

대중교통 지선노선 선정기법에 관한 연구

배 기목*

대진대학교 도시공학과 교수

A Study on the Feeder Transit Route Design System

Gi-Mok Bae*

Department of Urban Engineering, Daejin University, Pocheon 487-711, Korea

요약 : 단말버스 노선선정의 경우, 전체 네트워크로서의 노선선정 보다는 지하철 역 등의 특정 기종점과의 연계차원에서 단일 노선으로 취급하여 노선선정을 행함이 바람직하다. 본 연구에서는 이와 같은 관점 하에 마을버스 노선선정을 위한 간편 기법을 구축하였다. 검토대상 도로망 한정, 허용노선장에 의한 후보노선의 열거, 노선평가치에 의한 최종노선의 선정 등의 3가지 단계를 통해 단말기능으로서의 마을버스 노선을 선정하는 기법을 구축하였다.

핵심용어 : 마을버스, 노선선정기법

ABSTRACT : The bus as a feeder trip should supply equality service to the whole community. But in spite of the change of latent demand to the bus by the variety of regional structural change, the existing bus route can not supply effective feeder service.

For cope with the latent demand to the bus, this study establish a concept that frame the feeder bus route design system for changing of the existing bus route or creating of bus route.

The concept of feeder bus route design system from this study is not to frame the whole bus network but to frame the single route to a unit OD pair. So, this study have assumption that do not consider the wating time at bus stop and transfer time.

This system is consist of three phase. First is limitation of examination road network, second is enumeration of a most suitable route, and final is determination of the optimum bus route. However, a precondition is that the necessary time from the origin to the destination is brief, and having many demand.

KEY WORDS : Feeder Bus, Bus Route Choice

1. 서론

1.1 버스교통의 특징과 문제점

공공교통 기관으로서의 버스는, 지하철, 전철(철도)등으로 대표되는 궤도교통에로의 단말 서비스 기능을 담당하는 교통 수단으로서, 혹은 철도 등의 정비가 행해져 있지 않은 지역에서는 주요간선 교통수단으로서 중요한 역할을 담당하고 있다. 또한 버스는 도시 교통에 있어서 面的 교통 기능을 가지면서 철도에 비해 보다 치밀한 서비스를 제공 할 수 있으며 노선의 용이한 변경으로 수요의 변화에 신속하게 대응 할 수 있다는 장점과 함께, 그 정비에 있어서도 철도에 비해 훨씬 적은 투자액으로 정비를 행할 수 있다.

철도와의 관계에서 볼 때 버스의 기능을 보면 補充, 競爭, 代替라는 3가지의 관계를 도출해 낼 수 있다. 먼저, 補充이라는 철도역과 沿線의 주택, 학교, 병원 등을 연계시켜, 철도와 일체가 되어 원활한 여객수송을 행하기 위한 노선이라 할 수 있다. 이는 철도의 고속성과 버스의 面的수송 서비스의 충실이라는 상호간의 장점이 공존하고 있는 상태라 할 수 있다.

마을버스의 경우, 대중교통체계 내에서 보완기능을 담당하는 대표적인 수단으로서, 지역 내 치밀한 통행서비스의 제공과 함께 간선교통에의 연계를 원활히 할 수 있는 기능을 갖추고 있다.

이에 대해 競爭이라는 것은, 현행의 일반적 버스 수송형태라고도 할 수 있는 것으로, 예를 들면 지방도시간 등에서의

*정희원, gmbae@road.daejin.ac.kr 031)539-2012

일정구간에서 버스와 철도가 자유경쟁의 상태에서 공존하는 것으로 고속도로의 건설이 진행됨에 따라 이러한 현상은 증가하는 경향이 있다.

또한 도시 내에서는 지하철 건설의 예와 같이 일정 구간에서 지하철과 버스가 동시에 운행하는 경우가 이에 해당한다.

代替라 함은, 본래 철도에 의해 수송되어야 할 구간이 특정한 이유에 의해 정지 혹은 배제되어 버스로 대체 수송되어지는 경우를 말한다. 이는 향후 國鐵의 민영화에 따른 過疏노선(예를 들면 지방 교통선)의 폐지에 따라, 각지에서 민영, 또는 공영의 대체버스를 운영하는 경우를 상정해 볼 수 있겠다.

그런데, 현재의 버스교통은 이러한 기능들이 각각의 특성에 맞게 원활히 수행되지 못하고 있는 실정에 있다.

버스교통에 있어서 무엇보다 큰 장애 요소는 도로혼잡에 의한 중체 문제이다. 곧, 도시규모의 양적인 팽창과 도시권의 확대, 소득수준의 증가로 말미암은 자동차 보유대수의 증가 및 통행기회의 증대 등은 교통수요의 급속한 증가를 초래하여, 한정된 도시공간에 있어서의 노면교통의 혼잡을 야기하게 되었다. 이로 인해 버스는 정시성의 저하, 운행속도의 감소, 운행시간의 확대로 경영자·이용자의 양측에 불이익을 제공하게 된다.

또, motorization의 진전과, 지하철, 철도 등의 정비는 버스의 수요를 급격히 감소 시켜, 인건비 등의 상승과 함께 운영비용의 증대와 함께, 버스회사의 경영악화로 휴·폐지되는 노선이 증가하게 된다는 점이다.

도시이외의 지역에서는 도로혼잡 보다는 인구의 도시외의 유입의 증가로 이용자의 절대적 감소가 운행빈도의 저하를 초래하고, 이것이 또 이용자의 감소를 야기시키는 악순환이 되풀이되는 경우도 있다.

이처럼 버스 교통을 둘러싼 제반 환경은 보다 어려운 상황에 직면하고 있으며, 버스 산업의 퇴조를 초래하게 될 가능성이 크다. 따라서 버스가 갖는 다양한 장점을 최대한 살리면서, 도시교통 체계 내에서 갖는 위상을 유지하기 위한 구체적 방안의 모색이 필요한데, 우선적으로 노선 선정의 합리적 기법의 정비가 필요하다.

1.2 연구의 목적 및 방법

도시 규모의 확대에 따라, 도시는 외연적인 확대(sprawl)를 기하게 되고 그 결과 도시의 주변 지역에서는 인구의 증가가 현저하게 되어 이에 따라 버스 수요의 변화도 초래하게 된다. 그런데 기존 버스 노선에서는 이와 같은 새로운 버스의 잠재수요를 처리하지 못하는 경우가 많아 결국 노선의 신설, 변경 등의 정비를 필요로 하게 된다.

이러한 현상은 특히 지하철 등의 건설로 간선통행수요의 변화가 급격한 지역에서 현저한 것을 볼 수 있다. 지하철의 정비로 이에 대한 이용수요가 높은 지역에서는 주요 지하철역으로의 접근수단의 정비가 필요하게 되고, 그에 따른 버스

노선의 합리적 조정의 필요성은 매우 높아지게 된다.

그런데 종래의 노선 선정은 계획자의 경험적 지식이나 직관에 의해 행해지는 경우가 많다고 할 수 있어, 기존 버스 노선의 변경, 신설 등의 노선계획을 합리적으로 행할 수 있는 노선선정 수법의 개발이 요청되고 있다. 더욱이 향후 도시 교통문제의 해결 방향이 궁극적으로 대량, 고속 수송 기관인 케도 교통의 정비에 있다는 사실을 감안해 볼 때 이들 교통 기관과 버스의 적절한 연계를 위한 합리적 노선의 선정은 전술한 面的교통 서비스의 확대를 위해서도 매우 중요한 것이라 하겠다.

한편, 버스 노선망 설정에 관한 연구의 대부분은 도시 전체의 노선망을 구축하는데 주안점을 두는 것이 일반적이다. 물론 버스 노선은 전체 네트워크로서 하나의 시스템으로 다루어 져야 함이 타당한 것이나 일정 지역의 특성이나 교통체계의 변화를 고려한 국지적인 노선의 설치, 변경을 위한 노선계획 수법도 당연히 필요하다. 마을버스와 같은 버스노선의 선정의 경우가 이에 해당한다고 할 수 있다.

본 연구에서는 이와 같은 관점 하에서 지역구조의 변화, 지하철과 같은 간선통행의 정비 등으로 인한 버스의 잠재수요 변동에 충분히 대응할 수 있는 단말버스 노선선정을 위한 효율적인 수법을 제안하는 것을 목적으로 하였다.

이를 위해, 지하철 등의 정비에 따른 간선통행과의 원활한 연계를 위한 마을버스 노선 선정을 위한 수법 개발에 역점을 두었던 바, 네트워크로서 전체 노선망을 구축함이 아닌 일정 OD를 연결하는 노선의 선정을 기하는 수법을 그 근저로 하고 있다.

따라서 대기시간, 환승회수 등은 고려하지 않는 것을 기본 가정으로 하면서 가능한 간편한 노선선정 방법을 구축하기 위한 기본 개념을 정립하기로 한다.

노선선정의 수법은 노선 선정 지역의 일정 기중점을 중심으로 먼저, Dial의 합리적 경로(Reasonable Path) 개념을 이용하여 검토 대상 도로망을 한정한 후, 이들의 조합에 의한 조합 Tree를 작성하여 선정대상 후보노선(대안 노선)을 열거한다. 이를 바탕으로 노선 평가치 설정에 의해 적정 노선을 결정하는 3단계로 나누어 이를 하나의 시스템으로 행하는 것이다.(노선선정 방법을 Fig.1에 나타낸다)

노선선정의 전체 조건으로서

- ① 기점에서 종점까지의 소요시간이 짧고(도로혼잡 등의 일반적 주행 상황은 고려하지 않음)
- ② 수요가 많은 경로를 이용-버스운행자의 수익성 제고를 위한 채산성 고려
- ③ 대상지역 내 버스수요는 일정하다는 것으로 한다

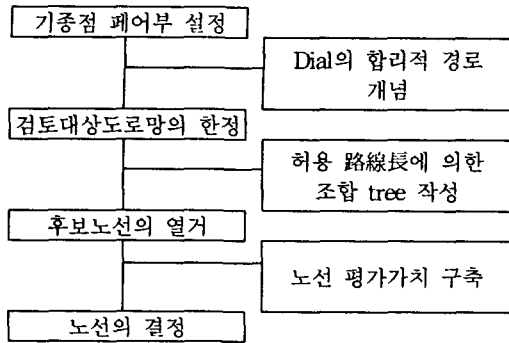


Fig.1 Route choice flow

2. 노선선정 기법의 구축

2.1 검토대상 도로망의 한정

노선을 설치하려고 하는 기종점 간의 도로를 단순히 연결한다고 하면 무수히 많은 경로가 존재한다. 그러나 모든 경로가 버스 노선으로 이용된다고 볼 수 없으므로 버스 노선으로서 적절한 조건을 갖춘 경로로 도로망을 압축하여 적절한 노선 대안을 선정함이 능률적이다.

그런 의미에서 이 단계에서는 대상지역에서 버스가 운행 가능한 전체 도로 구간(link)중에서 전술한 전제 조건 ①을 만족하는 구간, 즉 종점까지의 소요시간이 상대적으로 짧은 도로 구간으로 노선 설치를 검토할 도로망을 한정하는 것이다. 따라서 우회하는 경로나 기점으로 방향전환이 되는 구간을 포함하는 경로는 제외하여 검토대상 도로망을 한정하는 것으로 한다.

이를 위해서 여기서는 다경로 배분 모델인 Dial 모델의 Link 선택 개념인 “합리적 경로(Reasonable Path) 개념”을 이용해서 노선설치 검토 대상 도로망의 한정을 행한다.

합리적 경로는 여러 가지 정의가 가능하나 Dial은 다음과 같이 정의하고 있다.

「node에서 node으로 경로가 진행됨에 따라 기점(the origin)에서 멀어지고, 종점(the destination)에 근접해 가는 경로이다」

이 개념은 다시 다음의 2가지 조건을 만족시키는 경로로서 표현할 수 있다.

a) 일정 경로상의 전체 link(구간)에 대해서 경로의 기점에서 link의 출발 node의 소요 시간이 도착 node까지의 소요시간 보다 짧은 경우

b) 일정 경로상의 전체 link(구간)에 대해서 link의 도착 node에서 경로의 종점까지의 소요시간이 출발 node에서 경로의 종점까지의 소요시간보다 짧은 경우

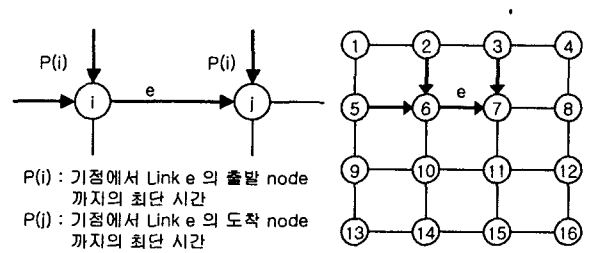


Fig. 2 Link expression

Fig.2와 같은 도로망의 일부에서 link의 출발 node를 i , 도착 node를 j 로 했을 때, link의 이용가능성 $a[e]$ 는 다음과 같다.

$$a[e] = \exp(\theta \cdot \Delta t) \quad \text{--- (식2-1)}$$

여기서, $a[e]$: link 이용가능성

$[e]$: link(i, j)

θ : 분담 파라메타

다음, Δt 에 대해서 식 2-2를 나타낸다.

$$\Delta t = p(j) - p(i) - t(i, j) \quad \text{--- (식2-2)}$$

여기서, Δt : 합리적 link의 시간

$p(j)$: 경로의 기점에서 link e의 도착 node까지의 최단시간

$p(i)$: 경로의 기점에서 link e의 출발 node까지의 최단시간

$t(i, j)$: link e의 소요시간

Δt 가 제로이면 link e는 최단경로상에 있고 $p(i) > p(j)$ 이면 link e는 합리적 경로상에 있지 않다. link e의 출발 node가 경로의 기점이라면 $a[e] = 1.0$ 이 된다

다음, link e의 weight 인 $w[e]$ 를 식 2-3에 나타낸다.

$$w[e] = a[e] \times \sum w[e'] \quad \text{--- (식2-3)}$$

여기서, $w[e]$: link e의 weight

e' : link e의 출발 node에 유입하는 link

출발 node i 가 경로의 기점이라면 그 link의 $w[e]$ 는 1.0이다.

이상의 정의에서 link e의 배분 통행량 $x[e]$ 는 식 2-4와 같이 정의 할 수 있다.

$$x[e] = y(j) \times w[e] / w[e'] \quad \text{--- (식2-4)}$$

여기서, $x[e]$: link e의 교통량

$y(j)$: link e의 도착 node에 유입하는 (도착 node에서 유출하는) 총 trip 수

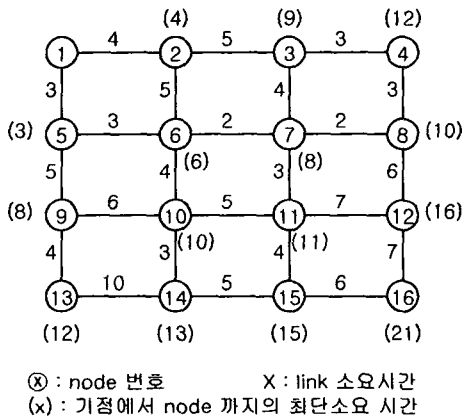
e: 도착 node j 에 유입하는 (도착 node 가 되는) link

이와 같은 과정으로 link 의 weight w[e] 를 기점(발생점) 에서 순차적으로 종점(집중점) 까지의 모든 link 에 대해 계산 하고, 통행량은 종점에서 기점으로 역으로 계산한다.

이상과 같은 Dial 모델에 의해 일정 기종점 간에 통행량이 배분되는 구간(link)은 최단경로를 포함한 합리적 경로상의 구간이 되고 이들 구간들로 구성되는 경로만으로 노선의 설치 검토대상 도로망을 한정한다.

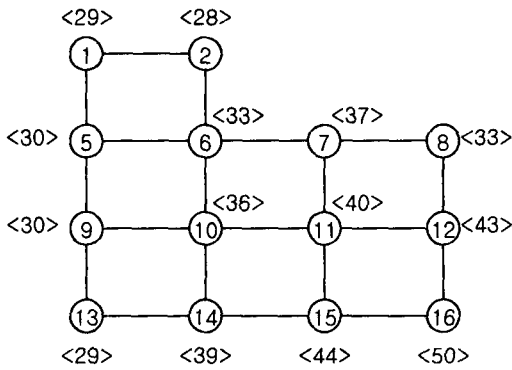
단, 여기서 배분되는 통행량 그 자체는 의미가 없다. 기점에서 종점까지 가능한 한 짧은 시간으로(최단경로 포함) 근접해 가는 경로들로 검토 대상 도로망을 한정하려 하는 목적으로 Dial의 합리적 경로 개념을 이용한 것이므로, 통행량 배분 결과에 의해 통행량이 배분되는 구간이 구하고자 하는 검토 대상 도로망이 된다. 따라서 배분되는 통행량 자체보다는 통행량이 배분되는 구간의 검출에 의의가 있다고 할 수 있다.

이를 Fig.3의 가상 도로망으로부터 구한 것이 Fig.4이다



ⓧ : node 번호 X : link 소요시간
(x) : 기점에서 node 까지의 최단소요 시간

Fig. 3 Expression of the road network



<x> : 각 node에서의 許容路線長

Fig. 4 Road network selected by reasonable path

2.2 후보노선의 열거

여기서는 위에서 한정된 검토대상 도로망으로부터 후보노선(대안노선)을 열거하는 단계이다. 후보노선이라 함은 노선 결정을 위해 일정 제약 조건을 만족시키는 경로들로서 이들 중에서 최종적으로 노선 평가치에 의해 선정노선이 되는 것이다.

버스 노선에 있어서 일반적인 제약 조건은 여러 가지(예를 들면, 버스 투입대수, 수송 가능한 승객수의 제한, 계통수, 계통거리, 환승 회수 등)를 고려 할 수 있으나 여기서는 노선의 물리적, 시간적 길이를 나타낼 수 있는 요소만을 고려하기로 하면서 “路線長” 이라고 표현하기로 한다. 단 여기서의 路線長의 길이는 시간으로 한다.

후보노선의 열거는 정해진 일정한 路線長 제약(허용 路線長)하에서 다음과 같은 방법으로 기종점간을 연결하는 조합 Tree를 작성해서 후보 경로를 열거한다.

① 조합 Tree의 절점은 검토대상 도로망의 node를 나타내고, 가지(연결선;枝)는 link를 나타낸다. Tree의 출발점은 검토 대상 도로망의 기점으로 하고, 종점 node에로의 전체 node 에 대해서 탐색을 행한다.

② 각 node에서의 허용 路線長(L_i)을 다음과 구한다.

$$L_i = L^{\max} - d_{ip} \dots \dots \dots (식2-5)$$

여기서, L^{max} ; 最長 路線長

d_{ip} ; 각 node에서 종점 node 까지의 최단 소요시간

③ 각 node까지의 소요시간의 합이 ②의 허용 路線長을 초과하는 경로는 후보 노선에서 제외한다.

④ 탐색된 路線長은 지정된 最短 路線長 이상, 最長路線長 이하가 되도록 한다.

⑤ 일정 node의 직전에 통과한 node에는 돌아가지 않고 동일 link를 2회 이상 통과하지 않는다.

간편 계산 예로서 Fig.4(합리적 경로개념에 의해 작성된 검토대상 도로망)의 도로망에서 기점을 node 1, 종점을 node 16, 最短路線長을 10, 最長路線長을 50으로 했을 때의 조합 Tree의 일부를 Fig.5 (후보노선 탐색의 조합 tree의 일부)에 나타낸다. (Fig.4에서 괄호 안의 수치는 각 node에서의 허용 路線長을 나타낸다.) 또, 이로부터 열거된 후보노선의 일부를 Fig.6(열거된 후보노선의 일부)에 나타낸다.

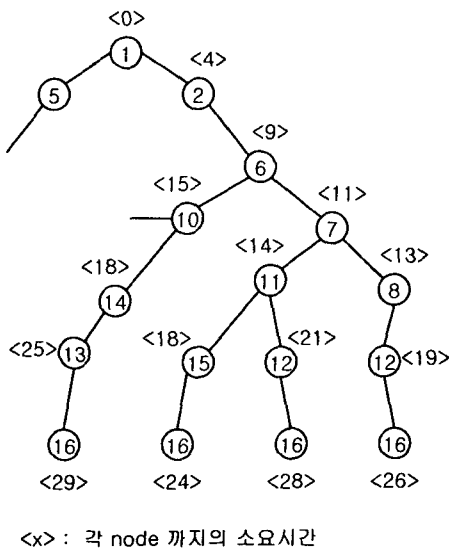


Fig. 5 Network tree of the candidate route

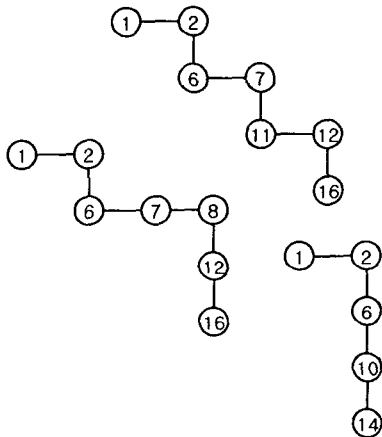


Fig. 6 A part of candidate route

2.3 최종 노선의 선정

여기서는 앞 절에서 열거된 후보노선(대안노선)을 바탕으로, 최종적으로 적정노선을 선정하는 방법을 구축하기로 한다.

1절에서 밝힌 노선선정의 전제조건으로 버스운행자의 수익성을 제고하는 것으로 하였으므로, 버스운행자의 수익 즉, 총 수입과 총지출의 차를 최대화하는 노선을 최종노선으로 선정한다.

이를 위해 다음과 같은 노선 평가치를 구축한다.

$$\max \sum^k Z^k = \sum^k (B^k - C^k) \quad \text{--- (식2-6)}$$

$$0 \leq N_{lm} = \frac{\sum^k \sum^{ij} \delta_{lm}^k \cdot \delta_{ij}^k \cdot OD_{ij}}{\sum^k \delta_{lm}^k \cdot f^k} \leq N_a$$

$$B_s \leq B_x$$

여기서, Z^k : k 노선의 총 수익

B^k : k 노선의 총 수입

C^k : k 노선의 총 지출

N_{lm} : lm 링크의 버스 1대 당 승차 인수

N_a : 버스 1대 당 정원

OD_{ij} : ij pair의 버스 OD 량

f^k : k 노선의 운행빈도

$\delta_{lm}^k = 1$: k 노선이 lm 링크를 통과하는 경우

$\delta_{lm}^k = 0$: k 노선이 lm 링크를 통과하지 않는 경우

$\delta_{ij}^k = 1$: ij pair 가 k 노선을 이용하는 경우

$\delta_{ij}^k = 0$: ij pair 가 k 노선을 이용하지 않는 경우

B_s : 운행시간대에 실제 가동하는 버스 대수

B_x : 운행시간대에 가동 가능한 버스대수

Z의 총합을 최대화하기 위해서는, 2-2절에서 구해진 후보 노선으로부터 수익최대가 되는 노선을 조합하여 그 운행빈도를 구하면 된다. 이 때 제약조건은 전체 lm 링크에서 수요(승차승객)를 모두 흡수하는 것으로 한다.

3. 결론 및 향후과제

일반적인 버스노선 선정기법은 몇 가지의 제약조건을 설정 (예를 들면, 버스 투입대수, 수송 가능한 승객수의 제한, 계통수, 계통거리, 환승 회수 등)하고, 일정한 목적함수를 상정(예를 들면, 총 주행km 최소, 배차대수 최소, 승객의 대기시간 및 환승 시간을 포함한 총 여행시간의 최소 등)하여 이를 만족시키는 최적 노선을 구하는 기법이 주류를 이루고 있다. 이는 물론 복수의 노선계통을 그 대상으로 하는 것이다.

본 연구에서는 일정 지역에서의 버스 수요 변화 또는 지역의 교통여건의 변화 등에 따라 버스노선의 탄력적인 운용, 신설 또는 변경 등이 필요로 하게 되어 단일 노선의 선정을 간단하게 검토해야 할 필요가 있을 경우를 위한 노선 선정 방법의 수립을 위해 그 기본 개념을 구축하였다.

곧, 본 연구에서 제시한 노선 선정 방법은 복수의 노선을 선정하는 기법이라기 보다는 일정 기중점을 연결하는 단일 노선을 선정하는 기법이라 할 수 있다.

이와 같은 노선성격에 부합하는 수단으로서의 현행의 마을

버스가 적합한 기능을 수행할 수 있으므로, 본 연구에서 구축된 노선선정 기법은 마을버스 노선 선정에 합리적으로 이용될 수 있다.

먼저, 버스가 주행하는 도로망을 한정된 후, 일정 제약 조건(여기서는 구간 소요시간을 나타내는 路線長)을 만족하는 후보노선(대안노선)을 열거하여 이들로부터 버스의 운행수익을 최대로 하는 노선 평가치에 의해 최종 노선을 선정하는 방법을 제시하였다.

본 연구에서는 이론의 엄밀성보다는 실용성에 비중을 두어 가능한 간단한 개념의 노선선정 수법을 구축하려고 하였다. 여기서 제시한 노선 선정 수법은 현재의 마을버스와 같은 지역내 단거리 운행 버스노선의 선정 작업에 유효할 것으로 기대된다.

아울러 향후의 바람직한 도시교통체계를, 지하철, 전철 등과 같은 레도 교통이 간선교통 기능을 담당하고, 버스는 이를 연결하는 단말교통(feeder traffic) 기능을 담당하는 것으로 할 필요가 있으므로, 마을버스와 같은 단말 버스 노선선정을 위한 간편 기법의 정립 필요성은 높은 바, 본 연구에서 제시된 노선선정기법의 개념이 유효하게 이용될 수 있다.

향후에는 검토대상 도로망의 한정, 후보 노선의 열거 등의 각 단계별 계산 알고리즘을 보다 구체화하여 컴퓨터 상에서 계산의 용이함을 기할 필요가 있으며, 나아가 계통적으로 연결될 수 있는 노선 선정 알고리즘의 개발이 필요하다고 하겠다.

후 기

본 연구는, 2001학년도 대전대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] 배기목(1999):버스운행관리 및 수송전략에 관한 연구, 한국항공학회지, 제13권2호, pp323-331
- [2] 원제무(1996):도시교통론, 박영사
- [3] 野口建幸(2001):交通權の思想に基づく公共交通充實政策の適用可能性に関する研究,第36會日本都市計劃學會學術研究論文集,pp53-540
- [4] 枝村俊郎(1977):最適ネットワーク問題の地域交通網計劃への應用,交通工學,vol.12,No.4, pp.23-31
- [5] 望月眞一(1997):地方分權におけるフランスのPDUと實例,交通工學,vol.33 No5, pp.51-60
- [6] 家田仁(1999):都市と交通の整合化に向けた制度的方策,國際交通安全學會誌,vol25 No1,pp61-68
- [7] 中村文彦(1997):Transit Villages in the 21th centuryの紹介,交通工學,vol32 No5,pp51-60
- [9] 田中耕造(1982):バス輸送計劃策定上考慮すべき問題點,運輸と經濟,運輸省

- [10] 森地茂(1975):バス輸送改善のための基礎的考察,土木學會論文報告集,第238號,pp61-68
- [11] 天野光三(1982):都市街路網におけるバス系統の設定計劃モデルに関する研究,土木學會論文報告集,第325号
- [12] Robert B Dial(1971):A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model which Obviates Path Enumeration, Transp.Res., vol.5, pp.83-111
- [13] Pierre Robillard(1972):Calibration of Dial's Assignment Method, Trans.Res., vol.17., pp.80-95
- [14] R.J.Skinner(1980):Bus Planning Method, Traffic Engineering & Control, pp.415-421
- [15] Chapman,R.A., H.E.Gault and Jenkins(1977):The Operation of Urban Bus Routes, Traffic Engineering+Control, 18(6)-(9)