대중교통 통행배정모형의 통행비용함수 분석

A Study on Travel Cost Function of Transit Assignment Model

김경태* 이 석** 권용석***

Kim, Kyoung Tae Lee, Suk Kwon, Yong Seok

ABSTRACT

This paper suggests improvements in travel cost function of transit assignment model by analysing existing model. Two types of travel cost function are widely used for congested public networks. The one is used for strictly restricting public transport capacity. Another is non-decreasing function such as BPR function. In this paper, we analyse two types of travel cost function in case of intercity rail. The characteristics of intercity rail are different from those of public transit in urban area. Therefore travel cost function must be differently applied in each case.

1. 서론

대중교통 통행배정모형에서 혼잡함수의 도입은 통행량이 증가함에 따라 혼잡한 상황이 발생하였을 때의 현상을 설명하기 위해 도입되었으며, 대중교통의 경우 혼잡이란 도로 통행배정모형에서 의미하는 혼잡의 개념과는 달리 차량용량의 제약에 의한 차내 혼잡 또는 정류장에서의 대기시간의 증가를 의미한다.

대중교통 통행배정모형에서 혼잡을 반영하는 연구는 크게 2가지 형태로 진행되었다. 먼저 도로 통행배정모형에서 사용되고 있는 BPR식과 유사한 혼잡함수를 도입하는 연구이다. 통행량에 대해서 단조증가하는 형태로 혼잡함수를 고려하는 것은 통행량 배정시에 실질적인 용량을 초과하는 문제가 발생할 수 있는 한계는 있지만 총 통행량이 용량을 초과하는 경우에도 균형해를 찾을 수 있다는 장점이 있다. 통행비용이 단조증가하는 형태로 구성될 수 있다는 것에 대한 확실한 근거는 없지만 대중교통 이용자가 느끼는 불편함(차내혼잡)을 통행비용에 포함시킬 수 있다는 장점이 있다. 또한, 혼잡함수를 도입하는 것은 혼잡함수가 단조증가함수로 구성되기 때문에 결정적 모형의 반복을 통해서 균형해를 찾을 수 있으며, 변동부등식을 활용할 수도 있다.

다른 방법은 용량의 임계치를 고려한 연구로 구분할 수 있다. 용량의 임계치를 고려하는 것은 용량에 도달하기 전까지의 통행비용은 일정하고 용량을 초과하는 순간 통행비용은 무한히 커지는 형태가 되기 때문에 총 통행량이 용량을 초과하는 경우에는 해를 구할 수 없는 단점이 있다. 용량에 도달하였을 때의 현상은 현실과 맞지만 용량에 도달하기 전까지 통행비용이 일정하다고 가정하는 것은 현실과 부합하지 않는 측면이 있다. 용량의 임계치를 설정하는 것은 실질적인 용량의 임계치를 초과하는 통행량이 배정되지 않는 장점이 있지만, 혼잡이 발생하지 않는 상황에서의 통행비용이 다소 비현실적이고, 총 통행량이 모든 노선의 용량을 초과하는 경우에는 해를 구할 수 없다는 단점이 있다. 임계치를 설정하는 방법으로 결정적 모형을 균형해를 도출하는 수리모형으로 확장하는 것은 불가능하며, 경험적인 알고리즘의 제시만 가능하며, 확률적 모형에서는 비록 가정이 비현실적이기는 하지만 수리모형이 가능해진다.

본 연구에서는 주로 도시권역에의 적용을 목적으로 개발된 혼잡함수의 분석을 통해서 도시권역의 대중교통수단과는 여러 가지 측면에서 차별화되는 지역간 철도에 어떠한 방식으로 반영되어야 할 것인가에 대한 방향성을 제시하고자 하였다.

2. 대중교통에서의 혼잡

일반적으로 대중교통 네트워크에서 하루를 기준으로 할 때는 통행량이 대중교통 전체의 용량을 초과하는 현상은 발견되지 않으며, 대중교통의 혼잡은 첨두시간에 발생하는 것이 일반적이고 시간이 지남에 따

라 혼잡은 해소된다. 즉, 첨두시간에는 대중교통 전체의 용량을 일시적으로 초과하는 현상이 발생할 수도 있으며, 이 경우에는 초과된 통행량을 처리할 수 없게 되지만 이러한 상황은 현실에서는 거의 발생하지 않는다.

대중교통의 혼잡은 분석기간 중에 특정 노선을 이용하고자 하는 통행량이 그 노선의 용량을 초과하는 것이 일반적이다. 대중교통에 혼잡을 반영하는 모형은 주로 분석기간에 대해서 특정 노선에 일시적으로 발생하는 혼잡을 반영하는 것이다. 그림 1과 같이 하나의 기종점 쌍과 N개의 노드로 구성된 대중교통 네트워크를 운행하는 노선의 집합을 $L=\{l^1, l^2, \cdots, l^M\}$이라고 하자. 그리고 각각의 노선의 용량을 $K^1, K^2, \cdots, K^M$이라고 하자.

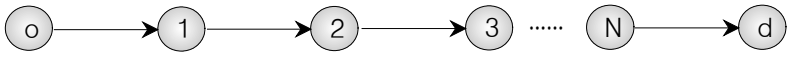

그림 1. 하나의 기종점 쌍과 N개의 노드로 구성된 대중교통 네트워크

위의 대중교통 네트워크에서 병목구간이 ②→③ 구간이라고 하고, 이 구간에 운행하는 노선 중에서 통행자가 가장 선호하는 노선이 l^1이라고 한다면 혼잡이 발생한다는 것은 l^1이 용량에 도달하여($v^l=K^l$) 노드 ②에서 l^1을 이용하고자 하는 통행자가 l^1을 이용할 수 없게 되는 상황을 의미한다[1]. 또는 다수의 선호노선이 동시에 용량에 도달하는 상황이 될 수도 있다.

혼잡한 상황이 발생하는 것이 일상적인 일이고 통행자가 충분히 혼잡 상황을 인지하고 있는 상황이라고 할 때 통행자가 선택할 수 있는 방법은 다음과 같이 3가지 경우로 구분할 수 있다.

① 통행자가 자신의 출발시간을 변경하는 경우이다. 통행자는 혼잡이 해소되는 시점으로 출발시간을 변경하여 원하는 노선에 탑승하게 된다. 이 경우는 통행자가 자신의 출발시간을 변경할 수 있느냐가 관건이 된다. 도시권역에서 발생하는 혼잡은 주로 출퇴근 통행에 의해서 발생하는 것이기 때문에 출발시간을 혼잡이 발생하는 이전 시점으로 변경할 수는 있으나, 혼잡이 발생하는 시점 이후로 변경하는 것은 곤란한 경우가 많다. 지역간 철도의 경우는 원하는 시간대에 열차를 이용할 수 없는 경우에는 출발시간을 변경하는 것이 일상적으로 발생한다.

② 통행자가 자신의 출발시간을 변경하지 않고, 타 교통수단(개인교통수단, 준대중교통수단 등)을 이용하는 경우를 생각할 수 있다. 이 경우는 통행자가 자신의 출발시간을 변경하기 힘든 상황일 때 발생한다.

③ 통행자가 자신의 출발시간을 변경하지 않고, 선호도가 떨어지는 다른 대중교통수단을 이용하는 경우이다. 이 경우도 통행자가 자신의 출발시간을 변경하기 힘든 상황일 때 발생한다. 통행자는 다른 대중교통수단 즉, 운임이 비싸거나 우회노선인 경우와 같이 우선 고려대상은 아니지만 혼잡이 발생하지 않는 대중교통수단을 이용하는 경우이다.

결국 대중교통에서 발생하는 혼잡을 반영한 모형을 구축한다는 것은 세 번째의 경우로 한정하여 통행자의 행태를 분석하는 것이다. 현실에서는 첫 번째와 두 번째의 경우도 빈번하게 발생하는 상황임을 감안할 때 대중교통에서의 혼잡의 고려는 기본적인 한계를 가질 수밖에 없다. 기존에 개발된 혼잡을 반영한 대중교통 통행배정모형은 모두 세 번째의 경우를 가정하여 모형을 구축한다. 즉, 일반적으로 대중교통 통행배정모형은 특정 분석기간을 정해 놓고, 기종점 통행량이 주어진 것으로 가정하게 되는데 첫 번째와 두 번째의 경우는 기본적인 가정을 벗어나는 것이다. 기존의 대중교통 통행배정모형은 혼잡이 발생하게 되면 통행자는 혼잡이 발생한 노선을 이용할 수가 없기 때문에 대안으로서 선호도가 떨어지는 다른 대중교통수단을 이용하는 경우에 한정하여 분석한다.

1) 통행의 우선권이 노선이 운행하는 일련의 노드의 상류부에서 승차하는 통행자에게 주어질 때로서 주로 도시권역의 대중교통에서 발생하는 현상이며, 지역간 철도에서와 같이 사전에 승차권을 예매할 수 있는 경우에는 특정 구간이 혼잡해지면 그 구간을 이용해야 하는 모든 통행자(통행자가 해당 노선을 승차하는 노드는 각각 다를 수 있음)가 그 노선을 이용할 수 없는 상황이 됨.

3. 대중교통 통행배정모형의 혼잡 반영

3.1 기존 대중교통 통행배정모형의 혼잡반영 방식

대중교통에서 혼잡을 반영하는 연구는 크게 2가지 형태로 구분할 수 있다. 먼저 도로 통행배정모형에서 사용되고 있는 BPR식과 유사한 혼잡함수를 도입하는 연구(Spiess (1993), De Cea-Fernández (1993), Nilesen (2000) 등)와 용량의 임계치를 고려한 연구(Lam et al. (1999, 2002), 윤혁렬 (2001) 등)로 구분할 수 있다. 두 가지 방법은 모두 장단점을 갖고 있으며, 각각의 방법에서 일반적인 통행량과 통행비용과의 관계는 그림 2와 같이 정의한다.

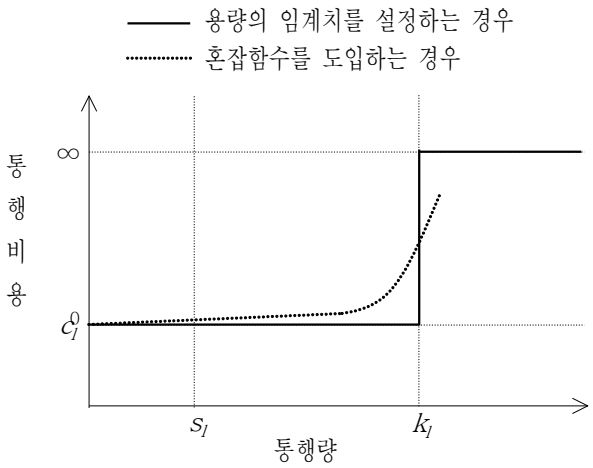

그림 2. 대중교통의 혼잡을 반영하는 방법에 의한 통행비용함수의 분류

통행량에 대해서 단조증가하는 형태로 혼잡함수를 고려하는 것은 통행량 배정시에 실질적인 용량을 초과하는 문제가 발생할 수 있는 한계를 가지고 있지만 총 통행량이 용량을 초과하는 경우에도 균형해를 찾을 수 있다. 혼잡함수를 구성하는 계수를 추정해야 하는 단점이 있지만, 용량을 초과하지 않는 경우에는 용량의 임계치를 설정하는 것보다는 현실적이라고 할 수 있다. 즉, 통행비용이 단조증가하는 형태로 구성될 수 있다는 것에 대한 확실한 근거는 없지만 대중교통 이용자가 느끼는 혼잡을 통행비용에 포함시킬 수 있다는 장점이 있다. 혼잡함수를 도입하는 것은 혼잡함수가 단조증가함수로 구성되기 때문에 결정적 모형의 반복을 통해서 균형해를 찾을 수 있다. 또는 De Cea-Fernández(1993)가 사용한 변동부등식을 활용할 수도 있다.

용량의 임계치를 고려하는 것은 용량에 도달하기 전까지의 통행비용은 일정하고 용량을 초과하는 순간 통행비용은 무한히 커지는 형태가 되기 때문에 총 통행량이 용량을 초과하는 경우에는 해를 구할 수 없게 된다. 그림 3에서 보는 바와 같이 용량제약에 의해서 최적해가 변하는 경우에 한정하여 해를 구할 수 있으며, 용량제약이 최적해에 영향을 주지 않을 수도 있다.

용량의 임계치를 고려하는 것은 용량에 도달하였을 때의 현상은 현실과 맞지만 용량에 도달하기 전까지 통행비용이 일정하다고 가정하는 것은 현실과 부합하지 않는 측면이 있다. 용량의 임계치를 설정하는 것은 실질적인 용량의 임계치를 초과하는 통행량이 배정되지 않는 장점이 있지만, 혼잡이 발생하지 않는 상황에서의 통행비용이 다소 비현실적이고, 총 통행량이 모든 노선의 용량을 초과하는 경우에는 해를 구할 수 없다는 단점이 있다. 임계치를 설정하는 방법으로 결정적 모형을 균형해를 도출하는 수리모형으로 확장하는 것은 불가능하며, 경험적인 알고리즘의 제시만 가능하다(윤혁렬 (2001)[2]). 다만 확률적 모형에서는 비록 가정이 비현실적이기는 하지만 수리모형이 가능해진다(Lam et al. (1999)[3]). 혼잡을 어떠한 방식으로 반영하더라도 단순한 가정을 추가하면, 경험적 알고리즘을 활용하는 것은 가능하다.

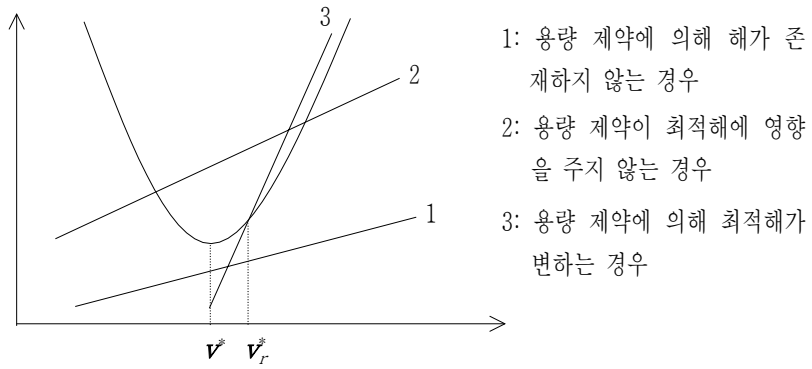

그림 3. 대중교통 통행배정모형에서 용량의 임계치를 설정하는 방식으로 혼잡을 고려하는 경우

2) 최적전략 통행배정모형에서 용량을 제약하는 제약식을 추가하고, 실제로 적용한 방식은 용량에 도달한 링크를 삭제하는 방식으로 반영함

3) 모형 내에서 내생적으로 결정되는 overload delay를 사용하여 용량을 제약

3.2 대중교통 통행배정모형의 혼잡 반영 방안

대중교통은 명확하게 물리적인 용량의 한계점이 존재하고 있으며, 실질적으로 대중교통 이용자는 통행거리에 따라서 차이가 있지만 좌석을 확보할 수 있는 상황과 그렇지 않은 상황에 대해서 인지하는 통행비용이 달라질 수 있고, 통행량이 용량에 가까울수록 느끼는 통행비용도 증가할 수 있다. 즉, 그림 4에서 보는 바와 같이 대중교통 이용자의 통행비용함수는 계단형태의 함수가 될 가능성이 높다. 그러나 이러한 형태의 함수는 함수식을 도출하는 것이 매우 힘들다는 단점이 있다. 따라서 대안으로서 그림 5와 같은 형태의 통행비용함수가 보다 합리적인 것으로 판단된다. 즉, 용량의 한계점에 도달하기 전까지는 BPR식과 유사한 형태의 함수를 사용하고, 용량에 도달하는 경우의 통행비용은 무한대로 설정하는 것이다. 그러나 그림 5와 같은 형태의 통행비용함수를 사용하더라도 수리모형을 이용한 균형해를 찾을 수는 없다. 왜냐하면 통행비용함수가 연속적으로 단조증가하는 형태가 아니기 때문이다. 따라서 경험적 알고리즘을 이용하여 균형해에 근접한 해를 도출하는 것이 가능할 뿐이다.

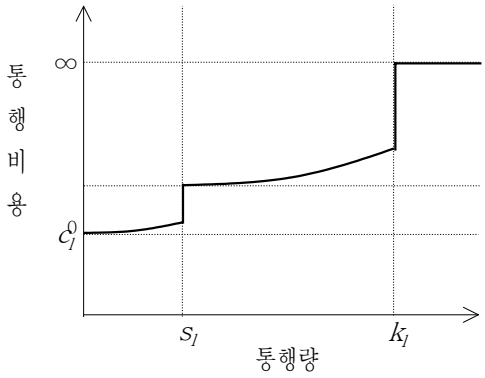

그림 4. 대중교통의 통행비용함수 (1)

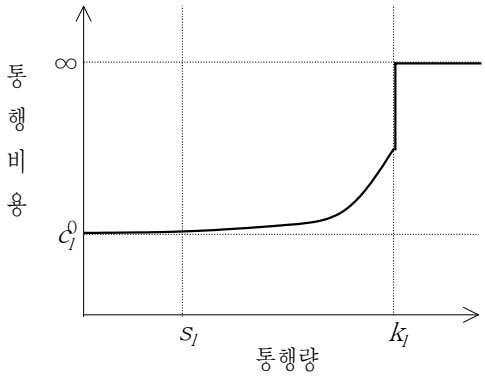

그림 5. 대중교통의 통행비용함수 (2)

4. 지역간 철도에서의 혼잡 반영

4.1 지역간 철도의 특성과 혼잡

용량제약이 없는 경우에 개발된 기존의 대중교통 통행배정모형들은 지역간 철도의 통행량을 모사하는 것에 기본적인 한계를 가지고 있다. 이것은 최적전략이라는 개념이 일반적으로 확립되어 있고, 최적전략은 매력적인 노선들의 집합에 대해서만 통행량을 배정하는 것이기 때문에 지역간 철도의 특성과는 부합하지 않는 측면이 있다. 최적전략의 개념은 대중교통 네트워크의 확장을 보다 합리적으로 단순하게 표현할 수는 있지만 지역간 철도에 적용할 경우 최적전략의 개념을 사용하는 모형들은 근본적인 한계를 가지게 된다. 이와는 반대로 모든 노선에 대해서 노드와 링크를 확장하여 확률선택모형을 이용하여 통행을 배정하는 모형들은 예측력 측면에서는 최적전략을 이용하는 모형들에 비해서 우수하지만 생성해야 될 노드와 링크가 크게 증가하게 되어 용량을 고려한 균형해를 도출하기 위해서 모형의 계산시간이 효율적이지 못한 경우가 발생한다. 또한 새로 생성될 노드와 링크의 수가 많기 때문에 링크의 수를 줄이기 위한 가정이 추가된다는 단점이 있다.

최적전략의 개념을 이용하여 혼잡을 반영하는 모형들도 한계는 있다. 용량제약이 없는 상태에서 현실을 합리적으로 모사하지 못하면서, 용량제약을 고려하는 것은 큰 의미가 없다. 현재까지 개발된 대중교통 통행배정모형이 주로 최적전략이라는 기본적인 개념하에 용량을 제약하는 것이 연구되었는데, 이것은 최적전략이라는 개념에 의해서 노선의 빈도를 단순화시킬 수 있고, 이러한 상황에서는 용량제약이 상대적으로 모형화하기 쉽기 때문이다.

지역간 철도에서는 용량을 제약하지 않아도 되는 것이 용량을 고려하는 통행배정모형은 현재의 운영계획을 제약조건으로 하여 통행량을 배정하고 있는데, 사실 운영계획은 변화할 수 있는 것이다. 통행배정모형은 현재의 운영계획 상에서 주어진 통행량이 어떻게 이용할 것인가가 주요 관심이고, 이 때에 구해진 해가 용량 조건을 충족할 수 없다면 운영계획을 변화시켜 용량 조건을 충족할 수 있도록 하여야 한다. 통행자가 타수단으로 전환하거나 다른 노선을 이용하게 하는 것은 특정 노선을 이용하고자 하는 수요를 강제적으로 분산시키는 것이기 때문에 바람직하지 않다. 즉, 지역간 철도에서는 용량을 증대시키는 방법이 상대적으로 용이하기 때문에 용량에 의한 문제는 중요하지 않다. 지역간 철도에서는 각 차량별로 편성을 확대하는 방식으로 용량을 증대시킬 수 있으며, 특정 차종의 승차율이 낮은 경우에는 차종을 변경하여 공

급하는 것도 가능하다는 장점이 있다. 따라서 지역간 철도를 이용하는 통행의 예측은 용량을 고려하지 않는 것이 보다 타당하며, 현실적으로 발생하는 경우는 없지만 용량을 초과한 수요를 발견할 수 있다면 열차운영계획의 변경 등을 통해서 해결이 가능하다.

물론 운영계획을 변화시키는 것이 거의 불가능한 경우와 같이 제한적인 조건 하에서는 수요를 분산시키는 것이 어느 정도 설득력을 얻을 수 있으나(이 부분은 예외적인 부분임), 기본적으로는 운영계획을 변화시켜 통행자의 요구를 수용할 수 있어야 한다. 따라서 통행배정모형은 용량의 제약에 의해서 강제적으로 수요를 분산시켜 현실을 보다 정확하게 모사하는 것보다 용량제약이 없는 상황에서 현실을 보다 정확하게 모사할 수 있도록 하는 것이 훨씬 더 중요하다. 따라서 용량제약이 없는 상태에서 최대한 현실에 가깝게 통행수요를 예측하는 것이 우선되어야 하고, 이 후에 제한적인 조건에서 용량을 고려하는 것이 타당한 방법이다.

4.2 지역간 철도에서의 혼잡 반영

앞에서 설명한 바와 같이 지역간 철도에서는 용량을 고려하는 것이 최선의 방법은 아니다. 용량제약이 없는 상태에서 현실을 보다 정확하게 모사하는 것이 보다 중요하며, 용량을 고려하는 것은 차후의 문제가 된다. 지역간 철도에서는 용량을 고려한다고 하더라도 De Cea-Fernández(1993), Spiess(1993)와 같이 통행량에 대해서 단조증가하는 형태의 함수로 통행비용을 설정하는 것은 적절하지 않다. 철도의 링크통행시간은 혼잡과 상관없이 일정한 값을 가지게 되며, 임계치를 벗어난 경우에는 해당 노선을 이용할 수 없는 상황이 되어버리기 때문에 지역간 철도에서 용량을 고려할 경우에는 Lam et al.(1999, 2002), 윤혁렬(2001) 등의 연구와 같이 임계치를 설정하는 것이 합리적이다[4]. 그러나 이러한 방법을 사용하게 되면 통행량이 사전에 설정된 운행하는 모든 노선의 용량보다 커지게 되면 해를 구할 수 없다는 단점은 해결할 수 없다. 이 경우에 용량을 초과하는 통행량은 대중교통 네트워크에 배정하지 않는 방법으로 해결하여야 한다.

모형에 의한 통행량이 특정 노선의 용량을 초과할 경우에는 효율적으로 용량을 증대시키는 방안을 찾아야 하는데, 지역간 철도에서의 용량의 반영은 어떤 식으로 반영될 수 있는가를 살펴보는 것도 필요하다. 특수한 경우에는 용량을 고려하는 방안도 모형에 포함시키는 것도 가능할 것이기 때문이다.[5]

지역간 철도에 용량 개념을 도입한다면 대중교통 네트워크에서 노선구간(line section)[6]으로 확장된 네트워크에서의 각각의 노선에 대한 용량제약은 기본적으로 다음과 같은 방식이 적용되어야 한다. 그림 1의 네트워크를 운행하는 임의의 노선에 대해서 일련의 연속된 링크에 대해서 노선의 용량은 다음의 조건을 만족하여야 한다.

$$x^{l}_{(i \to i+1)} = \sum_{\forall m \le i,\ \forall n > i,\ \forall (m \to n) \in A_l} v^{l}_{(m \to n)} \le C^{l} \quad \text{(수식 1)}$$

$$i = 1, 2, \cdots, N-1$$

여기서, $x^{l}_{(i \to i+1)}$ = 노선 l에 의해서 생성된 노선구간 중 구간 $(i \to i+1)$을 공통으로 사용하는 모든 노선구간의 통행량 합

$v^{l}_{(m \to n)}$ = 노선 l에 의해서 생성된 노선구간 $(m \to n)$의 통행량

C^{l} = 노선 l의 용량

노선 l의 용량 C^{l}에 대해서 각 노선구간의 용량 C^{l}_{a}은 지역간 철도에서 해당 노선의 철도역간 용량을 의미하는 것으로서 지역간 철도에서 역간좌석의 할당과 관련되며, 이 부분은 운영자가 사전에 정할 수 있는 부분이다. 또한 특정 노선의 용량이 부족한 경우 해당 노선의 용량을 확대하는 것도 운영자가 결정할 수 있는 부분이다. 이러한 방식을 이용하여 결정적 모형의 균형해를 찾기 위해서는 O/D의 분할과 노선 재구성의 과정이 반복적으로 수행되어야 한다.

---

4) 지역간 철도에서는 그림 5에서 제시한 통행비용함수에서 용량에 도달하기 전까지는 통행량에 상관없이 통행비용이 동일하다고 단순하게 가정하는 것이 합리적임

5) 지역간 철도의 통행량이 특정 노선의 용량은 초과하지만 전체 노선의 용량은 초과하지 않는 것이 명백하다면 용량제약을 통해서 통행자가 용량의 여유가 있는 대안노선을 이용할 수 있도록 하는 것은 의미가 있을 수 있음

6) 노선의 일부분으로서 굳이 연속일 필요가 없는 임의의 두 노드(정차역) 사이로서 여러 개의 노선구간이 합쳐져서 경로구간(route section)을 이룸

5. 결론

대중교통 통행배정모형의 혼잡을 반영하는 연구는 2가지 형태로 진행되었으며, 지역간 철도의 경우에는 용량의 임계치를 고려하는 방안이 보다 합리적인 것으로 판단된다. 지역간 철도의 특성상 통행비용함수는 용량에 도달하기 전까지의 통행비용은 일정하고 용량을 초과하는 순간 통행비용은 무한히 커지는 형태가 된다. 비록 총 통행량이 용량을 초과하는 경우에는 해를 구할 수 없는 단점이 있지만 이 경우에는 초과된 수요를 배정하지 않으면 해결할 수 있으며 보다 현실적인 방법이 된다. 또한 대중교통수단의 실질적인 용량의 임계치를 초과하는 통행량이 배정되지 않는 장점이 있으며, 결정적 모형에서 균형해를 도출하는 수리모형으로 확장하는 것은 불가능하지만, 경험적인 알고리즘의 제시는 가능하다.

대중교통에서 혼잡은 주로 일시적으로 발생하는 현상이기 때문에, 정적 모형에서 탈피하여 향후에는 전체 분석기간을 연속적으로 분할하고 대기행렬이론을 도입하여 지체를 분석하는 방법의 도입도 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 윤혁렬(2001), 용량을 고려한 대중교통 통행배정모형 구축에 관한 연구, 대한교통학회 제39회 학술발표회논문집, pp. 3-29
2. 이성모, 유경상, 전경수(1996), 차량용량을 고려한 대중교통 통행배정모형구축에 관한 연구, 대한교통학회지 제 14권 제3호, pp. 27-44
3. De Cea, J., Fernández, E.(1993), Transit assignment for congested public transport systems: an equilibrium model, Transportation Science 27(2), pp. 133-147
4. Lam, W. H. K., Gao, Z. Y., Chan, K. S., Yang, H.(1999), A stochastic user equilibrium assignment model for congested transit networks, Transportation Research B(33), pp. 351-368
5. Lam, W. H. K., Zhou, J., Sheng, Z.(2002), A capacity restraint transit assignment with elastic line frequency, Transportation Research B(36), pp. 919-938
6. Nielsen, O. A.(2000), A stochastic transit assignment model considering differences in passengers utility functions, Transportation Research B(34), pp. 377-402
7. Spiess(1993), H., Transit equilibrium assignment based on optimal strategies: an implementation in EMME/2, EMME/2 Support Center