

Bi-Level 프로그래밍 기법을 이용한 최적의 VMS 통행시간 정보제공 전략

Strategy for Providing Optimal VMS Travel Time Information Using Bi-Level Programming

백남철* · 김병관** · 이상협***

Baik, Nam Cheol · Kim, Byung Kwan · Lee, Sang Hyup

Abstract

The purpose of this study is to minimize negative effect of VMS travel time information service by sensitivity analysis, which forecasts the change in link traffic volume. As a result, strategies for providing travel information that can change driving patterns for minimizing travel time were found. The framework for analysis is recently expanded with the application of game theory. According to the experiment, the algorithm generated for travel time information service reduces total travel time and yields travel patterns that is very close to the system optimization. Also, this study found that the route the travel time service information is provided about could play the important role.

Keywords : VMS, bi-level problem, sensitivity analysis, travel time information, game theory

요 지

본 연구에서는 교통정보 제공의 부정적 영향을 최소화하면서 VMS 통행시간 정보를 제공하기 위하여 민감도 분석을 이용하여 링크 통행시간의 변화에 따른 링크 통행량의 변화를 추정하여 총 통행시간이 최소로 될 수 있도록 도로 이용자의 통행패턴을 유도하기 위한 정보제공 전략을 제시하였다. 이러한 분석의 틀은 최근에는 게임이론으로 확장되어 생각되어지고 있다. 실험의 결과에서 제시된 통행시간 정보제공 알고리즘이 총 통행시간을 감소시킬 수 있고 시스템 최적에 근접한 통행패턴을 유도할 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 정보 제공시 어떠한 경로의 통행시간 정보를 제공하는가가 중요한 문제가 될 수 있음을 확인하였다.

핵심용어 : VMS, 바이레벨 문제, 민감도 분석, 통행시간정보, 게임이론

1. 서 론

도로망상에는 여러 개의 대안 경로가 존재하고 도로망 운영의 효율화를 위해서는 교통정보 제공이나 제어를 통한 대안 경로간의 적절한 통행배분을 이루는 것이 필요하다. 이러한 적절한 통행배분을 위한 정보제공 수단으로 VMS를 활용할 수 있다. 이러한 VMS를 통한 교통정보 제공은 도로 이용자 개개인의 요구에 따른 정보제공이 아닌 VMS가 설치된 도로를 이용하는 모든 이용자에게 동일한 정보를 제공하는 특성에 의해 과도반응(Overreaction)이나 통행집중(Concentration) 같은 부정적인 영향이 발생하게 된다(Ben-Akiva, DePalma and Kaysi, 1991).

과도반응은 운전자가 제공된 정보에 민감하게 반응함으로 써 다른 운전자들의 잠재적 반응행태를 충분히 고려하지 못

하여 도로의 혼잡을 한 곳에서 다른 곳으로 이전시키는 현상이고 통행집중은 비슷한 선호를 가진 운전자들을 동일한 출발시간대에 동일한 경로상에 집중되는 현상을 말한다. 이러한 부정적인 효과들은 정보의 제공이 오히려 심각한 혼잡을 야기할 우려가 있으며 따라서 도로 운영자가 얼마나 많은 운전자에게, 어떻게, 어떤 수준으로 정보를 제공해야 하는가에 대한 전략을 구축해야 할 필요가 있다는 점을 시사한다. 본 연구의 주요 목적도 이러한 부정적 영향에 대응하기 위한 최적의 통행시간 정보 제공을 위한 전략을 개발하는 것이다.

따라서 본 연구에서는 일반적인 교통상황에서 VMS를 통하여 특정 경로의 통행시간 정보를 제공할 때 부정적 영향을 막기 위하여 도로 이용자의 경로선택을 도로 전체 시스템 비용을 최소화하도록 유도하였다. 이러한 과정에서 도로

*한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원 (E-mail : nc100@kict.re.kr)

**한국건설기술연구원 (E-mail : cameron01@kict.re.kr)

***정회원 · 교신저자 · 감시원 평가연구원 (E-mail : infohi2@hanmail.net)

운영자와 도로 이용자 사이의 반응을 고려하기 위하여 민감도 분석을 적용하였다.

VMS를 통하여 교통정보를 제공할 경우 지금까지의 주요 연구는 VMS 제공 정보에 따른 도로이용자의 경로 전환율을 고려하는 것이었으나 본 연구에서는 VMS 정보에 따른 경로 전환율을 따로 계산하는 것이 아니라 바이레벨 프로그래밍을 이용하여 VMS 통행시간 정보에 따른 링크 통행량의 변화를 고려하여 최적의 통행시간 제공 전략을 개발하였다.

이를 위하여 도로 운영자 측면에서 시스템 비용을 최소화하기 위한 최적화 문제를 상위수준 문제로 하고, 도로 이용자 측면의 통행패턴을 묘사하기 위한 결정적 사용자균형(DUE) 문제를 하위수준 문제로 설정한 두 개의 최적화 문제가 결합된 바이레벨문제(Bi-level Problem)를 고려하였다.

이러한 바이레벨 문제를 설정하여 하위수준의 사용자균형 통행패턴을 운영자가 희망하는 통행패턴으로 전환하기 위하여 VMS가 제공하여야 할 최적의 통행시간 정보를 결정하기 위한 전략을 개발하였다. 즉, VMS를 통한 정보제공을 도로 운영을 위한 전략으로 해석하였고 VMS에 의해 제공되는 최적 통행시간 정보를 반영하기 위하여 링크 비용함수에 오차항을 추가하였다.

통행시간 정보에 따른 도로 이용자의 반응을 고려하기 위하여 일반적인 바이레벨 문제를 풀기 위해 적용되는 상위문제와 하위문제를 평행하게 보고 비교적 쉽게 상호 일관된 해(mutually consistent solution)를 찾는 방법이 아닌, 도로 운영자가 교통 분야에서 다루고자하는 제반 교통정책을 수행하고자 할 때 도로 이용자의 반응·행태를 예상하고 어떤 정책을 결정한다는 것이 보다 합리적이고 현실적이라는 생각 하에 문제를 평행하게 보지 않고 상위수준 문제에서 하위수준 문제의 의사결정변수를 고려해서 해를 도출하기 위한 민감도 분석을 적용하였다.

본 연구에 있어서 연구의 목적이 VMS 통한 최적 통행시간 정보제공 전략을 위한 알고리즘을 개발하는 것이므로 실제 도로망의 여러 가지 제약조건을 단순화시킨 가상 도로망을 사용하였고, 모든 통행자는 동일한 계층이라 간주하고 동일한 시간가치를 갖고 있다고 가정하였다.

2. 이론적 고찰

도로망설계문제(NDP: Network Design Problem)와 같이 교통네트워크 분석을 요하는 문제에는 두 개의 문제가 서로 결합되어진 최적화 문제가 발생한다. 이렇게 결합된 두 개의 문제는 서로의 최적화 결과물인 최적 해를 도출하고 이 각각의 최적 해를 서로의 입력 자료로 요구하는 상호작용이 존재한다.

바이레벨 문제는 상위수준 문제와 하위수준 문제로 나눌 수 있고 상위수준과 하위수준 의사결정자는 자신의 목적함수를 최적화하기 위해서 자신의 전략을 선택해야 하는 계층적 구조를 가지고 있다. NDP 문제는 일반적으로 크게 기존 도로망에 새로운 링크를 추가·폐쇄하는 문제를 다루는 이산형 도로망설계문제(Discrete Network Design Problem)와 기존 도로망의 링크의 용량을 증대/감소하는 연속형 도로망설계문제(Continuous Network Design Problem)로 나눌 수

있다. 또한, 이산형과 연속형의 혼합형의 경우가 있을 수 있고 이를 혼합형 도로망설계문제(Mixed Network Design Problem)라 한다.

두 개의 결합문제를 푸는 바이레벨 문제는 두 가지 접근법으로 분류할 수 있는데 그 중 전통적인 접근법은 상위수준 문제와 하위수준 문제를 평행하게 보고 상호 일관된 해(mutually consistent solution)를 찾는 것이고 또 다른 하나의 접근법은 두 문제를 평행하게 보지 않고 상위수준 문제에서 하위수준 문제의 의사결정변수를 고려해서 해를 도출하는 것이다(임강원, 임용택, 2003; 임용택, 2004; 최기주, 장정아, 2004).

이러한 바이레벨 형태의 두 개의 최적화 문제가 결합된 문제는 게임 이론으로 확장하여 생각할 수 있다. Fisk(1983)는 교통계획과 운영에 관련하여 두 개의 행태적 의사결정모형이 응용되어질 수 있다 하였는데, 하나는 Nash noncooperative game이고 다른 하나는 Stackelberg game이다. 위에서 전자의 방법이 Nash 비협력 게임에 해당되고 후자의 방법이 leader-follower 게임 또는 Stackelberg 게임에 해당된다.

일반적으로 바이레벨 문제는 다음과 같은 수학적식으로 표현할 수 있다.

상위수준 목적함수

$$\underset{p}{\text{minimize}} F(p, v(p)) \quad (1)$$

$$\text{subject to } G(p, v(p)) \leq 0 \quad (2)$$

하위수준 목적함수

$$\underset{v}{\text{minimize}} f(p, v) \quad (3)$$

$$\text{subject to } g(p, v) \leq 0 \quad (4)$$

여기서, F 와 p 는 상위수준 의사결정자의 목적함수와 결정변수, G 는 상위수준 목적함수의 제약식, f 와 v 는 하위수준 의사결정자의 목적함수와 결정변수, g 는 하위수준 목적함수의 제약식이다.

식 (1)에서의 $v(p)$ 를 response 또는 reaction function이라 하는데, 이 $v(p)$ 는 특정한 값이 될 수도 있고 p 에 대한 v 의 함수 값이 될 수 있다. $v(p)$ 가 값으로 주어질 경우 Nash 비협력 게임이 되고 함수로 주어질 경우 Stackelberg 게임이 된다고 볼 수 있다.

3. VMS를 통한 최적 통행시간 정보제공 전략 알고리즘 개발

3.1 목적함수 설정

상위수준 목적함수는 VMS를 통해 통행시간 정보를 제공하는 운영자의 입장을 나타내며, 여기서는 네트워크상의 총 통행시간을 최소화하는 것을 운영자의 목적으로 하였다. 즉, 도로이용자의 통행행태를 총 통행시간을 최소화할 수 있는 통행패턴으로 유도하기 위한 통행시간 정보를 결정하기 위

한 목적함수를 설정하였다. 상위수준 목적함수를 어떻게 설정하느냐에 따라서 VMS 운영전략이 결정되어지는데 총 통행시간을 최소화하는 목적함수를 설정하였다는 것은 System Optimization 전략 측면에서의 정보제공으로 볼 수 있다.

상위수준 목적함수는 식 (5)와 같다.

$$\min_{\theta} \sum_a \tau_a(v_a) v_a \theta \quad (5)$$

$$\text{subject to } -100 \leq \theta \leq 100 \quad (6)$$

여기서, $\tau_a(v_a)$ = 링크 a의 통행량에 따른 실제 통행시간

$$v_a(\theta) = \theta \text{에 따른 링크 a의 통행량}$$

앞에서 언급하였듯이 도로 이용자의 통행패턴을 도로 운영자가 원하는 통행패턴으로 경로간의 적절한 통행배분을 이루기 위하여 VMS를 통해 제공되는 통행시간은 다음과 같이 링크 비용함수의 변형을 통하여 제공된다.

정보제공 링크

$$t_a(v) = \tau_a(v) + \tau_a(v) \cdot \frac{\theta}{100} \quad (7)$$

일반 링크

$$t_a(v) = \tau_a(v) \quad (8)$$

즉, VMS를 통해 제공되는 링크의 통행시간은 완전한 정보가 아닌 $\theta\%$ 만큼의 오차가 적용되어 제공되어 진다.

하위수준 목적함수는 도로이용자의 통행행태를 묘사하기 위하여 결정적 사용자 균형모형이 적용되었다.

$$\min_v \sum_{a \in A} \int_0^{f_a} t_a(x) dx \quad (9)$$

$$\text{subject to } \sum_{r \in R_w} f_r = d_w, w \in W \quad (10)$$

$$\sum_{r \in R} f_r \delta_{ar} = v_a, a \in A \quad (11)$$

$$f_r \geq 0, r \in R \quad (12)$$

여기서,

t_a = 링크 a의 통행비용함수

$R_w = w \in W$ 인 O/D쌍 사이의 경로집합

$f_r = r \in R$ 인 경로의 통행량

δ_{ar} = 만약 경로 r이 링크 a를 이용하면 1, 그렇지 않으면 0

3.2 민감도 분석

민감도 분석은 통행시간 정보의 오차(θ)에 대한 링크통행량, $v(p)$ 의 미분계수를 계산하기위해 적용된다. 이 계산된 미분계수의 정보를 이용하여 θ 에 대한 링크통행량을 1차 Taylor series로 선형 근사화(linear approximation)한다. 이 선형 근사화한 함수를 반응함수(reaction function)라고 한다.

본 연구에서 θ 에 대한 링크교통량의 미분계수는 알고리즘 내에서 반복과정을 통해서 경험적으로 구해지는데 다음과 같다.

① $\theta = \theta^n$ 에 대하여 하위수준의 통행배정을 수행하여 v_a^n 을

구한다.

② $\Delta\theta = 0.01$ 같은 작은 값을 적용하여 $\theta' = \theta^n + 0.01$ 에 대하여 다시 한 번 하위수준의 통행배정을 수행하여 v_a' 를 구한다.

③ 각 링크에 대하여 경험적 민감도분석의 수행에 의하여 미분계수 Q_{v_a} 를 다음과 같이 구한다.

$$Q_{v_a} = \frac{\Delta v_a}{\Delta \theta} = \frac{v_a' - v_a^n}{\theta' - \theta^n} = \frac{v_a' - v_a^n}{0.01} \quad (13)$$

④ 미분계수 Q_{v_a} 를 이용하여 링크교통량 $v_a(\theta)$ 의 다음과 같은 1차 Taylor series의 선형 근사함수 또는 반응함수를 구한다.

$$v_a(\theta) = v_a^n + Q_{v_a}(\theta - \theta^n) \quad (14)$$

여기서, n = iteration 수

3.3 알고리즘 구축

앞 절에서 제시한 상위목적함수와 하위목적함수를 두고 민감도 분석을 수행하는 바이레벨 문제의 풀이과정은 다음과 같다.

(0단계) Initialization ($n=0$)

$$\theta^n = 0$$

(1단계) $n = n+1$

(2단계) θ^{n-1} 에 대한 통행배정 수행(1차)

하위수준의 $v_a^{n-1}(\theta^{n-1})$ 을 구한다.

(3단계) $\theta^{n-1} = \theta^{n-1} + D\theta$ 에 대한 통행배정 수행(2차)

하위수준의 $v_a^{n-1}(\theta^{n-1})$ 를 구한다.

(4단계) 민감도계수 산출

$$Q_{v_a} = \frac{dv_a}{d\theta} = \frac{\Delta v_a}{\Delta \theta} \approx \frac{v_a^{n-1} - v_a^{n-2}}{\theta^{n-1} - \theta^{n-2}}$$

$$\therefore v_a^n(\theta) = v_a^{n-1}(\theta^{n-1}) + Q_{v_a}(\theta - \theta^{n-1})$$

(5단계) auxiliary solution search

(4단계)의 선형근사함수를 이용하여 상위목적함수를 최소화하는 예비해 y^n 값을 찾음.

(6단계) θ^n 계산

$$\theta^n = \theta^{n-1} + a^n(y^n - \theta^{n-1}) \text{을 계산한다.}$$

(7단계) 수렴성 검사

$$\frac{|\theta^n - \theta^{n-1}|}{\theta^{n-1}} \leq \epsilon \text{이면 end, 그렇지 않으면 1단계 반복}$$

4. 실험 및 평가

4.1 2-링크 네트워크

이번 예제는 위에서 제시한 알고리즘을 설명하기 위한 것이다. 그림 1은 2개의 링크로 구성된 간단한 네트워크를 보여준다. VMS를 통해 통행시간 정보를 받는 링크 1과 그렇지 않은 링크 2의 실제 통행비용과 VMS 통행시간 정보에 의해 도로 이용자가 인지하는 통행비용은 다음과 같고 노드 1로 유입되는 교통량을 안다는 가정으로 분석 네트워크의 통행수요(D)는 8이다.

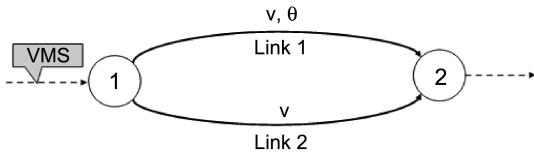


그림 1. 2-링크 네트워크

$$\tau_1 = 2 + v_1 \quad t_1 = 2 + v_1 + (2 + v_1) \times \frac{\theta}{100} \quad (15)$$

$$\tau_2 = 1 + 2v_2 \quad t_2 = 1 + 2v_2 \quad (16)$$

$$D = 8$$

알고리즘을 순차적으로 적용하여 보면 다음과 같다. $\theta=0$ 으로 하위수준 통행배정(1차)을 수행하여 다음과 같이 각 링크의 통행량을 얻는다.

$$2 + v_1 = 1 + 2v_2 \\ \therefore v_1 = 5, \quad v_2 = 3$$

민감도분석을 위해 $\Delta\theta = 0.01$ $\theta_1 = \theta + \Delta\theta = 0.01$ 이 되고 링크 비용함수는 다음과 같이 된다.

$$t_1 = 2.0002 + 1.0001v_1 \\ t_2 = 1 + 2v_2$$

이 링크 비용함수로 통행배정(2차)을 수행하여 링크 통행량을 다시 한번 계산한다.

$$\min_v \int_0^{v_1} (1.0001x + 2.0002)dx + \int_0^{v_2} (2x + 1)dx \\ \therefore v_1 = 4.9998, \quad v_2 = 3.0002$$

2번의 통행배정결과를 이용하여 링크통행량의 미분계수를 얻을 수 있다.

$$Q_{v_1} = \frac{\sigma v_1}{\sigma\theta} = \frac{4.9998 - 5}{0.01} = -0.023$$

$$Q_{v_2} = \frac{\sigma v_2}{\sigma\theta} = \frac{3.0002}{0.01} = 0.023$$

민감도 분석을 통하여 얻어진 미분계수로 각 링크통행량의 다음 1차 Taylor의 선형근사식 즉, 반응함수를 얻는다.

$$v_1\theta = v_1 + Q_{v_1}(\theta - 0) = 5 - 0.023\theta$$

$$v_2\theta = v_2 + Q_{v_2}(\theta - 0) = 3 + 0.023\theta$$

이 선형근사식을 사용하여 상위문제를 풀면 다음과 같은 θ 값을 얻을 수 있다.

$$\min_{\theta} \sum_a \tau_a(v_a)\theta \\ = (7 - 0.023\theta)(5 - 0.023\theta) + (7 + 0.046\theta)(3 + 0.003\theta) \\ \therefore \theta = -7.2465$$

이상의 결과를 정리하면 표 1과 같다.

실험결과에 의하면 VMS를 통해 링크 1의 통행시간의 -7.247% 만큼의 오차를 주어 통행시간 정보를 제공할 경우 도로 이용자의 통행패턴은 정확하게 시스템 최적상태의 통행패턴으로 전환되는 것을 볼 수 있다.

표 1. 2-링크 네트워크의 실험결과

	$\theta=0(\%)$	$\theta=-7.247(\%)$	시스템최적
v_1	5	5.167	5.167
v_2	3	2.833	2.833
τ_1	7	7.167	7.167
τ_2	7	6.667	6.667
$\sum_a v_a \tau_a$	56	55.917	55.917

4.2 10-링크 네트워크

네트워크를 좀 더 확장하여 10개의 링크로 구성된 그림 2의 네트워크에 적용하였다. 통행수요는 노드 1로 유입되는 교통량(1→7)이 200, 노드 2로 유입되는 교통량(2→7)이 180이라고 가정하였다. 여기서는 VMS를 통해 특정 경로상의 통행시간 정보를 제공할 경우의 두 가지 대안을 설정하여 적용하였다.

링크의 비용함수는 식 (19)의 BPR식을 사용하였고, 마찬가지로 VMS를 통해 통행시간 정보가 제공되는 링크와 그렇지 않은 링크의 비용함수는 식 (17), 식 (18)과 같다. 비용함수의 입력자료는 표 2와 같다.

링크비용함수

- 정보제공 링크

$$t_a(v_a) = \tau_a(v_a) + \tau_a(v_a) \cdot \frac{\theta}{100} \quad (17)$$

- 일반 링크

$$t_a(v_a) = \tau_a(v_a) \quad (18)$$

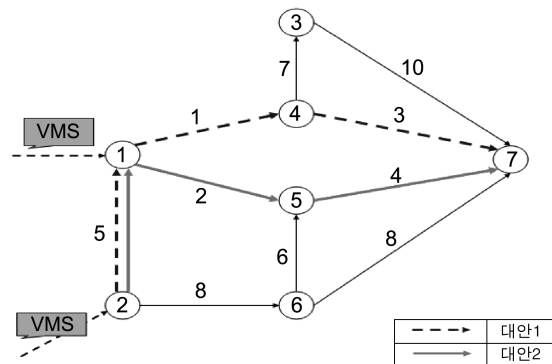


그림 2. 2-링크 네트워크

표 2. 10-링크 네트워크의 링크 입력자료

링크 번호	t_{a0}	c_a
1	22	135
2	18	150
3	20	130
4	18	150
5	15	120
6	10	135
7	13	120
8	22	135
9	25	135
10	20	120

$$\tau_a(v) = \text{실제통행시간} \\ = t_{a0} \{1 + 0.15(v_a/c_a)^4\} \quad (19)$$

t_{a0} = 링크 a의 자유통행 비용

c_a = 링크 a의 용량

이러한 기본 입력자료를 가지고 알고리즘을 적용해 보았을 때 대안 1과 대안 2의 값과 상위수준 목적함수의 총 통행시간이 수렴해가는 것을 그림 3, 4, 5, 6을 통해 보여주고 있다.

대안 1의 경우 7번째 반복에서 $\theta = -12.207\%$, 총통행시간은 18218.965로 수렴하였다. 대안 2의 경우는 9번째 반복에

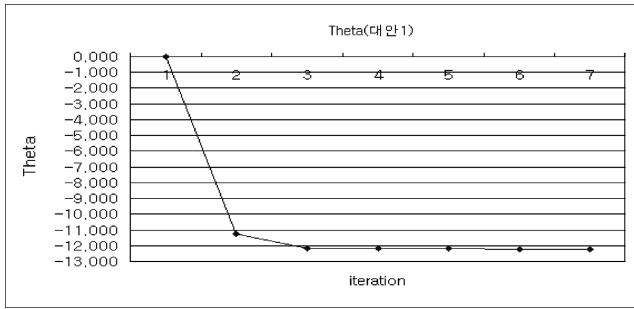


그림 3. 대안1의 값 변화

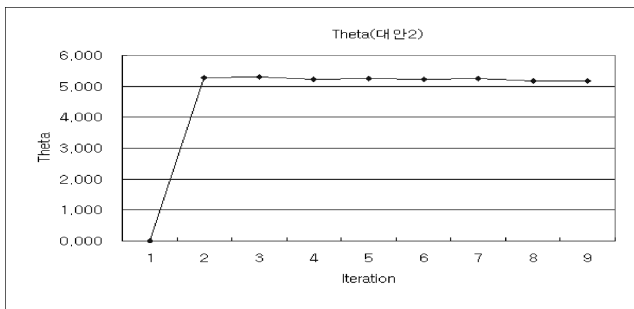


그림 4. 대안2의 값 변화

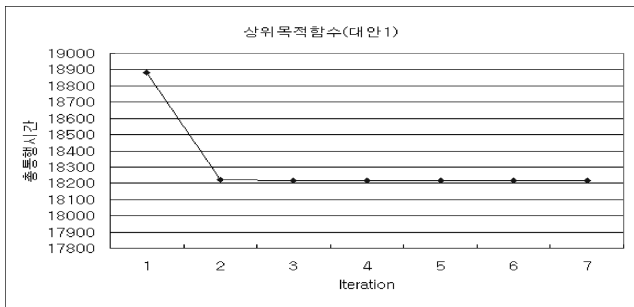


그림 5. 대안1의 상위목적함수 총 통행시간 변화

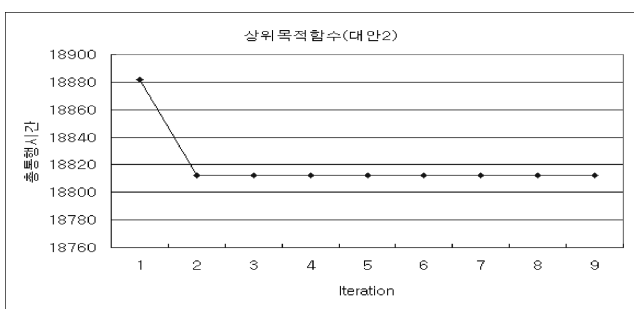


그림 6. 대안2의 상위목적함수 총 통행시간 변화

서 $\theta = 5.184\%$, 총통행시간은 18812.481로 수렴하였다. 이상의 결과를 표 3과 같이 요약하였다.

표 3. 10-링크 네트워크의 실험결과

변수	VMS 미제어	대안1	대안2	시스템최적
$\theta(\%)$	0	-12.207	5.184	-
$v_1(v/c)$	73(0.540)	113(0.836)	81(0.603)	112(0.830)
$v_2(v/c)$	158(1.051)	137(0.915)	146(0.970)	141(0.940)
$v_3(v/c)$	73(0.540)	113(0.836)	81(0.603)	112(0.830)
$v_4(v/c)$	158(1.051)	137(0.915)	146(0.970)	141(0.940)
$v_5(v/c)$	31(0.255)	50(0.419)	27(0.224)	53(0.442)
$v_6(v/c)$	0(0.000)	0(0.000)	0(0.000)	0(0.000)
$v_7(v/c)$	0(0.000)	0(0.000)	0(0.000)	0(0.000)
$v_8(v/c)$	149(1.107)	130(0.961)	153(1.136)	127(0.940)
$v_9(v/c)$	149(1.107)	130(0.961)	153(1.136)	127(0.940)
$v_{10}(v/c)$	0(0.000)	0(0.000)	0(0.000)	0(0.000)
$\sum_a v_a \tau_a$	18881.584	18218.965	18812.481	18204.3476

또한, 대안별로 설정된 경로의 실제 링크 통행시간과 가 반영되어 제공되는 VMS 통행시간은 표 4와 같다.

표 4. 가 반영된 VMS 표출 통행시간

비고	실제통행시간	VMS 제공 통행시간
대안 1 (링크1+3+5)	23.616+21.708+15.069 =60.3928	20.733+19.058+13.230 =53.021
대안 2 (링크2+4+5)	20.390+20.390+15.006 =55.486	21.447+21.447+15.784 =58.678

위의 결과에서 VMS 미제어시 링크 2, 4, 8, 9의 V/C가 1을 넘어 혼잡이 발생하지만 대안 2의 경우 링크 2, 4는 V/C가 1을 넘지 않게 되고, 대안1의 경우 V/C가 1을 넘는 링크가 존재하지 않게 된다. 또한 대안 2의 경우는 정보제공의 효과가 미비하지만, 대안 1의 경우 통행시간 정보제공으로 인해 도로이용자의 통행패턴과 네트워크상의 총 통행시간이 시스템 최적상태에 거의 근접하게 된다. 이를 보면 VMS를 통해 통행시간정보를 제공할시 어떠한 경로의 통행시간을 제공하는가가 중요한 문제가 될 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 교통정보 제공의 부정적 영향을 최소화하면서 VMS 통행시간 정보를 제공하기 위하여 민감도 분석을 이용하여 링크 통행시간의 변화에 따른 링크 통행량의 변화를 추정하여 총 통행시간이 최소로 될 수 있도록 도로 이용자의 통행패턴을 유도하기 위한 정보제공 전략을 제시하였다. 이러한 분석의 틀은 게임이론으로 확장되어 생각되어지고 있으며 최근 많은 관심이 모아지고 있다.

실험의 결과에서 제시된 통행시간 정보제공 전략 알고리즘이 총 통행시간을 감소시킬 수 있고 시스템 최적에 근접한 통행패턴을 유도할 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 정보 제공시 어떠한 경로의 통행시간 정보를 제공하는가가 중요

한 문제가 될 수 있음을 확인하였다.

본 연구와 관련한 향후 연구는 본 연구에서는 모든 통행자가 완전한 정보를 갖고 있다는 결정적 통행배정모형을 썼으나 현실적으로는 이용자의 인지 오차의 개념을 반영한 확률적 통행배정 모형과 같은 하위수준 문제를 적용해봐야 할 것이고, 교통정보의 특성상 동적인 개념에서의 접근이 필요할 것이다. 또한 본 연구에서는 완전한 정보의 제공이 아닌 시스템최적화 전략 측면의 접근이었으나 이와는 별도로 완전한 정보 제공에 따른 정보의 부정적 효과가 발생하지 않도록 하기 위한 정보의 최적 제공주기의 산정에 관한 연구가 필요하다.

참고문헌

- 임강원, 임용택(2003), **교통망분석론**, 서울대학교출판부, pp. 19-61, 410-424.
- 임용택(2004) 민감도 분석을 이용한 연속형 교통망설계 모형의 개발, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제22권 제2호, pp. 65-76.
- 최기주, 장정아(2004) 게임이론에 기반한 VMS 운영모형, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제24권 제2-D호.
- Ben-Akiva, M., A. DePalma, and I. Kaysi (1991) Dynamic Network Models and Driver Information System, *Transportation Research 25A*, pp. 251-266.
- Fisk, C. S. (1983) Game Theory & Transportation System Modeling, *Transportation Research 18B*, pp. 301-313.

(접수일: 2005.1.4/심사일: 2005.2.18/심사완료일: 2005.2.18)