

■ 論 文 ■

통행분포패턴에 기초한 장래 O-D표 수렴계산방법 개발

Development of a Trip Distribution Model by Iterative Method
Based on Target Year's O-D Matrix

유 영 근

(다운도시교통연구소 기술이사)

목 차

I. 서론	1. O-D 표
II. 기존 수렴계산방법	2. 비교 항목
1. 퍼니스 방법	3. 비교 결과
2. 프레타 방법	4. 비교 결과 고찰
III. 분포패턴에 기초한 수렴계산방법	V. 결론
IV. 기존방법과의 비교	참고문헌

Key Words : 통행분포, 수렴계산, 통행분포 패턴, O-D표, 프레타법, 퍼니스법

요 약

통행분포의 예측과정에서 장래 O-D표는 행의 합 및 열의 합이 통행발생 예측단계에서 예측된 존의 유출 통행량 및 유입 통행량에 근접해야 한다는 제약조건을 만족시키기 위하여 수렴계산을 하게 된다. 기존 수렴계산 방법들은 통행분포 예측모형에 의해 예측된 존간 통행분포량이 수렴계산과정에서 상당히 달라질 수 있고, 그 결과로, 예측된 존간 통행분포패턴의 변형을 가져올 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하고자, 새로운 수렴계산방법을 개발하였다.

기존 수렴계산 방법들이 O-D표의 행의 합과 유출 통행량, 그리고 열의 합과 유입통행량을 근접시키기 위하여 비율로써 행과 열을 순차적으로 반복하면서 수렴계산을 행하는 것과 달리, 개발된 방법은 총 통행량을 기준으로 유출통행량, 유입통행량과의 차를 가중평균으로써 최소화시키는 수렴계산 특성을 갖는다.

개발된 수렴계산 방법을 38개 존의 실제 O-D표를 이용하여 현재까지 가장 많이 사용되어온 프레타법 및 퍼니스법과 비교, 검증하였으며, 검증결과 개발된 방법은 제약조건을 충족시킴과 동시에 통행분포 예측모형으로부터 예측된 존간 통행분포량과의 차가 다른 방법에 비해 최소화 되어 유용한 것으로 증명되었다.

Estimation of trip distribution, estimated O-D matrix must satisfy the condition that the sum of trips in a row should equal the trip production, and the sum of trips in a column should equal the trip attraction. In most cases the iterative calculation for convergence is needed to satisfy this condition. Most of all present convergence of iterative methods may results a big difference between estimated value and converged value, and from this, the trip distribution patterns may be changed.

This paper presents a new convergence of iterative method that comes closer to meeting the convergence condition and gives the maximum likelihood estimation for calculating a distribution patterns from the trip distribution estimation model.

The newly developed method differs from existing methods in three important ways. First, it simultaneously considers both the convergence condition and the distribution patterns. Second, it computes simultaneous convergence of rows and columns instead of iterating respectively. Third, instead of using the growth rates to the trip production, trip attraction, it uses the differences between trip production and sum of trips in a row, and trip attraction and sum of trips in a column.

Using 38 by 38 O-D matrix, this paper compared the Fratar method and the Furness method to the newly developed method and found that this method was superior to the other two methods.

I. 서론

전통적인 4단계 수요예측 과정의 두 번째 단계인 통행분포 예측은 크게 성장률법, 중력모형법, 확률모형법 등의 세 가지 방법에 의하여 행해진다. 성장률법은 구조가 간단하고, 이해가 쉬운 장점이 있으나, 기준연도의 완전한 O-D표를 필요로 하고, 장래시점의 분포패턴이 큰 변화가 예상되지 않은 경우에만 적용 가능하다. 중력모형법은 존(Zone)간의 교통저항을 고려하기 때문에 분포패턴의 큰 변화가 예상되어도 적용 가능한 장점을 가지는 반면, 교통저항 값의 정도(精度) 높은 예측이 어렵다는 문제점을 가진다(김대웅, 1993). 확률모형법 중 엔트로피 극대화 모형은 중력모형법의 장단점을 모두 가지며, 간섭기회 모형법은 이론이 어렵고, 중력모형법에 비하여 실용성에서 떨어지는 단점이 있다(노정현, 1999). 장래 통행분포의 예측은 이와 같은 통행분포 예측모형들이 가지는 장단점으로부터 대상지역의 특성, 목표연도 등을 고려하여 계획가가 판단하여 행하게 된다.

계획가의 판단에 의해 결정된 통행분포 예측모형의 적용결과로 예측된 장래 O-D표의 행의 합 및 열의 합은 4단계 수요예측 과정의 첫 번째 단계인 통행발생 예측단계에서 예측된 존별 유출통행량 및 유입통행량과 일치해야 한다는 제약조건을 만족시켜야 한다(Stopher et al. 1975, Ortu'zar et al. 1994). 특히 예측 목표연도가 중장기인 경우, 수요예측 단계별로 다른 예측모형이 사용되고, 하나의 존에서 예측된 유출통행량과 유입통행량이 같지 않은 경우가 많기 때문에 제약조건의 만족은 더욱 어렵게 된다. 제약조건을 만족시키기 위해 필요한 것이 수렴계산인데, 수렴계산 방법은 많은 학자들에 의해서 연구되어져 왔으며 그 중 가장 많이 사용되는 방법이 퍼니스법(Furness, 1965)과 프레타법(Fratar, 1954)이다.

퍼니스법은 많은 학자들(Evans(1970), Evans(1973), Murchland(1972), Beardwood and Kirby(1975))에 의해 검토되었고, 효율적인 방법임이 입증되었다. Ali Mekky(1983)는 퍼니스법의 속도향상을 목적으로 비반복 수렴계산 방법을 제안하였고, Murchland(1972) 역시 퍼니스법의 변형으로 몇 개의 행과 열을 동시에 수렴시키는 방법을 제안하였다. Robillard 등(1974)은 뉴튼법을 응용하여 개선된 퍼니스법을 제안하였다. Gorman(1963)과 Bregman

(1967)은 중력모형에서 지수와 거리저항을 조정계수로 이용한 수렴계산 방법을 개발하였다.

수렴계산 방법에 대한 대표적인 과거 연구들을 종합해 보면, 수렴계산 결과의 정밀성보다 수렴속도 향상에 치중해왔던 것이 사실이다. 실시간 통행정보 제공을 위한 동적인 O-D표 구축을 목적으로 하지 않는 경우 즉, 정적인 O-D표를 얻고자 하는 경우에는 수렴계산속도가 큰 문제가 되지 않을 수 있으며, 보다 예측정도가 높은 O-D표를 얻기 위한 수렴계산 방법 개발이 필요한 것으로 생각된다.

예측정도가 높은 수렴계산 방법은 기본적인 제약조건을 충족시키고 동시에 통행분포 예측모형으로부터 예측된 존간 통행분포가 가지는 분포패턴을 최대한 유지시킬 수 있어야 한다. 즉, 수렴계산의 결과가 제약조건을 충분히 만족시키더라도 통행분포 예측모형으로부터 도출된 장래 분포량(분포패턴)과 많은 차이를 가지게 된다면 수렴계산이 무의미하게 될 수도 있다. 또한 수렴계산 횟수에 관계없이 더 이상 수렴되지 않고 일정한 값 또는 몇 개 값이 반복하여 나타나기 때문에 보다 정밀한 값을 도출시킬 수 있는 새로운 수렴계산방법의 개발이 필요하다.

기존방법들이 유출통행량 및 유입통행량을 기준으로 비율로써 O-D표의 행과 열을 반복 수렴계산 하는 것과 달리 본 연구에서는 총 통행량을 기준으로 유출통행량, 유입통행량과의 차를 가중평균으로써 최소화시키는 방법을 개발하였다. 새로 개발한 수렴계산 방법에 대하여 대구시에서 실시한 사람통행실태조사자료를 이용, 38개 존 O-D표를 작성하고 퍼니스법 및 프레타법과 비교 분석하였으며 유용성을 검증하였다.

II. 기존 수렴계산방법

1. 퍼니스 방법

수렴계산의 가장 대표적인 방법이라 할 수 있는 퍼니스법(1965)은 Bi-proportional algorithm으로도 불리는데, 수렴속도가 빠른 장점을 가지고 있다.(윤대식, 2001) 조정계수(Balancing factors) A_i 와 B_j 를 이용하여 수렴시키는 것으로 식(1)에서 식(8)의 과정으로 통행분포량을 계산한다. X_{ij} 를 수렴계산된 존 i에서 존 j로의 통행분포량으로 정의하고, X_{ij} 를 통행분포

예측모형으로부터 예측된 존 i에서 존 j로의 통행분포량으로 정의한다. O_i 는 i존의 유출통행량, D_j 를 j존으로의 유입통행량으로 정의하고, Fo_i , Fd_j 를 i존의 유출통행 성장률 및 j존의 유입통행 성장률이라 정의한다. T 는 총 통행량이다.

$$\widehat{X}_{ij} = X_{ij} Fo_i Fd_j A_i B_j \quad (1)$$

$$Fo_i = O_i / \sum_j \widehat{X}_{ij} \quad (2a)$$

$$Fd_j = D_j / \sum_i \widehat{X}_{ij} \quad (2b)$$

$$a_i = Fo_i A_i \quad (3a)$$

$$b_j = Fd_j B_j \quad (3b)$$

로 두면, 식(4)로 된다.

$$\widehat{X}_{ij} = X_{ij} a_i b_j \quad (4)$$

또한, 수렴계산의 제약조건은 다음과 같다.

$$\sum_{j=1}^n \widehat{X}_{ij} = O_i \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \widehat{X}_{ij} = D_j \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \widehat{X}_{ij} = \sum_{j=1}^n O_i = \sum_{i=1}^n D_j = T \quad (7)$$

제약조건을 결합하면 다음을 얻을 수 있다.

$$a_i = O_i / \sum_j b_j \widehat{X}_{ij} \quad (8a)$$

$$b_j = D_j / \sum_i a_j \widehat{X}_{ij} \quad (8b)$$

조정계수 $a_i(A_i)$ 와 $b_j(B_j)$ 는 서로 함수관계에 있으므로, 다음의 과정으로 계산을 한다. 먼저, 모든 b_j 를 1.0으로 두고, a_i 를 계산하고, a_i 로부터 다시 b_j 를 계산하는데 이 과정을 제약조건이 만족될 때까지 반복한다.

또한, 중력모형으로부터도 퍼니스법에 의한 수렴계산이 가능한데, 조정계수 A_i 와 B_j 의 계산과정은 다음과 같다. d_{ij}^β 는 존 i, j간의 거리저항(Traffic Impedance)이다.

$$\widehat{X}_{ij} = A_i O_i B_j D_j d_{ij}^\beta \quad (9)$$

$$A_i = \frac{\widehat{X}_{ij}}{O_i B_j D_j d_{ij}^\beta} = \frac{\sum_{j=1}^n \widehat{X}_{ij}}{O_i \sum_{j=1}^n B_j D_j d_{ij}^\beta} = \frac{O_i}{O_i \sum_{j=1}^n B_j D_j d_{ij}^\beta} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n B_j D_j d_{ij}^\beta} \quad (10a)$$

$$B_j = \frac{\widehat{X}_{ij}}{A_i O_i D_j d_{ij}^\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n \widehat{X}_{ij}}{D_j \sum_{i=1}^n A_i O_i d_{ij}^\beta} = \frac{D_j}{D_j \sum_{i=1}^n A_i O_i d_{ij}^\beta} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n A_i O_i d_{ij}^\beta} \quad (10b)$$

2. 프레타 방법

프레타법(1954)은 기준연도에서 목표연도의 통행분포를 예측하는 성장률법의 하나로도 많이 사용되지만, 타 통행분포 예측모형에서 도출된 결과의 수렴계산과정에서도 많이 이용되고 있다. 프레타법은 유출통행 성장률과 유입통행 성장률의 평균값을 이용하여 제약 조건이 충족될 때까지 반복계산을 행하는 것으로 과정은 식(11)에서 식(12)에 나타내었다.

$$\widehat{X}_{ij} = X_{ij} Fo_i Fd_j (Lo_i + Ld_j) / 2 \quad (11)$$

$$Lo_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} / \sum_{j=1}^n (X_{ij} \times Fo_j) \quad (12a)$$

$$Ld_j = \sum_{i=1}^n X_{ij} / \sum_{i=1}^n (X_{ij} \times Fd_i) \quad (12b)$$

계산의 결과가 수렴조건을 만족시키지 못하면 \widehat{X}_{ij} 를 X_{ij} 로 치환하여 제약조건이 만족될 시점까지 반복계산을 한다.

III. 분포패턴에 기초한 수렴계산 방법

수렴계산 후의 O-D표가 수렴계산 전 O-D표의 통행분포패턴을 유지시키기 위해서는 수렴계산 전후의 존별 통행유출 분포패턴과 통행유입 분포패턴의 차가 최소가 되어야 하고, 총 통행량에서의 상대적 빈도 변화 또한 최소로 되어야 한다.

즉, 유출통행량(O_i)에 대한 수렴계산 후 존간 분포

통행량(\widehat{X}_{ij})의 비율과 수렴계산 전 O-D표에서 행의 합($\sum_{j=1}^n X_{ij}$)에 대한 존간 통행분포량(X_{ij})의 비율이 최소가 되어야 하고(13a), 유입통행량(D_j)에 대한 수렴계산 후 존간 분포통행량(\widehat{X}_{ij})의 비율과 수렴계산 전 O-D표에서 열의 합($\sum_{i=1}^n X_{ij}$)에 대한 존간 통행분포량(X_{ij})의 비율이 최소가 되어야 한다(13b). 그리고 수렴계산 전 전체 존간 통행량 합($\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij}$)에 대한 존간 통행량(X_{ij})의 비율과 총 통행량(T)에 대한 수렴계산 후의 존간 통행량(\widehat{X}_{ij})의 비율 차가 최소로 될 때 (14) 분포패턴이 유지된다.

$$\min. X_{ij} / \sum_{j=1}^n X_{ij} - \widehat{X}_{ij} / O_i \quad (13a)$$

$$\min. X_{ij} / \sum_{i=1}^n X_{ij} - \widehat{X}_{ij} / D_j \quad (13b)$$

$$\min. X_{ij} / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij} - \widehat{X}_{ij} / T \quad (14)$$

많은 경우 동일한 존에서 유출통행량과 유입통행량이 같지 않기 때문에 식(13), 식(14)의 조건을 충족시키기 어렵게 되며 수렴계산이 필요하게 된다.

총 통행량을 기준으로 각 존간 통행분포량의 유출통행량 및 유입통행량에 대한 상대빈도(OpX_{ij} , DpX_{ij})는 식(7)과 식(13), 식(14)를 결합한 형태인 식(15a), 식(15b)로 계산할 수 있다.

$$OpX_{ij} = (X_{ij} / \sum_{j=1}^n X_{ij}) \times (O_i / T) \quad (15a)$$

$$DpX_{ij} = (X_{ij} / \sum_{i=1}^n X_{ij}) \times (D_j / T) \quad (15b)$$

만약 모든 통행 분포량(X_{ij})에서 행의 합과 유출통행량이 같고($\sum_{j=1}^n X_{ij} = O_i$), 열의 합과 유입통행량이 같다면 ($\sum_{i=1}^n X_{ij} = D_j$) 제약조건을 만족시킬 뿐만 아니라, 유출통행량의 상대빈도(OpX_{ij})와 유입통행량의 상대빈도(DpX_{ij})는 같은 값을 가지고, 두 개의 상대빈도 차는 0이 될 것이다.

유출통행량(O_i)과 유입통행량(D_j)이 서로 다르기 때문에 유출통행량(O_i)에 대한 상대빈도(OpX_{ij})와 유

입통행량(D_j)에 대한 상대빈도(DpX_{ij})가 다르게 되는데, 다른 두 개의 상대빈도로부터 분포패턴 유지를 위한 존간 통행분포량(\widehat{X}_{ij})은 식(16)에서와 같이 유출통행량과 유입통행량으로 가중평균하고, 총 통행량(T)을 곱함으로써 계산할 수 있다.

$$\widehat{X}_{ij} = (OpX_{ij} \times O_i + DpX_{ij} \times D_j) / (O_i + D_j) \times T \quad (16)$$

만약, 식(16)으로부터 작성된 O-D표가 제약조건을 만족하지 못하면 반복계산을 행하게된다.

제약 식(14)를 만족하는 통행분포량과의 차를 Δ_{ij} ($T - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\widehat{X}_{ij} + \Delta_{ij}) < \epsilon$, 단 $\epsilon \approx 0$), 제약 식(13a)를 만족하는 통행분포량과의 차를 Δ_{ijO} ($O_i - \sum_{j=1}^n (\widehat{X}_{ij} + \Delta_{ij}) < \epsilon$)라고 하고, 제약 식(13b)를 만족하는 통행분포량과의 차를 Δ_{ijD} ($D_j - \sum_{i=1}^n (\widehat{X}_{ij} + \Delta_{ij}) < \epsilon$)라고 하면, 행의 합과 존 유출통행량과의 차, 열의 합과 존 유입통행량과의 차는 식(17a) 및 식(17b)로써 표현된다. (m)은 수렴계산 반복 횟수를 나타낸다.

$$\sum_{j=1}^n \Delta_{ijO}^{(m)} = (O_i - \sum_{j=1}^n \widehat{X}_{ij}^{(m-1)}) \quad (17a)$$

$$\sum_{i=1}^n \Delta_{ijD}^{(m)} = (D_j - \sum_{i=1}^n \widehat{X}_{ij}^{(m-1)}) \quad (17b)$$

수렴계산 과정에서의 Δ_{ijO} 와 Δ_{ijD} 는 통행 분포량에 따른 비례할당으로 식(18a), 식(18b)와 같이 계산할 수 있다.

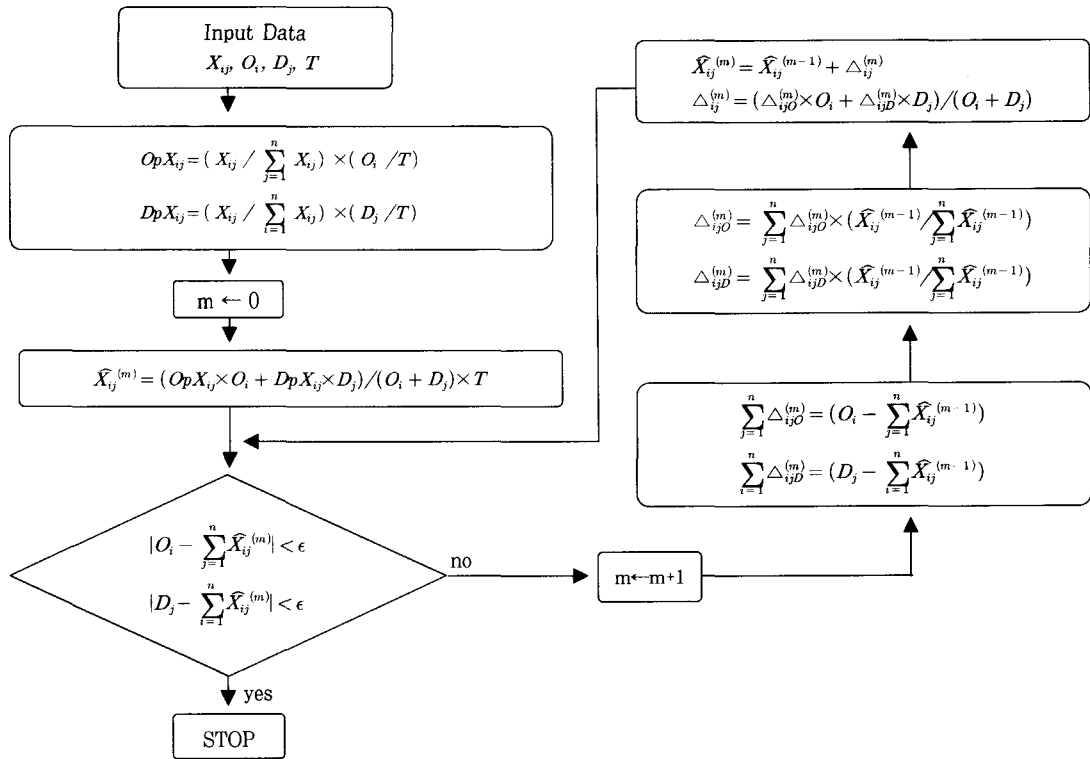
$$\Delta_{ijO}^{(m)} = \sum_{j=1}^n \Delta_{ijO}^{(m)} \times (\widehat{X}_{ij}^{(m-1)} / \sum_{j=1}^n \widehat{X}_{ij}^{(m-1)}) \quad (18a)$$

$$\Delta_{ijD}^{(m)} = \sum_{i=1}^n \Delta_{ijD}^{(m)} \times (\widehat{X}_{ij}^{(m-1)} / \sum_{i=1}^n \widehat{X}_{ij}^{(m-1)}) \quad (18b)$$

Δ_{ijO} 와 Δ_{ijD} 로부터 Δ_{ij} 는 식(19)에서와 같이 유출통행량과 유입통행량을 이용한 가중 평균값으로 계산할 수 있다.

$$\Delta_{ij}^{(m)} = (\Delta_{ijO}^{(m)} \times O_i + \Delta_{ijD}^{(m)} \times D_j) / (O_i + D_j) \quad (19)$$

그러면 통행 분포량은 식(20)과 같이 다시 계산될 수 있다.



〈그림 1〉 분포패턴에 기초한 수렴계산 흐름도

$$\widehat{X}_{ij}^{(m)} = \widehat{X}_{ij}^{(m-1)} + \Delta_{ij}^{(m)} \quad (20)$$

2. 비교 항목

(m)단계에서 계산된 통행 분포량(\widehat{X}_{ij})으로 구성된 O-D표가 제약조건을 만족시키면 수렴계산을 중지하고, 만족시키지 못하면 식(17)부터 다시 반복하여 계산을 한다. 이상의 과정을 흐름도로 나타낸 것이 〈그림 1〉이다.

IV. 기존방법과의 비교

새로 개발한 방법의 유용성 검증은 수렴계산 결과를 기존 수렴계산의 대표적 방법인 프레타법과 퍼니스법에 의한 수렴계산 결과와의 비교를 통하여 행하였다.

1. O-D 표

수렴계산 결과를 비교하기 위하여 적용한 O-D표는 대구시에서 1992년에 실시되었던 사람통행실태조사 자료를 기초로 예측된 1996년 전체목적 O-D표이며, 존수는 38개, 총 통행량은 5,452,045Trip/day이다.

수렴계산 방법의 비교는 식(5)에서 식(7)에 나타난 수렴계산 제약조건 충족정도와 통행분포 패턴의 유지수준, 그리고 수렴속도로 보았다. 제약조건 충족정도는 총 통행량(T), 유출통행량(O_i), 유입통행량(D_j) 각각에 대한 충족정도로 구분하여 보았다. 총 통행량에 대한 충족정도는 식(21)에 나타난 것과 같이 총 통행량과 수렴계산 후, 전체 존간 통행량 합과의 절대차(Absolute Difference of Total Trip, ADTT)로 보았고, 유출통행량과 유입통행량에 대한 제약조건 충족여부는 식(22)에서 나타난 것과 같이 MAPE (Mean Absolute Percentage Error)통계량을 적용하였다. MAPE 통계량은 기준값에 대한 결과값의 평균오차를 비율로써 나타내는 것으로, 통계량이 0(기준값에 일치)에 근접할수록 제약조건을 충분히 만족시키는 것이며, 값이 크면 클수록 충족정도가 약함을 의미하게된다.

수렴계산 방법별 통행 분포패턴의 유지수준 비교 또한 유출통행량과 유입통행량에 대한 제약조건 충족여부 비교에서와 같이 수렴계산 종료후의 각 통행분포량

(\widehat{X}_{ij})이 통행분포 예측모형에서 도출된 각 통행분포량 (X_{ij})과 가지는 평균오차의 비율 즉, MAPE 통계량으로 보았으며(식 23), MAPE 통계량이 0에 가까울수록 통행 분포패턴의 유지수준이 높다는 것을 의미하게 된다.

$$ADTT = T - \sum_i^n \sum_j^n \widehat{X}_{ij} \quad (21)$$

$$MAPE(O) = \sum_i^n (|O_i - \sum_j^n \widehat{X}_{ij}| / O_i \times 100) / n \quad (22a)$$

$$MAPE(D) = \sum_j^n (|D_j - \sum_i^n \widehat{X}_{ij}| / D_j \times 100) / n \quad (22b)$$

$$MAPE(cell) = \sum_i^n \sum_j^n (|X_{ij} - \widehat{X}_{ij}| / X_{ij} \times 100) / n^2 \quad (23)$$

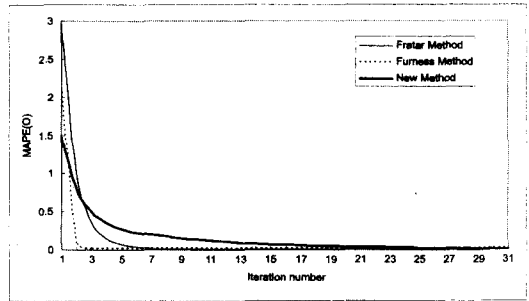
수렴속도 비교는 수렴시의 반복계산 횟수를 보았고, 반복계산 횟수별 CPU time을 보았다. CPU time은 Pentium 4, CPU 2.40GHZ, 512MB RAM의 컴퓨터 환경에서 계산하였다.

3. 비교 결과

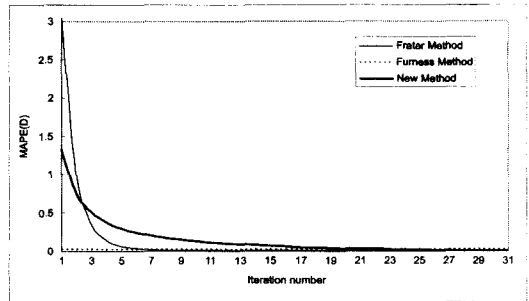
프레타법, 퍼니스법 그리고 개발한 방법의 수렴계산을 300회씩 행하였으며, 각 비교항목별로 통계량의 변화가 없는 시점의 통계량으로 비교하였다.

총 통행량에 대한 제약조건의 충족정도(ADTT)의 수렴계산 방법별 수렴결과는 <그림 2>에서 나타내었는데, 퍼니스법의 경우는 6회에서 총 통행량과 704의 차가 발생한 상태로 수렴하였으나, 프레타법의 경우는 300회의 계산에서도 일정 값에 수렴하지 않고 차가 213에서 225의 범위로 불규칙하게 반복되었다. 개발된 방법은 42회 계산에서부터 총 통행량과의 차가 133으로 계산되어 타 방법에 비하여 가장 우수한 것으로 나타났다.

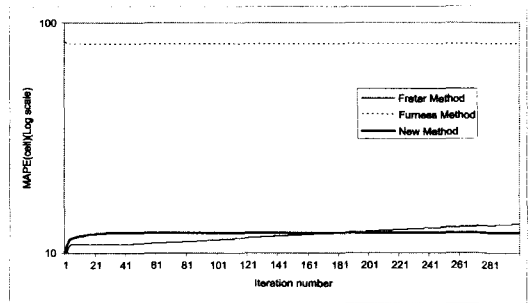
유출통행량(O_i)대한 제약조건의 충족정도를 보기 위한 수렴계산 방법별 MAPE 통계량의 변화는 <그림 3>에서 나타내었다. 프레타법은 8회의 수렴계산에서



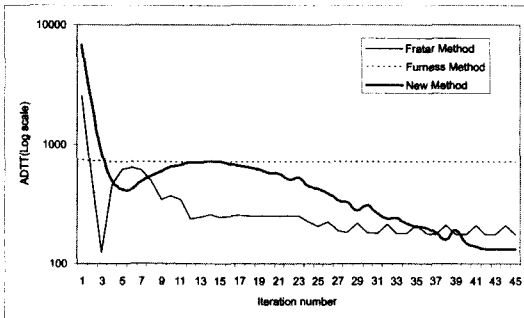
<그림 3> MAPE(O)변화



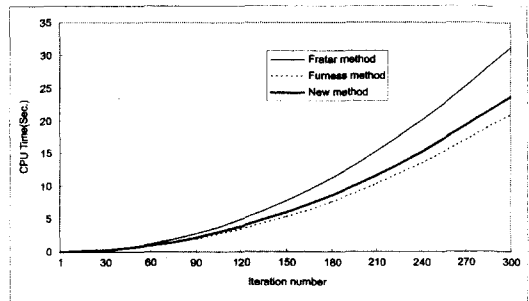
<그림 4> MAPE(D) 변화



<그림 5> MAPE(cell) 변화



<그림 2> ADTT변화



<그림 6> CPU Time변화

MAPE 통계량 0.01에 수렴되었고, 퍼니스법의 경우는 3회의 수렴계산에서 0.02에 수렴되었다. 개발된 방법은 37회의 수렴계산에서 0에 수렴되었다. 즉, 유출 통행량에 대한 평균오차율이 프레타법이 0.01%, 퍼니스법이 0.02%이나 개발한 방법은 거의 유출 통행량과 같은 값을 나타내었다. 수렴계산횟수는 프레타법이 가장 우수하게 나타났으나, 제약조건의 충족정도는 개발된 방법이 가장 우수한 것으로 나타났다.

유입통행량(D_j)에 대한 MAPE 통계량의 변화는 <그림 4>에서 나타내었는데, 유출통행량에 대한 제약조건 충족정도의 결과와 유사하게 나타났다. 프레타법은 8회의 수렴계산에서 MAPE 통계량이 0.01에 수렴되었고, 퍼니스법은 1회 수렴계산에서부터 0.02에 수렴되었다.

개발된 방법은 수렴계산 40회에서 0에 수렴되어, 유입통행량에 대한 제약조건의 충족정도에서도 개발된 방법이 가장 우수한 것으로 나타났다.

통행분포패턴의 유지정도를 비교하기 위한 통행 분포량에서의 MAPE 통계량 변화는 <그림 5>에서 나타내었다. 프레타법은 MAPE 통계량이 수렴계산을 할수록 증가하였으며, 300회 계산의 결과가 13.35로 나타났다. 퍼니스법의 경우는 3회 수렴계산에서부터 80.90으로 나타났으며, 개발된 방법은 39회의 수렴계산에서부터 MAPE 통계량이 12.28에서 수렴되었다.

이는 수렴계산후의 통행 분포량이 수렴계산전 통행 분포량에 비하여 프레타법에서 평균 13.35%, 퍼니스법에서 평균 80.90% 차이를 가지는 반면, 개발된 방법은 평균 12.28%로 가장 낮아 통행분포 패턴의 유지

<표 1> 수렴계산결과

비교항목		계산방법		프레타법	퍼니스법	개발된 방법
		ADTT	수렴 계산횟수			
제약조건 충족	총 통행량	ADTT		215*	704	133
		수렴 계산횟수		300	6	42
	유출 통행량	MAPE(O)		0.01	0.02	0
		수렴 계산횟수		8	3	37
	유입 통행량	MAPE(D)		0.01	0.02	0
		수렴 계산횟수		8	1	40
분포패턴 유지	통행 분포량	MAPE (cell)		13.35**	80.90	12.28
		수렴 계산횟수		300	3	39
수렴계산 속도 CPU Time (SEC)	100 회		3.375	2.343	2.672	
	200 회		13.859	9.328	10.562	
	300 회		31.125	20.953	23.687	

* 213~225의 범위에서 불규칙 반복

** 지속적 증가

정도에서도 우수함을 보여주는 것이다.

각 수렴계산 방법별 CPU time의 변화는 <그림 6>에서 나타내었는데, 퍼니스법이 가장 짧고 프레타법이 가장 긴 것으로 나타났다. 100회의 수렴계산 반복에서 프레타법은 3.375초, 퍼니스법은 2.343초, 개발된 방법은 2.672초로 계산되었으며, 300회의 반복에서는 프레타법이 31.125초, 퍼니스법이 20.953초, 개발된 방법이 23.687초로 계산되었다.

이상의 수렴계산방법별 수렴계산 결과를 <표 1>에서 정리하였다.

4. 비교 결과 고찰

실제 O-D표에 대하여 각 수렴계산 방법을 적용해 본 결과, 본 연구에서 개발한 방법은 제약조건의 충족, 분포패턴의 유지에서 기존 수렴계산방법에 비하여 우수한 결과를 나타내었다. 수렴계산횟수에서는 타 방법에 비하여 많은 반복을 필요로 하였으나, 수렴시간에서는 프레타법 보다 빠른 것으로 분석되었다.

기존 수렴계산 방법이 가지는 단점은 O-D표에서 행의 합과 유출통행량 그리고 열의 합과 유입통행량의 일치를 위해 변동폭이 큰 비율로써 계산하고, 그 비율이 하나의 행 또는 하나의 열에 동일하게 적용되고 있는 것이다. 즉, 임의의 존간 통행분포량이 아주 크거나, 아주 작은 경우, O-D표에서 그 존간 통행분포량이 속한 행 전체에 영향을 미치게 되고, 행의 변화는 다시 열의 변화를 가져오게 된다.

반면 새로 개발한 방법은 O-D표에서 비율에 의한 행과 열의 반복적 변화를 가져오지 않고, 각 통행분포량 자체가 총 통행량을 기준으로 한 유출통행량 및 유입통행량에서의 최적 구성비를 동시에 만족시키는 방향으로 변동폭이 작은 차로써 수렴계산을 행하기 때문에 기존 방법보다 우수한 결과를 도출시키게 되는 것이다. 그리고 개발된 방법이 초기 수렴에서 총 통행량과의 차(ADTT)를 제외하고, 타 방법에 비해 우수한 결과를 보이는 것은 최초 수렴계산 시작단계에서 유출통행량과 유입통행량에 대한 각 통행분포량의 상대빈도에 총 통행량을 곱하여 구한 통행분포량으로 수렴계산을 시작하기 때문이다.

V. 결론

본 연구에서 개발한 새로운 수렴계산 방법은 기존

방법 대비 다음과 같은 특성을 가진다.

1) 총 통행량을 기준으로 유출통행량과 유입통행량에서의 상대빈도를 이용하여 제약조건 및 분포패턴을 동시에 만족시키는 방향으로 수렴계산을 행함.

2) 기존 방법이 가지는 행과 열의 순차 반복 수렴계산이 아닌 행과 열을 동시에 고려하는 통행분포량 자체의 반복 수렴계산을 행함.

3) 유출통행량, 유입통행량에 대한 비율(Rate)이 아닌 차(Difference)를 이용하고, 평균이 아닌 가중평균을 사용하여 수렴계산을 행함.

이러한 특성을 가지는 새로운 수렴계산 방법을 기존의 대표적 수렴계산 방법인 프레타법 및 퍼니스법과 수렴계산 결과를 비교하였다. 본 논문에서 개발된 방법은 안정적인 수렴을 행하였으며, 발생통행 및 집중통행에 대한 수렴정도도 우수하였고, 동시에 통행 분포패턴의 유지 측면에서도 타 기존 방법에 비하여 결과가 우수하였다.

개발된 방법은 프레타법 및 퍼니스법에 비하여 더 많은 반복 수렴계산이 요구되나, 속도(CPU time)면에서는 타방법과 큰 차이가 없어 컴퓨터를 이용해 수렴계산을 행할 경우, 수렴속도는 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

결론적으로 새로운 방법은 안정적이고, 높은 정도를 필요로 하는 장래 O-D표 수렴계산에서 유용하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 김대웅(1993), "도시중합교통계획", 형실출판사, pp.219~242.
2. 노정현(1999), "교통계획: 통행수요이론과 모형", 남출판, pp.98~146.
3. 윤대식(2001), "교통수요분석: 이론과 모형", 박영사, pp.72~133.
4. Ali Mekky(1983), "A direct method for speeding up the convergence of the furness biproportional method". Transportation Research Part B 17, pp.1~11.
5. Beardwood J. E., Kirby H. R.(1975), "Zone definition and the gravity model". Transportation research. 9, pp.363~369.
6. Bregman L. M.(1967), "Proof of the convergence of Sheleikhovskii's method for a problem with transportation constraints", USSR Comput. Mathematics and Mathematical Physics 7, pp.191~204.
7. Evans A. W.(1970), "Some properties of trip distribution methods". Transportation Research 4, pp.19~36.
8. Evans S. P.(1973), "A relationship between the gravity model for trip distribution and the transportation problem in linear programming". Transportation Research 7, pp.39~61.
9. Fratar T. J.(1954), "Vehicle trip distribution by successive approximation", Traffic Quarterly.
10. Furness K. P.(1965), "Time function iteration". Traffic Engineering Control 7, pp.458~460.
11. Gorman W. M.(1963), "Estimating trends in Leontieff matrices: a note on Mr Bacharach's paper. duplicate", Nuffield College Oxford.
12. Murchland J. D.(1972), "Gravity model balancing iterations". PTRC, London.
13. Orttu'zar J. D., Willumsen L. G.(2001), "Modelling Transport". Third edition. John Wiley & Sons.
14. Robillard P., Stewart W.(1974), "Iterative numerical methods for trip distribution problems". Transportation Research 8, pp.575~582.
15. Stopher P. R., A. M. Meyburg(1975), "Urban Transportation Modelling and Planning", Lexington Books.

✉ 주 작성자 : 유영근

✉ 논문투고일 : 2005. 1. 12

논문심사일 : 2005. 2. 14 (1차)

2005. 3. 15 (2차)

2005. 3. 22 (3차)

심사판정일 : 2005. 3. 22

✉ 반론접수기한 : 2005. 8. 31