

# 제공정보 수준선정을 위한 VMS 제어 방법에 관한 연구

## A Study on VMS Control Method for Determining the Level of Traffic Information

김정연

(서울대학교 환경대학원 석사과정)

이영인

(서울대학교 환경대학원 교수)

Key Words : VMS(Variable Message Sign) 운영, ATIS(Advanced Traffic Information Systems), 교통정보, 지능형교통체계(ITS : Intelligent Transport Systems), 제어설계, 제공정보 수준

### 목 차

#### I. 서론

1. 연구의 배경
2. 연구의 목적

#### II. 연구의 내용 및 범위

1. 도로전광표지
2. 문헌고찰
3. 교통정보의 역효과
4. 제공정보 수준
5. VMS 제어방식

#### III. 모형의 구성

#### 1. 모형의 개요

2. Module #1 : 대안경로 배분량 결정
3. Module #2-1, #2-2 : 메시지 수준선정
4. 갱신여부 판별

#### IV. 모형의 적용 및 평가

1. Input Data
2. Output Data

#### V. 결론 및 향후 연구과제

#### 참고문헌

## I. 서론

### 1. 연구배경

지금까지 네트워크의 용량대비 수요에 대한 문제에 대한 해결책으로 도로시설을 증설하여 이를 해결하고자 하였으나, 이 점은 근본적인 해결책이 될 수 없는 점이 계속 지적되고 있었다.

이런 문제점을 해결하고자 운행 중인 운전자에게 목적지와 경로에 대한 정보를 제공함으로써 교통 수요를 관리하고 차량을 네트워크에 적절하게 배분하는 방법으로 ITS(Intelligent Transport Systems)환경 하에 ATIS(Advanced Traffic Information Systems) 서비스 제공과 같은 사례가 그 예라고 할 수 있다.

이중 VMS(Variable Message Signs)는 동적인 교통정보를 전달해 주는 장비로서 교통관리 운영자와 운전자를 엮어주는 매개체라고 할 수 있다. VMS 정보를 제공받은 운전자는 다음 분기점에서 경로에 대한 의사결정을 하게 되며 이것은 네트워크 전반의 교통량에 영향을 미치게 되므로, 제공하는 정보 수준과 제공받는 운전자 그룹에 관한 연구가 필요한 실정이다.

### 2. 연구 목적

현재 운영되고 있는 VMS 제어방식은 간단한 형태의 지식 기반 추론엔진 방식을 취하고 있다. 이런 방식은 종합적인 정보제공 우선순위의 선정에서부터, 조합 가능한 메시지의 집합

이 포함되어 있다. 이런 VMS의 효율성을 도모하기 위해 있는 그대로의 상황을 전달하는 방식에서 전략적 정보제공 기술이 적용된 방식이 필요하다.

도로상에서 발생하는 혼잡이나 유고 상황에 대하여 주/대안경로간의 바람직한 통행 재배분율을 유도하기 위한 운영자의 판단이 개입된 전략적인 정보 제공방법론이 필요하며 이것은 정보제공으로 인한 역효과의 문제를 완화할 수 있다. 이런 전략적인 정보 제공방법과 네트워크 상황을 분석하여 주/대안경로간의 용량을 재배분함에 따른 효과는 다음과 같다.

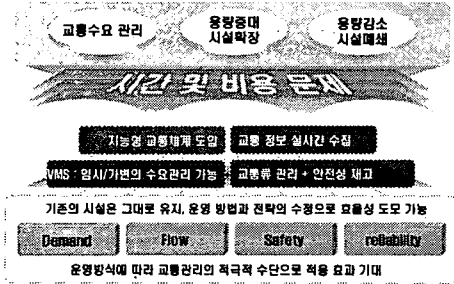
첫째, 특정 도로 혹은 네트워크에 통행이 집중되어있는 경우 이를 인위적으로 조정해야 할 필요가 있다. 운전자에게 네트워크에 대한 정보를 운영자 입장에서 제공하여 있는 그대로의 상황을 전달하는데서 발생하는 VMS의 한계점을 보완 할 수 있게 된다. 이것은 VMS설치 위치, 전광판의 크기, 제공방식에 따른 공간적, 내용면에 있어 제약이 따르므로 이러한 점을 고려하여 적용해야 할 것이다.

둘째, VMS가 갖고 있는 장점이자 단점인 정보제공 매체로서의 한계점으로 인해 있는 그대로의 상황 전달로서 네트워크의 용량의 균일한 재배분이 이루어지기는 어렵다. Wardrop의 논리에 의해 Overreaction과 Concentration의 발생하게 되는데 주/대안경로간의 재배분의 과정을 통해 이런 문제를 완화 할 수 있게 된다.

이러한 기존의 시설을 그대로 이용하는 장점과 운영상의 전략과 재배분을 통해 통행에 있어 효율성을 증대시키는 것은

기존의 VMS의 운영을 기존의 정보 제공수단만이 아닌 수요관리차원의 적극적인 수단으로서도 가능하다는 것을 보여주는 것이다.

추후 주/대안경로 간의 용량재배분을 통한 통행의 완화 문제가 아닌 돌발상황을 비롯하여 안정적인 교통류를 위한 적정 속도 관리에 이르기까지 VMS의 제어 영역은 현 운영되는 범위 이상의 가능성을 갖고 있다고 할 수 있다. 연구의 배경 및 목적을 간략히 그림으로 나타내면 다음과 같다.



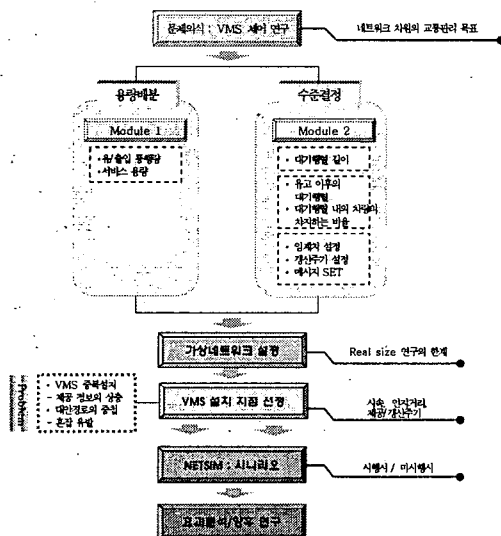
<그림 1> 연구의 배경 및 목적

## II. 연구의 내용 및 범위

본 연구의 범위는 모형의 구성과 모형의 해법제시와 간단한 시뮬레이션으로 구성 되어있다. 본 연구는 가상네트워크에 VMS를 설치하고 제공정보 수준을 결정하기 위한 Module #2와 주/대안경로간의 용량을 재배분하는 Module #1로 구성되어 있다.

모형은 3장에서 제시되며, 2장에서는 기존의 문헌고찰을 통한 VMS 제어연구에 대한 기반 사항을 제시하며 4장에서는 제시된 모형의 가상 네트워크의 적용과 5장에서는 결과제시 및 향후 연구과제의 순서로 진행된다.

연구의 진행 절차는와 전반적인 진행 흐름도는 [그림 2]과 같다. [그림 2]에서는 앞으로 진행될 연구의 방법과 세부 항목이 나타나 있으며 연구의 시작에서 종료에 이르는 과정을 나타내는 것이다.



<그림 2> 연구 진행 흐름도

## 1. 도로전광표지(VMS)

도로전광표지, VMS는 1999년 건설교통부에서 설치 및 관리지침을 만들고 해당관리기관에서 운영을 담당하고 있는 ATIS분야의 정보매체 중에서 가장 대표적인 수단이라 할 수 있다. 이러한 VMS는 우리나라의 경우 1분단위로 그 정보의 메시지 셋이 변화 운영될 수 있으며, 데이터베이스에 메시지 셋의 라이브러리가 저장되어 참조하는 방식을 취하고 있다. 이런 1분단위의 메시지 셋과 유고와 같은 상황에 따른 것은 운영자의 직접적인 경험에 근한 판단아래 수동적으로 입력되고 있는 방식으로 운영되고 있다.

VMS 운영에 이어 중요한 문제는 정보를 제공받은 운전자의 행태변화인 전환율(diversion rate)를 고려한 운영전략이 제시되어야 한다는 점인데 아직 국내에서는 이 분야에 대한 연구가 진행되지 않은 상황이다. VMS 운영에 있어 중요한 문제는 실시간 통행의 변화를 파악할 수 있는 짧은 메시지 셋의 주기와 유고를 비롯한 도로상의 문제점에 대한 빠른 대처를 요하며 운전자 전환율을 고려하여 이것이 정보의 역효과 문제를 해결하는데 주안점을 두어야 할 것이다.

## 2. 국내·외 연구 고찰

도시 고속도로 교통류 관리를 위한 가변전광판 정보 제공방안 평가(1999, 강정규). VMS 자동 제어 알고리즘 설계(2002, 박은미) 두 편의 연구가 있었다. 전자의 연구는 정보 제공을 통해 전환의 목적만이 아닌 속도관리를 통한 교통류 분산의 역할도 수행 할 수 있는 표출 전략을 향후 과제로 남겨두었으며, 정보 제공시 운전자에게 직접적으로 전달 될 수 있는 정보를 제공하였을 경우, 운영자의 의도에 부합하는 결과를 얻을 수 있음을 제시하였다. 후자의 연구는 VMS 내부 제어 알고리즘에 대한 연구로서 여유용량균등화 식을 적용하여 기존의 배분량을 재조정하여 속도 값과 지체값이 향상되는 결론을 제시하였다.

덴마크 Aalborg 시의 경우 복합 교통망에서 사용자 최적상태를 목적으로 한 교통류 분산화 피드백 제어를 이용한 동적 제어 전략을 적용하였다.(S, Mammara et al, 1996) 전환율에 따라 각 경로의 통행비용을 동리하게 하는 것을 목적식으로 하는 분산화 피드백 제어를 사용하였으며, 이상적인 운전자 전환율은 운전자 전환에 영향을 미치는 다른 수준에 따라 이용가능한 유한개의 메시지 셋을 선택함으로써 구할 수 있음을 제시하였다. scottish highway network 사례(A. Messer et al, 1998)에서는 피드백과 피드포워드 두 가지 방식 모두를 사용하였다. 제어 모형 내에 대기행렬 모형을 비롯하여 링크 교통량의 예측하는 과정을 제시하였다.

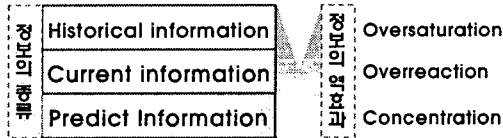
## 3. 교통정보의 역효과

도로상의 운전자에게 제공되는 정보는 이전시간대의 정보를 가공하여 현재 상황에 맞는 예측된 정보를 제공하게 되는데, 실시간으로 수집된 정보를 바탕으로 가공·예측되어 제공하게 된다. 이러한 경우 정보의 역효과가 발생 될 수 있는데 운전자의 의지를 비롯하여 제공된 정보의 해당도로로 통행이 집중되

거나 경로변경을 했음에도 운전자가 실질적으로 이득을 보지 못하는 것을 들 수 있다. 교통정보라고 하는 것은 크게 다음과 같이 세 가지 범주로 나눌 수 있다.

- Historical Information
- Current Information
- Predictive Information

이러한 정보 중 예측된 정보가 가장 중요한 역할을 하며 교통정보제공에 있어 가장 핵심이라 할 수 있는데 이런 예측된 정보로 인한 정보의 역효과 문제는 다음 <그림 3>과 같다.



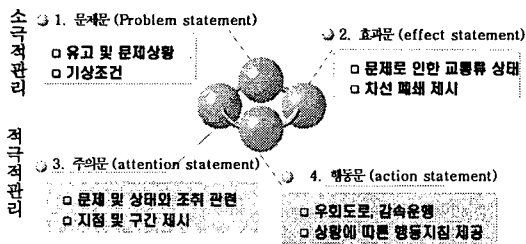
<그림 3> 정보의 종류와 역효과 (Ben-Akiva, 1991)

#### 4. 제공정보 수준

제공정보 수준이란 것은 수집된 교통자료가 가공을 거쳐 전광판에 나타날 때 보여지는 강도와 유형을 말하는 것이다. 여기서 강도는 크게 능동적인(guidance), 수동적인(info) 형태로 분류 할 수 있다.

수동적인 형태는 소극적 관리로 이어지며 주로 도로상황에 대한 일반적인 전달하는 내용만 제시되는 것이다.

능동적인 형태는 적극적 관리로 이어지며 도로상황에 대한 정보와 이에 알맞은 운전자에 대한 권고의 안내와, 상황에 대한 조치를 제공하는 것을 말한다. 형태에 따른 메시지 속성은 다음 [그림5]와 같다.



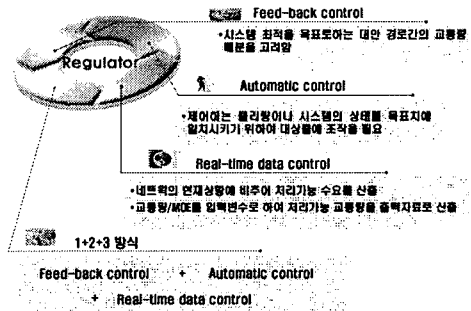
[그림 4] 관리 형태에 따른 메시지

제공정보의 유형은 전광판에 표출되는 정보의 형태가 문자이거나 도형의 형태를 들 수 있으며, 한 주기 내의 메시지 셋의 구성도 이에 포함 된다.

#### 5. VMS 제어방식

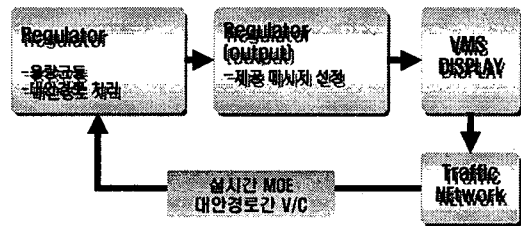
본 연구에서 제시하고자 하는 VMS 제어방식은 다음 <그림 5>와 같이 나타내어진다.

- Feed-Back Control
- Automatic Control
- Real-time Data Control



<그림 5> 제어방식

여기서 Feed-Back 형식 제어는 입력과정에서의 발생하는 변수를 제어하는 방식이다. 이것은 시스템의 문제를 일으키는 외란(Disturbance)의 영향이 출력값에 반영되어있으므로, 관측 가능한 출력값을 제어체계 내에 반영하여 입력값을 결정하는 방식이다. 이것은 외란의 불확실성이나 모형의 정확도에 상대적으로 영향을 적게 받는다.[8] Feed-back 제어방식은 <그림 6>과 같다.

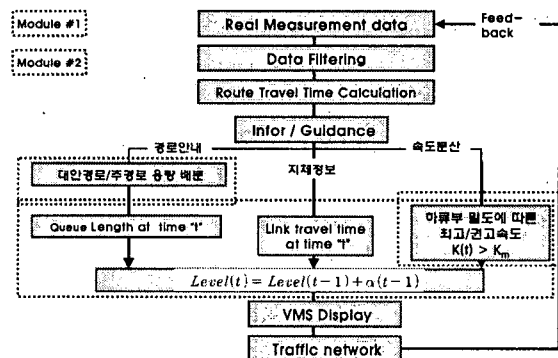


<그림 6> Feed-Back 제어

### III. 모형의 구성

#### 1. 모형의 개요

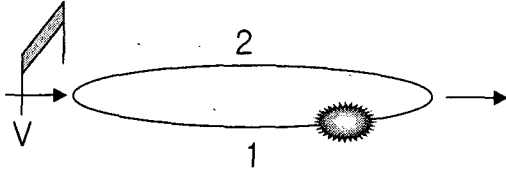
모형은 크게 두 개의 Module로 구성되어있다. 주/대안경로간의 용량재배분을 통해 전환되는 램을 구하는 Module #1과 정보제공 수준을 선정하는 Module #2로 구성되어있다. 모형의 전반적인 구성은 하단의 그림과 같다.



#### 2. Module #1 : 대안경로 배분량 결정

Module #1은 주/대안경로간의 서비스 용량과 링크의 유출

입통행량을 파악해 해당 구간내의 존재하는 차량으로써 전환하는 통행량을 구하는 것이다.



<그림 8> 주도로와 대안경로

유고와 같은 상황의 발생으로 1번 경로에 문제가 발생할 때 진입하는 교통량에 대해 대안경로인 2로 보내는 전환되는 통행량은 다음과 같이 도출 할 수 있다.

• 주도로 통행량 : Link 1

$$R_1(t) = [U_0^1(t-1) - U_i^1(t-1)] - D^1(t-1)$$

• 대안경로 전환량 : Link 2

$$R_2(t) = R_2^0(t) + D^1(t-1) \leq MS^2(t)$$

$$D^1(t-1) = MS^1(t-1) - (U_0^1(t-1) - U_i^1(t-1))$$

$$R_2^0(t) = U_0^2(t-1) - U_i^2(t-1)$$

여기서,

$R(t)$  = 시간 t, 정보제공 있음, 통행량

$R^0(t)$  = 시간 t, 정보제공 없음, 통행량

$MS(t-1)$  = 시간 t-1, 최대가능 서비스 교통량  
(운영자 입력치)

$U_0^1(t)$ : 시간 t, 링크 I의 유입량

$U_i^1(t)$ : 시간 t, 링크 I의 유출량

정보제공이 시간 't'에 발생할 때 이전 시간인 't-1'의 해당 구간의 유·출입 통행량과 운영자가 입력하는 값인 해당링크의 최대 서비스 교통량과의 차이를 대안경로로 보냄으로써 유고가 발생한 1번 링크의 적절한 전환 통행량을 구 할 수 있다.

현재 검지기 설치를 비롯하여 동적 OD의 추정도 가능한 실정이므로 유·출입 통행량은 실시간으로 파악이 되며 이는 네트워크의 처리가능 한 일정 서비스 수준의 용량을 파악하는데 용이하다고 볼 수 있다.

### 3. Module #2

Module #2는 Module #1에서 대안경로의 배분 용량이 결정 되면 이에 따른 메시지 수준을 선정을 제어하는 장치이다. 메시지 표출 목적은 분기점 이후의 도로전방에 대한 상황의 전달에서부터 경로전환에 이르는 다양한 수준의 메시지를 선정하는 것이다.

이 수준이 결정이 되면 앞서 제시한 <그림 4>와 같은 소극적/적극적 관리의 메시지 속성이 조합되며 이것은 나아가 메시지 셋으로 이어져 운전자에게 전달되게 된다. 메시지 수준을 결정하는 기반인 전환율은 운전자가 경로전환에 영향을 미치는 수준  $\varepsilon_i \sim \varepsilon_n$ 에 따라 이용 가능한 유한개의 메시지 셋을 선택하여 구하게 되며, 본 연구에서의 전환율을 구하는 모형은 연구의 기반이 되지만 본 연구에서는 생략하고 이미 이전에

구해져 있다는 가정아래 Module #2를 제시하고, 전환율 선정 모형은 향후 연구 과제로 두기로 하였다.

#### 1) Module #2-1

Module #2로서 두 가지를 제시하였다. Module #2-1은 주경로의 대기행렬에 대해, 대기행렬 후미에 추가되는 유입량과 주경로 링크의 유출량을 통해 대기행렬 길이를 산정하고 설정된 임계치 범위와 비교를 통해 수준을 선정하게 된다.

$$\text{Length\_Queue}(T) = L_q(t-1) + [Q_{\text{tail}}(t) - U_0^i(t)] \Delta t$$

•  $Q_{\text{tail}}$  = 대기행렬 후미에 추가되는 유입량

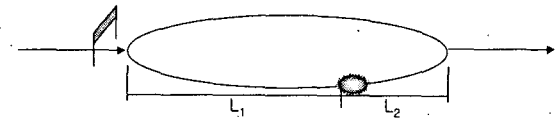
•  $U_0^i$  = 링크 i의 유출 통행량

여기서 이전에 설정된  $\varepsilon$ 의 범위를 설정하여 다음과 같은 경우에 지정된 임계치 기준을 통해 메시지 수준을 선정하게 된다.

$$\Delta \text{Length}_{\text{queue}}(t) > \varepsilon_k$$

#### 2) Module #2-2

Module #2-2는 진입 링크에 미치는 영향을 고려하는 주경로 링크내의 병목지점을 기점과 분기점으로 구분하고, 해당 대기행렬내의 차량대수가 차지하는 비율을 통해 지정된 임계치  $\varepsilon$ 의 기준을 통해 메시지 수준을 선정하게 된다.



<그림 9> 발생지점 기준 링크 분할

이를 식으로 표현하면 다음과 같으며 해당 링크는 <그림 9>와 같이 유고가 발생한 지점을 기준으로 나누어 생각 해 볼 수 있다. 결국 경로내의 대기행렬내의 차량수를 통해 진입부분의 지체정도에 따라 수준을 결정하게 되는 것이다.

$$\frac{L - L_2}{L_v} + \frac{\text{지체속도}}{L_v} = \text{Vehicle}_q$$

지체속도 /  $L_v$  : 정체가 움직이는 구간

•  $L = L_1 + L_2$

•  $L_v$  : 차량연장길이 (6m 적용)

•  $\text{Vehicle}_q$  : 대기행렬 내의 차량대수

•  $\text{Vehicle}_q$ 가 링크 내에서 차지하는 비율에 따라 메시지 수준 결정

• Ex)  $\text{Vehicle}_q = 80\% \rightarrow \text{level "i"}$

### 4. 갱신여부 판단

정보제공 수준의 선정 이후 시간이 지남에 따른 갱신 여부 판단을 식으로 표현하면 다음과 같으며 임계치  $\varepsilon_k$ 에 의해 결정되어진다.

$$\text{Level}(t) = \text{Level}(t-1) + a(t-1)$$

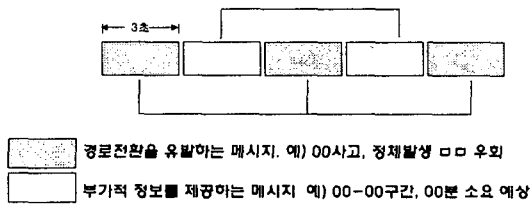
- $\alpha(t-1)=1$  : (t-1)에 비해 상황이 개선되지 않았음
- $= -1$  -> (t-1)에 비해 상황이 개선되었음
- $= 0$  -> (t-1)에 비해 상황이 변하지 않았음

여기서,  $Level(t)$  : 시간 t 일 때 제공수준

$\alpha(t-1)$  :  $\epsilon_k$ 의 조합으로 얻어진

상황변화 판단 계수

이외, 추가적으로 제공되는 정보의 메시지 셋은 다음과 같이 지정하였다. 차량이 시속 60kph로 180m 전방에서 접근할 때 적어도 5번은 볼 수 있는 단위 설정을 하였다. 즉, 한 단위 당 3초 \* 5단위 = 15초의 주기를 한주기로 설정하여 기존의 1분 단위와 달리 설정 하였으며 이것은 다음 <그림 10>과 같다.



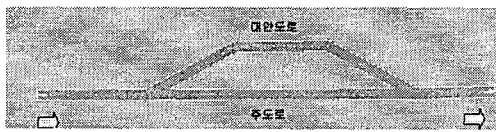
<그림 10> 메시지 셋 - 5 unit

#### IV. 모형의 적용 및 평가

모형의 적용 및 평가는 정보제공의 속성상 현장에서 직접 평가 되어야 하지만, 이는 실행에 있어 제약이 많으므로 Module #1에 대한 적용 및 평가는 NETSIM에서 TOY 네트워크를 설정하여 평가하였으며, Module #2는 추후 시행과제로 남겨두기로 하였다.

##### 1. Input Data

입력값과 시나리오 설정은 하단의 <표 1>과 같으며 네트워크는 <그림 11>과 같다.



<그림 11> TOY 네트워크

<표 1> 시뮬레이션 입력 값

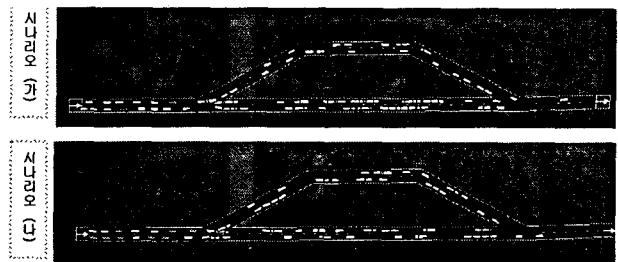
시뮬레이션 시나리오	네트워크 입력 값
가 (기본상황)	시간 : 평일오전 7:00~8:00 차선 수 : 2차선 연장 : 주도로 - 1km : 4000VPH 대안도로 -1.5km : 1000VPH incident : 주도로에 10회/HR, 평균 30초 입력 자유류 속도 : 30MPH(기본값 설정)
나 (적용시 재배분)	위와 동일 최대처리 값 5000입력 재배분 주도로 : 3000부도로 : 3000

#### 2. Output Data

효과 판단 척도는 평균통행속도와 구간 통행 소요시간이며 시뮬레이션 결과는 다음 <표 2>와 <그림 12>와 같다.

<표 2> 시뮬레이션 출력 값

위치	시나리오	평균속도 (km/대)	지체시간 (sec/대)	비고
상류부	가	16.04	9.41	속도:6% 감소 시간:9.78% 증가
	나	14.01	11.45	
주도로	가	40.30	14.20	속도:2.58% 증가 시간:14.0% 감소
	나	42.43	10.64	
대안도로	가	45.40	1.13	속도:0.6% 감소 시간:18% 증가
	나	44.83	1.40	



<그림 12> 시나리오별 시뮬레이션 결과

시행 전·후의 비교를 통해 보았을 때 서비스용량과 링크의 유·출입 통행량의 차를 제한 배분량을 전환 시켰을 때 속도와 시간이 향상되는 효과를 알 수 있었다. 또한 전환되는 배분량이 대안경로의 상황을 크게 변동시키지 않음을 알 수 있었다.

#### V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 VMS 정보를 운전자에게 전달하는데 있어 운영자의 전략적인 측면에 대해 주도로/대안도로 간의 통행량과, 유고 발생지점으로 링크를 분할해 전후 대기행렬 길이로서 제공정보 수준을 선정하는 방식을 제시하였다.

기존의 운전자입력의 기준이 되는 사고발생 지점으로부터 VMS간의 거리가 아닌 경로간의 통행량과 대기행렬 길이로써 제공정보 수준을 선정하는데 그 의의가 있다고 하겠다. 비록 제공되는 정보의 수준 선정은 제시하지 못하였지만 이것은 향후 연구과제로 남겨두기로 하였다. 제공되는 메시지로 인한 효과 판단은 실제 도로에서 이루어져야 하는 제약이 있으므로 이런 문제점과 아직 공식적으로 이루어 지지 않은 제공정보에 대한 운전자의 전환율에 대한 많은 아쉬움이 남게 되었다.

본 연구에서 제시한 용량 배분식으로 대안도로로의 통행량 전환을 통해 시행전에 비해 시행시의 통행속도의 증가와 통행시간의 감소 효과를 도출 하였으며, 이것이 대안도로의 상황에 있어 큰 변화를 가져오지 않는다는 점을 알게 되었지만, 이것은 용량배분에 있어 운영자가 서비스교통량을 어떻게 입력하는가에 따라 달라지므로 배분식에 대한 보완과, 제공수준이 적용된 수준별 메시지 Table 작성의 작업이 필요하며 실제

교통 상황을 좀 더 보완된 새 모형의 연구를 향후 과제로 남겨 두었다.

### 참고문헌

1. 최기주, 장정아(2003), '게임이론에 기반한 VMS 운영모형', 대한토목학회
2. 권혁, 이승재(2004), '게임이론을 이용한 VMS 전략적 교통 제어 방법에 관한 연구, ITS 학회
3. 김병관, 백남철, 이미영(2004), 'VMS를 통한 최적 통행시간 정보제공 전략', ITS 학회
4. 강정규, 정철훈(1999), '도시고속도로 교통류 관리를 위한 가변전광판 정보 제공 방안 평가', 대한교통학회지
5. 박은미(2002), VMS 자동제어 알고리즘 설계, 대한교통학회지 20권 제 7호
6. Albert Messer, Marks Papageorgiou, Neil Mackenzie(1998), Automatic control of variable message signs in the interurban Scottish highway network, Transport Research Part C 6, 173-187
7. SAID MAMMAR, ALBERT MESSMER, PEDER JENSEN(1996), Automatic control of variable message signs In Aalborg, Transportation Research Part C Vol.4 No.3, pp.131-150
8. A. Messmer & M. Papageorgiou(1994), 'Automatic control methods applied to freeway network traffic', automatica 30. no. 4
9. jun s. oh and r. jayakrischan(2001), "temporal control of variable message signs toward achieving dynamic system optimum". paper No. 01-3363, 80th annual meeting of the TRB. washington D.C.