

신호교차로에서 방향별 지체를 고려한 최적경로탐색 연구

A Shortest Path Algorithm Considering Directional Delays at Signalized Intersection

민 근 흥*
(Keun-Hong Min)

조 미 정**
(Mi-Jeong Jo)

고 승 영***
(Seung-Young Kho)

요 약

도심부의 도로네트워크에서는 도로구간의 주행시간에 비하여 교차로에서의 신호운영 및 방향별 회전으로 인하여 발생하는 통행시간이 차량주행시간에 더 큰 영향을 끼친다고 판단하는 바 이를 고려한 경로탐색이 필요할 것으로 사료된다.

따라서 신호교차로에서의 비효율을 적용하는 것이 바람직하다고 판단하여 본 연구에서는 경로 탐색시 턴 페널티(Turn Penalty)를 반영하고자 하였다. 적용한 턴 페널티는 하나의 교차로에서 동일한 지체값을 적용하는 것이 아닌 교차로에서의 접근로별로, 또 동일 접근로 내에서도 회전 방향별로 나누어서 지체를 산정하여 적용하였다. 해당 연구에서 적용한 네트워크는 강남구 16개의 교차로를 포함하는 네트워크이며 미시시뮬레이션 프로그램인 PARAMICS V5.2을 이용하여 분석하였다.

분석 네트워크를 통행시간지표, 임의의 턴 페널티를 적용, 산정된 턴 페널티를 적용한 Dijkstra 알고리즘의 세 가지 방법으로 경로탐색을 시행하여 이를 비교·분석하였다.

분석 결과 다수의 교차로가 분포한 도심부 네트워크에서의 경로탐색에서는 통행시간지표를 활용한 경로탐색이 바람직하며 턴 페널티를 적용한 통행시간지표 Dijkstra 알고리즘을 이용한 경로탐색기법이 타 기법에 비하여 경로통행시간을 단축하는 것으로 산출되었다. 해당 기법의 활용으로 인하여 경로탐색제공에서의 하나의 대안 경로로써 활용이 가능할 것으로 판단된다.

Abstract

In road network, especially in urban area, inefficiency of travel time is caused by signal control and turn maneuver at intersection and this inefficiency has substantial effects on travel time. When searching for the shortest path, this inefficiency which is caused by turn maneuver must be considered.

Therefore, travel time, vehicle volume and delay for each link were calculated by using simulation package, PARAMICS V5.2 for adaptation of turn penalty at 16 intersections of Gangnam-gu. Turn penalty was calculated respectively for each intersection. Within the same intersection, turn penalty differs by each approaching road and turn direction so the delay was calculated for each approaching road and turn direction. Shortest path dealing with 16 intersections searched by Dijkstra algorithm using travel time as cost, considering random turn penalty, and algorithm considering calculated turn penalty was compared and analyzed.

The result shows that by considering turn penalty searching the shortest path can decrease the travel time can be decreased. Also, searching the shortest path which considers turn penalty can represent reality appropriately and the shortest path considering turn penalty can be utilized as an alternative.

Key words: Shortest path, intersection, turn penalty, delay, Dijkstra

† 본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비 지원(06-교통핵심-A01-01)에 의해 수행되었습니다

* 주저자 : 서울대학교 건설환경공학부 석박통합과정

** 공저자 : 서울대학교 건설환경공학부 석박통합과정 수료

*** 공저자 및 교신저자 : 서울대학교 건설환경공학부 교수

† 논문접수일 : 2010년 3월 8일

† 논문심사일 : 2010년 4월 5일(1차), 2010년 5월 13일(2차)

† 게재확정일 : 2010년 5월 17일

I. 서 론

교통체계효율화법 제 2조에 의하여 ‘지능형 교통체계’라 함은 교통수단 및 교통시설에 전자·제어 및 통신 등 첨단교통기술과 교통정보를 개발·활용함으로써 교통체계의 운영 및 관리를 과학화·자동화하고, 교통의 효율성과 안전성을 향상시키는 교통체계라고 정의내리고 있다. 이러한 지능형 교통체계의 구축을 효율적·체계적으로 추진하기 위하여 지능형교통체계 기본계획을 수립하고 있고 지능형교통시스템(ITS; Intelligent Transportation Systems)에 대한 연구가 진행되고 있다.

해당 연구의 발전으로 운전자들의 네비게이션(Navigation) 이용이 증가하고 있는 추세이다. 네비게이션의 보급이 증대될수록 차량네비게이션 시스템(Car Navigation System)에서 제공하는 정보 시스템에 대한 신뢰도를 높이기 위한 연구 또한 증가하고 있다. 해당 시스템에서 제공하고 있는 많은 서비스 중에서 본 연구에서는 여행자에게 출발지에서 목적지까지의 경로를 제공하는 서비스에 대한 연구를 중점적으로 연구하고자 한다.

현재 네비게이션에서 제공하는 경로는 거리상으로 최단구간으로 산정되는 거리최단경로를 운전자에게 제공하거나, 유료도로 등의 이용으로 비용이 발생하는 경우를 운전자의 선택에 따라 비용이 발생하는 경로 및 비용이 발생하지 않는 경로를 고려한 거리최단경로를 운전자에게 제공하거나, 또는 실시간으로 도로의 상태를 업데이트 받아서 이를 고려하여 산정한 통행시간 최단경로를 운전자에게 제공하고 있는 방법 등이 제공되고 있다.

또한 현재 운영 중인 시스템에서는 도로 네트워크에서 최단경로를 산정할 때, 해당 경로에 속해있는 링크들의 평균비용의 합으로 산출한 결과를 토대로 경로를 제공하고 있어 교차로에서의 회전 등을 고려하지 않아 실제 최단경로와는 다른 결과를 산출하게 되는 경우가 발생하게 된다.

특히, 도심부 도로 네트워크의 경우 많은 교차로로 이루어져 있어 경로 상에서 여러 교차로를 경유하게 되고 이에 따라 발생하는 추가적인 비용으로

인하여 경로통행시간에 많은 영향을 끼치게 된다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 하나의 링크에 대하여 하나의 평균비용을 사용하는 것이 아니라 링크를 방향별로 분류한 후 링크별 방향별 통행시간을 이용하였다. 또한 해당 자료를 기반으로 교차로에서 턴 페널티(Turn Penalty)를 고려하기 위하여 방향별 지체를 고려한 경로를 제공하는 최적경로 알고리즘을 연구하고자 한다.

연구의 목적에 부합하는 교통량이 많고 다수의 교차로로 이루어져 있는 강남구 네트워크를 대상으로 미시시물레이션 소프트웨어인 PARAMICS를 활용하여 분석하였다.

연구내용을 검증하기 위하여 첫 번째 분석방법은 링크통행시간 기준 Dijkstra 알고리즘분석, 두 번째 방법은 턴 페널티를 고려한 통행시간 기준 Dijkstra 알고리즘분석, 세 번째 방법은 산정된 턴 페널티를 고려한 통행시간 기준 Dijkstra 알고리즘분석의 세 가지 탐색방법으로 턴 페널티 고려 유무와 임의의 턴 페널티 적용시에 대해 비교·분석하였다.

II. 관련연구 고찰

1. 최단경로탐색 시 턴 페널티 적용 연구

최단경로 탐색에 관한 연구는 Dijkstra[1], Moore, Shier 등의 대표적인 알고리즘 외에도 많은 연구들이 진행되어 오고 있다. 해당 연구에서는 최단경로탐색 연구 중에서도 회전페널티를 고려한 최단경로에 대한 연구에 대해서 살펴보고자 한다.

Caldwell(1961)은 회전페널티의 개념을 처음으로 다루었는데 해당 연구에서는 연결된 두 링크의 실제 통행시간을 각각 링크의 통행시간과 회전페널티를 합한 것으로 가정하고 연결된 두 링크를 묶어 ‘hook’의 개념을 도입하여 네트워크를 재구성하여 분석하였다[2].

Kirby와 Potts(1969)는 교차로에서 각 회전방향별로 노드와 링크를 추가하여 네트워크를 재구성하는 방법을 사용하여 회전페널티를 고려하였다[3].

최석철(1999)은 노드를 기반으로 회전이 발생하는

노드에 연결된 제 3의 노드에 임의의 회전페널티를 부여하는 방법을 사용하여 모든 가능경로에 대해 회전페널티를 반영하여 최단경로를 탐색하는 방법을 제안하였다[4].

Laporte et al.(2001)은 그래프 변환이 필요 없는 직접적인 접근방법을 제시하여 회전페널티를 반영하는 경로탐색방법을 제안하였다[5].

앞서 살펴본 바와 같이, 페널티와 관련된 연구가 진행되고 있지만 노드기반으로 탐색을 하는 경우에는 U-turn이나 P-turn과 같은 회전제한을 고려하지 못하고 있다[6]. 또한, 턴 페널티 값을 특정 지표를 활용하는 것이 아니라 임의의 값을 적용함으로써 턴 페널티의 개념만을 도입하였다는 한계점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 링크기반으로 회전에 따른 지체를 턴 페널티 값으로 선정하여 적용하여 노드기반에서 발생한 한계점을 해결하고자 하였다.

2. 교차로 관련 연구

정혜옥 외(2001)의 연구에서는 춘천시 중심부의 26개 교차로를 선정하여 분석하였다. 해당 연구에서는 각 링크에서의 신호현시를 고려하여 통행시간을 산출하여 링크 값으로 사용하였다. 도로구간의 길이와 신호현시를 고려한 통행시간을 산출하여 첨두시간(출·퇴근 시간)과 비첨두시간으로 나누어 분석하였다. 해당 연구의 분석결과 도심부 도로에서는 도로구간의 주행시간에 비하여 신호로 인하여 발생하는 대기시간이 통행시간에 더 큰 영향을 끼친다는 사실을 도출하였다[7].

오상진 외(2008)의 연구는 교차로 지체를 고려한 통행시간함수를 개발하여, 이를 도시부 가로망에 적용하여 구간통행시간을 링크의 순행시간과 교차로 지체시간으로 분리하여 분석하였다. 해당 연구에서는 청주시 주행속도 조사 자료와 교차로별 기하구조, 교통량, 신호운영 현황으로 부터 링크의 순행시간과 교차로 지체시간을 각각 모델링하여 통행배정 단계에 적용하였다. 해당 연구결과 고속도로, 국도 등 지역 간 가로망의 교통수요 예측에서는 교차로에 관련된 지체시간은 무시할 수 있을 정도이지만 도시

내의 가로망에서는 교차로가 통행자에게 상당한 지체를 유발시키므로 교차로의 지체시간이 통행시간에 커다란 영향을 끼친다는 사실을 도출하였다[8].

해당 연구들에서는 모든 링크에 일괄적으로 교차로의 지체를 적용[9, 10]하고 있으나 현실적으로 교차로 내에서도 접근로별 회전방향별 겪게 되는 지체가 다르다는 사실을 반영하지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 교차로의 접근로별, 회전방향별로 각기 다른 지체를 산정하여 턴 페널티를 반영하고자 한다.

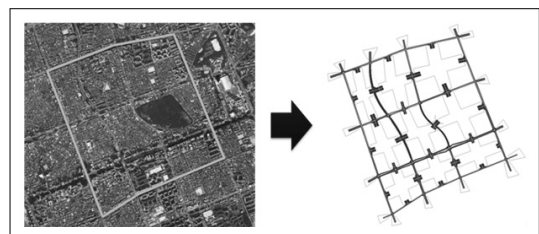
Ⅲ. 방법론

1. 시뮬레이션(Simulation)

본 연구에서는 <그림 1>에서 제시한 강남구의 학동역, 청담공원, 대치사거리, 역삼세무서를 경계로 하여 16개의 교차로로 구성된 네트워크를 PARAMICS로 구현한 네트워크를 활용하였다.

분석 네트워크는 차로수, 회전방향 및 회전제한 등 실제 기하구조를 반영하였다. 또한 해당연구에서 활용된 교통량 자료는 실제 강남구에서 조사된 교통량 자료이고 신호운영자료 또한 실제 강남구에서 운영하고 있는 자료를 적용하였다.

턴 페널티 산정을 위하여 각 방향별 링크를 분리하여 분석하였다. 즉, 하나의 링크에서 하나의 대표 통행시간을 이용하던 것과는 달리 하나의 링크에서 도출되는 방향별(직진 / 우회전 / 좌회전 / u-turn) 교통류의 대표시간을 산출한 결과 값을 이용하여 분석하는 것이다.



<그림 1> 강남구 네트워크 구현
<Fig. 1> Gangnam-gu Network

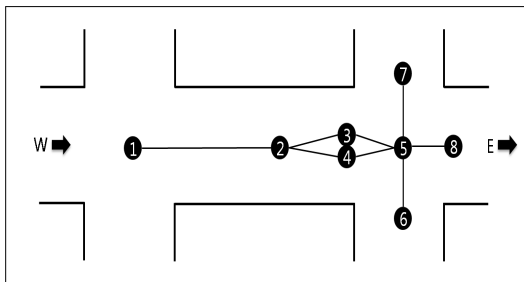
2. 턴 페널티(Turn Penalty)

턴 페널티는 앞서 기준문헌교차로에서 도출된 내용을 통하여 교차로 별로 따로 산정하는 것이 바람직하다는 사실이 확인되었다. 또한 같은 교차로 내에서도 접근로별, 회전 방향별로 다른 값을 가지게 된다는 사실을 토대로 본 연구에서는 턴 페널티의 매개변수(Parameter)로 교차로별로 단일한 교차로 지체값이 아닌 교차로의 접근로별, 회전 방향별 지체값을 각각 산정하여 이를 적용하였다.

<그림 2>는 하나의 교차로에서 회전방향별 링크를 분리시키는 방법에 관한 예를 보여주는 것으로 1번 교차로에서 5번 교차로까지(Eastbound) 주행하는 접근로를 도식화 한 것이다.

<그림 2>에서 살펴본 것과 같이, 회전 방향별로 페널티를 산정하기 위하여 인접한 교차로를(노드 1, 노드 5) 하나의 링크로 직접 연결하지 않고 나누어서 분석을 하였다. 이 때, 좌회전의 경우에는 직진, 우회전과 신호현시 및 차로가 구분되므로 3번 노드를 이용하여 직진, 우회전과는 따로 분리하였으며, 직진과 우회전의 경우에는 노드 2 - 노드 4 - 노드 5의 도로구간은 직진과 우회전이 공유하게 되고 노드 6, 노드 8로 구분하여 분석하였다.

즉, 노드 1에서 노드 5로 주행함에 있어 링크(1, 2) 구간에서는 모든 차량들이 동일한 도로구간을 이용하게 되지만 노드 2에서 노드 5로 연결되는 구간에서는 방향별로 다른 도로구간을 이용하게 되므로 접근로별 회전 방향별로 다른 페널티를 산정할 수 있



<그림 2> 회전방향별 링크 분리의 예
 <Fig. 2> Example case of separated link for each turn direction

게 된다.

- * 좌회전 : 노드 2 - 노드 3 - 노드 5 - 노드 7
- * 직진 : 노드 2 - 노드 4 - 노드 5 - 노드 8
- * 우회전 : 노드 2 - 노드 4 - 노드 5 - 노드 6

$$Freeflow\ Time = \frac{link\ length}{Freeflow\ speed} \quad (1)$$

$$LD(link\ delay) = Actual\ time - Freeflow\ time \quad (2)$$

$$Turn\ Penalty = \sum LD_{ij} \cdot \delta_{ij} \quad (3)$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } i \text{ 회전시 } link(i,j) \text{ 를 사용} \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases}$$

교차로에서 식 (1)과 식 (2)에서 제시한 방법처럼 각 링크의 회전 방향별 링크 지체값을 실제 통행시간과 자유통행속도로 진행할 때의 통행시간의 차이를 통하여 산출하였다. 그리고 회전 방향별 링크지체의 합을 턴 페널티로 산정하여 활용하였다.

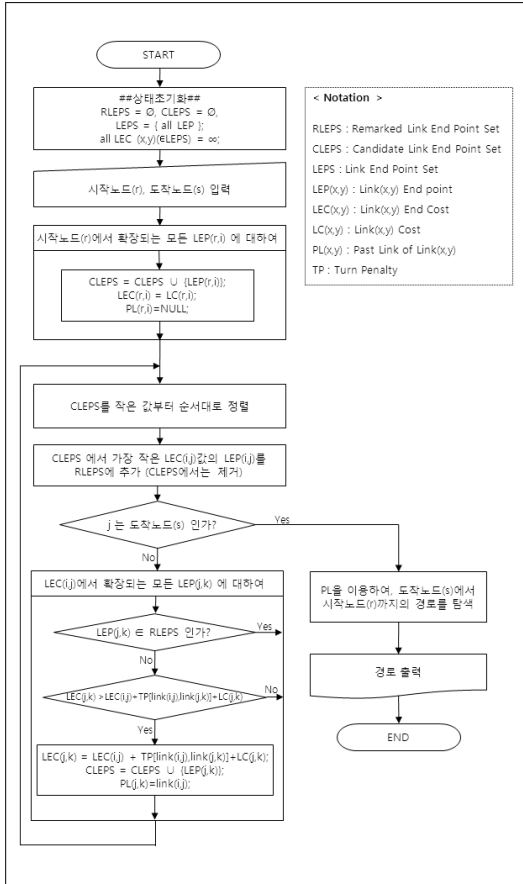
해당 방법을 통하여 교차로별, 접근로별, 방향별로 다른 턴 페널티 값을 산출할 수 있게 되어 기존 연구의 한계를 개선할 수 있게 되었다.

또한, 임의의 턴 페널티는 교차로와 접근로에 관계없이 좌회전 100초, 우회전 50초, 직진 0초를 적용하였다.

3. 턴 페널티를 반영한 알고리즘

턴 페널티 고려의 유무에 따라 탐색된 경로의 차이의 비교·분석을 위해 기준이 되는 알고리즘을 선정하고자 하였으며, 기준이 되는 알고리즘으로 Dijkstra 알고리즘을 선정하였다.

Dijkstra 알고리즘은 Graph 이론의 하나로 어떤 링크도 음수 값을 갖지 않는 방향 그래프에서 주어진 출발점과 도착점 사이의 최단 경로 문제를 푸는 알고리즘으로 최단경로탐색에서 가장 대표적이라 할 수 있는 알고리즘이다.



<그림 3> 턴 페널티를 적용한 Dijkstra 알고리즘
 <Fig. 3> Considering turn penalty algorithm

Dijkstra 알고리즘은 응용 및 분석이 용이하기 때문에 본 연구의 기준 알고리즘으로 선정하여 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 경로를 탐색하는 방법으로 링크통행시간 기준, 임의의 턴 페널티와 산정된 턴 페널티를 고려한 알고리즘을 이용하여 비교·분석하였으며 [11, 12], <그림 3>은 턴 페널티를 고려한 수정된 Dijkstra 알고리즘으로 식(1) ~ 식(3)을 통하여 도출된 턴 페널티(TP[link1link2])를 적용하여 최단경로를 탐색하는 알고리즘의 순서도이다.

경로를 탐색함에 있어 시작노드(r)에서 도착노드(s)까지의 이용된 링크비용과 교차로에서의 회전으로 인한 턴 페널티의 합을 최소화하는 경로를 탐색하고 이를 이용하여 턴 페널티 고려 유무의 차이와 임의

의 페널티 적용으로 인한 불합리한 경로탐색을 확인해 보고자 하였다.

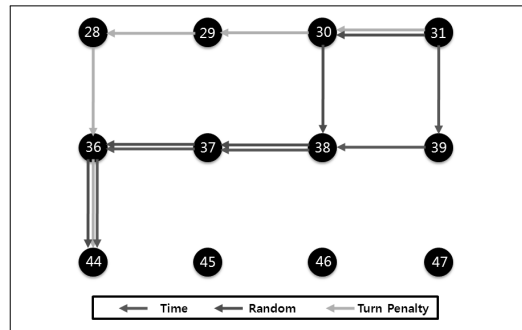
IV. 분석결과

16개의 교차로로 구성된 강남구 단속류 네트워크의 교차로들 간의 경로는 ${}_{16}C_2 \times 2$ (양방향)의 총 240개의 경로가 존재한다. 이 중에서 인접하는 교차로 간의 양방향 48개 경로는 세 가지의 방법에서 동일하게 나타나게 된다. 따라서 이를 분석에서 제외하고 나머지 192개 경로를 대상으로 분석하였다.

알고리즘을 검증하기 위하여 세 가지 탐색기법을 비교 시 적용한 통행시간은 산정된 턴 페널티를 고려한 통행시간으로 환산한 값을 이용한다. 해당 분석에서 활용한 통행거리는 실제의 네트워크 길이를 이용하였고 통행시간은 시뮬레이션을 통해 도출한 링크 통행시간을 사용하였으며, 회전 시 적용한 턴 페널티는 앞서 제시한 식(1) ~ 식(3)을 통하여 도출된 값을 사용하였다.

<그림 4>는 노드 31(청담공원)에서 노드 44(역삼역)까지의 경로를 3가지 기법을 이용하여 탐색한 경로탐색 결과를 개략적으로 표현한 것이다.

통행시간기준 Dijkstra알고리즘을 적용한 탐색기법은 노드 31 - 노드 39 - 노드 38 - 노드 37 - 노드 36 - 노드 44를 경유하였고 임의의 턴 페널티를 적용한 시간기준 Dijkstra알고리즘을 적용한 탐색기법은 노드 31 - 노드 30 - 노드 38 - 노드 37 - 노드 36 - 노



<그림 4> 31에서 44까지의 경로 비교
 <Fig. 4> Example case of search path

<표 1> 노드 31에서 노드 44까지의 경로 및 총 통행시간
<Table 1> Exemple case of search path

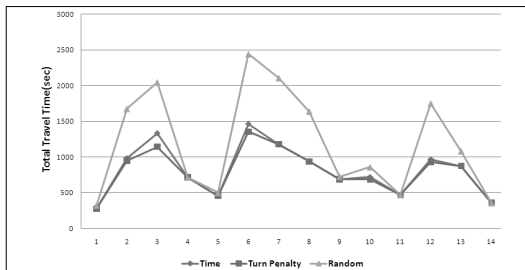
Algorithm	From	To	환산된 Total Travel Time(sec)
Dijkstra (Time)	31	44	1181.60
Random Turn Penalty	31	44	1241.76
Considering Turn Penalty	31	44	1146.83

드 44를 경유하였고, 턴 페널티를 고려한 시간기준 Dijkstra알고리즘을 적용한 탐색기법은 노드 31 - 노드 30 - 노드 29 - 노드 28 - 노드 36 - 노드 44를 경유하는 경로가 도출되었다.

해당 결과를 통하여 노드 30에서의 좌회전과 노드 38에서의 우회전의 경우에는 실제적인 턴 페널티 값이 크고, 28에서의 좌회전 턴 페널티 값은 작다는 것을 알 수 있다.

<표 1>은 노드 31(청담공원)에서 노드 44(역삼역)까지의 경로를 탐색한 결과이다.

링크시간기준 알고리즘을 적용한 탐색기법은 1181.60초, 임의의 턴 페널티를 고려한 알고리즘을 적용한 탐색기법은 1241.76초, 산정된 턴 페널티를 고려한 알고리즘을 적용한 탐색기법의 경우에는 1146.83초로 산출되었다. 턴 페널티를 알고리즘을 적용한 탐색기법은 시간기준 Dijkstra알고리즘을 적용한 탐색기법에 비하여 34.77초가 감소되었고 약 3%의 통행시간 감소효과가 도출되었다. 또한 턴 페널티를 고려한 알고리즘을 적용한 탐색기법은 임의의



<그림 5> 탐색 방법별 평균경로통행시간(sec)
<Fig. 5> Comparison of total travel time

<표 2> 탐색 방법별 평균경로통행시간(sec)
<Table 2> Comparison of total travel time

Algorithm	Dijkstra (Time)	Random TurnPenalty	Considering Turn Penalty
평균경로 통행시간(sec)	717.28	849.02	694.79

턴 페널티를 적용한 알고리즘에 비하여 94.93초가 감소되었고 약 7.6%의 통행시간이 감소되는 효과가 산출된 것으로 분석되었다.

<그림 5>는 세 가지 탐색기법으로 탐색된 경로통행시간의 일부를 도식화 한 것인데, 대체적으로 산정된 턴 페널티를 고려한 통행시간지표기준 경로탐색기법이 산출한 경로통행시간이 타 기법에 비하여 짧게 나타난다는 사실을 보여주고 있다.

또한, 임의의 턴 페널티를 적용했을 경우가 링크 통행시간만을 고려했을 경우보다도 평균경로통행시간이 길다는 것을 확인할 수 있었다.

<표 2>는 인접한 교차로간의 경로를 제외한 16개 교차로들 간의 192개의 경로들의 평균통행시간을 나타낸 결과 값이다. 산정된 턴 페널티 고려한 알고리즘을 적용한 경우에는 694.79초, 링크시간 기준 Dijkstra알고리즘은 717.28초, 임의의 턴 페널티를 적용한 알고리즘은 849.02초로 산출되었다.

산정된 턴 페널티를 고려한 알고리즘의 경우 평균 경로통행시간이 링크시간기준 알고리즘에 비하여 약 3% 감소하였는데 이는 많은 교차로로 구성되어있는 도심부의 도로네트워크에서는 교차로에서 발생하는 지체의 영향이 크기 때문에 턴 페널티를 고려한 알고리즘을 활용하는 것이 경로탐색에 더 유용하다는 사실을 도출할 수 있었다.

또한, 임의의 턴 페널티 적용 시의 평균경로통행시간은 산정된 턴 페널티 적용시보다 약 18%나 증가하였고 링크통행시간만을 고려한 경우보다도 크게 증가하였는데 이는 임의의 혹은 추정된 턴 페널티의 오차가 클 경우 턴 페널티 적용이 기존의 경우보다 불합리한 경로를 탐색할 수도 있다는 것을 의미한다.

따라서 턴 페널티의 오차는 알고리즘에의 적용에 있어서 주요한 요소라 할 수 있다.

V. 결론 및 향후연구과제

신호차로에서의 턴 페널티 적용을 위하여 교통량이 많고 다수의 교차로로 이루어져 있는 강남구 네트워크를 대상으로 미시시뮬레이션 소프트웨어인 PARAMICS를 활용하여 분석하였다.

해당 턴 페널티는 회전 방향별로 링크를 구분하여 회전에 이용된 링크들의 지체의 합을 각 링크의 회전방향별 턴 페널티로 산정하여 적용하였다.

대상 네트워크에서 링크통행시간기준 알고리즘, 임의의 턴 페널티, 산정된 턴 페널티를 알고리즘의 세 가지의 방법으로 경로탐색을 수행하여 이를 비교·분석하였다.

16개 교차로들 간의 240개의 경로들 중 인접하는 교차로간의 경로를 제외한 192개의 경로들을 대상으로 분석한 결과 임의의 턴 페널티 적용 시, 링크통행시간지표 이용 시, 산정된 턴 페널티 고려한 경우의 순으로 평균경로통행시간이 적게 나타났다.

특히 임의의 턴 페널티의 적용 시에는 타 탐색경로와 경로통행시간의 차이가 많이 발생하였는데 해당 결과를 통하여 턴 페널티 적용 시 임의의 혹은 추정된 턴 페널티의 오차가 클 경우 턴 페널티 적용이 기존의 경우보다 불합리한 경로를 탐색할 수도 있다는 것을 확인하였다.

또한 주행시간에 비하여 신호로 인하여 발생하는 지체시간이 전체 경로통행시간에 더 커다란 영향을 끼치는 것으로 분석된 도심부에서는 턴 페널티를 반영하는 것이 바람직하며, 최단 경로 탐색 시 이러한 턴 페널티를 고려함으로써 기존의 탐색 방법에 비해 운전자의 실제 통행시간을 감소시킬 수 있게 되어 통행시간 절감이나 통행비용 절감 등으로 인한 편익이 발생할 것으로 예상된다.

따라서 해당 연구의 결과는 경로탐색의 하나의 대안 경로로써의 활용이 가능할 것으로 판단되며, 추후 본 연구에서 사용한 턴 페널티 외에 현실에 근접할 수 있는 지표값 도출에 대한 연구가 필요할 것이라 생각된다.

참고 문헌

- [1] E. W. Dijkstra, "A note on two problems in connexion with graphs," *Numerische Mathematik*, vol. 1, pp. 269-271, May 1959.
- [2] T. Caldwell, "On finding minimum routes in a network with turn penalties," *Communications of the ACM*, vol. 4, no. 2, pp.107-108, Feb. 1961.
- [3] R. F. Kirby and R. B. Potts, "The minimum route problem for networks with turn penalties and prohibitions," *Transportation Research*, vol. 3, no. 4, pp.397-408, 1969.
- [4] 최석철, "Turn penalty algorithm for the shortest path model with fixed charges," *한국국방경영분석학회지*, vol. 25, no. 2, pp. 73~83, 1999. 12.
- [5] J. Clossey, G. Laporte, and P. Soriano, "Solving arc routing problems with turn penalties," *J. Operational Research Society*, vol. 52, no. 4, pp. 433~439, Apr. 2001.
- [6] 김재곤, 신용호, "방향전환 별점을 고려한 최소거리경로 알고리즘," *대한설비관리학회*, 제12권, 제4호, pp. 67~76, 2007. 12.
- [7] 정혜옥, 반종오, 최형진, "교차로의 신호등을 고려한 최단경로 링크값 생성," *정보통신논문지*, 제5권, pp. 45-52, 2001. 1.
- [8] 오상진, 박상혁, 박병호, "교차로 지체를 고려한 통행시간함수 개발," *대한교통학회지*, 제26권, 제4호, pp. 63~76, 2008. 8.
- [9] 박찬규, 박순달, 진희채, "교차로의 제약과 지연이 있는 네트워크에서 최단경로탐색," *한국경영과학회지*, 제23권, 제3호, pp. 17~26, 1998. 9.
- [10] C. Meneguzzer, "An equilibrium route choice model with explicit treatment of the effect of intersections," *Transportation Research Part B*, vol. 29, no. 5, pp. 329~356, Oct. 1995.
- [11] R. K. Ahuja, T. L. Magnanti, and J. B. Orlin, *Network Flows*, Prentice-Hall Inc., 1993.
- [12] 임강원, 임용택, *교통망분석론*, 서울대학교출판부, 2008. 6.

저자소개



민 근 홍 (Min, Keun-Hong)

2007년 2월 서울시립대학교 교통공학과 학사 졸업

2008년 3월~현재 : 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 석박통합과정



조 미 정 (Jo, Mi-Jeong)

2006년 2월 명지대학교 교통공학과 학사 졸업

2006년 3월~현재 : 서울대학교 공과대학 건설환경공학부 석박통합과정 수료



고 승 영 (Kho, Seung-Young)

1976년 3월~1980년 2월 : 서울대학교 공과대학 토목공학과 공학사

1980년 3월~1982년 2월 : 서울대학교 공과대학 토목공학과 도시공학 공학석사

1984년 8월~1989년 1월 : U.C. Berkeley 토목공학과 교통공학 공학박사

1989년 3월~1991년 2월 : 교통개발연구원 교통계획연구실 실장

1991년 3월~2003년 2월 : 명지대학교 교통공학과 교수

2003년 3월~현재 : 서울대학교 건설환경공학부 교수