

■ 論 文 ■

# VMS 자동제어 알고리즘 설계

Conceptual Design of Automatic Control Algorithm for VMSs

박 은 미

(목원대학교 건축도시공학부 조교수)

## 목 차

- I. 문제제기
  - II. 자동제어의 개념
  - III. VMS 자동제어알고리즘 설계 방향
    - 1. 기본방향 1 : 피드백 제어 방식 선택
    - 2. 기본방향 2 : 시스템 최적 지향
    - 3. 기본방향 3 : 휴리스틱 접근방식에 의한 개략적 시스템 최적 달성
  - IV. VMS 알고리즘 설계
    - 1. Regulator Module
    - 2. VMS Display Strategy Module
  - V. 모의실험
  - VI. 결론 및 향후과제
- 참고문헌

Key Words : 자동제어, 피드백 제어, VMS 운영, 지능형교통시스템, Regulator 설계

## 요 약

현재 국내 VMS 운영은 대체로 소극적 정보제공에 머물고 있으며, 정보제공 우선순위, 조합가능한 메시지 집합 등이 포함된 간단한 형태의 지식기반 추론엔진 방식에 의하고 있다. 또한 VMS 관련 연구도 해당도로의 상황을 정확히 검지하고 예측하는 방법론 개발에 집중되어 있다. 그러나 VMS도 적극적 운영을 통하여 교통관리의 수단으로 활용해야 하며, 이에 있는 그대로 상황을 전달하는 현 Practice에서 진일보한 전략적 정보제공 기술이 개발되어야 한다.

본 연구에서는 네트워크 차원의 교통관리를 목적으로 한 VMS 자동제어 알고리즘을 제안하였다. 외란의 불확실성과 모형의 정확도에 강한(robust) 피드백 제어방식을 채택하였고, 알고리즘은 시스템 최적 달성을 목표로 설정한 여유용량 균등화 Regulator와 VMS Display 모듈로 구성된다. 여유용량의 산정은 도로용량편람의 용량 개념과 차별화 되는 개념을 제안하였으며, 이 부분에 대한 구체적 산정방식의 개발은 향후과제로 남겨두었다. 두 개의 대안경로로 구성된 실제 도로망에 대한 모의실험을 통하여, 여유용량균등화 Regulator에 의한 통행 재배분 효과를 제한적으로나마 살펴보았다. 그러나 VMS Display Strategy 모듈에 의한 실제 통행배분 행태는 모의실험의 한계성으로 인하여 검증하지 못하였으며 이를 향후과제로 남겨두었다.

## I. 문제 제기

VMS 운영은, 소극적 운영과 적극적 운영 두 가지로 대별될 수 있다. 소극적 운영은, 운전자에게 도로상황을 알려주어 심리적 부담을 덜어 주고, 추돌사고 등에 대해 운전자를 경각시키는 것을 목표로 한다. 적극적 운영은, 도로망에서 최적 통행배분 달성하여 소통과 안전을 향상시키는 적극적 교통관리를 목표로 한다. 현재 국내 VMS 운영은 대체로 이러한 소극적 운영에 머물고 있으며, VMS 관련 연구도 해당도로의 상황을 정확히 검지하고 예측하는 데에 그 초점이 모아져 있다.

그러나 VMS도 적극적 운영을 통하여 교통관리의 수단으로 활용해야 하며(강정규, 정철훈, 1999), 이에 있는 그대로 상황을 전달하는 현 Practice에서 진일보한 전략적 정보제공 기술이 개발되어야 한다. 이제부터의 연구는 검출된 도로 혼잡이나 유고 상황에 대하여 대안경로간의 바람직한 통행 재배분을 유도하기 위한 전략적 정보제공 방법론 개발 측면으로 확대되어야 할 것이다. 현 도로의 상황을 정확히 검출하여 그대로 전달하는 현 운영기술의 문제점은 다음과 같이 요약된다.

첫째, 축 단위의 운영에서 VMS 확대 설치에 따라 네트워크 단위의 운영으로 전이하게 되어, 대안경로간의 통행배분에 대한 명시적 고려가 가능한 운영기술이 필요하게 되었다.

둘째, VMS가 가진 정보제공 매체로서의 한계로 인하여, 있는 그대로의 상황 전달만으로는 대안경로간의 바람직한 통행배분을 달성할 수 없다. 워드롭피안 행동을 가정하면, 대안경로중 최단경로에 순간적인 통행 집중으로, 수요가 용량을 초과하지 않는 상황에서도 과포화현상이 나타나고 Throughput이 감소하는 현상이 나타난다(C.F. Daganzo 1998). 이러한 Overreaction과 Concentration의 문제는 VMS 운영에서 적절히 고려되어야 한다(Jun S. Oh and R. Jayakrishnan, 2001).

셋째, 네트워크에 통행이 편중되어 있는 경우, 통행배분을 인위적으로 조정할 필요가 있다. 기 설치된 VMS를 활용하고자 한다면, 있는 그대로의 상황을 전달하는 것만으로는 위에서 언급한 VMS의 한계로 인하여 이를 달성할 수 없다.

이러한 맥락에서 VMS 운영에 있어, 있는 그대로의 상황전달에서 나아가 전략적 접근이 요구된다. 아울러 VMS를 통한 정보제공은, VMS의 크기, 형태

등 물리적 제약에 따라 정보제공의 공간적 범위와 내용적 범위에 한계가 지워지며, 이러한 면에 대한 고려도 필요하다(S. Mammam, and et. al. 1996, A. Messmer and et. al. 1998).

현재는 국내의 VMS 정보제공은 간단한 형태의 지식기반 추론엔진 방식을 취하고 있으며, 이 추론엔진에는 정보제공 우선순위, 조합가능한 메시지 집합이 들어있다. 피드포워드 형태의 모형에 의한 방식 관련국의 연구논문이 발표되어 있으나, 실시간 VMS 제어를 위해 현장에 적용하는데는 아직 그 완성도가 떨어진다. VMS 제어 알고리즘과 관련한 선행연구에 대한 내용은 해당 참고문헌은 참고하도록 하고, 본 논문에서는 지면 관계상 생략하기로 한다(박은미, 2002).

## II. 자동제어의 개념

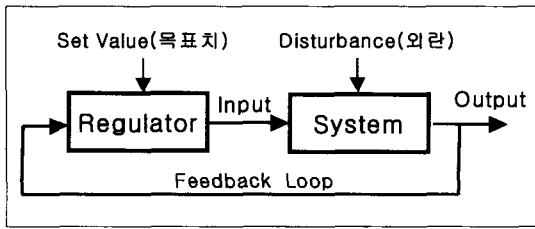
자동제어란 제어하려는 물리량이나 시스템의 상태를 목표치에 일치시키기 위해 대상물에 필요한 조작을 가하는 것으로 정의된다(최대섭외공역, 1998). 기계, 전기 등 분야에서 발달되어온 자동제어 방식이 교통분야에 도입되어, 실시간 교통제어, 특히 고속도로 진입램프 제어에 활용되고 있다.

폐루프 제어라고도 불리는 피드백 제어는, Output를 Input으로 돌려보내는 개념으로서 Control Action은 결국 이전의 Output와 관련을 갖게 된다(〈그림 1(a)〉참고). 피드백제어는 진동(Oscillation)과 불안정성(Instability)의 문제가 잠재되어 있으며, 따라서 이에 대한 적절한 대응과 검증이 필요하다. 개루프 제어라고 불리는 피드포워드 제어는, Control Action에 따른 Output가 정확하게 예측 가능한 경우 사용되는 방식이며 Control Action은 결과와 무관하다(〈그림 1(b)〉참고). 피드백제어와 비교할 때, 외란이 사전에 검출 가능해야 하고 Input과 Output 관계를 정확히 Calibration해야 하는 반면 진동과 불안정성 문제는 없다.

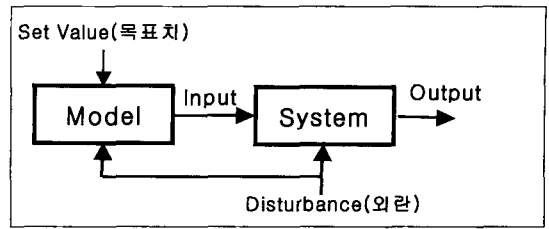
## III. VMS 자동제어 알고리즘 설계 방향

### 1. 기본방향 1 : 피드백 제어 방식 선택

앞 절에서 살펴본 바와 같이, 피드포워드 제어는 외란이 사전에 검출가능하고 Input과 Output의 관



(a) Feedback Control



(b) Feedforward Control

〈그림 1〉 자동제어의 개념

계를 정확히 모형화 할 수 있을 때 합당한 방식이다. 모형의 정확도에 따라 제어의 성패가 달려 있다. 반면, 피드백 제어는 외란의 영향이 Output에 반영되었다는 가정 하에, 관측 가능한 Output 값을 Regulator로 피드백하여 Input 값을 결정하는 방식이다. 이 방식은 외란의 불확실성이나 모형의 정확도에 상대적으로 덜 민감하다(Y. Pavlis and M. Papageorgiou, 1999, A. Messmer & M. Papageorgiou, 1994).

VMS 제어를 비롯한 실시간 교통제어에 적용할 때, 외란은 O-D, 사고, 기상조건 등으로, 그리고 Output은 교통량과 기타 속도 등 관측가능한 MOE 값으로 정의될 수 있다. 실제 외란으로 대표되는 실시간의 단시간 O-D는 직접 현장에서 관측가능한 값은 아니며, 제반 수단을 통하여 예측한다고 해도 불확실성이 크다. 반면 교통량, 속도 등은 현장에 설치된 검지기를 통하여 상대적으로 쉽고 정확하게 실시간 관측 가능한 값이다. 또한 교통류의 특성상 정확한 모델링이 이루어지기 어렵고, 현실을 상대적으로 정확히 모사한 모형의 경우 데이터의 요구량과 계산의 복잡성으로 인하여 실시간 제어에는 적합하지 않다고 판단된다. 이러한 맥락에서 본 논문에서는 VMS 제어에 모형의 정확도에 의존도가 높고 관측 불가능하고 불확실성이 큰 외란의 값이 요구되는 피드포워드 방식보다는 피드백제어 방식을 선택하도록 한다.

**2. 기본방향 2 : 시스템 최적 지향**

전통적인 교통 계획/설계 절차도 결국 모형에 의존하는 피드포워드 방식이라고 할 수 있으며, 주어진 O-D를 모형에 입력하여 네트워크의 상황(즉 구간 교통량과 MOE)을 결과물로 산출하게 된다. 이와 비교하여 실시간 피드백 제어에서는, 교통량과 MOE가 결과로서 산출되는 것이 아니라 실시간 관측값으로

입력되고 처리가능 교통량(즉 용량)이 결과물로 산출되는 것이 그 차이이다. 즉 주어진 O-D를 네트워크에 넣었을 때 결과로 어떠한 영향이 간다가 아니라, 네트워크의 현재 상황에 비추어 볼 때 얼마만큼의 수요를 네트워크에서 처리할 수 있는가를 산출하는 것이 실시간 정보제공/제어의 관건이다.

실시간 정보제공 알고리즘에서는 교통량 내지 MOE를 입력변수로 하여 처리 가능교통량이 결과물로서 산출되는 과정이 필요하다. 기존연구(S. Mammam, and et. al. 1996, A. Messmer and et. al. 1998)는 사용자 최적을 목표로 대안경로간의 통행시간 균등화를 위한 피드백 제어를 제시하고 있다. 사용자 최적을 이루는 통행배분은 경우에 따라 수요가 용량을 초과하지 않는 상황에서도 과포화가 발생하고 Throughput이 감소하는 현상을 언급한 바 있다(C.F. Daganzo 1998). 본 논문은 VMS 정보제공에 있어 시스템 최적 달성을 목표로 설정하고, 이러한 시스템 최적을 이루는 대안경로간의 통행배분을 찾는 피드백 제어 방법을 제안하도록 한다.

**3. 기본방향 3 : 휴리스틱 접근방식에 의한 개략적 시스템 최적 달성**

전통적인 교통계획이나 설계에 활용하던 사용자 최적이나 시스템 최적의 달성을 목표로 한 통행배정 모형이 존재하는데, 실시간 제어에 활용할 때의 문제점들을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 전통적 통행배정 모형에서는, 구간 수요와 구간 통행량은 일치하게 되는 즉 과포화시 발생하는 대기행렬에 대하여 Physical Queue가 아닌 Point Queue를 가정하고 있다. 이러한 Point queue를 가정한 모형을 실시간 제어나 정보제공 전략 산출에 적용할 경우 과포화 상황에 제대로 대처할 수 없으며,

Concentration과 Overreaction의 위험부담이 큰 도시내 도로 VMS 정보제공에 활용하는 데에는 많은 문제가 있다.

둘째, 용량산정은 도로용량편람에서 제시하고 있는 방법이나 이와 유사한 개념의 방법을 따른다. 도로용량편람에서 제시하고 있는 용량산정방식은 하류부로부터 밀려온 정체에 의한 용량 감소 효과를 고려치 못하고 있다. 그러나 실시간 정보제공에 있어서는, 하류부로부터 밀려온 정체에 의한 Throughput의 감소를 정확히 예측하고 이에 적절히 대처함으로써 해당축의 과포화상태를 회복시키는 것이 중요한 과제다. 실시간 정보제공에서는 하류부로부터 정체과급효과를 감안한 새로운 용량개념과 산정방식이 도입되어야 할 것이다.

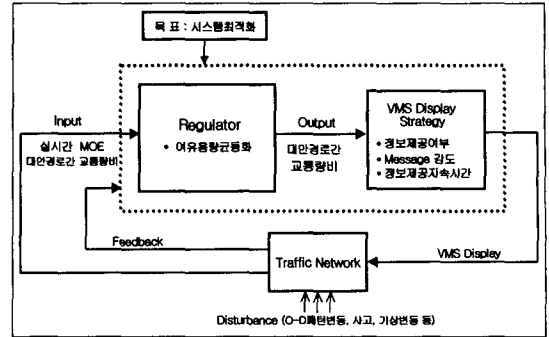
셋째, 이러한 기존의 모형은 오프라인으로 적용을 전제로 개발된 모형으로서, MOE 산출에 통상 방대한 데이터와 복잡한 계산을 요한다. 더욱이 실시간 제어를 위해서는 이러한 모형을 매 시간간격마다 지속적으로 반복하여 적용하여야 하는 현실적 어려움과 비효율이 따른다. 따라서 모형의 실제상황에 대한 Replicability는 떨어질지라도 실시간 정보제공에 적합한 계산속도와 난이도의 방법론의 개발이 필요하다.

이에 시스템 최적을 찾는 데 있어 방대한 자료와 시간이 소모되는 엄밀한 모형에 의존하기보다는 휴리스틱 접근방식을 택하도록 한다. 본 연구에서는 대안경로간에 여유용량을 균등화하는 Regulator를 작동함으로써 Approximate System Optimal에 이르도록 하는 피드백제어 방안을 제안한다. 이때 여유용량은, 도로용량편람에서 제시하고 있는 용량개념이 아닌 하류부에서 밀려온 정체에 의한 용량 감소효과를 고려해 산정해야 한다.

**IV. VMS 자동제어 알고리즘 설계**

앞장에서 제시한 기본 방향 하에, 본 논문에서 설계된 VMS 자동제어 알고리즘은 <그림 2>와 같다. <그림 2>에서 제시된 바와 같이 피드백 제어 알고리즘은 크게 두 개의 모듈로 구성되어 있다. 그 이유는, 자동제어 관점과 교통 정보제공기술 관점의 두 가지 측면에서 찾을 수 있다.

첫째로, 자동제어의 관점에서 보면, Regulator에서 내보낸 연속 신호를 VMS에서 그대로 입력으로



<그림 2> VMS Feedback 제어 개요

받아들일 수 없기 때문에, Regulator Output과 제한적 메시지 집합 중의 하나와 매칭을 시켜 주는 별도의 모듈이 필요하다.

둘째로, 교통 관점에서 보면, Regulator를 통해 도출된 대안경로간의 시스템 최적 통행배분은, VMS를 통한 있는 그대로의 상황전달에 의해 저질로 달성되는 것이 아니라는 점을 앞서도 지적한 바 있다. 즉 이러한 대안경로간의 시스템 최적 통행배분을 달성하기 위한 인위적 통행분산 전략이 요구되며, 따라서 VMS 제어에는 이러한 작업을 수행하는 모듈이 필요하다. 이 모듈에는 VMS 메시지 강도 조절이나 정보제공 시간 조절 등의 전략이 포함되어야 한다.

**1. Regulator Module**

대안경로간의 개략적 시스템 최적 통행배분을 찾는 여유용량 균등화 Regulator를 제시한다. 우선 각 VMS 설치 지점을 기준으로 설계의 대상이 되는 대안경로를 정해줘야 한다. 특히 시가지 도로망의 경우 각 지점마다 불특정 다수의 목적지를 가진 통행이 통과하며, 각 목적지까지도 다수의 대안경로가 존재한다. 각 목적지별로 정의된 대안경로들을 취합해 보면, 주로 이용되는 몇 개의 대안경로들이 드러나게 된다. 설계의 Feasibility와 VMS의 물리적 한계를 고려하여, 각 VMS 별로 이러한 대안경로들을 사전에 정의해 주도록 한다.

대안경로의 개수는 3개 내외가 적절하다고 판단되며, 개수는 운영자가 입력으로 정할 수 있도록 설계한다. 사전에 정의된 대안경로들간의 통행배분을 조정하는 Regulator는 식(1)과 같다.

$$\gamma(k) = \gamma^N(k) - K \times \Delta\Gamma(k-1) \quad (1)$$

where,

- $\gamma(k)$  :  $k$ 시간대 대안경로 통행배분율
- $\gamma^N(k)$  : 정보제공이 없는 정상상태에서 통상 이루어지는 배분율(운전자 입력값을 쓰거나, 실시간 관측치로 대체 가능)
- $K$  : Regulator Parameter
- $\Delta\Gamma(k-1) = \Delta MR(k-1) - \Delta$  관측수요 ( $k-1$ )
- $\Delta MR(k-1) = \text{Max. Possible Input Rate}$
- 단,  $\gamma$  와  $\Delta\Gamma$ 는 대안경로간의 상대값

이러한 여유용량 균등화 Regulator 작동에 필요한 여유용량은 Max. Possible Input Rate와 실시간 관측교통량의 차로 정의한다. Max. Possible Input Rate는 하류부에서부터 파급된 정체에 의한 용량감소 효과를 고려하여 산정한다는 점에서, 기존 도로용량편람의 용량 개념과 차별화 된다.

도로용량편람의 용량은 이러한 효과를 배제하고 얻는 해당 구간의 Max. Flow Rate이다.

그러나 실시간 제어나 정보제공에서는 하류부에서 파급된 용량저하에 대한 정확한 고려가 필수다. 하류부 대기행렬 존재로 인한 용량 감소에 대한 개략적 모델이 제시된 선행연구도 있다(Y. Pavlis and M. Papageorgiou, 1999). 본 논문의 선행연구(박은미, 2002)에서는 하류부의 영향과 구간의 물리적 길이를 고려하여 산정하는 개략적 방법론을 제시한 바 있으며, 이에 대한 소개는 지면 제약으로 생략하도록 하며 이에 대한 구체화 작업이 향후 수행되어야 할 것으로 판단된다.

앞서 각 VMS별로 사전에 대안경로들의 정의하였다. 다수의 VMS가 함께 운영될 때 중복되는 경로는 통행 재배분시 과부하가 발생할 가능성이 있다. 한 경로에 2개 이상의 VMS가 있을 때 운전자가 지나면서 상호 상충이 되는 메시지를 만날 가능성도 있다. 따라서 VMS 간에 중복되는 경로와 한 경로상에 2개 이상의 VMS가 있는 경우를 사전에 파악하여, 위에서 언급한 과부하 문제와 메시지 일관성 유지문제를 조정해야 할 것이다.

## 2. VMS Display Strategy Module

VMS Display Strategy 전략은 메시지 강도, 내용,

지속시간에 대한 결정이 포함된다. 이중 지속시간은 따로 산정하지 않고 VMS 메시지 갱신주기에 따라 메시지 지속여부를 판단하도록 한다. 본 절에서는 메시지 강도와 내용을 결정하는 개념을 제시하도록 한다. 메시지가 표출되었을 때 얼마만큼의 경로전환이 유발될 것인가는 일반적으로 표출된 메시지의 강도에 따른다. 따라서 달성하고자 하는 통행 재배분량에 따라 적절한 메시지 강도가 결정되어야 하며, 메시지 강도는 식(2)와 같은 변수들의 함수로 정의할 수 있다.

$$\text{메시지 강도} = f(\Delta\gamma, \delta, \epsilon \text{ 대안경로간 상대적 교통상황}) \quad (2)$$

where,

- $\Delta\gamma = \gamma(k) - r^O(k)$
- $\gamma(k)$  :  $k$  시간대 바람직한 통행배분율
- $r^O(k)$  : 실시간으로 관측 통행배분율
- $\delta$  : 경로전환이 불가한 O-D를 제한 비율 (운전자 입력값이나 전시간대의 관측교통량에 의해 유추함)
- $\epsilon$  : Drivers' Compliance Rate
- 단, 통행배분율은 대안경로간의 상대값

〈표 1〉은 세 개의 대안경로가 존재하는 상황을 가정했을 때, 대안경로간의 상대적 상황에 따른 메시지 강도 및 내용 표출전략을 나타낸다. 여기서 세 개의 대안경로와 세 단계의 교통상황을 가정한 것은 실제 도로망 특성과 VMS의 물리적 한계를 고려한 것이며, 그 이상이나 이하로 세분화가 필요할 때에는 같은 맥락에서 확장 혹은 축소 가능하다. 〈표 1〉은 초기메시지선택과 Regulator Output이 바뀔 때마다 적용한다. 만일 Regulator Output과 대안경로별 상황패턴이 전 시간대와 비교하여 불변이면, 목표한 통행 재배분 달성도에 따라 메시지 강도를 조절하는 식(3)과 같은 Regulator를 작동한다.

$$\text{메시지강도}(k) = \text{메시지강도}(k-1) + \phi(k-1) \quad (3)$$

where,

$$\phi(k-1) = \begin{cases} -1 & \text{if } \Delta\gamma < 0 \\ 0 & \text{if } \Delta\gamma = 0 \\ 1 & \text{if } \Delta\gamma > 0 \end{cases}$$

〈표 1〉 대안경로간의 상대적 교통상황과 메시지 표출전략

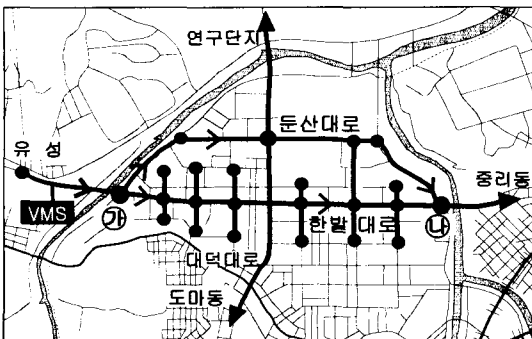
상황 분류 <sup>a</sup>		대안경로별 교통상황 <sup>b</sup>	메시지 강도 <sup>c</sup>	메시지 내용 <sup>d</sup>
1	세 경로의 상황이 비슷	r-r-r	neutral	경로전환을 유발하는 메시지는 바람직하지 않음.
		y-y-y	neutral or positive	$\Delta \gamma_i$ 의 크기에 따라 경로전환 유발 메시지 표출여부 결정
		g-g-g	neutral	경로전환을 유발하는 메시지는 바람직하지 않음.
2	두 경로의 상황이 나뉨	r-r-y	neutral	경로전환을 유발하는 메시지는 바람직하지 않음.
		r-r-g	positive	상황 g에 해당하는 경로는 괜찮다 g에 해당하는 경로 선택 유발
3	한 경로의 상황만 나뉨	r-y-y	neutral	상황 r인 경로의 구체적 문제에 대한 메시지 혹은 y에 해당하는 경로에 여유가 조금 있다는 메시지
		r-y-g	negative	~는 나쁘다
		r-g-g	negative plus	상황 r에 해당하는 경로는 나쁘다 우회해라 r에 해당하는 경로의 우회 강력권고
4	세 경로 모두 양호	y-y-g	neutral or positive	$\Delta \gamma_i$ 의 크기에 따라 경로전환 유발 메시지 표출여부 결정
		y-g-g		

- a) 세 개의 대안경로를 가정. 실제 대안경로의 수에 따라 일반화 가능.
- b) a-a-a는 세 경로의 교통상황 조합.  
r은 지체, y는 서행, g는 소통원활을 의미.  
여기에서는 교통상황을 3단계로 나누어 표현하였으나, 이는 실제단계에서 조정 가능함.
- c) negative-나쁘다, negative plus - 나쁘다 우회해라.  
positive-좋다, positive plus - 좋다 선택해라.  
neutral-경로전환을 유발하는 메시지 자체.
- d) 구체적 메시지 결정은 VMS의 물리적 형태, 메시지 제약조건에 따라 결정.

이때, 'Positive' 메시지는 Positive plus→Positive→Neutral의 단계로, 'Negative'는 Negative plus→Negative→Neutral의 단계로 강도를 조정한다.

**V. 모의 실험**

여유용량 균등화 Regulator 작동에 의한 통행재배분의 잠재적 효과를 분석하기 위하여 대전 둔산 신도심의 중심축인 한밭대로와 이의 대안경로인 둔산대로를 대상으로 모의실험을 수행하였다 (〈그림 3〉 참고).



〈그림 3〉 모의실험 대상 네트워크

둔산대로는 우회로 개념의 도로인데, 현재는 둔산대로와 한밭대로 사이에 적절한 균형을 이루지 못하고 한밭대로로 통행이 집중하여, 수요가 용량을 초과하지 않는 상황에도 ㉞교차로 상류부에 정체가 형성되고 있다.

모의실험에는 TSIS NETSIM을 활용하였고, 모의 실험에 사용된 데이터와 시나리오는 〈표 2〉에 정리되어 있다. 모의실험 결과는 〈표 3〉에 정리되어 있으며, 여유용량 균등화를 이루는 통행재배분으로 ㉞교차로 상류부의 평균속도가 증가하고 지체가 감소하는 것을 보여주고 있다.

〈표 2〉 모의실험 시나리오

시나리오	세부내용
A 현황	· 2002. 8. 평일 오전 8:00-9:00 자료 · 통행배분: 둔산대로 25.6% (945대) 한밭대로 74.4% (2748대)
B 통행 재배분	· 여유용량균등화에 의한 통행재배분 둔산대로 57.3% (2116대) 한밭대로 42.7% (1577대) · 신호현시, ㉞교차로의 차로배분 조정

주) 여유용량은 Nominal Capacity에 의해 산정함.

〈표 3〉 MOE 분석결과

구분	시나리오	평균속도 (km/시)	지체시간 (초/대)
⑦교차로 상류	A	2.8	232.2
	B	5.9	121.0
한발대로 구간	A	13.6	56.6
	B	13.9	50.1
둔산대로 구간	A	19.6	25.9
	B	18.1	36.7

주) 평일 오전 8:00-9:00 서→동으로 진행하는 방향.

**Ⅴ. 결론 및 향후과제**

본 연구에서는 네트워크 차원의 교통관리를 목적으로 한 VMS 자동제어 알고리즘을 제안하였다. 외란의 불확실성과 모형의 정확도에 강한(robust) 피드백 제어방식을 채택하였고, 시스템 최적 달성을 목표로 설정한 여유용량 균등화 Regulator와 VMS Display 모듈로 구성된다. 여유용량의 산정은 도로용량편람의 용량 개념과 차별화 되는 개념을 제안하였으며, 이 부분에 대한 구체적 산정방식의 개발은 향후과제로 남겨두었다.

두 개의 대안경로로 구성된 실제 도로망에 대한 모의실험을 통하여, 여유용량균등화 Regulator에 의한 통행재배분 효과를 살펴보았다. VMS Display Strategy 모듈에 의한 실제 통행배분 행태는 모의실험의 한계성으로 인하여 검증하지 못하였으며 향후과제로 이를 수행하고자 한다. 본 논문의 시스템 최적 제어는, 누군가의 비용에 의해 시스템 전체의 효율을 증대시키는 논리가 내재되어 있다. VMS는 신호제어나 램프 진입제어와 달리 강제적 통행배분의 수단이 될 수 없고, 통행배분은 VMS Display Strategy 모듈의 전략적 활용에만 의존하게 되는 점을 감안할 때 이 모듈 Performance에 대한 정확한 평가는 상당히 중요한 과제이다.

**참고문헌**

1. 강정규·정철훈(1999), “도시고속도로 교통류 관리를 위한 가변전광판 정보 제공 방안 평가,” 대한교통학회지, 제17권 제1호, 대한교통학회, pp.

91~102.  
 2. 박은미(2002), “도시내 도로망 효율성 제고를 위한 가변정보판 운영전략,” 대한교통학회 20주년 기념 학술발표회 발표 논문집.  
 3. 이청원(2001), 서울시 동적교통정보 제공을 위한 기본연구, 2001-R-08, 서울시정개발연구원.  
 4. 최대섭외공역(1998), 제어공학, 사이텍미디어.  
 5. A. Messmer and et. al.(1998), “Automatic Control of Variable Message Signs in the Interurban Scottish Highway Network,” TR C, Vol. 6, pp.173~187.  
 6. A. Messmer & M. Papageorgiou(1994), “Automatic Control Methods Applied to Freeway Network Traffic,” Automatica 30, No. 4.  
 7. C. F. Daganzo(1998), “Queue Spillovers in Transportation Networks with a Route Choice,” Transportation Science 32, No. 1.  
 8. Jun S. Oh and R. Jayakrishnan(2001), “Temporal Control of Variable Message Signs towards Achieving Dynamic System Optimum,” Paper No. 01-3363, 80th Annual Meeting of the TRB, Washington D.C..  
 9. M. Papageorgiou(1990), “Dynamic Modeling, Assignment, and Route Guidance in Traffic Networks,” TR 24B, No. 6.  
 10. S. Mammam, and et. al.(1996), “Automatic Control of Variable Message Signs in Aalborg,” Trans. Res. C, Vol. 4, No. 3.  
 11. Y. Pavlis and M. Papageorgiou(1999), “Simple Decentralized Feedback Strategies for Route Guidance in Traffic Networks,” Transportation Science, Vol. 33, No. 3.

✉ 주 작성자 : 박은미  
 ✉ 논문투고일 : 2002. 11. 1  
 논문심사일 : 2002. 11. 16 (1차)  
 2003. 1. 3 (2차)  
 심사판정일 : 2003. 1. 3  
 ✉ 반론접수기한 : 2003. 4. 30