

대중교통 수단간 Timetable을 고려한

확률통행배정 모형의 개발

A Stochastic Transit trip assignment model development
with the timetable between multi transit modes

이 정 민

김 인 희

이 선 하

(공주대학교 건설환경공학부 석사과정) (공주대학교 건설환경공학부 석사) (공주대학교 건설환경공학부 부교수)

목 차

I. 서론	IV. 모형의 적용 및 분석
II. 이론적 고찰	V. 결론 및 향후연구과제
III. 알고리즘 개발	참고문헌

I. 서론

시시각각 변화하는 교통수요와 그에 민감하게 대응하지 못하는 교통공급 간의 격차가 끊임없는 교통혼잡으로 이어지고 이에 따른 사회적 비용이 해마다 증가하고 있는 추세이다. 이에 대한 방안으로 각 지자체들은 대중교통을 지원하기 위한 법안들을 내고 있지만 이를 뒷받침해줄 수 있는 엔지니어 개념의 명확한 틀을 확보하기란 쉽지 않다. 대중교통 통행배정은 자가교통수단과는 달리 규칙적인 배차시간과 정해진 노선을 운행하는 시스템의 특징 때문에 통행배정에 있어 자가수단과는 독립적으로 취급하여야 하나 기존의 연구는 자가 교통수단에 국한되어 왔다. 더욱이, 많지 않은 기존의 대중교통 통행배정에 대한 모형이 Headway based 방법에 국한되어 개발되어져 왔다. Headway based 방법은 실제 출발시간과 희망 출발시간 간의 편차(ΔT)를 고려하지 않고 모든 노선의 평균 배차간격으로부터 환승정류장의 환승대기 시간을 계산하는 것으로 환승 시 발생하는 환승대기시간의 범위(0~60분)에 의한 확률을 사용하여 커넥션을 선택함으로써 현실을 정확히 반영할 수 없고 이에 정확한 대안을 제시하기 어렵다. Headway를 바탕으로 통행배정을 하게 되면 큰 네트워크에서 입력시간의 단축과 적은 메모리의 사용이 장점이지만, 복잡한 도심내의

대중교통계획·운영 시 수학적 오류를 발생시킨다.

본 논문은 대중교통 통행배정 시 사용되는 두 가지 과정(커넥션 탐색, 커넥션 선택)에 있어서 현실과 크게 차이가 나는 Headway based의 문제점을 발견하고 이를 해결하는 방안으로 Timetable based 모형을 제안하였다.

본 연구에서는 커넥션 탐색과정 시 단순한 평균 배차간격으로부터 출발시간을 고려하는 Headway based의 취약점을 극복하고자 실제 출발시간과 희망 출발시간 간의 편차를 고려한 Timetable based 모형을 사용하였다. 또한 커넥션 선택과정에서는 Headway based에서 고려하는 운행시간, 요금과 커넥션 탐색과정으로부터 나온 시간적 편차(ΔT)를 추가 속성값으로 고려하여 분석하였다. 이와 더불어 커넥션 탐색과정 시 배차시간의 간격에 따라 환승을 하는 경우에 나타나는 환승 대기시간의 편차범위를 0~60분으로 묶으로써 이 범위에서 난수를 발생하여 확률을 찾아내는 Headway based의 단점을 보완하기 위하여 4가지 확률함수 (Kirchoff, Logit, Box-Cox, Lohse)를 사용하고 그 결과를 비교, 분석하였다.

II. 이론적 고찰

EMME/2는 통행배정 시에 Spiess, Florian

(1989)의 최적전략(Optimal Strategy)을 적용하여 다경로 통행배정(Multipath Assignment)을 하게 된다. 이는 링크길이, 사용자가 정의하는 속성 등을 기준으로 대중교통노선의 최단경로를 탐색하는 것으로써 Free-flow 상태에서의 최단경로이며 이때 노선간의 환승에 대한 고려가 없기 때문에 시간을 기준으로 탐색할 경우, 노선 간 환승이 많이 발생하는 경로를 최단경로로 계산한다. 그러나 실제 통행량을 배정할 때에는 최단경로 탐색과정 없이 환승이 발생하는 노드에서 각 노선의 배차간격의 조합으로 노선선택 비율을 이용한다. 이때 각 노선의 운행시간(transit time)과 각 정류장에서의 승차시간, 대기시간, 그 가중치 등을 반영한 일반화비용(generalized cost)을 최소화하는 최적전략을 수립하여 이 최적전략에 따라 노드에 도착한 차량에 승차할지를 결정하여 노선선택 확률이 계산된다. 즉, 환승노드에서 각 노선들의 배차간격을 통해 노선선택 확률을 계산하고 이에 따라 통행량을 분할하게 된다.

결국 EMME/2는 링크 상에 통행량을 배정할 때 최적전략을 만족하는 노선들의 배차간격만을 기준으로 하여 노선선택 확률을 계산하기 때문에 기종점간 통행시간이 크더라도 배차간격이 작을 경우 통행시간이 짧은 노선보다 많은 통행량이 배정되는 경우가 발생할 수 있다. 또한 동일한 기종점간 각 경로들의 예상 총 통행시간은 최적전략을 만족하는 노선들의 배차간격을 통합하여 하나의 식으로 계산되기 때문에 모두 동일한 값을 갖게 된다.

TRANPLAN에서는 존간 최단경로를 탐색할 때 링크의 통행시간과 노선간 환승벌점(penalty), 각 노선의 배차간격(headway)을 포함한 환승지점에서의 대기시간을 입력자료로 반영하며 통행량 배정시에는 이 최단경로에 All-or-Nothing 통행배정방법을 이용하여 통행량을 배정한다.

Build Transit Path Function을 이용한 최단경로 탐색과정상의 총 링크시간 계산식은 다음과 같다.

$$\text{LINKTIME} = \text{TIME} + \text{WAIT}$$

여기서,

LINKTIME : 각 링크의 총 통행시간

TIME : 링크 i 상에서 수단의 주행시간 계수를 곱한 링크통행시간

WAIT : 다음과 같은 3가지 경우 중 하나.

- i. ii의 경우를 제외한 어떤 교통수단과 비대중 교통수단간 환승할 때의 소요시간
- ii. 비대중교통수단에서 대중교통수단으로 환승할 때의 소요시간
- iii. 대중교통수단간 환승할 때의 소요시간

위에서 환승에 따른 추가적인 시간을 계산할 때 기본적으로 각 노선 차량의 배차간격의 1/2 값을 사용하며, 대기시간은 각 경우별로 가중치를 적용하여 계산할 수 있도록 되어있다.

여기서, 계산된 최단경로에 모든 통행량이 배정되기 때문에 최단경로와 통행시간의 차이가 아주 작은 경쟁노선이 있는 경우에도 최단경로에만 모든 통행량이 배정되고 다른 경쟁노선에는 통행량이 배정되지 않는 단점을 가진다.

III. 알고리즘 개발

Timetable based 방법은 구체적인 노선 네트워크 계획과 자세한 timetable이 설정되어있을 때 통행배정과 지표의 계산을 적용할 수 있도록 하는 방법이다.

커넥션 탐색과정 동안에 Timetable based 방법은 승객들이 Timetable에 대한 정보를 이미 가지고 있고 첫 번째 대중교통 노선에서 출발 시간에 따른 접근시간을 승객 스스로 선택할 수 있다는 가정을 한다. 이 가정은 Headway based 방법의 1분에서 60분까지 언젠가 될지 모르는 환승 대기시간의 난수 발생에 대한 오차를 줄여준다. 또한 여러가지 탐색 임피던스에 의해서 찾아진 커넥션들은 다음 과정인 커넥션 선택을 위하여 저장해 두고 최적전략을 활용하여 여러 대안들 사이에서 최적 대안을 찾아낸다.

커넥션 선택 시 Timetable based 방법은 실제 도착시간과 희망 도착시간과의 차이(ΔT)를 바탕으로 기존 Headway based 방법의 알고리즘에 추가하여 분석한다. 탐색 알고리즘에 의해 산출되는 커넥션들은 여러 대안노선 중 특별히

낮은 질(lower quality) 인지를 재해석한 후 차례대로 제거하게 된다. 즉, 각 노선 길이, 차내 시간, 환승을 위한 도보시간, 대기시간, 환승 대기시간, 환승횟수, Access시간, Egress시간, 실제도착시간과 희망도착시간과의 차이, 확률함수 등을 고려하여 수단선택과 노선선택을 계산하는 모형을 구축한다.

이 과정에서 Headway based 방법의 난수발생에 의해 생성되는 확률대신 4가지의 확률선택(Kirchoff, Logit, Box-Cox, Lohse) 중 하나를 선택하게 되는데 그 쓰임은 각각의 상황에 따라 다르다. 이것은 기존의 대중교통 통행배정모형들이 대안 노선 중에 통행비용이 가장 작은 노선에 교통량을 전량배정하고 환승노드에서 배차간격에 의한 확률을 통해 교통량을 분할하는 기법의 한계를 극복하기 위한 것이다.

즉, 커넥션 탐색과정에서 가장 좋은 단 하나의 커넥션만 찾아내는 것이 아니라 여러 개의 좋은 커넥션을 찾아내고 4가지의 통행확률함수를 적용하여 노선선택 확률을 계산한다. 그래서 일부 노선에 교통량이 집중되는 단점을 극복할 수 있으며 보다 현실적인 통행배정결과를 도출한다. 커넥션 선택 과정에서 OD 수요는 재해석 후 남아있는 대안들에게 분배되게 된다. 이를 통한 통행배정은 보다 정확한 지표계산을 유도한다.

1. 커넥션 탐색

최적전략 모형을 기반으로 적절한 커넥션들을 찾기 위한 알고리즘들이 각 존에서 발생하고 출발하는 존에서 효과적인 커넥션들이 모두 저장되게 된다. 즉 통행배정에 관여하는 최적의 커넥션만을 찾는 게 아니라 적절한 여러 커넥션들을 고려하게 된다. 이러한 방법으로 통행수요의 선택적인 분포가 가능해진다. 본 연구에서는 이때 실제 출발시간과 희망 출발시간 간의 차(ΔT)의 개념이 포함되어 커넥션의 시간적 위치(Temporal position)가 통행배정을 하는데 영향을 준다. 커넥션의 시간적 효용은 다음에 의존한다.

- i. 승객들의 시간적 분포 (Temporal distribution)에 의해 인지되는 승객들의 희망 출발시간
- ii. 실제 출발시간과 희망 출발시간의 차이

- iii. 빠르거나 늦은 출발시간의 민감도에 의해 인지되는 실제 출발시간과 희망 출발시간과의 편차에 대한 오차한도

커넥션의 시간효용은 $\Delta T=0$ 일 때 가장 크다. 높은 편차를 가질수록 낮은 시간적 효용을 가진다. Timetable based 방법에서 시간효용은 함수 $N=f(\Delta T)$ 혹은 직접적으로 ΔT 를 사용하는 두 가지 방법으로 계산이 되어진다. 두 방법 모두 빠르고 늦은 출발에 대한 민감도가 적용될 수 있다. 실제 출발시간과 희망 출발시간간의 차이가 짧을수록 더 높은 시간효용이 나타나고 더 낮은 임피던스가 발생한다.

이 과정에서 커넥션의 질(quality)을 평가하기 위하여 임피던스를 사용하게 되며 이 과정에서 찾아진 모든 커넥션들의 임피던스는 아래의 식을 사용하여 계산한다.

$$SearchIMP = JT \cdot Fac_{JT} + NT \cdot Fac_{NT} + impTSys \cdot Fac_{impTSys}$$

여기서,

JT : 운행시간(Journey Time)

Fac_{JT} : 운행시간 계수 (Journey Time Factor)

NT : 환승횟수 (Number of Transfer)

Fac_{NT} : 환승횟수 계수 (Number of Transfer Factor)

$impTSys$: 교통수단의 임피던스

$Fac_{impTSys}$: 교통수단의 임피던스 계수

주요 항목으로써 통행시간과 환승횟수를 고려하고 교통수단별 통행요금을 포함하며 아래와 같은 조건을 만족하면 새롭게 발견된 커넥터들은 하나씩 차례대로 지워지게 된다.

- 커넥션의 임피던스 > 최소 임피던스 · 계수 + 고정값
- 커넥션의 운행시간 > 최소 운행시간 · 계수 + 고정값
- 커넥션에서의 환승횟수 > 최소 환승횟수 + 고정값

2. 커넥션 선택

커넥션 선택과정에서 모든 OD통행들은 커넥션 탐색 과정에서 찾아진 커넥션들에게로 분배

된다. 이를 위하여 커넥션 임피던스들을 계산하는데 임피던스는 예상 운행시간(PJT)과 커넥터의 시간적 효율을 고려한다. 이렇게 얻어진 임피던스는 분배모형(Distribution model)의 입력값으로 사용이 되어 진다.

1) 커넥션의 예상 운행시간

$$\begin{aligned}
 PJT[\text{min}] = & \text{차내시간} \times Fac_{IVT} \\
 & + \text{환승을 위한 도보시간} \times Fac_{AT} \\
 & + \text{대기시간} \times Fac_{OWT} \\
 & + \text{환승을 위해 기다리는 시간} \times Fac_{TWT} \\
 & + \text{환승횟수} \times Fac_{NT} \\
 & + \text{Access 시간} \times Fac_{AT} \\
 & + \text{Egress 시간} \times Fac_{ET}
 \end{aligned}$$

대기시간(OWT)는 다음의 식에 의해 커넥션들의 제공되는 횟수로부터 계산된다.

$$OWT = A \cdot (\text{배정시간간격/서비스 횟수})^E$$

여기서,

- A=0.5, E=1 : OWT는 평균 배차간격의 1/2 일 경우
- A=1.5, E=0.5 : 서비스 횟수가 적은 경우에 승객들이 더 버스시간표를 더 잘 알고 있다고 가정할 경우

2) 커넥션의 시간적 효율

예상하는 차량의 도착시간과 실제의 도착시간의 차이를 고려하는 이 과정은 아래와 같은 틀에 의하여 모델링 된다.

$$\begin{aligned}
 & \Delta T_i^{\text{early}} \cdot Fac_{\Delta T^{\text{early}}} + \Delta T_i^{\text{late}} \cdot Fac_{\Delta T^{\text{late}}} \\
 & = \text{커넥션 } i \text{와 시간간격 } a \text{간의 시간적 거리}
 \end{aligned}$$

여기서,

$\Delta T_i^{\text{early}}$ = 커넥션 i 가 도착 예상시간 보다 빨리 도착한 시간의 양
 만약, i 가 시간간격(interval) a 에 포함하거나 후에 도착하면 $i = 0$

ΔT_i^{late} = 커넥션 i 가 도착 예상시간 보다 늦게 도착한 시간의 양
 만약, i 가 시간간격(interval) a 에 포함하거나 전에 도착하면 $i=0$

3) 수요분포 모형

시간간격 a 에서 커넥션 선택에서 사용된 커넥션 i 의 임피던스는 아래의 식에 의하여 계산되어 진다.

$$\begin{aligned}
 Imp_i^a = & PJT_i \cdot Fac_{PJT} + Fare_i \cdot Fac_{Fare} \\
 & + \Delta T_i^{\text{early}} \cdot Fac_{\Delta T^{\text{early}}} + \Delta T_i^{\text{late}} \cdot Fac_{\Delta T^{\text{late}}}
 \end{aligned}$$

이렇게 계산된 임피던스는 분배모형을 통하여 통행수요가 배정된다. 다음의 식이 분배모형의 기본형이다.

- i. 임피던스 Imp_i^a 는 시간간격 a 안에서 커넥션 i 의 효율 U_i^a 로 치환한다.

$$U_i^a = f(Imp_i^a)$$

- ii. 효율 U_i^a 로부터 수요확률 P_i^a 는 아래와 같이 계산되어진다.

$$P_i^a = \frac{U_i^a}{\sum_{j=1}^n U_j^a}$$

여기서, n 은 커넥션 전체의 수

(1) Kirchoff

$$\begin{aligned}
 U_i^a &= Imp_i^{a-\beta} \\
 P_i^a &= \frac{IMP_i^{a-\beta}}{\sum_{j=1}^n IMP_j^{a-\beta}}
 \end{aligned}$$

이 식은 임피던스의 비율을 고려한 것이다. 그러므로 5분과 10분의 임피던스를 가진 커넥터나 50분과 100분의 임피던스를 가진 커넥터가 같은 배정을 하게 된다.

(2) Logit

$$\begin{aligned}
 U_i^a &= e^{-\beta \cdot Imp_i^a} \\
 P_i^a &= \frac{e^{-\beta \cdot IMP_i^a}}{\sum_{j=1}^n e^{-\beta \cdot IMP_j^a}}
 \end{aligned}$$

이 식은 임피던스의 비율보다는 값의 차이를 고려한 것이다. 그러므로 1분과 10분의 임피던스를 가진 커넥터는 91분과 100분의 임피던스

를 가진 커넥터와 같은 배정을 한다.

(3) Box-Cox

이 식은 Box-Cox Transformation을 토대로 하여 개조한 식으로 $\tau \geq 0$ 이면 아래와 같이 설명되어진다.

$$b^{(\tau)}(X) := \begin{cases} \frac{X^\tau - 1}{\tau} & \text{if } \tau \neq 0 \\ \log(X) & \text{if } \tau = 0, \end{cases}$$

효율을 계산할 때, Logit 모델에서 $b^{(\tau)}(IMP_i^a)$ 가 (IMP_i^a) 대신에 포함된다. 이렇게 되면 커넥션 i 의 비율 P_i^a 는 다음과 같다.

$$P_i^a = \frac{e^{-\beta \cdot b^{(\tau)}(IMP_i^a)}}{\sum_{j=1}^n e^{-\beta \cdot b^{(\tau)}(IMP_j^a)}}$$

τ 값에 따라 Box-Cox 모델은 아래와 같이 Kirchhoff, Logit 모델로 표현될 수 있다.

$\tau=0$ 일때, $b^{(0)}(IMP_i^a) = \log(IMP_i^a)$ 따라서,

$$P_i^a = \frac{e^{-\beta \cdot (IMP_i^a)}}{\sum e^{-\beta \cdot (IMP_j^a)}} = \frac{IMP_i^{a-\beta}}{\sum IMP_j^{a-\beta}}$$

$\tau=1$ 일때, $b^{(1)}(IMP_i^a) = IMP_i^a - 1$ 따라서,

$$P_i^a = \frac{e^{-\beta \cdot (IMP_i^a - 1)}}{\sum e^{-\beta \cdot (IMP_j^a - 1)}} = \frac{e^{-\beta \cdot IMP_i^a}}{\sum e^{-\beta \cdot IMP_j^a}}$$

(4) Lohse

이 모형은 다음과 같이 임피던스들이 서로 관계를 가지고 있다.

$$P_i^a = \frac{e^{-\left[\beta \cdot \left(\frac{IMP_i^a}{IMP_*^a} - 1\right)\right]^2}}{\sum e^{-\left[\beta \cdot \left(\frac{IMP_j^a}{IMP_*^a} - 1\right)\right]^2}}$$

여기서 $IMP_*^a = \min_j IMP_j^a$ 은 최소한으로 벌어지는 임피던스이다. 이 경우에 커넥션의 임피던스는 최소 임피던스와 관련이 있다. 이렇게 다른 접근방식 때문에 Loshe 모델은 Kirchhoff

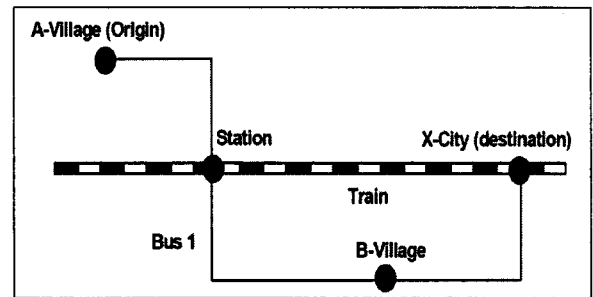
와 Logit의 대안으로 사용될 수 있다.

IV. 모형의 적용 및 분석

1. 분석 가로망 및 가정

모형 적용과 분석을 위한 분석가로망은 A-Village에서 X-city로 가는 가상 네트워크로 구상하였다. 네트워크를 이루고 있는 수단은 버스와 기차로 하였고 그에 따른 가정은 아래와 같다.

- i. Access 와 Egress Times 은 고려하지 않았다.
- ii. 분석시간은 5:30a.m. ~ 7:30a.m. 이다.
- iii. A-Village에서 X-City의 총 교통수요는 90 통행이다.
- iv. 총교통수요 중 33 %(30통행)은 5:30a.m. 와 6:30 a.m.사이 에 발생한다.
- v. 나머지 67 % (60 통행)은 6:30 a.m. 과 7:30 a.m. 사이에 발생한다.



<그림4-1> 가상 네트워크 구상

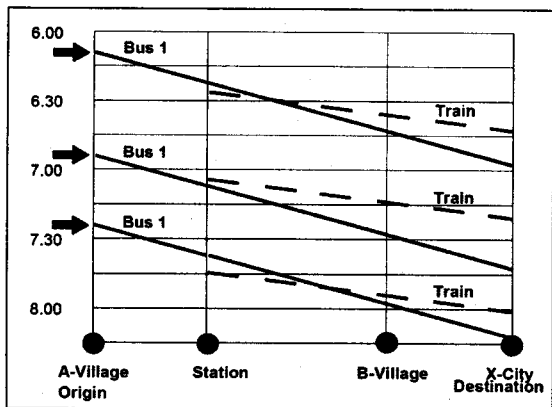
A-Village를 출발하는 수단은 버스이고 이 버스는 각각 6:10, 6:55, 7:25에 출발하게 된다. 목적지인 X-City에는 각각 6:55, 7:40, 8:10에 도착한다. Station에서 출발하는 기차는 각각 6:25, 7:05, 7:45에 출발하여 X-City에 각각 6:41, 7:21, 8:01에 도착한다.

대중교통의 운영을 위한 시간표 구성 및 노선의 환승을 아래의 그림과 표에 도시하였다.

<표4-1> 수단별 시간표

버스의 시간표			
A-Village	6:10	6:55	7:25
Station	6:22	7:07	7:37
B-Village	6:42	6:27	7:57
X-City	6:55	7:40	8:10

Station	6:25	7:05	7:45
X-city	6:41	7:21	8:01



<그림4-2> 시간표

2. 모형 적용결과 및 비교

1) Headway based 모형의 적용

앞의 네트워크 구상과 같이 A-village에서 분석시간대에 버스는 6:10, 6:55, 7:25 간격으로 3개의 출발이 있고, Station에서 기차는 6:25, 7:05 간격으로 2개의 출발이 있다. 총 분석시간(2시간)에 따른 각각의 배차간격은 버스의 경우 40분의 배차간격, 기차는 60분의 배차간격이 모형에 적용된다.

<표4-2> 수단별 배차간격

수단	평균 배차간격	분석시간대 실제배차간격
버스	120/3=40 min	45 / 30 min
기차	120/2=60 min	40 min

- 경로탐색 :

환승의 경우 기차를 이용하려고 대기하는 시간이 0~60분이고, 앞으로 고정된 시간간격이 고려되지 않으며, 이는 교통수요 확률선정에 영향을 끼치게 된다. 만약 매우 높은 환승 임피던스를 갖지 않는다면 여러 승객들은 더 빨리 도착지에 도달하기 위하여 환승을 하여 여행할 것이다. 그러나 만일 경로상에 좋지 않은 커넥션이 있을 경우 승객들은 계속해서 버스로 여행을 할 것이다. 따라서 계수값은 기차의 평균 대기시간으로 하지 않고 가능한 대기시간 전체를 고려하여 계산되어진다.

- 경로선택 :

경로의 선택 시 요금은 고려하지 않고 운행시간에 대한 모든 Factor값은 1.0으로 가정하고 환승횟수에 대한 페널티는 2분으로 가정한다.

$$\text{Imp} = \text{PJT} \cdot 1.0 + \text{Fare} \cdot 0.0$$

$$\text{운행시간 (PJT)} = \text{차내시간} \cdot 1.0$$

$$+ \text{Access \& Egress Time} \cdot 1.0$$

$$+ \text{보행시간} \cdot 1.0$$

$$+ \text{대기시간} \cdot 1.0$$

$$+ \text{환승시간} \cdot 1.0$$

$$+ \text{환승횟수} \cdot 2 \text{ min}$$

<표4-3> 경로별 임피던스

	경로1	경로2
차내시간	45 min	28 min
Egress Time	0 min	0 min
환승시간	0 min	0 min~60min
환승페널티	0*2 min=0 min	1*2 min= 2 min
Imp=PJT*1.0	45 min	30 min~90min

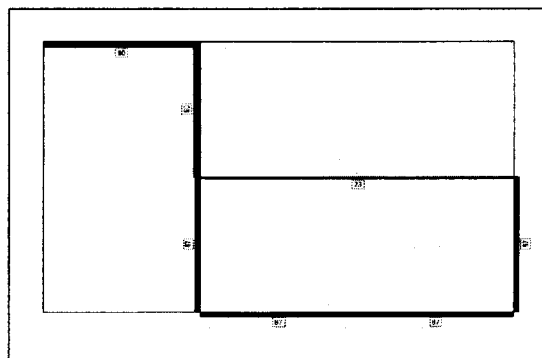
Imp1과 Imp2(임피던스)로부터 다음과 같은 교통수요 확률의 결과를 얻을 수 있다. 결과에서 보이는 바와 같이 시간간격 상 불규칙한 배정이 이루어지게 되며 경로 2를 선택하게 되는 확률은 아래와 같다.

$$\frac{45 - 30}{90 - 30} = \frac{15}{60} = 0.25$$

위의 식에 의하여 노선별 승객의 수요는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} &\text{- 기차를 타고 여행할 것으로 예측되는 승객} \\ &= 90 \times 0.25 = 22.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{- 버스를 타고 여행할 것으로 예측되는 승객} \\ &= 90 \times 0.75 = 67.5 \end{aligned}$$



<그림4-3> Headway 통행배정 결과

만약 환승에 대한 페널티를 다르게 하면 각 경로간의 확률은 다음과 같다.

<표4-4> 환승 페널티 별 경로배정

환승 페널티	경로1	경로2
0 min	0.717	0.283
1 min	0.733	0.267
2 min	0.750	0.250
5 min	0.800	0.200
10 min	0.883	0.117

2) Timetable based 모형의 적용

A-Village에서 출발해서 X-City로 환승하지 않고 직항하는 버스의 커넥터가 3개, Station에서 환승을 하게 되는 또 다른 2개의 커넥터가 발생한다. 총 다섯 개의 커넥션들이 아래 표와 같이 모형적용 과정에서 발견이 되어졌다.

<표4-5> 커넥터별 총 운행시간

커넥터	출발 시간	운행 시간	대기 시간	환승 횟수	총 걸린시간
1	6:10	28min	3 min	1	28+3+2+1+2=36
2	6:10	45min	0 min	0	45+0+2+0+2=45
3	6:55	45min	0 min	0	45+0+2+0+2=45
4	7:25	28min	8 min	1	28+8+2+1+2=46
5	7:25	45min	0 min	0	45+0+2+0+2=45

총 운행시간 = 운행시간+대기시간×대기시간계수 + 환승횟수×환승횟수 계수

여기서,

대기시간 계수=2, 환승횟수 계수= 2 로 가정

위의 계산된 값을 실제 출발시간과 분석시간대의 시간 차이를 고려하여 임피던스를 계산하면 아래의 표와 같다.

<표4-6> 커넥터별 임피던스

커넥터	출발 시간	ΔT_i^1	ΔT_i^2	IMP_i^1	IMP_i^2
		5:30~6:30	6:30~7:30	5:30~6:30	6:30~7:30
1	6:10	0 min	20 min	36+0=36	36+20=56
2	6:10	0 min	20 min	45+0=45	45+20=65
3	6:55	25 min	0 min	45+25=70	45+0=45
4	7:25	55 min	0 min	46+55=101	46+0=46
5	7:25	55 min	0 min	45+55=100	45+0=45

여기서,

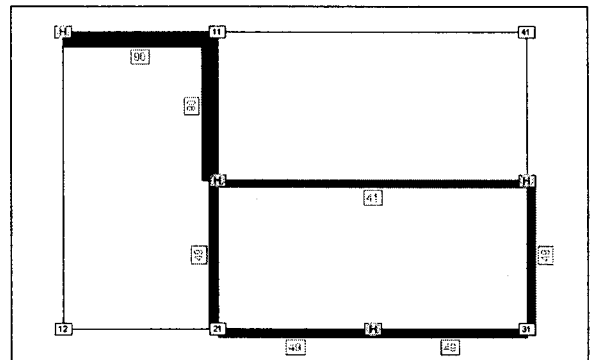
시간에 대한 계수=1로 가정

ΔT_i^1 = 실제출발시간 i와 희망출발시간대1의 시간차

4가지 분포모형 중 Kirchoff ($\beta=3$)를 사용하여 각 커넥션에 배정되는 교통수요를 계산하면 1번 커넥터에 총 25통행이 배정되어 가장 많은 교통량을 보이고 2번 커넥터가 총 14통행으로 최저의 교통량이 배정됨을 보인다.

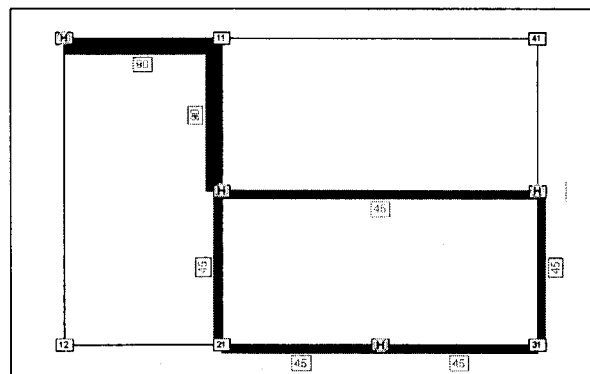
<표4-7> 커넥터별 총통행량

커넥터	출발 시간	P_i^1	P_i^2	통행량 M_i^1	통행량 M_i^2	총 통행량
		5:30~6:30	6:30~7:30	5:30~6:30	6:30~7:30	
1	6:10	57%	13%	30×0.57=17	60×0.13=8	25
2	6:10	30%	8%	30×0.30=9	60×0.08=5	14
3	6:55	7%	27%	30×0.07=2	60×0.27=16	18
4	7:25	3%	25%	30×0.03=1	60×0.25=15	16
5	7:25	3%	27%	30×0.27=8	60×0.27=16	17
		100	100	30	60	90

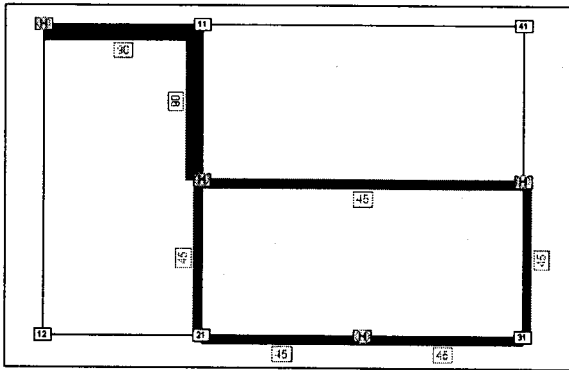


<그림4-4> 통행배정 결과1 - Kirchoff

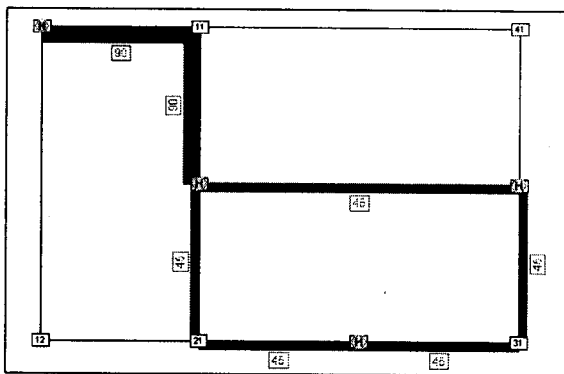
앞에 설명된 Kirchoff 외에 세 가지 확률함수를 적용 한 결과는 아래의 그림과 같다.



<그림4-5> 통행배정 결과2 - Logit



<그림4-6> 통행배정 결과3 - Box-Cox



<그림4-7> 통행배정 결과4 - Lohse

3) 결과의 비교

Headway based 방법과 Timetable based 방법으로 각각의 노선별 수요예측을 <표4-8>에 정리하였다. 총 수요 90통행에 대해 Headway 방법의 경우 승객·Km 가 2303이고 Kirchoff가 2168로 135 승객·Km의 차이가 발생되고 승객·Hour에서는 약 5분의 차이가 발생하여 보다 정확한 시뮬레이션이 사회적 비용을 크게 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

<표4-8> 결과 비교

	Headway	Timetable			
		Kirchoff	Logit	Box-Cox	Lohse
노선1(승객)	67	49	45	45	45
노선2(승객)	23	41	45	45	45
승객·Km	2303	2168	2138	2138	2138
승객·Hour	60' 59"	55' 53"	54' 45"	54' 45"	54' 45"

V. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 기존의 대중교통 통행배정 시 주로 해왔던 Headway를 이용한 통행배정의 문제점을 파악하고 새로운 개념의 모형을 제시하

고자 하였다.

Headway를 통한 대중교통 통행배정은 환승대기시간이 평균 Headway의 1/2로 계산되고 도착시간과 예상도착시간 간의 차이를 수학적으로 극복하지 못함으로써 임피던스의 오류가 발생하게 된다. 이 오류는 수단선택과 노선선택을 함에 있어 Timetable과 차이를 나타냈다. 이는 날로 복잡해지고 있는 도시 내 대중교통 운영을 위한 계획 시 비경제적인 노선배정과 배차간격의 결과를 도출할 수 있다.

본 연구에서는 Timetable을 이용하여 정확한 환승대기시간을 도출하고 정류장에서의 많은 속성들 즉, Access·Egress Time, 대기시간, 환승 페널티, 도보시간 등을 고려하여 실제와 보다 유사한 통행배정이 이루어지게 하였다. 또한 수요의 분배과정 시 4가지 확률모형, 즉 Kirchoff, Box-Cox, Logit, Lohse를 비교·분석하여 각 도시가 가지는 특성에 맞는 모형을 선택하도록 하였다.

Timetable을 이용한 통행의 배정이 Headway를 이용한 통행배정보다 현실을 보다 잘 반영하기에 이론적 배경이 더 우수하다고 판단이 된다. 따라서 본 연구에서 Timetable을 이용한 통행의 배정이 복잡한 대중교통 수단과 노선들이 혼재되어 있는 도심의 교통망을 분석하고 평가하기 위한 적절하고 유연성 있는 결과를 제시할 수 있을 것으로 판단이 된다.

한편 각 지점별로 현실을 더 잘 반영하기 위하여 각 지역별 수요분배를 위해 사용된 민감도(β), 환승 페널티, 각 요소별 인자(Factor) 등에 대한 자료조사와 분석이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Baher Abdulhai and S.G. Ritchie. (1996) : "Performance of artificial Networks for Incident Detection in ITS" Transportation Congress, .
2. Busch, F. (1986) : "Automatische Störungserkennung auf Schnellverkehrsstraßen - ein Verfahrensvergleich"(Dissertation).
3. Busch, F. and Zhang, X. (1995) :

“Guidelines for Implementation of Automatic Incident Detection

Systems”, Projekt Drive .

4. Kerner, B.S. and Konhäuser, P. (1993) : Cluster Effect in initially homogeneous traffic flow”, Phys.Rev. E48, 2335.

5. Kim Y. (2002): Online Traffic Flow Model Applying Dynamic Flow-Density Relations. PhD Thesis, Technische Universitaet Muenchen, Fachgebiet Verkehrstechnik und Verkehrsplanung

6. Lee J. (1997) : “Incident Detection Algorithm Development on Signalized Urban” Arterial Streets. Dissertation for the Degree of Ph.D. Michigan State University,.

7. 임재혁 (2003) : 검지기 데이터를 활용한 연속교통류 특성분석, 목원대학교 대학원, 석사학위논문