

FTMS 구축에 따른 효과분석 (내부순환로를 중심으로)

Effect analysis of FTMS -in the case of Naebu expressway

이성호
아주대학교
건설·교통공학과
대학원

오영태
아주대학교
환경·도시공학부
교수

목 차

- | | |
|---|--|
| <p>I. 서론</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 연구배경 2. 연구목적 3. 연구범위 <p>II. 서울시 내부순환로 FTMS 효과분석방안</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 전통적인 평가방법 2. 내부순환로 교통시스템의 효과분석 <p>III. 시뮬레이션에 의한 내부순환로 FTMS 시스템 효과분석</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 평가 시나리오 설정 | <ol style="list-style-type: none"> 2. 부시스템별 평가 3. 전체 시스템 평가 4. 평가 결과 <p>IV. 내부순환로 FTMS 시스템의 경제성 평가</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 비용항목 2. 편익항목 3. 평가기간 및 할인율 4. B/C 분석 과정 <p>V. 결론</p> |
|---|--|

I. 서론

1. 연구배경

고속도로교통관리시스템(FTMS: Freeway Traffic Management System)을 포함한 첨단 교통관리시스템(ATMS: Advanced Traffic Management Systems)는 교통상황을 모니터링하고 교통운영상태를 수정하며, 사고에 대응하는 것이다. 이 시스템은 교통검지기, 컴퓨터와 교통신호, 가변 제한속도 표지판, 가변정보판 등을 포함한다. 또한 본 ATMS는 지체 및 정체를 줄이고 교통유고에의 반응 시간을 줄이는 것이나 적극적 개념으로는 경로 유도시스템(Route Guidance)도 포함되어 전체적 교통류를 효율적으로 안내하는 기능도 포함한다.

2. 연구목적

현재 미국, 일본, 유럽 등에서 설치·운영 중에 있으며, 이들 중 몇가지 사례를 기초로 일반적인 효과를 정리해 보면 다음의 <표 1>과 같다.

이와 같이 ITS 시스템에 대한 계량적인 평가를 하고자 함이다.

<표 1> ATMS 외국사례 및 효과

시스템	개 요	효 과
FAST-TRAC (美, 미시간)	실시간 교통 밀도에 근거한 교차로 교통신호제어	교차로 좌회전사고 89%(↓) 총상해자 27%(↓), 상해사고 6%(↓) 첨두시 차량속도 19%(↑)
미네소타 교통관리 센터	교통 밀도와 속도에 근거한 고속도로 진입교통량의 실시간 교통감응식제어	교통사고율 25%(↓) 유고대응시간 20분(↓) 첨두시 차량속도 35%(↑) 고속도로 용량 22%(↑)
텍사스주 아비린市 교통신호 제어	첨단컴퓨터를 이용한 교통신호 제어	통행시간 14%(↓), 지체시간 37%(↓) 통행속도 22%(↑) 일산화탄소/탄화수소 10% (↓)

3. 연구범위

현재 내부순환로의 교통관리시스템은 가장 최근에 실시된 사업으로서 향후 서울시 타 고속도로 교통관리시스템과의 연계 및 통합에 미치는 영향이 크다고 판단된다.

또한 기존의 올림픽대로 교통관리시스템과의 통합운영을 고려하고 있기 때문에 본 시스템의 효과는 기존의 올림픽대로 교통관리

시스템의 효과에도 미치는 영향이 크다.

상기와 같은 이유로 서울시 내부순환로 FTMS를 선정하였으며, 아직 미 구축단계이므로 서울시에서 공개적으로 제시한 자료와 과거 자료를 통한 분석만을 실시하였다.

II. 서울시 내부순환로 FTMS 효과분석방안

1. 전통적인 평가방법

교통 측면에서의 시스템의 평가는 사전/사후 조사 방법이 가장 일반적인 방법이며 이러한 교통시스템 평가를 위해서는 혼잡의 정도 또는 시스템 실행후의 개선가능 정도를 미리 계량화하는 것이 매우 중요하다. 또한 이에 대한 평가는 시스템 전체 혹은 유고 지점, 병목지점 등과 같은 단일 지점으로 나누어 평가할 수 있다.

1) 시스템 전체

- (1) 총 통행시간 : 차량-시간 단위로 측정되며, 차량의 평균통행시간과 주어진 시간동안 도로를 이용하는 전체차량수를 곱한다.
- (2) 총 통행 : 차량의 평균 여행길이와 주어진 시간간격동안 도시고속도로를 사용하는 전체 차량수를 곱한다.
- (3) 차량지체 : 자유 교통류 상태의 통행시간(free-flow travel time)에 대한 노선 상에서의 통행시간 증가분으로 정의. 차량 지체는 전체 통행시간으로부터 전체 자유 교통류 상태의 통행시간을 뺀 값으로서 계산할 수 있다. 전체 자유 교통류 상태의 통행시간은 평균 자유 교통류 통행시간과 주어진 시간간격동안 도로를 이용하는 전체 차량수를 곱한 값이다.
- (4) 총 혼잡시간 : 검지기에서의 혼잡은 검지기 간격과 검지기에서의 혼잡시간에 대한 곱으로 설명가능하며, 총 혼잡시간은 모든 검지기에서의 혼잡시간들의 합으로써 총 시-km로 표현된다.

2) 단일지점

병목지점과 유고에 의해 야기되는 혼잡은 단일지점에 나타나는 경향을 가지고 있으며, 이러한 지점에 대해서는 주로 다음과 같은 사항에 대한 조사를 시행하며, 혼잡 영향의 계량화를 위한 측정 기법을 사용한다.

(1) 조사항목

혼잡의 원인, 혼잡의 해소시간, 혼잡지역을 통과하는 운전자들의 혼잡으로 인한 영향, 영향받는 지역의 범위

(2) 혼잡 영향의 계량화 측정 기법

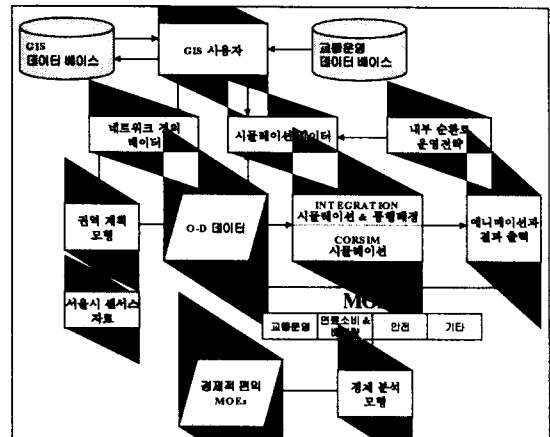
정상교통흐름까지의 시간, 지체된 총차량수, 차량당 평균 지체, 대기행렬의 최대 시간, 최대 대기행렬길이, 연료 소비 및 공기 오염

2. 내부순환로 교통시스템의 효과분석

일반적으로 교통관리시스템의 효과를 정량적으로 평가·분석할 수 있는 방법은 통행수요모형, 스케치 계획 분석, 교통 시뮬레이션의 세 가지 방법이 있는데, 이중 본 분석에서는 교통시뮬레이션 방법을 택하였다.

본 분석절차는 크게 내부순환로의 시스템 효과분석과 이를 통한 시스템 구축의 편익/비용(B/C) 분석, 2가지를 실시하였다.

내부순환로에 구축될 교통시스템의 효과분석은 다음의 [그림 1]과 같은 절차에 따라 수행하였다.



[그림 1] 교통시스템 효과분석 및 B/C 분석 절차

1) 통행수요예측 모형

통행수요예측 모형은 통행발생, 통행분포, 수단선택, 통행배정의 4단계 절차를 통해 도로 교통량과 대중교통 이용자수를 추정하는 교통계획모형이다. 이 모형을 이용해 교통시스템의 효과분석을 하기 위해서는 교통관리전략과 관련된 통행수요예측 모형의 매개변수를 조정해야 한다. 아래의 <표 2>는 교통관리전략이 영향을 끼칠 수 있는 매개변수를 예로서 나열한 것이다.

<표 2> 교통관리전략에 따른 통행수요모형의 반영도

단계	매개변수	대표적인 ITS 전략	매개변수에 영향을 끼치는 정도
통행 발생	통행 발생률	· 출발전 여행정보 제공	소
	자가용 소유주	· 합승 및 대중교통 이용자에게 특혜 제공	중
통행 배정	통행시간	· 램프 미터링	소
	통행비용	· 혼잡요금징수 및 통행료 징수	중
수단 선택	통행시간	· 램프 미터링	소
	통행비용	· 통행료, 혼잡요금	중
통행 배정	자가용 소유자	· 합승 및 대중교통 이용자에게 특혜 제공	무시할 정도임
	도로용량	· 램프 미터링 · 유고 관리 · 혼잡요금징수	중
	자유류 속도	· 램프 미터링 · 신호시스템 · 정보제공	소
	통행비용	· 통행료 징수 · 혼잡요금 징수	대
	속도-교통량 관계	· 램프 미터링 · 신호 시스템	대

2) 스케치 계획 분석

이것은 다양한 교통관리전략의 이점을 합리적으로 추정할 수 있는 간단한 방법으로, 이점은 다른 방법에 비해 빠르고 비용이 적게 든다. 또, 통행수요방법과 시뮬레이션 방법이 평가할 수 없는 ITS 전략을 평가할 수 있다. 그러나 이 방법은 대강의 근사값을 제공할 뿐이다. 분석가는 결과를 과신하지 말아야 한다.

3) 교통 시뮬레이션

시뮬레이션 방법은 교통관리전략을 더 정교하게 평가하는 방법인 반면, 많은 제약이 있다. 대부분의 교통관리전략이 현재 교통 시뮬레이션 패키지를 이용해 직접 모의 실험될 수 없고, 교통량과 다른 매개변수를 보정해서 간접적으로 시뮬레이션을 하여야 한다. 시뮬레이션은 도로 구간별로 혼잡을 살펴볼 수 있고 속도와 지체의 관점에서 결과물을 제공하기 때문에 도로용량분석에 큰 이점을 제공한다. 본 연구에서는 이방법을 이용하였다.

III. 시뮬레이션에 의한 내부순환로 시스템 효과분석

본 연구에서는 내부순환로의 효과분석을 크게 2가지로 나누어 분석하였다.

- 각 부시스템(RMS, VMS 등)별과 효과분석
- 전체 통합시스템에 대한 효과분석

사용한 시뮬레이션 평가도구는 "INTEGRATION"으로 이것은 도시고속도로와 신호 가로망이 통합된 시스템의 운영을 평가하고 최적화하기 위해 특별히 개발된 교통류 분석도구이다.

또한 "INTEGRATION"은 VMS, RMS를 모의 실험할 수 있는 기능이 내재되어 있어 도시고속도로, 교통축, 도시가로망이 통합된 지역에서 ITS의 이점을 평가하기에 가장 적합한 도구이다.

1. 평가 시나리오 설정

우선, 내부순환로의 시스템 평가 시나리오는 전체 통합시스템 및 각 부체계(RMS 부시스템, VMS 부시스템)별 교통관리시스템 설치로 인한 효과분석을 평가하기 위하여 각 상황에 맞는 적절한 시나리오를 선정하였다.

또한 각 시나리오는 시스템이 구축되는 목표년도를 기준으로 설치전과 설치후에 대한 효과를 비교평가하고, 시스템 구축으로 인한 장애의 영향도를 알 수 있는 시스템 구축 10년 후에 대한 효과분석을 함께 수행하였다.

2. 부시스템별 평가

가. VMS 부시스템

VMS 부시스템에 대한 평가는 내부순환로 전체와 주변간선도로를 모두 대상 지역에 포함시켜 적용한다. 이는 본선 VMS에 대한 평가이외에 교차로 VMS에 대해서도 평가를 수행하여 그 효과를 분석하기 위함이다.

<표 3> VMS 부시스템 평가 시나리오

구분	시나리오 내용	O-D 년도
시나리오 0	· 해당 서브시스템을 설치하지 않으며, 유고가 발생하고 그리고, 타 부시스템들은 시스템 설치가 완료된 경우	0년
시나리오 1	· 해당 서브시스템을 설치하고 유고가 발생하고 타 부시스템들은 시스템 설치가 완료된 경우	0년
시나리오 2	· 해당 서브시스템을 설치하고 유고가 발생하고 부시스템들은 시스템 설치가 완료된 경우	10년 후

나. RMS 부시스템

RMS 부시스템은 평가대상구역으로 관리대상구간으로 구분되어 있는 북부간선로 내선에 대하여 평가하도록 한다.

- 평가대상구간 : 북부간선로 내선
- RMS 설치 램프 : 내선 성산진입램프, 흥은진입램프

<표 4> RMS 부시스템 평가 시나리오

구분	시나리오 내용	O-D 년도
시나리오 0	• RMS 부시스템이 설치되지 않은 경우	0년
시나리오 1	• RMS 부시스템을 설치한 경우	0년
시나리오 2	• RMS 부시스템을 설치한 경우	10년

3. 전체 시스템 평가

이것은 계획된 모든 부시스템들을 포함시켜 설치전·후에 따른 효과를 평가하는 것으로서, 시스템 구축 목표년도를 기준으로 RMS, VMS, VDS, 유고관리, 주변교차로 신호운영방식 등의 모든 교통관리시스템 구축여부에 따라 시나리오를 선정하고, 장래 연도인 시스템 구축 10년 후에 대한 평가를 포함시켰다.

<표 5> 각 시나리오별 내용(전체시스템 효과분석)

구분	신호 운영	VMS	VDS	RMS	돌발 상황	O-D 수요
시나리오 0	고정식	미설치	미설치	미운영	관리 불가능	0년
시나리오 1	감응식	설치	설치	감응식	관리 가능	기준 연도
시나리오 2	감응식	설치	설치	감응식	관리 가능	10년

4. 평가 결과

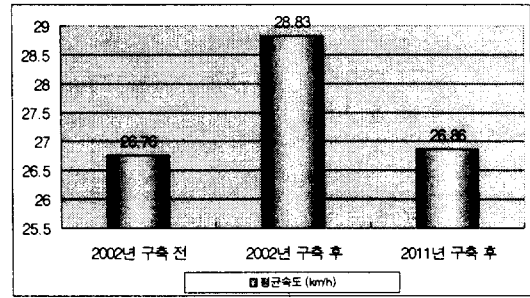
가. 부체계별 평가결과 분석

1) VMS 부체계

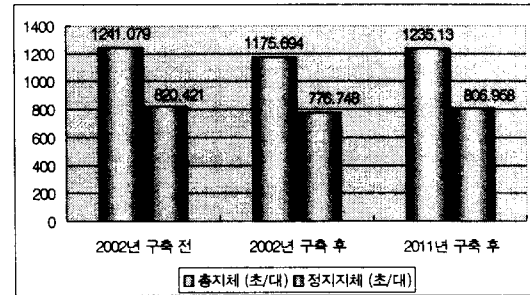
VMS 설치여부에 따른 효과를 시뮬레이션한 결과 다음 <표 5>와 같은 결과를 도출할 수 있었다.

또한 각 효용기준(Performance)별 시나리오에 따른 개선효과 변화는 다음 [그림 2]~[그림 4]를 통해 살펴볼 수 있다.

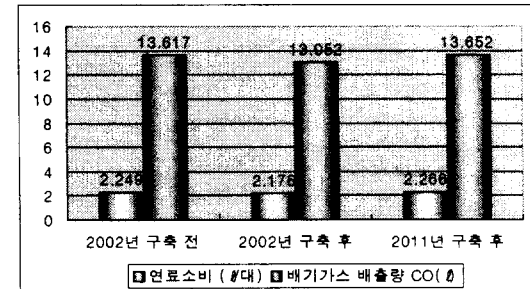
도출된 결과에 따르면, 우선 본 내부순환로의 부시스템 중 VMS 부시스템에 대한 중요성이 입증되었다. VMS 설치전·



[그림 2] VMS 설치로 인한 평균속도의 개선효과



[그림 3] VMS 설치로 인한 지체의 개선효과



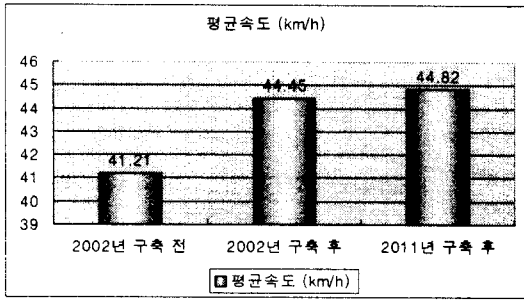
[그림 4] VMS 설치로 인한 연료소비/배기가스

배출량의 개선효과 후의 개선효과를 구체적으로 살펴보면, 평균속도 7.74%증가, 총지체 5.27% 감소, 배기가스 배출량 4.15% 감소등으로 상당히 높게 나타났다. 이는 본선 VMS에 대한 평가이외에 교차로 VMS에 대해서도 평가가 추가적으로 이루어졌기 때문에 서브네트워크 전반에 걸쳐 효과가 높게 나타난 것으로 사료된다.

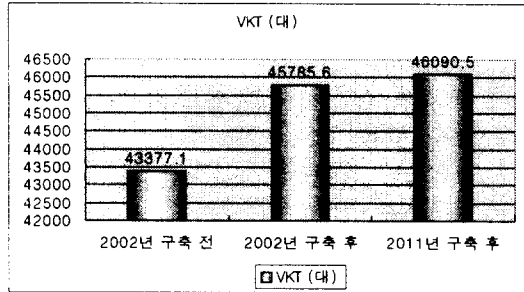
장래 시스템 구축 10년 후의 VMS 설치효과는 지속적으로 반감하는 것으로 나타났다. 평균속도는 시스템 설치직후에 비해 6.83%나 감소하였고 설치전에 비해 0.87% 개선되는데 그쳤다. 따라서, 이 역시 시스템 구축 10년 이후에는 VMS의 추가설치에 대한 검토가 필요한 부분이다.

2) RMS 부시스템

RMS의 구축 효과를 대변하는 효과척도로 선정한 것은 평균속도, 총지체, 차



[그림 5] RMS 설치로 인한 평균속도 개선효과



[그림 6] RMS 설치로 인한 VKT 개선효과
 량당지체, 통행시간, VKT(Vehicle Kilometers of Travel)이다. VKT는 시물레이션 네트워크를 주행하는 모든 차량이 여행한 거리를 정량화한 것으로서 이런 값을 살펴보는 이유는 램프 미터링과 같이 고속도로 본선을 주 관리대상으로 하고 진입램프의 교통은 크게 고려치 않는 곳에서 성공적인 시스템 구축은 VKT의 향상에 달려있기 때문이다.

또한 평균속도와 VKT의 시나리오별 개선효과는 다음의 [그림 5],[그림 6]을 통해 살펴볼 수 있다.

도출된 결과를 살펴보면, RMS 설치한 후 네트워크 전체의 평균속도는 설치전 <표 6> RMS 설치에 따른 효과분석

구분	평균속도 (km/h)	총지체 (대-분)	차량당지체 (분/대)	통행시간 (분/대수)	VKT ^{a)} (대)
시나리오 0	41.21	29406.6	1.13	2.42	43377.1
시나리오 01	44.45	26561.7	0.96	2.24	45785.6
시나리오 02	44.82	26210.8	0.94	2.22	46090.5
A	7.8(%) 증가	9.6(%) 감소	15(%) 감소	18(%) 감소	5.5(%) 증가
B	8.7(%) 증가	10.8(%) 감소	16.8(%) 감소	8.2(%) 감소	6.3(%) 증가

A : 2002년 시스템 구축전과 구축후의 변화율(%)
 B : 2002년 시스템 구축전과 2011년 시스템 구축후의 변화율(%)
 a) VKT: Vehicle Kilometers of Travel

에 비하여 7.8(%) 증가하였고, VKT는 5.5(%)가 전부 증가하였다. 이는 램프 미터링의 주 관리대상인 본선의 효율성을 높인 결과라고 판단된다. 총 지체 및 차량당 지체의 경우에도 각각 15(%)와 18(%)의 감소를 보였다. 향후의 효과를 분석하기 위해서 10년 후년의 평가 결과를 분석하면 현재에 비하여 향상된 결과를 보였다. 평균속도의 경우 시스템 설치 전보다 6.9(%) 증가하였고 VKT는 설치 전에 비해 6.2(%)가 증가된 결과를 보였다.

IV. 내부순환로 FTMS 시스템의 경제성 평가

B/C분석은 프로젝트비용의 현재가에 대한 편익의 현재가 비를 나타내는 방법으로, 보다 구체적으로는 각 연도의 편익과 비용을 산출하여 각 연도마다 할인율을 적용하여 현재가치화 한 후 편익과 비용의 비로 나타낸다.

1. 비용항목

경제성평가에서 사용되는 비용은 경제적 비용으로서 재화 또는 용역의 실질가치를 의미한다. ITS 시스템과 관련된 비용으로는 일반적으로 시스템 구축을 위한 초기비용과 이를 유지하고 관리·운영하는데 필요한 유지관리비로 구성된다. 본 연구에서 시스템구축을 위한 초기비용의 추정은 서울시에서 내부순환로 FTMS 설계용역비로 제시된 277억을 기준값으로 사용하였다. 또한 유지관리비는 초기비용의 매년 15%로 가정하였다.

2. 편익항목

고속도로의 신설 및 확장과 같은 도로투자 사업을 시행함으로써 파생될 수 있는 여러효과 중 비용의 절약이나 만족감의 증대와 같은 이익을 편익이라 한다.

<표 7> 편익분석을 위한 항목

구분	편익항목
도로이용자 편익	차량운행비용 절감, 운행시간비용 절감, 교통사고 감소, 안락감의 증대 등 직접편익
도로비이용자 편익	지역개발효과, 시장권의 확대, 지역산업구조개편 등 간접편익

본 연구에서는 내부순환로에 FTMS를 구축함으로써 발생하는 효과적도(평균통행시간, VHT등)를 바탕으로 하여 편익을 산출하였다.

3. 평가기간 및 할인율

ITS 시설물은 전산장비의 일반적인 수명주기인 5년~10년을 사용하고 있으며, 본 분석에서의 평가기간은 “10년”을 사용하였다. 또한 할인율은 공공투자사업의 경우에 8~12%의 할인율을 적용하는데, 본 분석에서는 “10%”를 사용하였다.

4. B/C 분석 과정

시뮬레이션 한 결과는 다음의 <표 3>와 같이 나타났다. 이상의 결과를 기준으로 VHT의 향상에 대하여만 B/C 분석을 하였다.

<표 8> INTEGRATION 시뮬레이션 결과

구분	구축전	구축후 (기준년)	구축후 (10년)	평균
VHT [veh-secs]	40754076	38818580	39021316	
VHT 향상 [veh-hours]	-	538	481	509
평균속도 [km/hr]	26.35	28.83	26.86	
평균속도 향상 [km/hr]	-	9.41% (2.48kph)	1.94% (0.51kph)	5.67% (1.49%)

B/C 분석에서는 시스템 구축기간 1년, 운영기간은 10년으로 분석하였다.

기본적인 가정은 다음과 같다.

- 할인율 : 10%
- 평균 재차인원 : 1.2인/대
- 시뮬레이션에서 나타난 결과는 하루 중 10시간에 대해서만 발생

<표 9> 운영기간 10년의 경제성 분석 결과

구분	비 용				편 익					편익 -비용 (억원)
	초기 투자비 (억원)	유지 관리비 (억원)	총비용 (억원)	현재 총비용 (억원)	첨두시 시간절감 (대-시간)	1일 인- 시간 절감 (인-시간)	1일 편익 (억원)	년간 총편익 (억원)	현재 총편익 (억원)	
0	277.0		277.0	277.0	538.0	6456.0	0.5	188.5	188.5	-88.5
1		41.6	41.6	37.8	532.3	6387.6	0.5	186.5	169.6	131.8
2		41.6	41.6	34.3	526.6	6319.2	0.5	184.5	152.5	118.2
3		41.6	41.6	31.2	520.9	6250.8	0.5	182.5	137.1	105.9
4		41.6	41.6	28.4	515.2	6182.4	0.5	180.5	123.3	94.9
5		41.6	41.6	25.8	509.5	6114.0	0.5	178.5	110.9	85.1
6		41.6	41.6	23.5	503.8	6045.6	0.5	176.5	99.6	76.2
7		41.6	41.6	21.3	498.1	5977.2	0.5	174.5	89.6	68.2
8		41.6	41.6	19.4	492.4	5908.8	0.5	172.5	80.5	61.1
9		41.6	41.6	17.6	486.7	5840.4	0.5	170.5	72.3	54.7
10		41.6	41.6	16.0	481.0	5772.0	0.5	168.5	65.0	49.0
소 계	277.0	415.5	692.5	532.3	5604.5	67254.0	5.4	1963.8	1288.9	756.6

- 도로이용자의 시간가치는 업무용 시간가치 기준인 8,000원/시간

- 유지관리비는 매년 초기투자비의 15%로 산정

편익/비용비 산정결과에 의하면, 현재가로 계산된 총편익이 1288.9억원이고, 총비용이 532.3억원으로 B/C비는 2.42로 나타났다.

V. 결론

서울시 내부순환로를 중심으로 평가한 FTMS의 효과분석에서 나타나듯이 ITS 시스템 구축으로 인한 효과는 매우 크다고 할 수 있다.

시뮬레이션에 의한 서브시스템별 효과를 보면, VMS의 설치전후, 평균속도의 7.74% 증가, 총지체의 5.27% 감소, 배기가스 배출량의 4.15%감소를 나타냈으며, RMS의 설치전후, 평균속도의 7.8% 증가, 총차량주행거리의 5.5% 증가를 나타내었다.

경제성 평가에 의한 결과를 보면, B/C비가 2.42로 나타났다.