

장래 통행패턴을 고려한 중력모형의 파라미터 정산방법

Parameter Calibration of Gravity Model Considering Future Travel Patterns

임용택 전남대학교 교통물류학부 교수(제1연구자)

김상구 전남대학교 교통물류학부 교수

※ 주요단어 : 장래 통행패턴, 정산, 조정계수, 중력모형, 파라미터

목 차

- I. 서론
- II. 중력모형의 정산방법
 - 1. 파라미터 정산법
 - 2. 조정계수 정산법
- III. 새로운 중력모형의 정산방법
 - 1. 장래 통행량을 고려한 파라미터 정산모형
 - 2. 파라미터 정산과정
 - 3. 기준연도 파라미터 정산
- IV. 모형의 평가
 - 1. Hyman 정산법과의 비교
 - 2. 장래 통행패턴을 고려한 파라미터 정산
- V. 결론 및 향후과제

I. 서론

본 연구는 중력모형(Gravity Model)의 파라미터 정산(Parameter Calibration)에 대한 새로운 방법을 제시한다. 중력모형은 통행분포(Trip Distribution)단계에서 사용되는 대표적인 기법으로 평균성장인자모형, Fratar법, 엔트로피 모형 등 다른 모형들에 비해 통행자의 행태를 비교적 잘 반영하기 때문에 현재 널리 사용되고 있다. 장래 기종점 간의 통행량을 계산하기 위해서는 먼저 총유입량과 총유출량을 일치시키는 조정계수(Balancing Factor)를 구해야 하는데, 이때 저항함수에 포함된 파라미터 값은 기준연도 자료로 사전에 정산된 값을 사용한다. 이렇게 기준연도에 정산된 파라미터 값을 장래 추정 시 사용하는 것은 기준연도의 통행패턴이 장래에도 그대로 유지될 것이라는 가정을 포함하고 있다. 그러나 실제 기준연도의 통행패턴이 장래에도 그대로 유지될지는 미지수이며, 따라서 되도록 장래 통행패턴에 맞게 저항함수의 파라미터 값을 정산할 수 있는 방법이 요구된다.

그동안 중력모형 등 통행분포모형의 정산에 관해서는 상당한 연구들이 국내외에서 수행되어 왔다. 외국의 경우, 주로 1970~80년대 초에 걸쳐 이와 관련된 다수의 논문들(Hyman, 1969; Evans, 1970; Wilson, 1970; Giles et al. 1981; Lamond et al. 1981; Gray et al. 1983)이 제시되었는데, 대표적으로 Wilson(1970)의 반복조정법(Iterative Balancing Method)이 있다. 반면, 국내에서는 1990년대 이후 최근에 여러 논문들이 발표되고 있다. 윤성순(1993)은 중력모형의 파라미터 정산을 위한 새로운 방법론을 제시하였으며,

김형진(1996)은 카이제곱검증을 통하여 중력모형의 적합성을 평가하였다. 노정현(1991)은 엔트로피 모형의 파라미터와 조정계수를 동시에 구할 수 있는 연립방정식과 이를 풀기 위한 Hybrid방법을 제시하였으며, 최근 노정현 외(2005)에서는 고속도로 차량을 대상으로 중력모형과 간섭기회모형을 비교하였다. 신언교 외(1999)와 원계무 외(2001)는 전국 고속도로를 대상으로 중력모형과 엔트로피 극대화모형의 파라미터를 추정하는 방법을 제시하였는데, Wilson(1970)의 방법에 기초하고 있다. 이외에 화물통행에 대한 연구들도 수행되어 왔다(백호중, 1988; 이성모 외, 2003). 그러나 이들 연구들은 공통적으로 기준연도의 자료를 기초로 모형의 파라미터를 정산한다는 한계를 갖고 있다.

본 연구는 이런 측면에서 장래 통행패턴에 따라 파라미터를 정산하는 방법론을 제시한다. 이것은 기종점별로 추정된 장래 통행유출량을 이용하여 파라미터를 정산시키는 방법으로 기존의 방법에 비해 장래 통행패턴을 고려할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서 제안한 정산모형은 간단한 예제를 통하여 평가해 본다.

II. 중력모형의 정산방법

각 기종점별 통행유출량(Trip Production)과 통행유입량(Trip Attraction)을 일치시키는 이중제약 중력모형(Doubly Constrained Gravity Model)은 일반적으로 다음과 같이 표현된다.

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j f_{ij}(c_{ij}) \quad <식 1>$$

$$\begin{aligned} \text{제약조건 : } \sum_i T_{ij} &= O_i && (\text{유출제약}) \\ \sum_j T_{ij} &= D_j && (\text{유입제약}) \end{aligned}$$

여기서, T_{ij} 는 기종점 ij 간 통행량이며, O_i, D_j 는 기점 i 의 통행유출량과 종점 j 의 통행유입량을 나타내고 A_i, B_j 는 기점 i 와 종점 j 의 통행유출입량과 관련된 조정계수(Balancing Factor)다. 또한 $f_{ij}(c_{ij})$ 는 기종점 간 저항함수(Impedance Function)로 일반적으로 다음과 같은 함수를 주로 사용한다.

(i) 지수함수(Exponential Function)

$$f_{ij}(c_{ij}) = \exp(-\beta c_{ij})$$

(ii) 파워함수(Power Function)

$$f_{ij}(c_{ij}) = c_{ij}^{-\alpha}$$

(iii) 결합함수(Combined Function)

$$f_{ij}(c_{ij}) = c_{ij}^{-\alpha} \exp(-\beta c_{ij})$$

여기서, α, β 는 각 저항함수의 파라미터(Parameter)다.

1. 파라미터 정산법

장래 기종점 간 통행량을 추정하기 위해서는 먼저 저항함수에 포함된 파라미터(α, β)값을 정산해야 한다. 여러 가지 정산방법이 제안되었으나, 현재 효율적인 중력모형의 정산기법으로 잘 알려진 방법은 Hyman(1969)의 방법으로 다음과 같은 관계를 기본으로 하고 있다 (Ortuzar et al. 2001).

$$c(\beta) = \frac{\sum_{ij} [T_{ij}(\beta) c_{ij}]}{T(\beta)} = c^* = \frac{\sum_{ij} (N_{ij} c_{ij})}{\sum_{ij} N_{ij}} \quad \text{<식 2>}$$

여기서, c^* 는 OTLD(Observed Trip Length Distribution)의 평균 비용(Mean Cost)이며, N_{ij} 는 각 OD쌍에 대하여 관측된 통행수다. 파라미터 β 값을 정산하는 과정은 다음과 같다.

[파라미터 정산과정]

<단계 1>

반복수 $m = 0$

초기 추정치 설정 $\beta_0 = 1/c^*$

여기서, c^* 는 OTLD의 평균비용

<단계 2>

(2.1) β_0 을 가지고 중력모형을 수행하여 평균 통행비용(Mean Trip Cost) c_0 산출

(2.2) β_1 값 계산: $\beta_1 = \beta_0 c_0 / c^*$

<단계 3>

(3.1) $m = m + 1$

(3.2) β_{m-1} 을 가지고 중력모형을 수행하여 c_{m-1} 값 산출

(3.3) 만약 $|c^* - c_{m-1}| < \epsilon$ 면, 중지하고 β_{m-1} 값 선정, 그렇지 않으면 <단계 4>로 진행

<단계 4>

β_{m+1} 값 계산

$$\beta_{m+1} = \frac{(c^* - c_{m-1})\beta_m - (c^* - c_m)\beta_{m-1}}{c_m - c_{m-1}}$$

<단계 5>

수렴할 때까지 <단계 3>과 <단계 4>를 반복 수행

즉, 이 방법은 관측된 통행비용과 관측교통량 비율 간의 TLFD(Trip Length Frequency Distribution)을 이용하여 평균 통행비용(c^*)을 구하고 이에 가장 가까운 통행패턴(통행비용)이 될 때까지 반복수행하여 파라미터 값을 구한다.

2. 조정계수 (Balancing Factor; A_i, B_j) 정산법

이중계약 중력모형의 경우, 이들 제약식으로부터 다음과 같은 관계식이 도출된다.

유출제약으로부터,

$$\sum_j A_i O_i B_j D_j f(c_{ij}) = O_i \text{ 이므로}$$

$$A_i = \frac{1}{\sum_j B_j D_j f(c_{ij})} \quad \text{<식 1>}$$

또한, 유입제약으로부터

$$\sum_i A_i O_i B_j D_j f(c_{ij}) = D_j \text{ 이므로}$$

$$B_j = \frac{1}{\sum_i A_i O_i f(c_{ij})} \quad \text{<식 2>}$$

<식 1>, <식 2>를 이용하여 조정계수 A_i, B_j 를 구할 수 있는데, 일반적으로 다음과 같은 Furness Method를 주로 사용한다.

[조정계수 A_i, B_j 계산과정(Furness Method)]

<단계 1>

반복수 $n=0$

$B_j^n = 1$ 로 놓고 <식 1>에서 A_i^n 값 계산

<단계 2>

$n = n + 1$

<단계 3>

구해진 A_i^{n-1} 값을 <식 2>에 대입하여 B_j^n 값 계산

<단계 4>

구해진 B_j^n 값을 <식 1>에 대입하여 A_i^n 값 계산

<단계 5> 수렴성 검토

만약 $|A_i^n - A_i^{n-1}| \approx 0$ 이며 $|B_j^n - B_j^{n-1}| \approx 0$ 이면 중지, 그렇지 않으면, <단계 1>로 진행

그런데 위 Furness 방법은 Evans(1970)에 의해 유출 및 유입제약식을 만족한다는 조건하에서 유일한 해(Unique Solution)가 존재함이 입증되었다. 또한 Lamond et al.(1981)는 Furness Method, Kruithof Method 그리고 기종점 통행량추정(OD Matrix Estimation)문제에 사용되는 Biproportional Method 등이 모두 Bregman(1967)이 제안한 Balancing방법의 특별한 경우임을 보여주었다.

III. 새로운 중력모형의 정산방법

앞 절에서 기술한 기존 중력모형의 파라미터 정산방법은 기준연도의 통행자료(통행시간, 통행량)를 이용하여 파라미터를 구하고, 이런 통행패턴이 장래에도 변하지 않을 것이라는 가정하에 장래의 기종점 간 통행량 추정 시 사용한다. 그러나 실제로 장래의 통행패턴은 기준연도와는 달라지는 것이 일반적이기 때문에 이런 가정은 비현실적일 수 있다. 따라서 파라미터 추정 시 되도록 장래의 통행패턴을 반영할 수 있으면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

본 연구에서 제시하는 방법은 장래 발생하는 통행유출량(또는 통행유입량)을 고려하여 저항함수의 파라미터를 정산하는 방법을 제안한다. 본 연구에서 제안하는 방법과 Hyman방법과의 차이는 Hyman의 정산법이 기준연도에 관측된 평균 통행시간과 모형에서 도출된 평균통행시간을 일치시키는 파라미터를 구하는 데 반해, 본 정산법은 장래 각 존의 통행 발생량과 모형에서 도출된 각 존의 통행발생량을 일치시키는 파라미터를 구한다는 점이다.

1. 장래 통행량을 고려한 파라미터 정산모형

기점*i*에서 발생한 장래 유출통행량(\bar{O}_i)를 기준으로 저항함수의 파라미터 β 값을 정산하는 문제를 살펴보자. 이 경우, 중력모형에서 산출되는 통행유출량($\sum_j T_{ij}$)과 통행발생(Trip Generation)단계에서 산출된 장래 유출통행량(\bar{O}_i)의 차이를 최소화시키는 파라미터 β 값을 찾는 다음과 같은 최소화문제가 된다.

$$\min Z(\beta) = \frac{1}{2} \sum_i \left\{ \sum_j T_{ij}(\beta) - \bar{O}_i \right\}^2 \quad \text{<식 3>}$$

여기서, $T_{ij}(\beta) = A_i O_i B_j D_j f_{ij}(\beta)$ 이므로 $\sum_j T_{ij} = O_i$ 이며, \bar{O}_i 는 통행발생(Trip Generation)단계에서 산출된 장래 통행발생량이다. 따라서 <식 3>을 통하여 구해진 최적 파라미터 β 는 장래 통행패턴(통행유출량)을 고려하여 구한 값이 된다.

여기서, <식 3>은 다음과 같이 변환된다.

$$\min Z(\beta) = \frac{1}{2} \sum_i \left\{ \sum_j A_i O_i B_j D_j f_{ij}(\beta) - \bar{O}_i \right\}^2 \quad \text{<식 4>}$$

그런데, <식 4>는 변수가 1개(β)인 비선형 최적화문제로 황금분할법(Golden Section Method)이나 이분법(Bisection Method) 등과 같은 1차원 선형탐색법(One-Dimensional Line Search Method)으로 해를 구할 수 있다. 본 연구에서는 황금분할법으로 해를 구하며, 황금분할법에 대해서는 수치해석 관련서적에 자세히 설명되어 있어 여기서는 생략한다.

2. 파라미터 정산과정

본 연구에서 제안한 정산과정을 정리하면 다음과 같다. 여기서, \bar{O}_i, \bar{D}_j 는 통행발생단계에서 미리 구해진 장래 각 존의 유출 및 유입 통행량이다.

- <단계 1> 초기화
- 외부 반복수 $n=0$
- 초기 T_{ij}^n 값 및 초기 β^n 값 설정

자유통행시간으로 기종점 ij 간 평균여행비용 (Mean Travel Cost) c_{ij}^n 설정

<단계 2> A_i, B_j 값 계산

(2.1) 초기화

내부 반복수 $m = 0$

$$B_j^m = 1$$

$$A_i^m = \frac{1}{\sum_j B_j^m D_j f_{ij}^m(c_{ij}^n)} \text{ 값 계산}$$

(2.2) $m = m + 1$

(2.3) A_i^m 과 B_j^m 값 계산

$$B_j^m = \frac{1}{\sum_i A_i^{m-1} O_i f_{ij}^m(c_{ij}^n)}$$

$$A_i^m = \frac{1}{\sum_j B_j^m D_j f_{ij}^m(c_{ij}^n)}$$

(2.4) 수렴성 검토

만약 $|A_i^m - A_i^{m-1}| \approx 0$ & $|B_j^m - B_j^{m-1}| \approx 0$ 이면 최적값 $\{A_i^*, B_j^*\}$, <단계 2>로 진행, 그렇지 않으면 (2.2)로 진행

<단계 3>

$$n = n + 1$$

<단계 4>

T_{ij}^n 값 계산

$$T_{ij}^n = A_i^* O_i B_j^* D_j f_{ij}^m(c_{ij}^n)$$

<단계 5> 수렴성 검토

만약 $|T_{ij}^n - T_{ij}^{n-1}| \approx 0$ 이면 중지, 그렇지 않으면, <단계 5>로 진행

<단계 6> β^n 값 계산

(6.1) 평균 통행비용 c_{ij}^n 계산

① T_{ij}^n 로 통행배정(Traffic Assignment)

② 기종점 ij 간 평균통행비용 c_{ij}^n 계산

(6.2) β^n 값 계산

황금분할법으로 최소화문제 <식 4>를 풀어 β^n 값 계산

(6.3) <단계 2>로 진행

3. 기준연도 파라미터 정산

본 연구에서 제시한 정산방법은 기준연도의 파라미터 정산에도 사용할 수 있다. 즉, Hyman의 정산방법 대신에 사용할 수도 있는데, 이 경우 파라미터(β)값의 정산은 모형에서 산출된 $\sum_j T_{ij}$ 와 관측된 통행발생량 \hat{O}_i 값을 최소화시키는 파라미터 β 값을 찾는 문제로 다음과 같은 최소화문제로 표현된다.

$$\min Z(\beta) = \frac{1}{2} \sum_i \left\{ \sum_j T_{ij}(\beta) - \hat{O}_i \right\}^2$$

여기서, $T_{ij}(\beta) = A_i O_i B_j D_j f_{ij}(\beta)$ 이며, \hat{O}_i 는 실제로 관측된 기점 i 의 통행발생량이다. 즉, 최적 β 값을 구하기 위하여 다음과 같은 최소화문제를 풀면 된다.

$$\min Z(\beta) = \frac{1}{2} \sum_i \left\{ \sum_j A_i O_i B_j D_j f_{ij}(\beta) - \hat{O}_i \right\}^2$$

풀이과정은 앞 1절과 동일하다.

IV. 모형의 평가

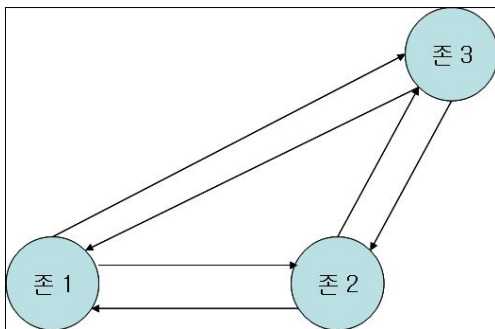
본 연구에서 제안한 방법을 2가지 측면에서 평가해본다. 먼저, 기준연도를 대상으로 Hyman의 방법과 비교해보고 이어 장래 통행패턴을 고려한 정산결과를 제시한다.

1. Hyman 정산법과의 비교

1) 분석 대상

먼저, 기준연도에 대하여 본 연구에서 제시한 방법과 Hyman의 방법을 비교하기 위하여 3개의 존으로 구성된 <그림 1>과 같은 지역에 대하여 저항함수의 파라미터 값을 정산해 보자. 기준연도 기종점 통행수요는 <표 1>에 나와 있으며, 초기 조정계수 A_i, B_j 는 <표 2>와 같다. 기종점 간 통행시간함수는 $c_{ij} = a_{ij} + b_{ij} * T_{ij}$ 이며, a_{ij} 값은 <표 3>과 같다(단, $b_{ij} = 0.05$). 또한, Hyman의 정산 시 이용되는 각 존쌍 간 관측 통행시간은 <표 4>에 나와 있다. 여기서 초기 파라미터 값은 평균 통행시간의 역수로 설정한다. 두 가지 정산방법을 통하여 최종적으로 도출된 파라미터 값과 조정계수 값이 <표 5>에 나와 있다.

<그림 1> 예제 교통존



<표 1> 기준연 기종점 (Origin-Destination) 통행수요

기종점 통행수요	종점(j)			O_i
	1	2	3	
기 점 (i)	1			160
	2			450
	3			180
D_j	200	370	220	790

<표 2> 기준연도 초기조정계수 값

A_i			B_j		
1	2	3	1	2	3
0.005657	0.005365	0.004521	1.436233	0.747285	1.254172

<표 3> a_{ij} 값 입력자료

a_{ij}	종점(j)			
	1	2	3	
기 점 (i)	1	2	5	10
	2	5	2	5
	3	10	5	2

<표 4> 기준연도 기종점 (Origin-Destination) 간 관측통행시간

관측통행시간	종점(j)			
	1	2	3	
기 점 (i)	1	2	15	5
	2	15	2	10
	3	5	10	2

2) 분석결과

표에서 보듯이 두 모형이 서로 다른 파라미터 값을 도출하고 있는데, 이는 접근방법이 서로 다르기 때문에 발생하는 당연한 결과다. 즉,

<표 5> 산출된 파라미터 β 와 조정계수값

모형	β	A_i			B_j		
		1	2	3	1	2	3
Hyman정산법	0.076523	0.001891	0.002456	0.001918	1.188134	1.329384	1.208498
본 연구	0.006578	0.001278	0.001305	0.001279	1.042824	1.051938	1.044300

<표 6> 산출된 기종점 간 통행시간(c_{ij})

c_{ij}		종점(j)		
		1	2	3
기점(i)	1	4.540362	8.803680	11.655957
	2	10.774431	12.487143	11.238428
	3	11.685207	9.209178	5.105615

(a) Hyman정산법

c_{ij}		종점(j)		
		1	2	3
기점(i)	1	4.075743	8.756238	12.168018
	2	10.708456	12.526343	11.265202
	3	12.215801	9.217419	4.566781

(b) 본 연구

<표 7> 최종적으로 산출된 기종점 통행량(T_{ij})

기종점 통행수요		종점(j)			O_i
		1	2	3	
기점(i)	1	50.807240	76.073601	33.119148	160.000
	2	115.488625	209.742844	124.768562	450.000
	3	33.704147	84.183556	62.112297	180.000
D_j		200.000	370.000	220.000	790.000

(a) Hyman정산법

기종점 통행수요		종점(j)			O_i
		1	2	3	
기점(i)	1	41.514858	75.124763	43.360367	160.000
	2	114.169128	210.526855	125.304031	450.000
	3	44.316017	84.348366	51.335617	180.000
D_j		200.000	370.000	220.000	790.000

(b) 본 연구

비록 동일한 초기 값에서 출발하지만, Hyman의 정산법은 관측된 평균통행시간을 기초로 파라미터 값을 산출하는 데 비해, 본 연구의 방법은 존별 통행유출량을 기초로 파라미터를 정산하기 때문이다. 따라서 조정계수(A_i, B_j)와 기종점쌍 간 통행시간도 서로 다르게 나타나고 있다.

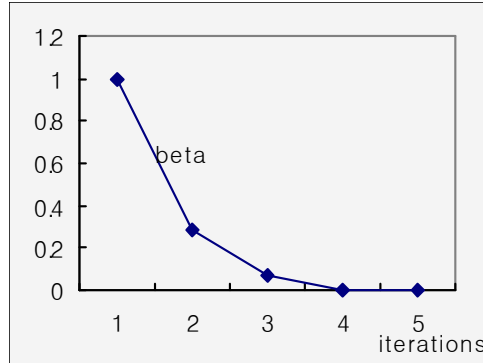
또한, <표 7>에서 보듯이 각 기종점쌍별 통행량(T_{ij})도 모형별로 다르게 나타나고 있다. 이것은 각 존의 유출량(O_i)과 유입량(D_j)을 만

족시키는 기종점통행량(T_{ij})이 다수가 존재함을 의미하는데, 유출입존의 수에 비해 기종점쌍의 수가 많기 때문이다. 즉, 존의 수가 n 개라면, 구해야 할 변수의 수(기종점쌍의 수)가 $n*n$ 개인데 비해, 방정식의 수(기점 및 종점의 수)가 $2n$ 개이기 때문에 $(n*n-2n)$ 개의 방정식이 부족하여 기종과 종점의 통행량을 만족시키는 기종점 통행량 조합이 다수 존재하게 된다. 그러나 두 모형에서 산출된 각존의 유출통행량과 유

<표 8> 장래 존별 유출입통행량

기종점 통행수요	종점(j)			O_i
	1	2	3	
기 점 (i)	1			320
	2			900
	3			360
D_j	400	740	440	1,580

<그림 2> β 값의 수렴과정



<표 9> 장래 발생통행량을 고려해 산출된 파라미터 β 와 조정계수값

구분	존		
	1	2	3
A_i	0.000087	0.000089	0.000087
B_j	7.346698	7.401067	7.354005
β^*	0.001553		

<표 10> 장래 기종점 간 통행시간(c_{ij})

c_{ij}	기 점 (i)	종점(j)		
		1	2	3
1	1	6.069555	12.507343	14.423102
	2	16.408344	23.052559	17.539097
	3	14.522101	13.440099	7.037801

입통행량들이 주어진 값과 동일하여 유출입 제약조건을 만족하고 있음을 알 수 있다.

정계수(A_i, B_j) 등이 산출된다.

2. 장래 통행패턴을 고려한 파라미터 정산

1) 분석 대상

장래 통행발생량을 고려한 파라미터를 산정하기 위한 대상은 <그림 1>과 동일하며, 장래 각 존별 유출입 통행량은 <표 8>과 같이 앞에서 고려한 기준연도 통행량의 2배로 가정한다. 기종점 간 통행시간함수는 앞 예제와 동일하며 파라미터의 초기값은 1.0으로 가정한다.

본 연구에서 제시한 모형을 통하여 장래 통행발생량을 고려한 최적 파라미터(β^*), 장래 기종점 통행량(T_{ij}), 기종점 간 통행시간(c_{ij}), 조

2) 분석 결과

장래 통행유출량을 고려한 저항함수의 파라미터 값과 조정계수가 <그림 2>와 <표 9>에 나와 있다. 그림에서 보듯이 β 값은 반복이 진행됨에 따라 초기치 1.0에서 점점 감소하여 반복수 4회 때 수렴하며, 이때 최적 β 값은 0.001553이다. 최종적으로 수렴된 경우의 장래 기종점별 통행시간은 <표 10>과 같다. <표 11>은 수렴 시 산출된 각 기종점 통행량(T_{ij})을 보여주고 있는데, 산출된 기종점통행량이 유출 및 유입제약조건을 만족하고 있음을 알 수 있다. 마지막으로 <표 12>는 저항함수를 파워함수(Power Function)로 설정한 경우 도출된 장래 기종점 통행량을 보여 주고 있다. 표

<표 11> 최종적으로 산출된 장래 기종점 통행량(T_{ij})

기종점 통행수요		종점(j)			O_i
		1	2	3	
기점 (i)	1	81.391090	150.146866	88.462044	320.000
	2	228.166870	421.051178	250.781952	900.000
	3	90.442024	168.801971	100.756020	360.000
D_j		400.000	740.000	440.000	1,580.000

<표 12> 저항함수가 파워함수인 경우의 장래 기종점 통행량

기종점 통행수요		종점(j)			O_i
		1	2	3	
기점 (i)	1	81.238159	149.883530	88.878304	320.000
	2	227.863922	421.517517	250.618561	900.000
	3	90.897934	168.598938	100.503143	360.000
D_j		400.000	740.000	440.000	1,580.000

에서 보듯이 이 경우 역시 유출입제한 조건을 만족시키고 있으며, 이때 산출된 최적 파라미터 $\alpha = 0.006578$ 이다.

V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 중력모형의 파라미터 정산 시 현재 널리 이용되고 있는 Hyman의 방법을 대체할 수 있는 새로운 정산방법을 제안하였다. 이 방법은 장래 예측된 통행발생량을 정산과정에 사용하기 때문에 장래 통행패턴을 고려할 수 있는 파라미터를 구할 수 있다는 장점이 있으며, 쉽게 해를 구할 수 있다. 본 연구에서 제안한 방법을 단순예제를 통하여 분석한 결과, 접근방법의 차이로 Hyman의 정산법과는 다른 파라미터를 도출하고

있지만 유출 및 유입 제약조건 모두를 만족시키는 기종점 통행량을 산출하고 있음을 알 수 있었으며, 또한 다수의 해(Multiple Solution)가 존재함을 확인하였다.

본 연구가 새로운 파라미터 정산방법을 제안하는 데 목적이 있기 때문에 단순한 예제를 통하여 모형을 평가하였다. 그러나 좀 더 정확한 평가를 위해서는 대규모 존을 대상으로 하거나 실제 자료를 통하여 모형을 평가해 볼 필요가 있으며 이에 대해서는 향후 연구로 남겨 둔다. 또한, 2개 시점의 자료가 존재하는 경우, 기존 접근법과 본 연구에서 제시한 방법의 성능을 서로 실제 비교할 수 있을 것으로 보이는데, 이는 모형의 검증(Validation)차원에서 중요한 연구 과제로 판단되며, 이 경우 통계적인 검증(Statistical Test)을 통

하여 서로 비교할 필요가 있다. 또 다른 과제로서 모형의 안정성(Stability) 문제인데, 초기조건이나 변동(Perturbation)에 대하여 해가 안정적인 상태로 수렴하는지를 판단하는 문제가 있는데 이는 앞에서 기술한 다수해(Multiple Solution)와 관계가 있기 때문이다.

참고문헌

권혁구 · 임홍상 · 김건영 · 강경우. 2002. "화물기반모형과 트럭 통행기반모형의 통행거리분포 분석에 관한 연구". 대한교통학회지 제20권(제2호) : pp125-134.

김형진. 1996. "중력모형의 적합도 검증". 대한교통학회지. 제14권(제1호) : pp43-50.

노정현. 1991. "엔트로피극대화 통행배분모형의 효율적 해법개발". 대한교통학회지. 제9권(제2호) : pp121-126.

노정현 · 김재진 · 김태균. 2005. "고속도로 이용차량에 대한 통행분포모형의 적합성 연구: 중력모형과 간접기회모형의 비교". 국토연구 제45권 : pp93-104.

박영사 · 윤성준. 1993. "일반화중력모형 파라미터의 새로운 최우 추정기법 개발". 대한교통학회지 제11권(제1호) : pp55-66.

백호중. 1988. "전국화물 물동량의 통행배분에 관한 연구". 서울대 석사학위논문.

신언교 · 황부연 · 신승원. 1999. "고속도로 영업소 간 기종점 통행량으로부터 교통존 간 기종점 통행량 추정기법 연구". 대한교통학회지 제17권(제1호) : pp7-17.

이성모 · 권용석 · 양원모. 2003. "용량을 고려한 지역 간 화물배분모형의 개발". 대한국토도시계획학회지 제38권(제1호) : pp169-179.

원제무 · 강경우 · 정용기. 2001. "고속도로 O/D자료를 이용한 Entropy극대화모형의 통행저항계수 추정에 관한 연구". 대한국토도시계획학회지 제36권(제7호) : pp101-110.

윤대식. 2001. 교통수요분석.

Bregman, L. 1967. "The relaxation method of finding the

common point of convex sets and its application to the solution of problems in convex programming". *U.S.S.R. Computational Math. Mathematical Phys.* 7 : pp200-217.

Evans, A. W. 1970. "Some properties of trip distribution methods". *Transportation Research* 4 : pp19-36.

Giles, D. E. A., P. Hampton. 1981. "Interval estimation in the calibration of certain trip distribution models". *Transportation Research* 15B : pp203-219.

Gray, R. H., A. K. Sen. 1983. "Estimating gravity model parameters: a simplified approach based on the odds ratio". *Transportation Research* 17B : pp117-131.

Hyman, G. M. 1969. The calibration of trip distribution models". *Environment and Planning* 1(3) : pp105-112.

Lamond, B., N. F. Stewart. 1981. "Bregman's Balancing method". *Transportation Research* 15B : pp239-248.

Ortuzar, J. D., L. G. Willusen. 2001. *Modelling Transport 3rd Ed.* Wiley.

Visick, G. 1980. "A modification to Kruithof's double-factor method". *Transportation Research* 14B : pp307-318.

Wilson, A. G. 1970. *Entropy in urban and regional modelling.* London : Pion Ltd.

· 논문 접수일 : 2006. 7. 10
 · 심사 시작일 : 2006. 7. 13
 · 심사 완료일 : 2006. 7. 26

ABSTRACTS

Parameter Calibration of Gravity Model Considering Future Travel Patterns

Yong-Taek Lim Professor, Dept. of Transportation & Logistics, Chonnam National Univ.

Sang-Gu Kim Professor, Dept. of Transportation & Logistics, Chonnam National Univ.

※ Key words : Future Travel Patterns, Calibration, Balancing Factor, Gravity Model, Parameter

This paper presents a parameter calibration method for gravity model. Among the several methods such as Fratar method, entropy maximization method and growth factor method in trip distribution step of conventional travel demand forecasting process, the gravity model has been widely used in real fields because it may describe the travel behaviors of users in more detail.

Most existing methods, however, rely on the current data for calibrating the parameters in gravity model, which implicitly assumes that the current travel pattern would be kept for the future. But this assumption is unrealistic because the travel pattern may be changeable as the time goes. To cope with such limit, we propose a parameter calibration method, which contains the future travel patterns in the calibration process. A mathematical formulation and its solution method are presented. A numerical example is also given.