

Cell Transmission 이론을 이용한 동적통행배정기법 개발에 관한 연구

A Study on Development of Dynamic Traffic Assignment Technique
using the Cell Transmission Theory

김 주 영

(서울시립대학교 교통공학과 대학원)

손 의 영

(서울시립대학교 도시공학과 조교수)

이 승 재

(서울시립대학교 도시공학과 조교수)

목 차

- | | |
|-----------------|---------------------|
| I. 서론 | 3. 대기시간 결정 및 링크비용함수 |
| II. 기존연구 검토 | 4. 최단경로 탐색 모듈 |
| 1. 교통류 모델 | IV. 모형의 분석 및 검증 |
| III. 모형의 구축 | V. 결론 및 향후과제 |
| 1. 동적 O-D 발생 모듈 | |
| 2. 교통류 진행규칙 모듈 | 참고문헌 |

요 약

본 연구의 목적은 기존의 Cell Transmission(1994, Daganzo) 교통류 이론을 기반으로 동적통행배정 모형을 개발하는 것이다. 이 모형은 동적 O-D 발생모듈, HOV 차선모듈, 분류부 분할모델, 링크비용함수 모듈, 최단경로 탐색 모듈 등으로 구성된다. 이 모형에서 적용하는 교통류 모델은 각 링크를 동일한 특성을 가지는 셀로 구분하여 셀내의 진입시간과 진출시간을 계산하여 링크비용을 계산하는데 이것은 비용의 과대·과소 추정을 피할 수 있으며 교통지체 현상을 현실적으로 표현해 줄 수 있는 장점이 있다. 또한 HOV 차선 모듈에 의해 수단별 교통류 진행 및 비용고려가 가능하며 HOV 차선의 평가 및 분석이 가능하다. 기존의 동적통행배정모형은 매 시간대별 출발지에서 균형상태를 추구하는 통행배정기법을 사용하고 있지만 이 모형은 분류되는 노드를 가상의 출발점이라고 가정하여 각 시간대별로 최단경로를 탐색하여 균형상태를 추구해나가는 기법을 적용하고 있다. 각 셀별 차량을 목적지별, 차종별, 대기시간별로 추적하여 진행시키며 분류부에서는 최단경로를 탐색하여 배분된다. 또한 진행하고자 하는 셀의 용량과 현재 셀의 밀도를 고려함으로써 용량제약 하에서의 동적통행배정모형을 적용하고 있다. 이 모형은 고속도로의 합류부 및 분류부의 교통특성을 세밀히 분석할 수 있으며, TCS 및 램프미터링과 접목하여 고속도로 운영에 이용될 수 있으며, 고속도로 중·장기적인 계획에 이용될 수 있다.

제 1 장 서 론

우리 나라의 자동차 보유대수는 80년대부터 계속 증가함에 따라 그 수요를 도로나 혹은 다른 교통 시설물의 공급으로 충당하기에는 상당히 벽찬 상태가 되었다. 따라서 교통여건을 개선하기 위해서는 새로운 도로공급보다는 수요조절정책이나 교통 운영 개선정책을 지향해야 한다. 우리나라 경부 및 호남고속도로의 주말 및 명절통행에는 도로의 용량이 교통 수요에 미치지 못하는 것이 현실이지만 현재 도로상태에 대한 정확한 분석을 통해 지체의 원인이 되는 곳을 파악하여 관리하면 지체를 다소 해결할 수 있으리라 판단된다. 또한 대안 노선을 설치할 경우 어떻게 경로가 결정되며 그 효과는 얼마나 될 것인가? 등에 대해 설명해 줄 수 있는 분석 도구가 현실적으로 필요하다. 그리고 버스전용차선을 고속도로에 실시하고 있지만 어느 구간에, 어떤 시기에 적절하게 버스전용차선과 같은 HOV(High Occupancy Vehicle) 차선제가 운영되어야 하는가? 등에 대한 분석도 고속도로 운영에 매우 필요하다.

본 연구의 목적은 고속도로 운영에 필요한 여러 가지 요소를 분석할 수 있는 모형이 필요하다고 여겨짐에 따라 고속도로의 교통특성을 잘 설명할 수 있으며 중·장기적으로 고속도로 정책 결정 시 이용될 수 있는 동적 통행배정모형을 개발하고자 한다. 이 모형이 구축되면 고속도로 분석시 과거 데이터를 이용하여 O-D를 예측하고 예측된 O-D를 이용하여 시뮬레이션을 실시하여 고속도로 구간에 대해 혼잡구간을 예측할 수 있다. 이에 따라 여러 가지 지체완화 대책을 수립할 수 있으며 램프미터링과 결합하여 혼잡이 극심한 명절통행이나 주말통행에 잘 대처할 수 있다. 또한 이용자 최적 모형을 이용하여 모든 차량이용자들이 최적 노선을 선택할 수 있다. 특히 이 모형은 버스전용 차선과 같은 HOV 차선과 일반차선에 대해 분석을 실시하여 운영 결정 시 대중교통 이용자와 승용차 이용자에 대한 정보도 제공할 수 있다.

제 2 장 기존문헌 고찰

이 장에서는 교통류 이론에 대해 알아보고 동적 통행배정 모형에 적당한 교통류 이론을 선정한다.

제 1 절 동적 교통류 모델

가. 연속류 모델(Continuum Models)

연속류 모델은 도로구간 및 시간대별로 밀도의 변화를 이용하여 교통류를 고려하는 모델이다. 연속류 모델에서 이용하는 보존식(conservation equation)의 일반적인 형태는 다음과 같다.

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial k}{\partial t} = g(x, t)$$

여기서, $g(x, t)$ 는 링크 중간에서 진출입한 교통량의 차를 의미한다.

(1) Simple Continuum Model

이 모델은 시간대별로 이전시간대의 상류부 구간의 밀도와 하류부 구간의 밀도를 이용하여 현 구간의 밀도를 구한 다음 $q = uk$ 관계식을 이용하여 속도 및 교통량을 구하는 모델이다.

$$k_j^{n+1} = \frac{1}{2}(k_{j+1}^n + k_{j-1}^n) - \frac{\Delta t}{2\Delta x}(q_{j+1}^n - q_{j-1}^n) + \frac{\Delta t}{2}(g_{j+1}^n + g_{j-1}^n)$$

여기서, $k_j^n, q_j^n = n$ 시간대 노드 j 의 밀도와 교통량
 $\Delta t, \Delta x =$ 시간대 및 구간의 간격

(2) High Order Model

기존의 Simple continuum 모델은 차량의 가·감속률 효과 및 차량간의 이력현상을 고려하지 못하며, 혼잡하지 않은 교통상태에 적절하다는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 Moment Equation 및 점성(Viscosity)모형을 적용한 High Order 모델들이 제시되었다. High Order 모델은 각 차선별로 구분하게 됨에 따라 차선변경의 복잡한 상황을 묘사할 수 있다. 또한 합류부 및 위빙구간, 분류부 등에 대해서도 자세히 분석할 수 있는 장점이 있다. 하지만 위의 수식에서 이용되는 각 계수들을 구하는 과정이 너무 복잡하므로 큰 네트워크나 동적 통행배정 모형에 이용되기에는 적절하지 않다.

나. Cell Transmission 모델

이 모델¹⁾은 복잡한 네트워크에 대해 모든 교통 상태 하에서 각각의 링크를 동일한 특성을 가지는 구간으로 구분하여 교통류의 거시적인 표현에 기초하여 교통류 이론을 제시한다. 교통량과 밀도의 관계는 다음과 같이 선형적인 관계로 고려된다.

$$q = \min\{vk, q_{\max}, w(k_j - k)\}, \text{ for } 0 \leq k \leq k_j$$

전해질 교통량은 다음의 식과 같이 계산된다.

1) Carlos F. Daganzo, 1994, The Cell Transmission Model : Part II Network Traffic

$y_k(t) = \min\{n_{BK}, \min[Q_{BK}, Q_{EK}], \sigma_{EK}[N_{EK} - n_{EK}]\}$
 위의 식에 의해 구해진 셀 교통량을 이용하여 점유율을 재 계산한다.

$$n'_{BK}(t+1) = n_{BK}(t) - y_k(t) \text{ for all } k$$

$$n_{EK}(t+1) = n'_{EK}(t) + y_k(t) \text{ for all } k$$

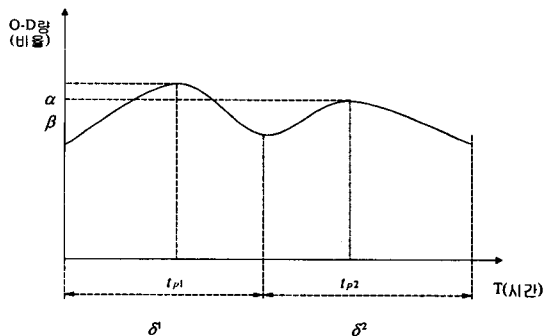
이 이론은 High Order 모델처럼 교통류를 세밀하게 분석하지는 못한다. 하지만 동일한 특성을 가지는 구간으로 구분하여 셀별 용량에 의해 차량을 전이시키므로 비교적 현실적이며 쉽게 교통류를 표현할 수 있다. 또한 큰 네트워크에 적용하기 쉽기 때문에 동적 통행배정 모형에 적용될 교통류 이론으로 적절하다.

제 3 장. 모형 개발

본 연구는 Cell Transmission 이론을 이용하여 동적 통행배정모형을 개발하고자 한다.

제 1 절 동적 O-D 발생 모듈

고속도로의 경우 기존의 명절통행이나 주말통행에 대해 시간대별 과거의 데이터가 정확하게 구해질 수가 있다. 이를 이용하여 어떤 함수의 형태로 구현될 수가 있는데 그 형태는 다음과 같다.



<그림 1> 시간대별 OD 교통량 분포

가정 : 고속도로의 통행은 네트워크와 같이 오전, 오후 2회에 걸쳐 첨두현상을 보이며 그 시간과 집중정도를 특성치로 갖는다.

위의 그림을 어떤 함수의 형태로 구현하면

$$P_n(t) = \alpha \exp\left(-\frac{(t-t_{p1})^2}{\sigma_1}\right) + \beta \exp\left(-\frac{(t-t_{p2})^2}{\sigma_2}\right)$$

여기서,

$P_n(t)$: 시간 t에서 출발지 r에서 도착지 s로 교통량

α, β : 존별 (O-D별) 특성치

t_{p1}, t_{p2} : 첫 번째, 두 번째 첨두시간

σ_1, σ_2 : 각 첨두시간의 집중정도

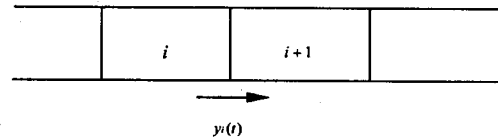
위의 그림에서와 같이 O-D량은 $\alpha, \beta, t_{p1}, t_{p2}, \sigma_1, \sigma_2$ 에 의해 영향을 받는다. α, β 의 값은 첨두시간대의 교통량 비율을 의미하며 σ_1, σ_2 는 첨두시간에서의 교통량 퍼짐 정도이다. 따라서 교통량 패턴에 따라 $\alpha, \beta, t_{p1}, t_{p2}, \sigma_1, \sigma_2$ 의 값을 historical 데이터로 구한다. 위의 함수는 하루동안의 시간대별 교통량 비율을 구할 수 있게 한다. 즉 특정한 시간대의 1시간 교통량 비율 = $P_n(t) / \sum_{t=1}^{24} P_n(t)$ 이다. 본 모형에서는 1시간 교통량을 구한 후 시간대내의 time slice에 대해서는 균등하게 분배한다.

제 2 절 교통류 진행 규칙

가. 일반 셀(ordinary cell)

(1) 교통량 전이규칙

일반셀에서는 버스전용 차선과 같은 HOV 차선에 대해서도 고려한다.



<그림 2> 일반셀(Ordinary Cell)

앞에서 정의하였듯이 다음의 변수를 정의한다.

Q_i (i셀의 단위시간당 용량) = 셀용량(i) × 단위시간 길이(time slice length)

n_i (i 셀에 존재하는 교통량) = $\sum_r \sum_s y_r(i)$

N_{i+1} (i+1 셀에 존재할 수 있는 최대교통량) = 셀 길이(i+1) × jam density(i+1)

$S_i(t)$ (i 셀에서 진행시킬 수 있는 최대교통량) = $\min\{Q_i, n_i\}$

$R_{i+1}(t)$ (i+1 셀에 진입할 수 있는 최대교통량) = $\min\{Q_{i+1}, \sigma_{i+1}[N_{i+1} - n_{i+1}]\}$

$y_i(t) = \min\{S_i(t), R_{i+1}(t)\}$

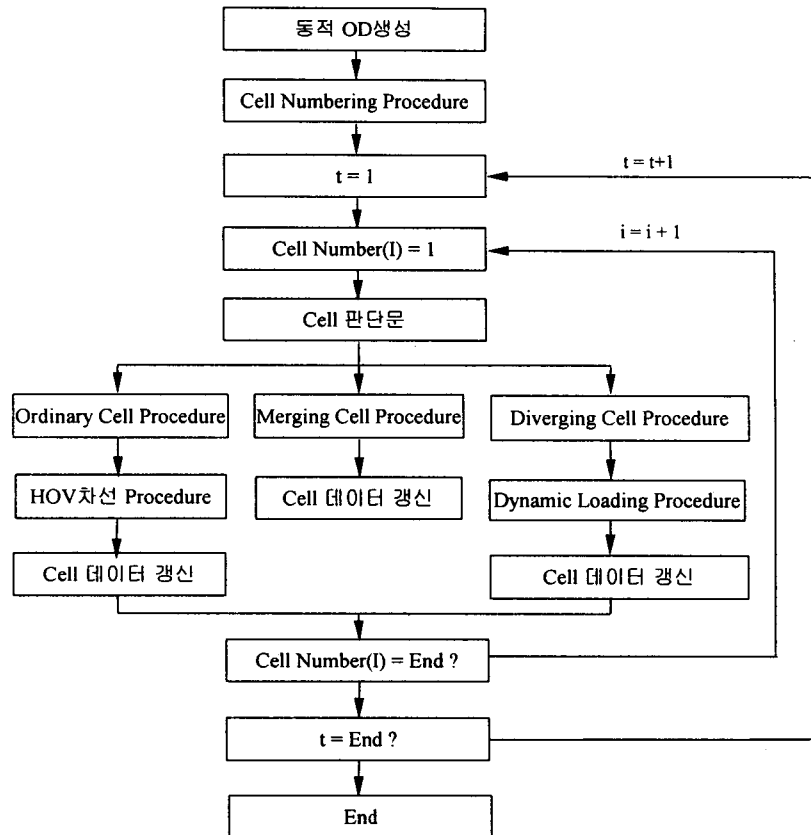
여기서 전이될 교통량($y_i(t)$)이 구해진다면 대기시간 결정 알고리즘을 이용하여 a_{BK} 의 값을 구한다. 그런 후 셀 데이터를 갱신한다.

$$n'_i(t) = n_i(t-1) - y_i(t)$$

$$n_i(t) = n'_i(t) + y_{i-1}(t)$$

(2) HOV 차선 모듈

이 모델은 기존의 Daganzo의 special lane 이론²⁾



<그림 3> 모형의 흐름도

을 적용하여 고속도로상에서 두 종류의 차량이 존재할 때 각각의 차량이 진행할 수 있는 규칙을 정의해준다. 비율 $\alpha^u = K^u/K_T^u$ 와 $\alpha^d = K^d/K_T^d$ 는 상류부와 하류부 구간에서 교통류 1-vehicle의 비율을 정의한다.

<case 1>

2-파이프 전략 사이 발생할 수 있는 모든 경우 ;

$$q = \min \{s(k^u); r(k^d)\}$$

$$Q = \min \{S(K^u); R(K^d)\}$$

위에서 각각의 최소값은 전통적인 LWR 모델에서 파이프 전략중의 하나를 묘사하고 있다.

<case 2>

1-파이프 전략 사이의 경우 ;

총 교통량은 차량유형에 따른 구별 없이 LWR의 최소식을 만족해야만 한다. 예를 들면

$$(Q; q) = (\alpha^u; 1 - \alpha^u) \min \{S_T(K_T^u), R_T(K_T^d)\}$$

<case 3>

2-파이프전략에서 1-파이프전략으로 변경될 경우 ;

$$K^d = (0, 0) \quad K^d \text{ 가 비혼잡상태이면}$$

$$(i.e. K_T^d < K^0)$$

$$= (\gamma_1, \gamma_2) K_T^d \quad K^d \text{ 가 혼잡상태이면}$$

$$(i.e. K_T^d > K^0)$$

<case 4>

1-파이프전략에서 2-파이프전략으로 전환될 경우 ; 상류부상태가 혼잡상태에 있다면 다음식이 적용된다.

$$Q_T = r(k^d) + R(K^d)$$

$$q = \min \{r(k^d); Q_T(1 - \alpha^u)\}$$

$$Q = Q_T - q$$

충격파의 끝부분의 속도가 음수라면 (i.d. if $s_T(K_T^u) > R(K^d) + r(k^d)$) 식은 두 가지의 경우에 적용된다. 만약 이 속도가 양수라면, 교통류는 상류부 상태이다. 예를 들면,

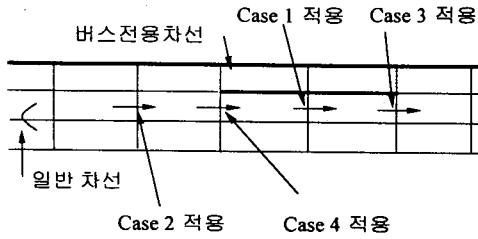
$$Q = Q^u, \text{ if } S_T(K_T^u) \leq R(K^d) + r(k^d)$$

비전용차선구간에서 전용차선구간으로 전환될 경우의 나머지 경우(상류부 상태가 D가 아닌 경우)는 식은 <case 1>에 적용된다.

나. 합류부 셀(merging cell)

합류부 셀에서는 진행과정이 일반셀과 동일하지만 단지 합류부에서의 비율을 결정해주는 것이 중요하다. 이 모형에서는 합류비율을 차선으로 결정한

2) Carlos F. Daganzo, 1995,



<그림 4> HOV 차선 구현

다. 즉,

$$y_K(t) \leq S_{BK} ; y_{CK}(t) \leq S_{CK}$$

$$y_K(t) + y_{CK}(t) \leq R_{EK}$$

$$y_K(t) = S_{BK} \text{ and } y_{CK}(t) = S_{CK}, \text{ if } R_{EK} > S_{BK} + S_{CK}$$

$R_{EK} < S_{BK} + S_{CK}$ 가 될 경우에 마찰계수(ρ)를 이용하게 되는데 이것은 교차로에서 우선권을 선정해 주기 위한 변수(본 모형에서는 차선비율로 고려)이므로 마찰계수의 합은 1이다.

즉, $\rho_K + \rho_{CK} = 1$ 이다.

$$y_K(t) = \text{mid}\{S_{BK}, R_{EK} - S_{CK}, \rho_K R_{EK}\}$$

$$y_{CK}(t) = \text{mid}\{S_{CK}, R_{EK} - S_{BK}, \rho_{CK} R_{EK}\}$$

if $R_{EK} < S_{BK} + S_{CK}$

$$y_K(t) = 0, \text{ if } \rho_K(t) = 0$$

$$= \min\{R_{EK}, S_{BK}\} \text{ if } \rho_K(t) = 1$$

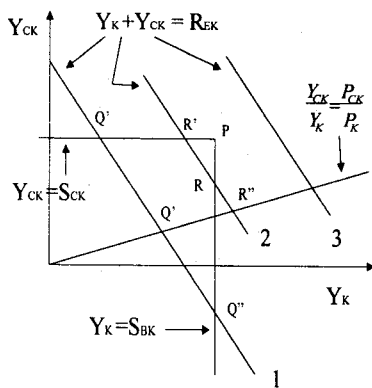


그림 5. 합류부에서의 발생 가능한 교통현상도

이렇게 합류부에 대한 전이 교통량이 구해지면 일반셀과 같이 셀 데이터를 갱신한다.

다. 분류부 셀(diverging cell)

(1) 분류부 진행과정

분류부 셀은 동적 통행배정의 가장 핵심적인 부분이다. 동적 통행배정 알고리즘을 이용해 분류부 셀에서 전이될 교통량이 구해지면 일반 셀과 같이 셀 데이터(cell data)를 갱신해준다.

(2) 분류부 분할 모델(Splitting Model)

분류부 셀(diverging cell)에서 차량의 형태가 목적지별, 대기시간별, 차선별로 구분되어 존재하는데 이 논문에서 제시하는 동적 통행배정 모형은 FIFO 원리를 적용하기 위해 목적지별 최단경로를 탐색하여 대기시간(τ)에 따라 차량을 진행시키고자 한다. 또한 다른 비용 함수식을 이용하는 통행배정모형과는 달리 목적지별 평균비용을 구하여 진행된 차량에도 똑같은 평균비용을 적용한다. 최적 노선정보가 제공되었을 경우 2 가지의 가정 하에 차량이 진행한다. 첫 번째는 운전자는 최적 노선만을 선택한다는 것이고 두 번째는 차량이 진행된 후에 비용갱신 단계에서 증가된 차량만큼 링크 평균비용을 적용한다는 것이다.

<step 1> 초기화

$$\tau = \max$$

<step 2> 최단경로 탐색

<step 3> 차량진행 가능여부 판단

If $\sum_{\tau} y_{\tau} \leq ACapa(fc)$ (목적지별, 수단별 최단경로 상의 forward cell에 진행될 수 있는 용량)
 $\rightarrow p = 1$ (목적지별 $y_{\tau} \times p$ 만큼 차량진행)

If $\sum_{\tau} y_{\tau} > ACapa(fc) \rightarrow p = \frac{ACapa(fc)}{\sum_{\tau} y_{\tau}}$

(목적지별 $y_{\tau} \times p$ 만큼 차량진행)

<step 4> 비용 갱신

$$\text{총비용 } C_i(d) = C_i(d) + AC_i(d) \times y_{\tau} \cdot p$$

<step 5> ACapa(fc) 갱신

수렴조건 1> 모든 목적지에 대해 ACapa(fc) = 0 이면 STOP

<step 6> 최단경로 탐색

수렴조건 2> 모든 목적지에 대해 최단경로 forward cell 이 동일하면 STOP

<step 7> $z = z - 1$

수렴조건 3> $z = 0$ 이면 STOP

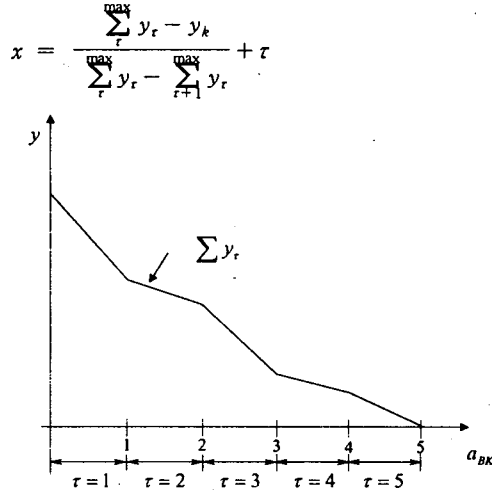
제 3 절. 대기시간 결정 및 링크 비용함수 모델

가. 대기시간 결정 알고리즘

셀 데이터 셋(cell data set)을 대기시간 τ , 목적지 d , 차종 l 에 대해 추적한다. 다음의 그림에서 최대대기시간을 \max 라하고 대기시간 τ 에서의 차량수를 y_{τ} 라 하면, 대기시간 τ 에 따라 y_{τ} 를 일반적인 함수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$y_r = \sum_r^{\max} y_r - (\sum_r^{\max} y_r - \sum_{r+1}^{\max} y_r)(x - \tau)$$

통과 허용시간 a_{BK} 를 구하기 위해서는 cell 허용 교통량(y_i)을 먼저 구해야 한다. 그런 후 각각의 τ 에 대해 $\sum_r^{\max} y_r - (\sum_r^{\max} y_r - \sum_{r+1}^{\max} y_r)(x - \tau) = y_i$ 를 만족하는 x 의 값이 결국 a_{BK} 의 값이 된다.



<그림 6> τ 에 따른 대기 차량

나. 링크 비용함수

기존의 시뮬레이션은 지체시간 혹은 여행시간에 대한 고려로서 비용함수를 정의하였다. 대부분 BPR 식을 이용하거나 다른 교통량의 함수로 많이 고려하였다. 링크 여행시간은 크게 2 가지 요소로 구분되는데 첫째는 교통량이 자유여행속도로 링크를 여행하는 시간이고 둘째는 링크에 진입하여 지체한 시간이다. 첫 번째 요소는 모든 차량에 대해 한 시간간격이 된다. 두 번째 요소는 다음의 방식으로 계산된다. 각 Cell 내에 존재하는 차량들은 목적지별(d), 차종별(l), 대기시간별(τ)로 구분되기 때문에 몇 대의 차량이 cell에 진입한지 얼마의 시간이 지났는지를 알 수 있다. 따라서 cell 내의 모든 차량의 대기시간의 평균을 셀 지체시간이라고 정의한다. 또한 버스 전용차선이 존재할 경우와 존재하지 않을 경우를 고려하여 2가지의 링크 지체시간을 구할 수 있다.

① 버스 전용차선이 존재하지 않을 경우

평균 지체시간 (차종 1, 2에 대해) = 모든 대기 시간 τ 에 대해 $\sum_r \tau \times \text{차량수} / \sum_r \text{차량수}$

② 버스 전용차선이 존재할 경우

• 버스전용차선 지체시간

평균 지체시간 = 차종 1에 대해

$$\sum_r \tau \times \text{차량수} / \sum_r \text{차량수}$$

• 비전용차선 지체시간

평균 지체시간 = 차종 2에 대해

$$\sum_r \tau \times \text{차량수} / \sum_r \text{차량수}$$

제 4 절. 최단경로 알고리즘

이 모델에서 최단경로는 일대다(one-to-many)의 노드에 대해 고려한다. 즉 분류부 셀에서 모든 목적지까지의 최단경로를 탐색한다. 최단경로 알고리즘은 Modified Fixed Matrix Method(MFMM) 기법을 적용한다. 이 모델은 출발 셀(diverging cell)에서 각 목적지별로 진입해야 할 셀을 구하기 위해 기존의 Floyd 알고리즘을 이용하여 전치행렬을 만들어주는 기법이다.

<step 1> 가로 비용행렬 X 를 작성

<step 2> 노선 비용행렬 C^1 을 가로 비용행렬과 같은 값으로 취한다.

<step 3> Minimum Addition Operation을 실시

$$C^{n+1}(i, j) = \text{Min}_k \{ C^n(i, k) + X(k, j) \}$$

<step 4> Minimum Addition Operation을 만족하는 k 를 i 에서 j 로 가기 위한 backnode 행렬을 보정한다.

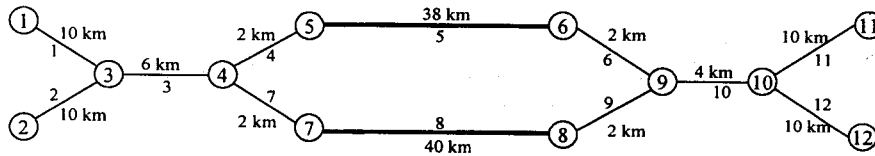
<step 5> C^{n+1} 에 무한대 값이 아직 남아있으면 <step 3>으로 돌아간다.

그렇지 않으면, STOP

⇒ 이것은 도착노드 이전의 노드(backward node)를 구해준다. 그러나 분류부 셀에서 진행할 cell을 구하기 위해서는 Forward node를 구해야 한다. 따라서 Modified Fixed Matrix Method를 적용한다. 가로 비용행렬과 노선 비용행렬의 전치행렬을 구한 후 Floyd 알고리즘을 적용한다.

제 4 장. 모형의 분석 및 검증

제 1 절. 적용 대상 네트워크



<그림 7> 적용 네트워크

제 2 절. 시뮬레이션 결과 분석

가. Ordinary Cell Procedure 검증

혼잡한 상태에서의 교통량 전이현상을 분석하기 위해 10번 링크의 차선을 2 차선으로 정의하여 시뮬레이션을 하였다.

③ HOV 차선이 존재하지 않는 셀과 존재하는 셀 간의 전이(Case4 : 35번 셀과 36번 셀간의 전이)

① HOV차선이 존재하지 않는 셀간의 전이(Case 2 : 12번 셀과 13번 셀간의 전이)

시간대	12번셀 승용차 교통량	12번셀 버스 교통량	전이 가능 교통량	대기 시간	13번셀 승용차 교통량	13번셀 버스 교통량	승용차 전이 교통량	버스 전이 교통량
89	115	21	136	0.00	898	168	115	21
90	170	32	72	0.47	883	167	60	10
91	208	39	93	0.80	884	171	77	14
92	252	48	86	1.22	890	162	71	12
93	293	54	90	1.54	889	166	74	15
94	336	63	86	1.91	885	168	72	12
95	378	70	89	2.29	887	161	73	14
96	414	76	96	2.58	891	165	79	15
97	458	84	85	2.97	886	168	71	13
98	500	92	88	3.34	884	170	73	13
99	542	100	88	3.70	889	165	73	13
79	407	56	110	2.47	914	126	95	14

시간대	35번셀 승용차 교통량	35번셀 버스 교통량	전이 가능 교통량	승용차 대기 시간	버스 대기 시간	36번셀 승용차 교통량	36번셀 버스 교통량	승용차 전이 교통량	버스 전이 교통량
57	66	10	75	0.01	0.00	65	10	65	10
58	76	10	75	0.01	0.00	65	10	65	10
59	76	11	85	0.01	0.00	75	10	75	10
60	79	10	85	0.01	0.09	75	9	75	9
61	79	12	85	0.03	0.12	75	9	75	9
62	81	12	85	0.06	0.09	74	10	74	10
63	85	11	85	0.09	0.10	73	10	73	10
64	87	10	85	0.11	0.22	76	9	76	9
65	86	13	85	0.12	0.25	76	8	76	8

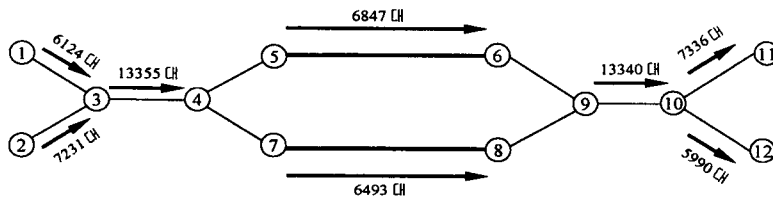
② HOV 차선이 존재하는 셀간의 전이(Case 1 : 54번 셀과 55번 셀간의 전이)

④ HOV 차선이 존재하는 셀과 존재하지 않는 셀 간의 전이(Case 3 : 55번 셀과 56번 셀간의 전이)

시간대	54번셀 승용차 교통량	54번셀 버스 교통량	전이 가능 교통량	승용차 대기 시간	버스 대기 시간	55번셀 승용차 교통량	55번셀 버스 교통량	승용차 전이 교통량	버스 전이 교통량
76	65	10	75	0.00	0.00	516	87	65	10
77	82	10	68	0.10	0.00	538	91	58	10
78	128	9	39	0.70	0.00	533	95	29	10
79	168	9	45	1.32	0.00	531	99	35	9
80	205	10	47	1.73	0.00	532	102	37	9
81	241	10	47	2.33	0.00	535	106	37	10
82	285	9	43	2.81	0.00	532	110	32	10
83	325	8	46	3.40	0.00	533	112	36	9
84	364	10	44	3.86	0.00	533	114	35	8

시간대	55번셀 승용차 교통량	55번셀 버스 교통량	전이 가능 교통량	승용차 대기 시간	버스 대기 시간	56번셀 승용차 교통량	56번셀 버스 교통량	승용차 전이 교통량	버스 전이 교통량
55	45	10	55	0.00	0.00	434	93	45	10
56	55	12	43	0.22	0.20	435	94	35	8
57	75	14	40	0.48	0.50	434	94	33	7
58	94	18	41	0.75	0.88	434	91	34	5
59	122	21	45	1.07	1.22	436	91	37	7
60	138	25	43	1.37	1.55	438	89	37	5
61	167	29	43	1.73	2.00	439	88	36	6
62	184	33	43	2.24	2.40	441	86	36	5
63	213	37	43	2.54	2.88	443	85	36	6

나. 동적 통행배정 결과

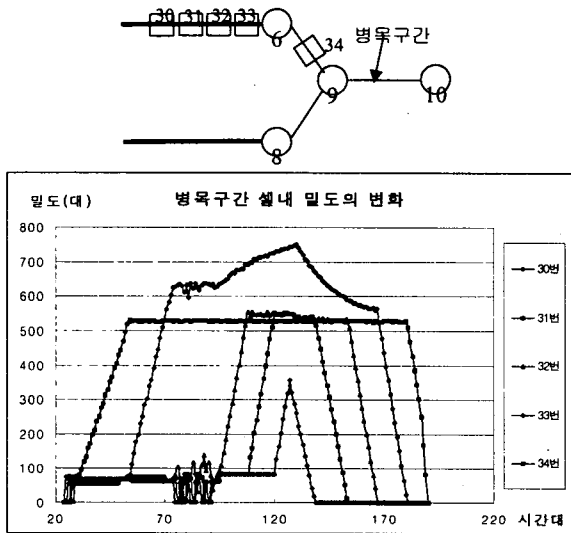


<그림 8 > 동적 통행배정 결과

본 연구에서 개발된 동적 통행배정의 결과는 위의 그림과 같다. 2개의 출발지와 2개의 도착지에 대해 통행배정을 실시하였는데 대안 노선의 길이 및 차선을 동일하게 적용한 결과 배정의 결과는 6847 대 와 6493대로 거의 비슷하게 나왔음을 알 수 있다.

다. 병목구간 분석

모델의 검증을 위해 10 번 링크의 차선을 2차선으로 지정하여 시뮬레이션을 시행한 결과 6번 링크와 9번 링크에 차량지체가 발생하였는데 시간이 흐를수록 6번 링크와 9번 링크의 전 링크까지 대기행렬이 발생함을 아래 그래프에서 보여준다.



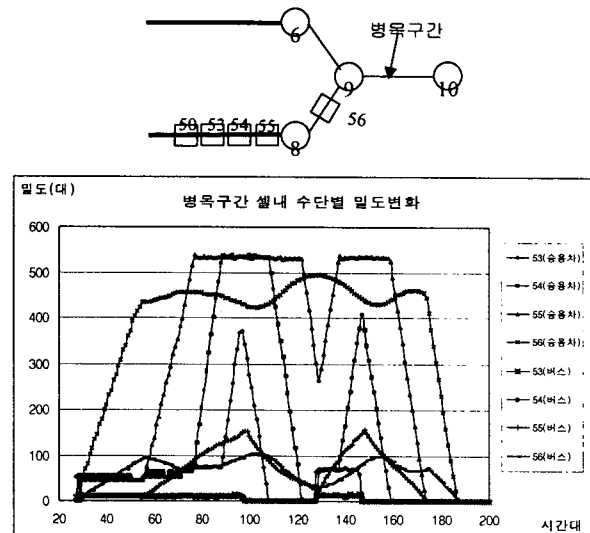
<그림 9 > 병목구간 셀내 밀도의 변화

위 그래프에서 time slice 50 정도에서 34번 셀의 점유율이 한계에 도달하여 33 번 셀까지 대기행렬이 발생함을 알 수 있다. 이 대기행렬은 30 번 셀 까지 계속 증가하다가 time slice 138 정도에서부터 감소하고 있다.

라. 지체구간에서의 차종별 분포도

본 연구에서 적용되는 모형은 버스전용차선과 같은 HOV 차선 모드를 포함한다. 따라서 HOV 차선과 일반차선을 지체구간에서 평가해보면 아래의 그림과 같다. 57 번 셀에서 차선이 감소함에 따라 전 셀에 차량들의 대기행렬이 발생하고 있다.

승용차의 경우 53 번 셀까지 대기행렬이 발생하고 있지만 HOV 차량들은 전 셀인 55번 셀에서만 대기행렬이 발생하고 있다. 물론 HOV 차량의 수요가 낮은 이유도 있지만 53 번과 54 번의 셀에서는 조금의 대기행렬이 발생하지 않고 있다는 것은 일반차량에 비해 HOV 차량이 빠른 시간에 링크를 빨리 빠져나갈 수 있다는 것을 의미한다.

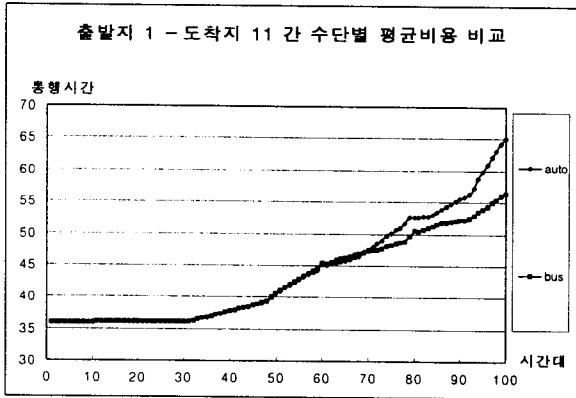


<그림 10 > 병목구간 셀내 수단별 밀도 변화

마. 수단별 평균 통행시간 비교

아래 그림에서와 같이 출발지 1(1번 노드)를 출발하여 도착지 1 (11번 노드)에 도착하고자 하는 차량들의 최단경로상의 승용차와 버스(HOV차량)의 셀 평균비용의 합계를 표현한 것이다. time slice 30 까지는 전혀 지체가 발생하지 않고 있다 그 다음 시간대부터는 계속 지체가 증가하고

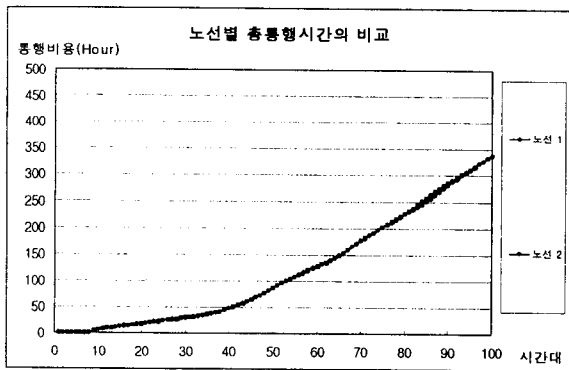
있다. 시간대 50 과70 사이에서는 버스의 평균비용이 승용차보다 높음을 알수 있는데 이는 분류부에서 차량을 배분할 때 승용차보다 버스의 밀도가 낮기 때문에 셀전이모델의 계산과정의 소수점문제에 의해 크게 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다. 시간이 지날수록 혼잡이 심해지며 두 수단간의 평균 통행비용은 큰 차이를 보이게 됨을 알 수 있다. 이는 병목구간 이전의 링크에 존재하는 HOV 차선에 의한 영향으로 분석된다



<그림 11 > 출발지 1 - 도착지 11 간의 수단별 평균 통행시간의 비교

바. 노선별 총 통행시간 비교

아래의 그림은 4 번 노드와 9 번 노드 사이의 2 개의 노선에 대해 총통행비용을 비교한 그래프이다. 이 모형에서는 2시간(100 time slice)동안 시뮬레이션한 결과인데 배분되는 노드에서 합류되는 노드까지의 두 노선의 총 통행비용이 동일하게 진행됨을 그림에서 알수가 있다.



<그림 12 > 노선별 총통행시간의 비교

제 5 장 결론

제 1 절 결론

위의 교통류 모형은 고속도로의 교통현상을 비교적 현실적으로 설명해주고 있다. 현재까지의 병목구간과 합류부의 분석은 차량의 흐름을 잘 설명하고 있으며 앞으로 고속도로 운영에 적절히 이용될 수 있다고 판단된다. 이 모형은 기존모형의 접근방법과는 달리 각 링크를 일정한 길이의 셀로 구분하여 분석하는 모형이다. 기존의 모형과 같이 비용을 추정할 때 교통량에 따른 비용함수를 이용하지 않고 각 셀 간의 진행될 수 있는 최대교통량의 제약에 의해 차량이 이동하고 셀 내에서 진입한 후부터의 차량의 대기시간이 추적되므로 이를 이용하여 지체시간이 계산된다. 이것을 다시 비용으로 환산한다. 따라서 다른 모형보다는 현실적이라고 할 수 있지만 차량의 흐름을 개별적으로 분석하지 않기 때문에 각 차량별 위치나 가·감속율 등에 대한 분석은 어렵다. 이 모형을 이용하여 ITS 체계와 부합하여 고속도로의 최적노선정보 제공뿐만 아니라 수단 분담율, OD 예측 등 여러 가지 용도로 이용될 수 있다. 무엇보다도 현재 고속도로 운영시 가장 이슈가 되고 있는 HOV 차선의 운영의 효과분석 및 운영시기 결정 등에 대한 분석을 시행할 수 있다는 의의가 있다. 또한 이 교통류 모형을 이용하여 차선별 셀로 구분함으로써 단속류에도 적용할 수 있으리라 판단된다.

참고 문헌

<국의 문헌>

1. Lee seunjae (1994), Mathemaical Programming Algorithms for Equilibrium Road Traffic Assignment
2. Laurence R. Rilett (1992), Modeling of TravTek's Dynamic Route Guidance Logic using the INTEGRATION Model
3. Bin Ran, David Boyce (1996), Modeling Dynamic Transportation Networks
4. B. G. Heydecker, J. D. Addition (1996), An Exact Expression of Dynamic Equilibrium
5. MIT(1996), Development of a Deployable Real-Time Dynamic Traffic Assignment System
6. Carlos F. Daganzo(1994), The Cell Transmission Model(Part II:Network Traffic)
7. Carlos F. Daganzo(1996), A Continuum Theory of Traffic Dynamics for Freeway with Special Lanes
8. Randall Cayford, Wei-Hua Lin, Carlos F.

- Danzo(1997), The NETCELL Simulation Package: Technical Description
9. Qi Yang (1997), A Simulation Laboratory for Evaluation of Dynamic Traffic Management Systems
 10. Michel Willen Van Aerde (1985), Modelling fo Traffic Flows, Assignment and Queueing in Integrated Freeway / Traffic Signal Network
 11. Yosef Sheffi (1985), Urban Transportation Networks
 12. Juan de Dios Ortuzar, Luis G. Willumsen (1994), Modelling Transport - Second Edition
 13. M. G. H. Bell, Y. lida (1997), Transportation Nerwork Analysis
 14. Carlos F. Daganzo (1995), Properties of Link Travel Time Functions under Dynamic Loads
 15. C. J. Messer et al (1997), Traffic Flow Theory
 16. Michael Patriksson (1994), The Traffic Assignment Problem Models and Method
 17. Hamdy A. Taha (1997), Operation Research
 18. Panos G. Michalopoulos (1983), Multilane Traffic Flow Dynamics Some Macroscopic Considerations

<국내 문헌>

1. 조성빈, "미시동태적 모형을 이용한 노선배정에 관한 연구", 서울대 석사학위 논문, 1990
2. 임용택, "동적통행배정모형의 비교연구", 서울시 정연구, 1997년 9월
3. 박노봉, "Flow Simulation 모형개발에 관한 연구", 홍익대학교 석사학위 논문, 1996
4. 김인경, "승용차 운전자와 버스 승객을 대상으로 한 정보제공전략 평가에 관한 연구", 서울시립대 석사학위 논문, 1998
5. 김상구, "고속도로 합류구간 교통특성 및 용량 모형식 개발 연구", 서울대학교 박사학위 논문, 1997
6. 배춘봉, "속도-밀도관계를 이용한 동적 통행배정 모형개발에 관한 연구", 한양대학교 석사학위 논문, 1996
7. 양천주 (1997), 한글 Visual Basic 5.0 바이블