

VMS 실시간 운영전략 구축을 위한 운전자 경로선택모형

Driver Route Choice Models for Developing Real-Time VMS Operation Strategies

김숙희* · 최기주** · 유정훈***
Kim, SukHee · Choi, Keechoo · Yu, JeongWhon

Abstract

Real-time traveler information disseminated through Variable Message Signs (VMS) is known to have effects on driver route choice decisions. In the past, many studies have attempted to optimize the system performance using VMS message content as the primary control variable of driver route choice. This research proposes a VMS information provision optimization model which searches the best combination of VMS message contents and display sequence to minimize the total travel time on a highway network considered. The driver route choice models under VMS information provision are developed using a stated preference (SP) survey data in order to realistically capture driver response behavior. The genetic algorithm (GA) is used to find the optimal VMS information provision strategies which consists of the VMS message contents and the sequence of message display. In the process of the GA module, the system performance is measured using micro traffic simulation. The experiment results highlight the capability of the proposed model to search the optimal solution in an efficient way. The results show that the traveler information conveyed via VMS can reduce the total travel time on a highway network. They also suggest that as the frequency of VMS message update gets shorter, a smaller number of VMS message contents performs better to reduce the total travel time, all other things being equal.

Keywords : VMS, driver response behavior, Micro Simulation, genetic algorithm

요 지

VMS를 통해 제공되는 실시간 교통정보는 운전자의 통행경로선택에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, 이에 따라 VMS 정보를 이용한 운전자 통행경로 제어를 통해 도로망 전체의 운영효율을 최적화하고자하는 다양한 연구들이 이루어져 왔다. 본 연구에서는 실시간으로 주기별로 최적화된 메시지의 내용을 VMS에 표출할 때 도로망 전체의 총 통행시간을 최소화할 수 있는 운전자 경로선택행태 모형을 개발하였다. 우선 운전자의 경로선택을 현실감 있게 반영하기 위해 Stated Preference(SP) 조사를 바탕으로 하여 개발하였다. VMS를 통해 제공되는 메시지 내용과 표출주기가 주어졌을 때 최적의 VMS 정보제공 조합은 유전자 알고리즘을 이용하여 구했으며, 최적해 산출과정에서 필요한 교통분석은 미시적 교통시물레이션인 파라믹스를 이용하였다. 실험결과를 살펴보면 모든 시나리오에서 본 모형이 효과적으로 최적해를 찾아내는 것으로 나타났다. VMS 설치 전후를 비교하면 VMS를 운영하였을 때 도로망의 총 통행시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났으며, VMS 정보의 표출주기가 짧을수록 VMS 메시지 내용의 개수가 작은 것이 총 통행시간을 감소시키는데 유리한 것으로 분석되었다.

핵심용어 : VMS, 운전자반응행태, 미시적 시물레이션, 유전자알고리즘

1. 서 론

도로전광표시(Variable Message Sign; 이하 VMS)는 고속 도로의 안전성 및 효율성을 향상시키기 위한 실시간 교통정보 제공의 수단으로써 도시부 및 비도시부에서 이용되고 있다. 또한 VMS는 고속도로 교통류 흐름을 관리하기위한 첨단교통관리 시스템의 요소로 부각되고 있고, 국내·외적으로 VMS 설치도 점점 증가하고 있는 추세이며, 운전자에게 실시간 정보를 제공하는 여러 장치중 도로에 가장 인접해 있는 교통제어장치라고 할 수 있다. VMS는 운전자들에게 운

전을 하면서 직면하게 되는 교통상황과 지체상황에 대한 정보를 제공하는 정보제공자로서 또는 대안경로 제공자로서 대중적으로 실시간 정보를 제공한다.

VMS와 관련된 핵심연구 분야로는 메시지 신뢰성, 메시지 선택 및 표출주기와 메시지 표출형식과 VMS 운영에 대한 제어로직, 순응율, 위치 등이 있다. 이런 연구들은 국내에서 활발하게 진행이 되어야 하지만 운전자의 반응행태를 현실적으로 고려해야하는 어려움과 기타 여러 가지 제약으로 인해 연구가 활발하게 진행되고 있지 않은 실정이다.

VMS에 표출되는 메시지의 내용에 따른 운전자의 순응율

*정회원 · 아주대학교 수원발전연구소 연구원 (E-mail : sukheek@ajou.ac.kr)

**정회원 · 아주대학교 교통공학과 교수 (E-mail : keechoo@ajou.ac.kr)

***아주대학교 교통공학과 교수 (E-mail : jeongwhon@ajou.ac.kr)

은 전방에 정체가 발생했을 경우 VMS에 표출되는 메시지의 내용에 따라 달라진다. 그러므로 VMS의 메시지 내용과 운전자의 반응행태는 중요한 상관관계가 있다고 볼 수 있다. 또한 VMS의 운영적 측면에서도 메시지의 내용을 결정하는 문제는 중요하며, 네트워크 전체의 운영상 효율적인 측면을 가장 많이 반영을 하는 요소라고 할 수 있다. 그래서 본 연구에서는 주기별로 최적화된 메시지의 조합을 VMS에 동적으로 표출했을 때 운전자들의 반응을 고려한 운전자 반응행태모형의 문제를 다루고자한다.

따라서 본 연구에서는 운전자 반응행태 모형을 개발하기 위해 SP 조사기법을 적용하였다. 본 연구에서는 실험계획법을 통한 가상시나리오 작성은 하지 않고 가상 네트워크를 대상으로 교통상황 시나리오를 비교적 간단하게 작성하여 SP 설문문을 수행하였다. 실제 상황을 대상으로 해당 지역을 직접 통과하는 운전자를 대상으로 현장에서 설문문이 수행되어야 정확한 운전자 행태를 반영할 수 있지만 현실적인 여러 제약조건 때문에 이러한 개략적인 조사방법을 채택하였다. 운전자 행태모형을 보다 더 현실적으로 고려하기위해 SP 설문을 실시한 결과 데이터를 기반으로 로짓모형을 구축하여 개발을 하도록 하며, 이를 평가하기위해서는 마이크로 시뮬레이션인 파라믹스를 이용하도록 한다. 동적으로 VMS에 표출되는 메시지의 최적화는 유전알고리즘을 이용하였다.

본 연구의 구체적인 연구절차는 1) VMS와 관련된 주요연구 검토, 2) 실시간 정보제공 하에서의 VMS 정보제공에 따른 운전자 반응행태 검토, 3) 유전알고리즘을 이용한 동적 VMS 메시지 조합을 위한 모형을 구축, 4) 실시간 정보제공 하에서의 운전자 반응행태 모형을 개발, 5) 마이크로 시뮬레이션의 API 모듈 개발 및 배치(Batch) 제어 모듈을 개발하고, 마지막으로 모형을 평가하는 것이다.

2. 기존연구검토

VMS 정보에 대한 운전자의 반응행태모형 구축을 위해 본 연구에서 사용된 기초 자료는 관련 연구들에서 일반적으로 사용이 되어온 선호도조사(Stated Preference; 이하 SP) 기법을 이용하여 수집하였다. SP 조사는 1980년대 중반 이후 교통분야 연구에 본격적으로 도입되기 시작하여 그 신뢰성과 활용성이 검증 되어왔다. SP 조사기법은 조사 응답자에게 가상적인 시나리오를 제공하여, 주어진 시나리오를 바탕으로 응답자 개개인의 선호를 표시하게 하는 방법이다. 가상적인 시나리오 대안은 그 대안을 대표하는 설명변수로 표현되며 대안들은 실험계획법에 기초하여 조합하게 된다. 이러한 SP 조사방법은 제어된 다양한 시나리오 상황에서 개개인의 선호도 행태를 테스트하기 위한 도구로 폭넓게 이용되어 왔다. 또한 이러한 SP 기법은 연구자가 실험상황을 통제할 수 있고, 분석 자료간의 독립성을 유지할 수 있는 등의 장점이 있으나, 가상적인 상황에서 표현된 선호가 과연 실제 행동으로 이어지는가에 대한 단점이 있다. VMS 제공 정보에 따른 운전자 행태모형을 구축하는데 있어서 SP 조사기법의 적용은 장점도 있지만 반면에 몇 가지 한계점도 있다. 먼저 SP조사에서 응답한 결과는 가상의 상황에 대한 반응이므로 실제 운전자 행태를 그대로 반영한다고 볼 수 없다.

그리고 VMS의 메시지 내용에 대한 운전자 반응 시나리오를 구축하는 과정에서 다양하고 실제와 유사한 상황을 제시하기 위해서 SP 조사의 내용이 길어질 수 있는 문제가 있다. 그러나 VMS의 메시지 조합에 따른 운전자의 경로선택행태에 대한 실측자료 획득이 어려워, SP 조사방법이 다양한 시나리오 상에서 운전자의 반응행태를 분석하기에 유용하므로 본 논문에서 적용을 하였다.

운전자의 행태변화를 확인하기 위해서는 모의실험이 이루어져야 하므로 기존 연구문헌을 검색하고 분석하였다. VMS의 표출내용에 따라 경로전환율은 5%~80%에 이른다고 한다. Peeta와 Ramos(2000)는 VMS에 표출되는 메시지에 따라 운전자 경로전환율이 어떻게 변하는지에 대한 연구를 수행하였다. 인터넷을 통해 SP조사를 Northwestern Indiana 주의 Borman Expressway을 통행하는 운전자를 대상으로 수행하였다. 이 연구에서 VMS 메시지에 따라 개인별 경로 전환 확률을 예측하는 운전자행태 모형을 개발하였다. M. Wardman(1997) 등은 Warrington에서 Manchester로 가는 34km 지점에서 현장조사를 통해 운전자의 반응행태에 대해 로짓모형을 연구하였다. 또한 실시간 교통정보 제공하에서의 운전자 반응행태에 영향을 미치는 요인들을 기존연구에서 살펴보면 Mohamed 등(1997)은 SP 조사 자료를 이용한 연구를 통해 통행시간이 고속도로의 경로선택에 영향을 미치며 나이, 주 경로에 대한 신뢰도, 통행거리 등에 따라 경로를 전환할 가능성이 달라진다는 추정결과를 제시했다. Ben-Akiva 등(1984)은 경로선택에 영향을 주는 요인을 경로자체의 특성 요소와 운전자의 개인적인 특성으로 구분하고 12가지 특성요소를 고려한 선택모형을 추정하였다. 추정결과 통행시간과 통행거리가 중요한 역할을 하며 용량, 고속도로 거리, 경관 등도 효용함수에 영향을 주는 것으로 나타났고 통행시간과 상관관계가 있는 신호수는 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 그리고 Peeta와 Yu(2004)의 연구에서는 운전자 경로선택의 결정에 대한 기준의 3가지 범주로 정의하였는데 첫째 운전자 속성(Driver Attributes)으로 사회경제적 특성, 네트워크 친밀성 여부, 정보의 신뢰성, 지체의 민감도, 개인적인 선호도가 있고, 둘째 경로특성(Route Characteristics)으로서는 통행시간, 통행거리, Toll 여부, 시설물 Type, 경로의 복잡성 등이 있다. 셋째 범주로 상황적인 요인들(Situational Factors)로는 날씨조건, TOD(Time-of-Day), 통행목적 등이 있다고 제시하고 있다. 위에서 운전자 행태모형에 영향을 미치는 요인들을 살펴보았다. 본 논문은 기존논문과 달리 VMS에 표출되는 메시지는 동적으로 매 주기마다 변화하고, 메시지의 내용은 최적화된 메시지 조합을 표출할 경우 네트워크의 총 통행시간이 최소가 되는 운전자 행태모형을 개발하는 것이다.

3. 방법론

3.1 모형구조

본 연구를 수행하기위한 최적화 기법으로는 전역적 최적해를 탐색해주는 유전알고리즘을 이용하였다. 최적화 방법을 설명하면 VMS에 표출된 메시지 내용은 미리 정의를 하고, 그리고 VMS 수, 표출주기, 메시지 내용의 수에 따라 유전알고리즘의 염색체를 랜덤하게 생성하여 후보해의 공간으로

초기조건을 만들어 최적화를 수행하였다. 유전알고리즘의 결과 값 즉 주기별 메시지 조합은 잠재적의 해의 집합으로 배치 제어 모듈(Batch Control Module)을 통해 파라믹스의 모듈 중 새로운 기능구현이 가능하고, 운전자의 반응행태, 그리고 실용적인 특징들을 가지고 있는 가장 행동적인 모델들로 이루어진 프로그래머(Programmer)의 API에서 결과 값을 읽어 모형에 추가되어 수행이 되어진다. 마이크로 시뮬레이션의 결과 값 즉 시스템 총 통행시간은 다시 유전알고리즘의 적합도 함수의 값으로 이용된다. 이런 과정을 수렴조건을 만족할 때까지 또는 최대반복수 만큼 반복하여 주기별 최적의 동적 VMS의 메시지 조합을 도출해 낸다. 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

유전알고리즘의 최적화와 마이크로 시뮬레이션의 반복 수행과정을 통해 최적화된 동적 VMS 메시지 조합을 통해 운전자 반응행태를 시뮬레이션 한다. 이런 최적화 방법들은 수작업으로 수행하기는 현실적으로 불가능하다. 그래서 본 연구에서는 이런 반복 수행이 가능한 배치 제어 모듈(Batch Control Module)을 프로그램으로 개발하여 수행하였다. 최적화를 수행하는데 파라믹스 시뮬레이션의 여러 모듈 중 옵션 테스트를 위해 사용이 되는 배치 시뮬레이션의 생산성 도구로 시뮬레이션 분석과정들을 자동화하는 Processor-CMD 모듈을 이용하였다. 구체적인 최적화 과정을 단계별로 제시하면 다음과 같다.

[Step 1] 최적화 과정을 배치(Batch) 모드로 수행할 메인 함수 만듦

[Step 2] 프로세스를 생성한 후, 파라믹스 Processor Cmd 모듈을 통해 유전알고리즘의 잠재적인 해의 값(주기별 메시지 조합)이 운전자 행태모형에 반영되어 파라믹스 프로그래머 모듈 API 모형에서 구현되어 시뮬레이션 수행

[Step 3] 위에서 수행시킨 파라믹스 프로세스의 수행이 끝나기를 체크함

[Step 4] 파라믹스 프로세스의 수행 결과파일에서 네트워크 총 통행시간(Tot Travel Time(s))을 읽어서 리턴하며, 유전알고리즘에서 이 네트워크 총 통행시간 값을 적합도 함수의 값으로 간주하여 이 값을 최적화에 이용함.

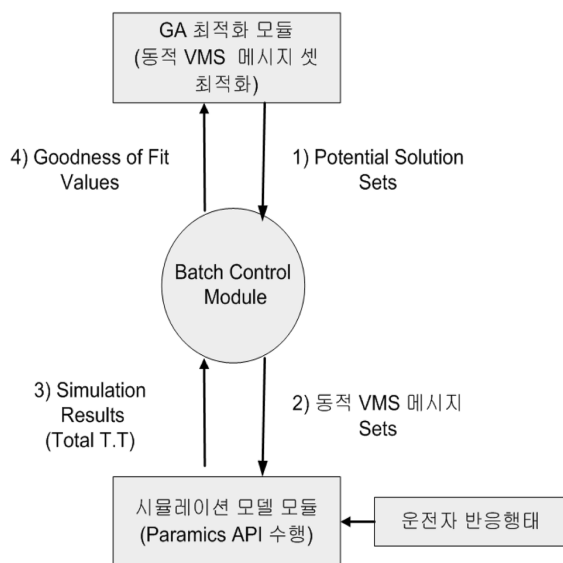


그림 1. 모형 구조

이 과정을 통해 최적의 주기별 동적 VMS 메시지 조합이 결정이 되어진다.

3.2 운전자 행태 모형

본 연구에서 적용한 운전자 경로선택모형에 대해서 간단하게 정리하도록 한다. 여기서 가정한 운전자 경로선택 대안은 “경로변경(Divert)”과 “경로변경을 하지 않음(No Divert)”의 2가지로 정의되므로 운전자 경로선택모형은 이항선택모형(Binary Choice Model)으로 구축하게 된다. 이항선택모형은 일반적으로 회귀분석을 이용한 접근방법(Regression Approach)과 효용함수를 이용한 방법(Random Utility Model)으로 나뉜다. 본 연구에서는 운전자 경로선택에 영향을 주는 변수로 운전자의 성향과 VMS 메시지 종류를 이용하고 있다. 따라서 이 경우에는 대안별로 다른 효용함수 값을 정의하는데 어려움이 있으므로, 회귀분석 접근법(Regression Approach)을 이용하는 것이 자연스러운 모형구축방법이라고 할 수 있다. 회귀분석모형에서 종속변수인 이항선택은 눈에 보이지 않는 잠재 효용(Latent Utility)인 Y_i^* 에 의해 결정된다고 가정한다. 본 연구에서 다루는 운전자 경로선택모형과 관련하여 Y_i^* 를 정의하자면, 이는 운전자가 VMS 메시지를 보고 현재 경로를 변경하려는 의지를 나타내는 연속변수라고 할 수 있다. Y_i^* 를 종속변수로 한 회귀식을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$Y_i^* = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i$$

그리고 실제 이항선택인 Y_i 는 Y_i^* 의 값에 따라 결정된다고 할 수 있다.

$$Y_i = 1 \text{ if } Y_i^* \geq 0 \text{ (잠재 효용이 “충분히 높음”)}$$

$$Y_i = 0 \text{ if } Y_i^* < 0 \text{ (잠재 효용이 “충분히 높지 않음”)}$$

따라서

$$\begin{aligned} P_i &= Prob(Y_i = 1) = Prob(Y_i^* \geq 0) \\ &= Prob(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \geq 0) \\ &= Prob(\varepsilon_i \geq -(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki})) \end{aligned}$$

여기서 따라서 ε 에 대한 누적확률밀도함수(cdf)를 F 라고 정의하고 F 를 대칭함수로 설정하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_i &= 1 - F(-\beta_0 - \beta_1 X_{1i} - \beta_2 X_{2i} - \dots - \beta_k X_{ki}) \\ &= F(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki}) \end{aligned}$$

위에서 정의한 함수 F 가 정규분포(Normal Distribution)이거나 로지스틱분포(Logistic Distribution)임에 따라 이항선택모형을 각각 프로빗 모형과 로짓 모형으로 칭한다. 모형이 결정되고 나면 파라메타 β 를 추정하게 되는데 전형적으로 최우추정법(Maximum Likelihood Estimator: MLE)를 사용한다. 본 연구에서는 VMS 정보제공자의 운전자 경로선택모형으로 로짓(Logit) 모형을 선택하였다. 로짓(Logit) 모형의 형태는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_i &= Prob(Y_i = 1) = F(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki}) \\ &= \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki})}} \end{aligned}$$

3.3. 분석시물레이션

본 연구에서는 VMS에 표출되는 교통정보에 따른 운전자들의 반응을 시물레이션하기위해 개별차량의 행태 모사가 가능한 마이크로시물레이션인 파라믹스를 이용하며, 기본적인 시물레이션 모형은 주어진 공급(Supply)과 수요(Demand)에 의해 수행된다. 시물레이션 모형에서 공급(Supply)은 네트워크에 대한 일반적인 내용으로 노드(Nodes), 링크(Links), 신호(Signals), 유고(Incidents)가 있으며, 수요(Demand)로는 OD Matrix가 있는데 수단별 시간대별로 입력이 가능하다. 이것은 수요 프로파일(Demand Profile)에서 입력이 가능하게 되는데 각 매트릭스(Matrix)는 5분 간격으로 출발비율을 정의하는 방식으로 입력된다. 그래서 OD 매트릭스는 시간대별로 다중 OD 매트릭스(Multiple OD Matrix)와 다중 OD 주기(Multiple OD Period)로 주어 질 수 있다. 그리고 네트워크에 대한 친밀도, 실시간 정보에 의해 경로(Route)를 변경하는 비율 등으로 차량(운전자)들이 정의 된다.

위에서 언급한 기본 시물레이션 모형에 동적 VMS 메시지 조합과 운전자 행태 모형을 반영시켜 수행되어진다. 기본모형에 새로운 모형이 추가되어 수행된 결과 값은 파일로 저장되어지며, MOEs(Measure of Effectiveness)를 제시한다. 결과값 중 총 통행시간은 최적화 모형의 적합도 함수의 값으로 이용된다.

3.4 VMS 운영 최적화

본 모형을 최적화하는데 표출할 VMS의 개수와 표출주기, 메시지 내용의 수에 따라 무수한 조합이 제시된다. 이런 조합의 수를 일일이 수작업으로 평가를 한다는 것은 현실적으로 불가능한 일이다. 그래서 최적화 기법이 이용되었고, 본 모형에서는 전역적 최적해를 도출해 내는 유전알고리즘을 이용하였다. 주요 내용은 유전알고리즘의 일반적인 절차를 통해 표출할 VMS개수, 표출주기(Time-Slice), 메시지 내용(Message Type)에 대한 염색체를 랜덤으로 생성을 한다. 랜덤으로 생성된 염색체는 유전자 조작을 통해 n세대 염색체들의 개체집단으로 후보해들을 가지고 최적화를 시작한다. 최적화 과정은 재생산, 교배, 돌연변이, 적합도 평가의 유전자 조작을 통해 최적화 과정을 반복하여 수렴조건을 만족하거나 최대반복수 만큼 수행이 되면 정지하고, 그렇지 않으면 반복과정을 수행한다.

4. 모형 적용

4.1 실험개요 및 자료

위에서 개발된 모형을 평가하기 위해서 네트워크에 대한 교통상황 정보와 네트워크 공급(Supply)에 대한 내용, 시물레이션 여건 등에 대해 가정을 하였다. 첫째 평가될 가상 네트워크의 교통상황정보는 먼저 정의를 하고, 정체가 발생하는 본선부의 정체링크에 대한 정보를 미리 설정을 하였고, 둘째 동적으로 VMS에 표출할 메시지 내용은 4개와 8개로 모두 수동적 메시지이며 정성적 메시지의 교통소통정보로 구성되어 있어야한다. 셋째 모든 차량들은 VMS 정보만을 제공받는다고 가정을 하였다. 넷째 VMS에 표출된 메시지 내용에 따라 운전자가 경로를 변경할 경우 운전자들은 현재위

치에서 종점까지 도착하는데 소요되는 시간이 최소가 되는 최적경로를 선택한다고 가정을 하였다. 모형을 평가하기위해 시물레이션은 1시간으로 하였다.

모형 평가 네트워크는 총 6개의 ZONE를 가지며, 기점 ZONE 001에서 종점 ZONE 004까지 도착하는데 차량들이 통행할 수 있는 경로는 3개이다. 설치된 VMS의 제어수는 2개이며, VMS 1는 링크 26 → 2에 설치되어 있고, VMS 2는 링크 32 → 3에 설치되어 있다. 이 네트워크에서의 지체 링크는 편도 3개로 하였고, 모두 본선부에서 지체가 발생한다고 정의를 하였다. ZONE 1에서 ZONE 4 또는 ZONE 6으로 가는 지체링크는 링크 24 → 9, 링크 9 → 23, 링크 23 → 5로 정의 하였으며, ZONE 4에서 ZONE 1로 통행하는 차량의 경우에는 링크 5 → 23, 링크 23 → 9, 링크 9 → 24가 지체 링크라고 정의를 하였다.

이 네트워크에서 운전자가 기점 ZONE 1에서 출발하는 차량들의 출발전 경로선택(Pre-Trip)은 본선부로 27 → 26 → 2 → 6c → 24 → 9 → 23 → 5 → 3 → 32 → 21이며, 정보의 영향으로 경로를 전환할 수 있는 대안경로의 수는 2개로, 대안경로 1은 27 → 26 → 2 → 6c → 25 → 15 → 7c → 7a → 22 → 5 → 3 → 32 → 21이며, 대안 경로 2는 27 → 26 → 2 → 6c → 25 → 15 → 7c → 7b → 29 → 12 → 28 → 3 → 32 → 21 이다. 네트워크 전체의 총 수요는 2,510이며, 총 노드의 수는 21개를 가지며, 총 링크의 수는 70개를 가진 네트워크이다. 모형 평가 네트워크는 다음 그림 2와 같다. 그리고 기본 OD 정보는 다음의 표 1에서 정리를 하였다.

본 연구에서는 가상 도로네트워크를 대상으로 도로망의 본선부에 대한 교통소통 정보상황이 VMS에 표출될 때 운전자 반응행태 모형을 개발하였다. 모형개발을 위한 운전자 반응행태 자료를 수집하기 위한 SP조사를 수행하였다. SP 설문항목을 간단하게 정리하면 운전자의 개인특성, 운전자의 운전 성향, VMS에 제공되는 소통상태 제공변수로 나누어질 수 있다. 여기서 운전자의 운전성향은 운전자 반응행태모형

표 1. OD(기-종점) 매트릭스

OD Matrix 1						
From 1	0	50	0	800	50	100
From 2	20	0	25	80	100	0
From 3	150	50	0	50	20	0
From 4	600	15	50	0	50	0
From 5	0	10	190	100	0	0
From 6	0	0	0	0	0	0

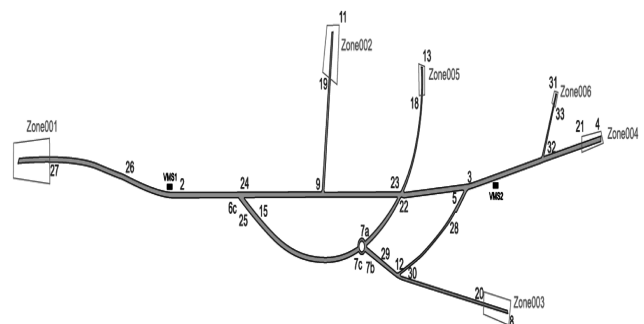


그림 2. 모형평가 네트워크

표 2. SP 조사 설계 항목

설문 유형	설문내용	대안의수	비 고	
양적 (Quantiative)	나이	5	1: 20-24, 2: 25-29,3:30대, 4: 40대, 5: 50대이상	
	운전경력	5	1: 1년이내, 2: 1-5년이내, 3: 5-10년이내, 4: 10년이상, 5: 없음	
	주 운행횟수	4	1: 주1-3회, 2: 주2-3회, 3: 주6회 이상, 4: 없음	
질적 (Qualitative)	개인특성	성별	2	1: 남, 2: 여
		운전면허증여부	2	1: 있음, 2: 없음
		차량보유	2	1: 있음, 2: 없음
	운전자 성향	교통정보 이용여부	4	1: 자주이용, 2: 가끔이용, 3: 거의이용하지 않음, 4: 기타
		교통정보의 유용성	4	1: 매우유용, 2: 비교적유용, 3: 유용하지 않음, 4: 기타
		출발전선택경로변경여부	4	1: 항상바꿈, 2: 가끔바꿈, 3: 상황에 따라 다름, 4: 원래선택경로 이용
		경로변경경험	4	1: 자주있음, 2: 가끔있음, 3: 거의없음, 4: 전혀없음
표출메시지	VMS 메시지 유형		메시지 유형개수 시나리오 4개 구성(표 5)	

에 영향을 미치는 요인으로 이용이 된다.

운전자들의 출발 전(Pre-Trip) 경로선택은 기본적으로 본선 부로 통행을 한다고 가정하고, 운전 중(En-Route)에는 VMS 에 표출되는 교통혼잡정보에 따라 경로를 변경한다고 가정을 하였다. VMS에 표출되는 교통정보는 본선부의 교통소통 정보로 혼잡상황에 대한 정보만을 제공한다고 가정하였다. 일반적인 경로선택시 효용함수에서 적용이 되는 통행시간과 통행거리에 대한 변수는 본 SP 설계에서는 고려를 하지 않았다. 왜냐하면 경로선택에 대한 운전자 행태 모형의 평가는 마이크로 시뮬레이션인 파라믹스를 이용하는데 이 시뮬레이션에서는 통행시간정보와 통행거리 정보를 실시간으로 얻을 수 없기 때문이다. 모형의 특성을 고려해 운전자 반응행태모형에 이용된 변수는 네트워크의 친밀성 여부와 운전자의 운전성향, 그리고 메시지 내용으로 3가지의 요인만을 모형에 반영하였다. SP 설계에 대한 내용을 다음의 표 2에

정리하였다.

여기서 운전자의 성향에 대한 변수를 나타내는 출발전에 선택한 경로의 변경여부와 VMS에 표출된 메시지의 영향으로 경로변경 경험에 대한 변수 그리고 VMS 메시지 유형은 실제 운전자 반응행태 모형에서 이용된다.

4.2 모형 구축

운전자 행태모형에서 적용된 변수로는 운전자가 VMS 정보가 제공되는 지역의 도로망에 대해서 얼마나 잘 알고 있는지를 나타내는 네트워크 친밀성 여부(Familiarity: FAML)와 운전자의 여러 가지 운전성향 중에서 운전중 경로변경에 어느 정도 적극적인가를 나타내는 경로변경의 적극성(Aggressiveness: AGGR), 그리고 VMS를 통해 제공되는 메시지 내용(Message Type: MESG)이다. 따라서 구축된 이 항로짓모형은 다음과 같다.

표 3. 응답분포

설문내용	대안의 수	빈도수(%)	설문내용	대안의 수	빈도수 (%)
성별	남자	63(61.8%)	출발전 경로변경 여부	항상 바꿈	7(6.9%)
	여자	39(38.2%)		가끔 바꿈	29(28.4%)
연령	20-24	29(28.4%)		상황에 따라 다름	52(51%)
	25-29	52(51%)		경로변경하지 않음	14(13.7%)
	30대	13(12.7%)	교통정보 이용정도	자주 이용	25(24.5%)
	40대	6(5.9%)		가끔 이용	42(41.2%)
50대이상	2(2%)	거의이용하지않음		31(30.4%)	
운전면허 소지여부	있음	88(86.3%)	기타	4(3.9%)	
	없음	14(13.7%)	교통정보의 유용정도	매우유용	19(18.6%)
현재 차량보유 여부	있음	39(38.2%)		비교적 유용	71(69.6%)
	없음	63(61.8%)		유용하지 않음	9(8.8%)
운전 경력	1년 이내	16(15.7%)		기타	3(2.9%)
	1-5년 이내	41(40.2%)	정보의 영향으로 경로변경경험	자주 있음	7(6.9%)
	5-10년 이내	15(14.7%)		가끔 있음	48(47.1%)
	10년 이상	7(6.9%)		거의 없음	31(30.4%)
	없음	23(22.5%)		전혀 없음	16(15.7%)
주 운행회수	1-3회	27(26.5%)	주 6회이상	14(13.7%)	
	3-5회	13(12.7%)	없음	48(47.1%)	

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-(ONE + \beta_1 \cdot FAML_i + \beta_2 \cdot AGGR_i + \beta_3 \cdot MESG_i)}}$$

4.3. 실험 시나리오

개발된 모형을 평가하기 위해 4개의 시나리오를 구성하였다. 먼저 표출주기는 5분과 10으로, 표출할 메시지 내용의 수는 4개와 8개로 구분하였다. 8개의 메시지 내용은 4개의 메시지 내용을 좀더 세분화하여 자세한 정보를 제공했을 때 운전자들의 경로변경이 어떻게 달라지며, 네트워크 전체의 효과에 어떠한 변화가 일어나는지를 알아보기위해 시나리오를 구성하였다.

위에서 설계한 SP 조사 설문에 대한 응답지는 총 102명이다. 설문방법은 교통을 전공한 사람들을 대상으로 인터넷 메일을 통해 설문지에 대해 설명을 하고, 메일을 통해 회신을 받아서 이루어졌다. 설문응답이 도출된 결과 응답한 사람의 분포는 위의 표 3과 같다.

표 4. 모형 평가 시나리오

구분	메시지 내용의 수	표출시간(분)
시나리오 1	4	5
시나리오 2	4	10
시나리오 3	8	5
시나리오 4	8	10

표 5. VMS 교통정보 메시지의 유형 및 시나리오

구분	메시지 유형 수	정성/정량	네트워크 친밀성여부	메시지 표출내용
시나리오 1	4	정성적	도로망을 잘 알고있음	소통원활
				부분지체
				혼잡
				사고정보
시나리오 2	4	정성적	도로망을 모름	소통원활
				부분지체
				혼잡
				사고정보
시나리오 3	8	정성적	도로망을 잘 알고있음	매우소통원활
				소통원활
				약간소통원활
				정상소통
				부분지체
				지체
				극심한 지체
				매우 극심한 지체
시나리오 4	8	정성적	도로망을 모름	매우소통원활
				소통원활
				약간소통원활
				정상소통
				부분지체
				지체
				극심한 지체
				매우 극심한 지체

가상의 시나리오는 총 4개로 구성이 되었고, 시나리오 구분은 네트워크의 친밀성 여부와 메시지 유형의 개수에 따라 구분 되어졌다. 메시지 내용은 실시간으로 유전알고리즘에서 최적화된 해의 값이 이용되어진다. 네트워크 친밀성은 시뮬레이션을 할 때 기종점통행량에 대한 운전자 차량의 형태를 비율형태로 반영된다. 값이 0이면 네트워크의 상황을 잘 모르는 운전자를 나타내며, 값이 1일 경우는 네트워크에 대한 친밀성이 있는 운전자를 나타낸다. 경로변경의 적극성 정도는 1~8의 범위를 가지며, 1에 가까울수록 해당 운전자가 경로변경에 소극적인 것을 나타내며 8에 가까울수록 운전중 경로변경에 적극적인 것을 표시한다.

위의 모형에서 적용되는 파라미터 ONE, β_1 , β_2 , β_3 는 102명을 대상으로 SP 설문을 수행한 데이터를 분석하였다. SP 설문 응답지는 총 102으로 응답자 한명이 시나리오별로 응답을 하였으므로 메시지 내용의 수가 4개일 경우 총 분석할 데이터의 수는 102명(응답자)×2개(시나리오)×4개(메시지 내용 개수)로 총 816개의 분석데이터를 가지며, 메시지 내용의 개수가 8개일 경우는 102명(응답자)×2개(시나리오)×8개(메시지 내용 개수)로 총 1,632개의 데이터를 분석데이터로 이용이 되어졌다. 설문데이터 내용에 대한 결과를 정리하면 다음과 같다.

표 6. 시나리오 1,2의 설문데이터

Subject	Familiarity (0,1)	Aggressiveness (1~8)	Message Type(1~4)	Choice
1	0	4	3	0
2	0	1	4	1
.
816	1	4	2	0

표 7. 시나리오 3,4의 설문데이터

Subject	Familiar (0,1)	Aggressiveness (1~8)	Message Type(1~8)	Choice
1	0	8	2	0
2	0	1	7	1
.
1632	1	7	8	0

표 8. 모형 1(메시지 내용 4개) LIMDEP 수행결과

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio
ONE	-6.44036	0.527733	-12.204
FAML	0.958272	0.218585	4.384
AGGR	-0.04173	0.066911	-0.624
MESG	2.22056	0.145138	15.3

표 9. 모형 2(메시지 내용 8개) LIMDEP 수행결과

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio
ONE	-11.4952	0.686694	-16.74
FAML	1.165544	0.199061	5.855
AGGR	0.077902	0.060108	1.296
MESG	1.816063	0.098848	18.372

4.3.1 모형

SP 설문 자료를 이용하여 이항로짓모형의 매개변수를 추정하기 위해 가장 광범위하게 쓰이는 Econometric 소프트웨어인 LIMDEP을 사용하였다. 분석결과 추정된 매개변수 값은 다음 표 8과 표 9와 같다.

5. 결과 해석

상기에서 가상의 네트워크를 대상으로 최적화된 주기별 동적 VMS 메시지 내용에 따른 운전자 반응 행태모형을 평가하였다. 가상 네트워크의 규모는 비교적 작고, 노드와 링크 수도 비교적 작은 네트워크로 구성되었다. 모형평가는 4개의 시나리오를 작성하여 실시하였고, 시나리오는 표출주기와 메시지 내용의 개수로 구분하였다. 최적화를 위한 유전알고리즘 모형에서 정의된 파라메타로는 세대수(Generation Number)는 150, 염색체수(Population Size)는 10, 돌연변이 확률을 0.5로 초기화하였다.

그리고 개발된 운전자 반응행태모형에 영향을 미치는 요인인 운전자들의 네트워크 친밀성 여부(Familiarity)와 운전자들의 운전성향 즉 VMS에 제공된 정보 내용에 반응하는 운전자의 반응정도(Aggressiveness), 그리고 VMS에 표출할 주기별 메시지의 조합이 경로변경에 얼마나 영향을 미치는지에 대한 결과를 분석하기위해 주기별 운전자 경로전환율에 대해서 정리하였다.

유전알고리즘의 정지기준은 최대반복수로 하였고, 반복수에 따라 목적함수 값의 수렴여부를 파악해야 하며 시나리오별 수렴 결과 그래프를 아래에 제시하였다. 유전알고리즘의 목적함수는 파라메타 값이나 돌연변이율 등에 의해 달라지나 일반적으로 초기에만 수렴경사가 크고 일정 반복수 후에는 미세하게 목적함수 값을 감소 발생시키는 해를 전역적으로 탐색해 나간다. 이 모형의 적합도 값인 총 통행시간이 계속 작아지는 것을 확인할 수 있으며, 비교적 최적해로 수렴해 가는 것으로 나타났다. 아래에는 4개의 시나리오에 대해서 분석한 결과를 제시하였다.

각 시나리오별 분석결과 총 통행시간을 비교했을 때 VMS가 설치되지 않았을 경우 총 통행시간은 646,074(초)로 상당히 높게 나타났다. 4개의 시나리오 모두 비교적 최적의 적합도 값을 도출해 내는 것을 알 수 있고, 총 통행시간은 모두 유사한 값으로 나타났다.

위의 결과 값을 분석했을 때 표출주기가 짧을수록 메시지 내용의 개수가 적은 것은 좋고, 표출주기가 길수록 메시지 내용의 개수가 많은 것이 좋다는 것을 알 수 있었다.

시나리오 1의 최적화에 의해 제시된 주기별 최적 메시지 조합과 운전자 행태모형에 영향을 미치는 요인들로 인해 경로를 변경하는 주기별 경로전환율을 살펴보면 VMS 1, VMS 2 모두 경로전환율의 변동(Fluctuation)이 심한 것을 볼 수 있다. 결과를 보면 지체의 정도가 심하면 즉 메시지 내용이 4에 가까울수록 경로전환율이 높은 것을 알 수 있으며, 1에 가까울수록 경로를 변경하는 전환율이 낮음을 알 수 있다. 시나리오 1에서의 메시지 내용이 4일 경우 경로전환율은 54.2%~58.8%로 가장 높았고, 3일 경우는 14%~56.4%로 나타났고, 2일 경우는 2%~36.8%로, 1일 경우에는

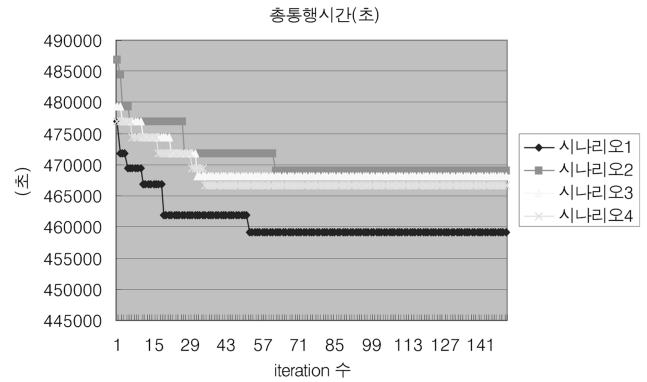


그림 3. 최적해 수렴과정

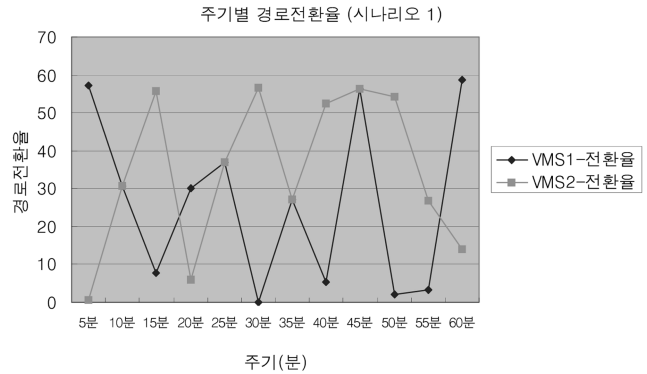


그림 4. 시나리오 1의 주기별 경로전환율

0%~6%의 경로전환율을 보이고 있었다. 메시지 내용은 같지만 주기별 경로전환율이 다른 결과를 나타내는 이유는 주기별로 경로변경에 영향을 미치는 운전자들의 네트워크 친밀성 여부(Familiarity)와 운전자의 운전 성향(Aggressiveness)의 요인 때문이다. 메시지 내용이 경로전환율에 영향을 미치는 정도가 가장 높고, 나머지 요인들은 영향을 미치는 정도가 아주 미미한 것으로 나타났다. 위의 그림 4에서 결과에 대해 정리하였다.

시나리오 1의 주기별 경로전환율에 대해서 정리를 하면 메시지 내용 중 교통사고 정보를 제공했을 때 58.8%로 가장 높았고, 소통원할 정보를 제공했을 때 경로를 전혀 변경하지 않는 0%인 경우도 결과로 나타났다.

6. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 운전자 행태 모형을 개발하기위해 최적화된 메시지의 조합을 VMS에 표출을 했고, 개발된 모형을 평가하기위해 교통분석 시뮬레이션을 적용하였다. 개발된 모형은 무엇보다도 모형을 분리하여 최적화, 운전자 행태, 배치제어의 3가지 모듈단위로 개발이 되어져 모듈단위로 수정이 용이하여 대체가 쉬운 장점이 있어 향후 모듈단위로 다양한 연구 수행이 가능할 것으로 사료된다. 향후과제로는 본 모형에서는 모든 차량은 차내 단말장치가 없다고 가정하여 수행하였으므로 향후 차량들을 클래스로 구분하여 모형을 시뮬레이션 할 필요가 있다. 또한 개발된 모형의 평가는 가상의 작은 규모의 네트워크를 대상으로 수행하였고, 모형평가 결과 작은 규모의 네트워크에서도 VMS 설치 전후에 대한 효과는 상당한 차이를 보였다. 좀더 큰 규모에서의 모형평가가

필요하며, 현실을 반영할 수 있는 네트워크를 대상으로 모형의 평가가 이루어져야 한다. 무엇보다도 도로교통망의 효율적 운영을 위한 최적화된 동적 VMS 메시지 조합을 통해 운전자들의 반응행태 모형을 개발한 것으로 메시지의 내용을 매주기별로 최적화기법을 새롭게 적용했다는데 의의가 있다고 볼 수 있다.

참고문헌

공성곤, 김인택, 박대희외 공역(2002) *유전자 알고리즘*, 그린.
 김강수(2001) Stated Preference 조사 설계 및 분석 방법론에 대한 연구(1단계), 교통개발연구원.
 김강수(2002) Stated Preference 조사 설계 및 분석 방법론에 대한 연구(2단계), 교통개발연구원.
 Ben-Akiva (1984) *Dynamic Network Models and Driver information Systems*.
 Ben-Akiva, M. and Lerman, S. R. (1985) *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Peeta, S., Ramos, J. L., and Pasupathy, R. (2000) Content of Variable Message Signs and On-line Driver Behavior. *In Transportation Research Record 1725*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 102-108.
 Peeta, S. and J. W. Yu, (2004) Adaptability of a hybrid route choice model to incorporating driver behavior dynamics under information provision. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, Vol. 34, No. 2, pp. 243-256.
 Peeta, S. and Yu, J. W. (2002) Data-consistent fuzzy approach for online driver behavior under information provision, *Transportation Research Record 1803*, Paper No 02-3083.
 Peeta, S., Ramos, J. L., and Shyam Gedela (2000) *Providing real-time traffic advisory and route guidance to manage Borman incidents on-line using the Hoosier Helper Program*, FHWA/IN/JTRP-2000/15.
 Wardman, M., Bonsall, P. W., and Shires, J. D. (1997) Driver response to variable message signs: A stated preference investigation. *Transportation Research, Part C*, Vol. 5, No. 6, pp. 389-405.

(접수일: 2006.2.9/심사일: 2006.2.23/심사완료일: 2006.4.3)