 분석 결과, <표 9>에 나타난 결과처럼 유입부의 경우 50,406,000원부터 100,812,000원 미만은 개방식, 폐쇄식 모두 틀게이트의 게이트수를 1개 증가시켜야 하며, 다음으로 100,812,000원 이상

부터 151,218,000미만까지는 2개, 151,218,000이상부터 201,624,000미만까지는 3개, 201,624,000이상부터는 4개를 증가시켜야 하며, 252,030,000원부터는 5개를 증가시켜야 하는 것으로 분석되었다.

<표 9> 대기행렬대수 및 지속시간 변화에 따른 유입부 게이트 증가수 (단위 : 게이트 증가수)

시간	2시간	3시간	4시간	5시간	6시간	7시간	8시간	9시간	10시간
2대									1
3대						1	1	1	1
4대				1	1	1	1	1	2
5대			1	1	1	1	2	2	2
6대			1	1	1	2	2	2	3
7대		1	1	1	2	2	2	3	3
8대		1	1	2	2	2	3	3	4
9대		1	1	2	2	3	3	4	4
10대	1	1	2	2	3	3	4	4	5

〈표 10〉 유출부 대기행렬대수 및 지속시간별 총지체비용

(단위 : 원)

시간 대기행렬	2시간	3시간	4시간	5시간	6시간	7시간	8시간	9시간	10시간
2대	10,348,000	15,522,000	20,696,000	25,870,000	31,044,000	36,218,000	41,392,000	46,566,000	51,740,000
3대	15,522,000	23,283,000	31,044,000	38,805,000	46,566,000	54,328,000	62,089,000	69,850,000	77,611,000
4대	20,696,000	31,044,000	41,392,000	51,740,000	62,089,000	72,437,000	82,785,000	93,133,000	103,481,000
5대	25,870,000	38,805,000	51,740,000	64,676,000	77,611,000	90,546,000	103,481,000	116,417,000	129,352,000
6대	31,044,000	46,566,000	62,089,000	77,611,000	93,133,000	108,656,000	124,178,000	139,700,000	155,222,000
7대	36,218,000	54,328,000	72,437,000	90,546,000	108,656,000	126,765,000	144,874,000	162,984,000	181,093,000
8대	41,392,000	62,089,000	82,785,000	103,481,000	124,178,000	144,874,000	165,571,000	186,267,000	206,963,000
9대	46,566,000	69,850,000	93,133,000	116,417,000	139,700,000	162,984,000	186,267,000	209,550,000	228,441,000
10대	51,740,000	77,611,000	103,481,000	129,352,000	155,222,000	181,093,000	206,963,000	228,441,000	258,704,000

〈표 11〉 대기행렬대수 및 지속시간 변화에 따른 유출부 게이트 증가수

(단위 : 게이트 수)

시간 대기행렬	2시간	3시간	4시간	5시간	6시간	7시간	8시간	9시간	10시간
2대									1
3대						1	1	1	1
4대				1	1	1	1	1	2
5대			1	1	1	1	2	2	2
6대			1	1	1	2	2	2	3
7대		1	1	1	2	2	2	3	3
8대		1	1	2	2	2	3	3	4
9대		1	1	2	2	3	3	4	4
10대	1	1	2	2	3	3	4	4	5

〈표 10〉에 의한 경제성 분석 결과, 〈표 11〉에 나타난 결과처럼 유출부의 경우도 유입부의 경우와 같은 결과가 도출되었다. 유입부와 유출부에서의 대기행렬 대수와 대기행렬 지속시간을 매개로 한 경제성 분석을 통해서 톨게이트의 게이트수 결정을 위한 방안을 제시하였다.

III. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 첫째로, 톨게이트의 용량산정을 위한 포화서비스시간 및 중차량보정 및 승용차 환산계수를 제시하였다. 본 논문에서 제시한 톨게이트의 용량은 서비스시간을 0.01초 단위로 분석하였고 지역적으로 관광지의 특성을 반영하였다. 현재 도로공사에서 사용되어지고 있는 서비스시간은 좀더 지역적 특성 및 통행료 지불방법등으로 세분해서 제시되어야 지역적 교통류 특성을 수용할 수 있을 것이다. 둘째로, 서비스 평가 척도 및 등급을 제시하였는데, 현재 우리 나라의 교통수준과 유사한 대만의 서비스평가 등급과 유사하게 나타났다. 그러나 쾌적함의 정도가

보통수준인 서비스 수준 C는 경주시민 및 관광객이 5대 이하로 제시하여 대기행렬에 상습화되어 있음을 나타내고 있다. 셋째로, 톨게이트 게이트수 결정방법을 지금의 대기행렬에 의한 방법을 대기행렬과 대기행렬 지속시간을 매개 변수로 경제성 분석을 통해 제시하였다.

본 연구의 결과는 크게 다음과 같은 결과를 기대할 수 있다. 톨게이트 부스(Booth)를 설치할 경우 설계시부터 정확한 Booth의 수를 예측할 수 있다. 이는 설계 초기에서부터 예산상의 절감을 기대할 수 있으며, 또한 적정수의 Booth 설치로 인해 통행료 징수소(Tollgate)에서의 교통혼잡을 피할 수 있다. 이는 현재의 통행료 징수소에서 대기오염, 소음, 지체, 직업병, 기타 모든 것을 해결해 줄 수 있는 기초연구가 될 것이다.

그러나 본 논문에서 제시된 데이터의 지역적 한계로 인해 범용성에 한계가 있기 때문에 이를 극복하기 위해 추후 데이터의 공간적 범위를 넓혀 심도 있는 연구가 계속되어야 할 것이다. 특히 포화서비스시간의 문제는 지역적으로 차이를 유발할 수 있는 요인들이 상존하기 때문에 이에 대한 연구가 계속되어야

한다. 그리고 서비스수준 평가척도의 신뢰성 확보를 위해서는 추후 톨게이트의 지체도와 속도측정을 통한 서비스 평가척도의 보완이 필요하다. 또한 좀더 정밀한 경제성 분석을 위해서 시간가치에 대한 다양한 연구가 반영되어야 할 것이다.

참고문헌

1. T. Hugh Woo and Lester A. Hoel, TRR 1320, "Toll Plaza Capacity and Level of Service."
2. 한국도로공사, "도로설계요령 제1권", 제3-3편 영업소.
3. 한국도로공사, "고속도로 교통지체구간 개선방안 연구", 1995년 보고서.
4. 김유연, "고속도로의 요금소 설치기준에 관한 연구".
5. 김규욱, "고속도로 톨게이트의 차선운영 평가모형 개발".
6. 교통개발연구원, "교통혼잡비용 예측 연구", 1992.
7. 건설교통부, "도로용량편람", 1992.
8. 한국도로공사, "97년 운영기준표".
9. 노동부, "매월노동통계조사 보고서", 1995.
10. 동아일보사, "동아년감", 1992.
11. 오세창, 대한교통학회지, "게이트 및 지체비용 최소화를 위한 공항게이트수 산정모형 연구", 1997.