

■ 博士學位論文紹介 ■

논 문 제 목 : 일반적인 가로망에 적용 가능한 동적통행배분 기법
 (Dynamic Traffic Assignment Techniques for General Road Networks)
 학 위 취 득 자 : 한상진 (HAN, Sangjin)
 현 소 속 : 교통개발연구원 교통계획부 책임연구원
 학위취득대학교 : University College London
 학위취득년도 : 1998년 11월
 지 도 교 수 : Prof B.G Heydecker
 전 공 분 야 : 교통공학
 출 신 학 교 : 학사 : 서울시립대학교 도시공학과
 석사 : 서울대학교 환경대학원

동적 통행배분 기법은 기존의 정적 모형에 비해 시간에 따라 교통정체현상이 어떻게 생성되고 소멸되는지를 분석할 수 있다는 장점이 있다. 특히 이 기법은 통행자에게 실시간 정보를 제공하고, 그 자료를 이용해 교통을 통제하는 ITS(Intelligent Transport System) 사업을 평가하는데 유용한 것으로 알려져 있다.

그러나, 지금까지 알려진 동적통행배분 모형은 다음 세가지 측면에서 문제가 있다. 첫째, 대부분의 동적통행배분 모형이 정확한 사용자 균형해(user equilibrium solution)를 찾아내지 못했다. 가장 큰 이유는 통행배분문제를 수학적으로 정식화하거나, 그 해를 찾아내는 과정에 문제가 있었기 때문이다. 둘째, 유입량, 유출량, 통행비용의 관계를 나타내는 링크비용함수가 동적 모형에 적합하지 않은 경우가 많았다. 예를 들어, Merchant and Nemhauser(1978), Friesz(1990), Ran and Boyce(1996)의 연구에서는 유출량을 계산할 때 링크 전체에 퍼진 차량 댓수를 입력 변수로 사용하였는데 이 경우에 FIFO(First-In-First-Out) 법칙이 지켜지지 않는 문제가 있다. 셋째, 대부분의 동적통행배분 모형이 기·종점 수가 몇 개밖에 되지 않는 작은 모형에만 적용되어왔다. 일반 가로망에 적용되어졌던 동적통행배분 모형은 흔하지 않으며, 있다 하더라도 만족스러운 균형해를 찾아내지 못하였다.

이런 측면에서, 본 연구는 첫째, 동적 사용자 균형 통행배분 문제의 바람직한 정식화를 검토해 본 후, 그 해를 찾을 수 있는 해법 알고리즘을 개발하는 것을 목적으로 한다. 둘째, 정적 통행배분 모형과 비교해 동적 모형이 특수하게 요구하는 사항을 정리한

후, 이 요구사항을 잘 만족시키는 바람직한 링크비용 함수를 규명한다. 셋째, 정립된 동적통행배분 모형을 일반적인 가로망에 적용하여 만족스러운 균형해를 찾을 수 있는지, 교통정책을 수행했을 때 그 효과에 대한 분석이 합리적인지를 검토한다.

본 논문의 주요내용은 다음과 같다.

1장에서는 연구의 배경 및 목적을 정리하며 2장에서는 일반적인 통행배분 모형의 목적 및 그 내용을 정리한다. 3장에서는 정적 결정적 사용자 균형 통행배분 모형의 정식화 및 Frank-Wolfe 알고리즘, Simplicial Decomposition method, 대각화 알고리즘 등 기존에 쓰인 해법 알고리즘에 대해 검토한다. 특히, 이 장에서는 본 연구에서 새로이 개발한 해법 알고리즘(Modified Schittenhelm algorithm)을 소개하고 이를 간단한 가로망에 적용해 본다. 4장에서는 정적 확률적 사용자 균형 통행배분 모형의 정식화 및 그 방법이 정리된다. 확률적 통행배분 모형 중에서 로짓(logit) 선택모형에 기반을 두고 개발된 Dial(1971), Bell(1995), Cascetta(1996) 등의 통행배분 모형과 프로빗(probit) 선택모형에 기반을 두고 개발된 Sheffi와 Powell(1982) 그리고 Maher(1992) 등의 통행배분모형이 소개된다. 또한 확률적 사용자 균형 상태를 수학적으로 정식화한 후 이 균형해를 찾을 수 있는 해법 알고리즘을 설명한다. 특히, 해법 알고리즘에서 주요통량을 갱신할 때 사용할 수 있는 연속평균법(Method of Successive Average), 간격감소법(Interval reduction methods), 내삽법(Interpolation methods) 등의 방법들 중 실험 가

로망에 적용되었을 때 어느 것이 가장 효율적인지를 분석하였다. 그 결과 내삽법이 해를 찾아내는 속도나 해의 정확성 면에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 이런 맥락에서 더 효율적인 새로운 내삽법을 개발하였다. 5장에서는 동적 통행배분 모형을 개발할 때 고려해야 하는 요소를 검토한다. 그 요소로는 첫째, 동적 기종점표(O/D table)를 얻은 방법, 둘째, 경로비용을 계산하는 방법, 셋째, 인과성(causality), FIFO 규칙, 교통량 전파(flow propagation) 등의 동적 모형이 요구하는 사항을 들 수 있다. 이런 요구사항에 맞추어 지금까지 동적통행배분 모형에서 사용된 링크비용함수들을 검토하였다. 그 결과 결정적 대기행렬 모형(deterministic queuing model)과 선형함수는 이런 요구사항을 잘 만족시켜주는 것으로 나타났다. 6장에서는 결정적 동적 사용자 균형 통행배분 모형을 변동부등식 문제로 정식화 한 후 이 문제의 해를 찾는 방법으로 Heydecker와 Addison(1996)의 \emptyset 연산자 방법 및 삼각화법(triangularisation method)을 소개한다. 특히 삼각화법의 내부 문제를 풀 때는 3장에서 개발한 새로운 알고리즘을 이용한다. 이 알고리즘을 동적 통행배분에 이용하게되면 기존의 Frank-Wolfe 알고리즘과 비교해 링크 교통량을 교통량 전파현상을 고려하면서 갱신할 수 있고 또 목적함수값을 찾을 필요가 없다는 장점이 있다. 아울러 교통량 전파를 바르게 구현할 수 있는 동적 네트워크 로딩(network loading) 방법을 소개한다. 또한, 본 연구에서는 이산적(discrete) 시간에서 교통량과 통행비용을 관련시킬 때 예측적(predictive) 또는 반응적(reactive) 두 가지로 나눌 수 있다고 소개한다. 결정적 대기행렬 모형을 이용하여 동적 통행배분을 가상 가로망에 실시한 결과, 새로운 알고리즘 및 예측적 교통량-비용 관계를 이용하면 동적 사용자 균형을 정확하게 찾을 수 있음이 나타났다. 하지만 같은 상황에서 반응적 교통량-비용관계를 이용하면 분석

시간 단위 변화에 따라 교통량 패턴이 많이 달라지는 것으로 나타났다. 7장에서는 확률적 동적 통행배분 문제를 변동부등식으로 정식화 한 후, 감소적합방향(descend feasible direction) 알고리즘을 이용하여 해를 찾을 수 있음을 보였다. 특히, 확률적 네트워크 로딩을 위해 4장에서 소개된 Dial의 방법을 동적 차원에서 일반 가로망에 이용할 수 있도록 개량하였다. 가상 가로망에 확률적 통행배분을 실시한 결과, 로짓 모형의 확산계수(dispersion parameter) 값이 작을 때에는 예측적 또는 반응적 교통량-비용관계 모두 바람직한 해를 가져다주었으나 값이 커감에 따라 반응적 교통량-비용관계는 결정적 동적 통행배분의 경우처럼 분석 시간 단위 변화에 따라 교통량 패턴이 많이 바뀌며 또 크게 요동치는 패턴을 보였다. 8장에서는 개발된 결정적 및 확률적 동적 통행배분 모형을 중간 크기 도시인 미국의 Sioux Falls 가로망에 적용하였다. 그 결과 두 모형 모두 교통량의 변화에 따라 통행비용이 증가하는 현상을 보여주었고, 가로망의 일부 도로를 폐쇄했을 때 주변 도로에 많은 교통량이 부하되는 현상을 보여 주었다. 그러나, 확률적 동적 통행배분 모형에 비해 결정적 동적 통행배분 모형이 계산하는데 10배정도 시간이 더 걸렸다. 이는 결정적 모형이 경로(route)에 기반을 두고 해를 찾는 데 비해, 확률적 모형은 링크에 기반을 두고 해를 찾기 때문인 것으로 보인다.

향후 연구 과제로는 첫째, 동적 통행배분을 실시할 때, 가로망의 교통상황에 따라 출발시간까지 변화시킬 수 있는 모형을 개발하여 실제 가로망에 적용해 보는 것, 둘째, 확률적 모형에서 C-logit 모형같은 보다 합리적인 경로 선택 모형을 결합시키는 것, 마지막으로 보다 현실적이면서, 인과성, FIFO 규칙, 교통량 전파현상 등 동적 모형이 요구하는 사항을 만족시키는 또 다른 링크비용함수를 개발하여 동적 통행배분 모형에 결합시키는 것을 들 수 있겠다.