

# 환승 저항을 고려한 대중교통 경로 탐색 알고리즘†

## Public transit routing algorithm considering transfer penalty

전인우\*, 남현우, 전철민  
Inwoo Jeon, Hyunwoo Nam, Chulmin Jun  
서울시립대학교 공간정보공학과  
{yugo123, hwnam, cmjun}@uos.ac.kr

### 요약

최근에 개발되고 있는 운행시간표 기반의 대중교통 경로 탐색 알고리즘에서는 그래프 이론 대신 운행계획에 따른 정류장의 출·도착시각을 이용하여 경로를 산출한다. 산출된 경로에는 환승 횟수가 많더라도 이동시간이 적은 경로가 선택된다. 하지만 이동시간뿐만 아니라 환승 횟수도 경로 선택에 중요한 요소이므로, 이를 고려한 경로를 산출할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 환승 저항을 고려한 대중교통 경로 탐색 알고리즘을 제안한다. 운행시간표 기반의 알고리즘에 환승 저항을 고려한 경로 탐색이 진행되도록 개선하였으며, 환승 유형에 따라 환승 저항 값을 다르게 부여할 수 있도록 수정하였다. 환승 저항의 적용 여부에 따른 경로 산출에 대한 실험을 진행한 결과, 환승 저항을 적용한 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 실제 승객이 이용한 경로와 유사한 경로를 산출할 수 있었다. 또한, 환승 저항 값을 조정하여 실험을 진행한 결과, 저항 값을 변경할 때마다 산출되는 경로가 달라지는 것을 확인할 수 있었다.

### 1. 서론

일반적인 대중교통 경로 탐색 알고리즘은 그래프 이론을 기반으로 경로를 탐색한다.[1] 최근에는 그래프 이론 대신 운행시간표를 기반의 경로 탐색 방식을 이용한 알고리즘들이 개발되고 있다. 운행시간표 기반의 알고리즘은 운행계획에 따른 정류장 출·도착시각을 이용하여 교통수단을 선택하고, 도착 정류장까지의 경로를 산출한다. 이때, 출발 정류장에서 도착 정류장까지의 환승 횟수에 상관없이 최소 이동시간이 걸린 경로를 최적의 경로로 선정한다.[2]

하지만 실제 대중교통 승객은 이동시간 외에도 환승 거리나 환승 편의성 등의 환승 요인들도 고려하여 경로를 선택한다. 이러한 요인들은 경로 선택에 중요한 요소로 작용하고, 이를 경로 탐색 알고리즘에서 고려하기 위해서는 환승 저항을 적용할 필요가 있다.[3]

이에 본 연구에서는 환승 저항을 고려한 대중교통 경로 탐색 알고리즘을 제안한다. 환승하는 과정에서 환승 저항이 고려되도록 알고리즘을 개선하였으며, 환승 저항 값은 환승 유형에 따라 다르게 적용하였다. 환승 유형은 버스-버스, 버스-지하철, 지하철-지하철로 구분하였다.

환승 저항을 고려한 알고리즘의 경로 산출 결과가 어떻게 변하는지 확인하기 위해 두 가지 실험을 진행하였다. 첫 번째 실험은 환승 저항을 적용한 알고리즘과 환승 저항을 적용하지 않은 기존 알고리즘의 산출 경로를 비교하였고, 두 번째 실험은 환승 유형별로 다른 환승 저항 값을 부여할 때마다 산출되는 경로의 변화를 관찰하였다.

### 2. 환승 저항을 고려한 경로 탐색 방법론

기존의 운행시간표 기반 탐색 알고리즘에서는 경로를 탐색할 때 정류장에 도착

† 본 연구는 2015년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원(NRF-2015S1A5B8046775)을 받아 수행된 연구에 의해 수행되었습니다.

한 시각을 이용하여 다음 교통수단을 선택한다. 이때, 알고리즘에 환승 저항을 적용하는 방법에는 두 가지 방식이 있다.

첫 번째 방식은 이동시간을 이용하여 경로를 산출한 후 환승 저항을 추가하는 방식이다. (그림 1)에서 (a)의 1번 방식과 같이, 출발 정류장부터 도착 정류장까지 이동한 경로들을 탐색한다. 탐색한 경로들의 이동시간에 (환승횟수  $\times$  환승 저항값)을 더한 시간을 구하고 총 이동시간이 가장 적은 경로를 산출한다.

두 번째 방식은 환승 정류장에서 갈아탈 교통수단 및 차량을 선택할 때, 환승 저항을 적용하여 경로 탐색을 진행하는 방식이다. (그림 2)에서 (a)의 2번 방식과 같이, 출발 정류장에서 다음 정류장에 도착한 시각이 8시 12분일 때 환승 저항값만큼(예시에서는 3분) 추가로 대기한다. 그 후, 8시 15분 이후에 탑승할 수 있는 교통수단을 선택하여 다른 정류장으로 이동한다.

이에 본 연구에서는 두 번째 방식을 이용하여 정류장에 도착한 시간에 환승 저항 값만큼 대기한 후, 교통수단을 선택하도록 알고리즘을 개발하였다. 예를 들어, 정류장에 도착한 시간이 5시 10분이고 환승 저항이 7분이라면 5시 17분 이후의 교통수단을 선택한다.

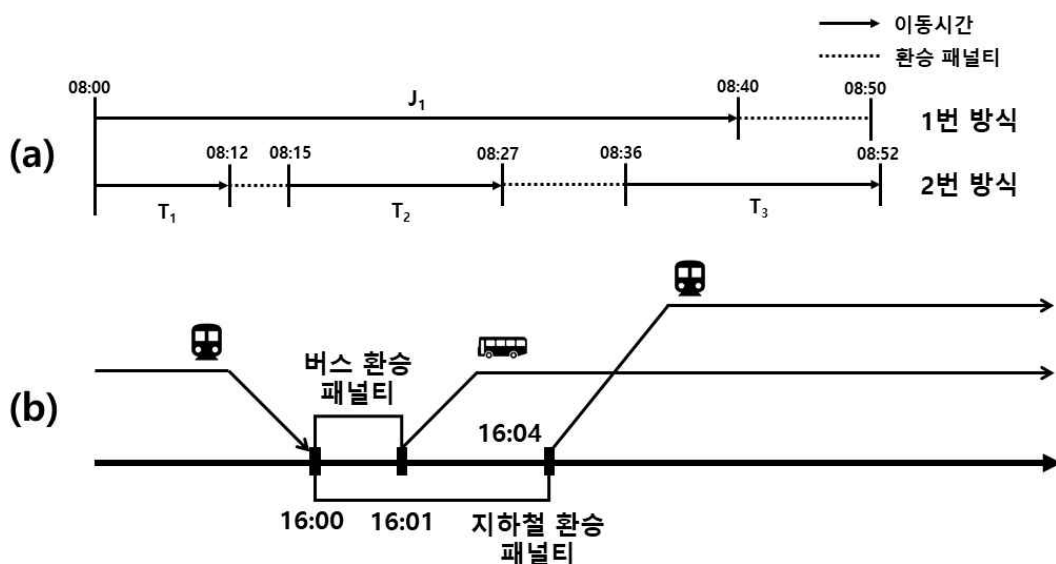
또한, 환승유형별로 다른 환승 저항 값을 부여하기 위해 이전 교통수단에 따라 다음 교통수단으로의 환승 저항 값을 결정하도록 하였다. 예를 들어 설명하자면, (그림 1)에서 (b)의 경우 정류장에 도착한 시각이 오후 4시 이전 교통수단이 지하철일 때, 다음 교통수단이 버스이면 1분의 환승 저항 값을 부여하여 4시 1분까지 대기한 후 버스로 이용할 수 있는 노선을 탐색한다. 다음 교통수단이 지하철이면 4분의 환승 저항 값을 부여하여 4시 4분까지 대기한 후 지하철로 이용할 수 있는 노선을 탐색한다. 각 수단별 환승 저항값은 연구 목적에 따라 변경 가능하다.

### 3. 실험

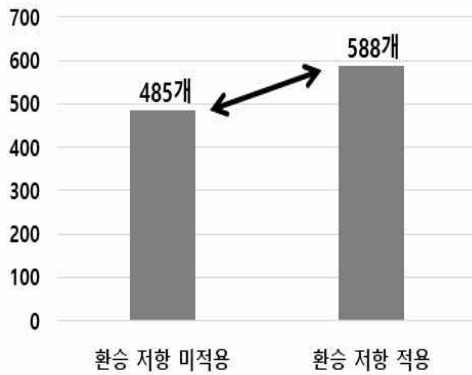
실험을 진행하기에 앞서, 실제 승객의 이동 경로 중 일부 데이터 셋을 선정하여 이를 실험에 이용하였다. 데이터 셋은 2017년 10월 12일부터 2017년 10월 19일까지 승객이 이동한 경로 중 통행량이 40회 이상인 경로 1000개가 선정되었다.

#### 3.1 환승 저항의 적용 여부에 따른 알고리즘 산출 결과 비교

본 실험에서는 환승 저항의 적용 여부에 따른 결과분석을 진행하며, 모든 환승 유형에 3분의 저항값을 부여하였다. 경로 계산 결과를 실제 이용된 통행 경로와 비



(그림 1) (a) 환승 저항을 적용하는 방식의 예시; (b) 교통수단간 환승 저항의 차이



(그림 2) 환승 저항 적용 여부에 따른 경로 산출 결과

교하기 위해, 데이터 셋의 O-D를 이용하여 경로 탐색을 진행하였다. (그림 2)는 환승 저항을 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때 알고리즘의 산출 경로가 실제 승객의 이동 경로와 일치하는 경로의 수를 나타낸 그림이다. Y축은 1000개의 데이터 셋의 경로와 알고리즘의 산출 경로가 일치하는 개수를 의미한다. 실험 결과를 보면 환승 저항을 적용한 경우에는 588개의 경로가 일치했지만, 환승 저항을 적용하지 않은 경우에는 485개의 경로가 일치하였다. 이는 이동시간만을 고려한 기존의 알고리즘에서 산출한 경로보다 환승 저항을 고려한 알고리즘에서 산출한 경로가 실제 승객의 이동 경로와 유사한 경로를 탐색할 수 있다는 의미로 해석할 수 있다. 이를 통해 실제 승객이 환승 저항을 고려하여 경로를 선택한다는 사실을 확인할 수 있다. 또한, 대중교통 경로 탐색 알고리즘에서는 이동시간뿐만 아니라 환승 저항을 고려한 경로를 산출하는 것이 더 적합한 것으로 판단된다.

### 3.2 환승 저항 값에 따른 경로 산출 변화에 대한 실험

(그림 3)은 환승 저항 값에 따른 산출 경로의 변화를 예시로 나타낸 것이다. 출발정류장으로 서울성심병원 정류장을 선택하였으며, 도착정류장으로 건대역을 선택하였고 출발시각은 오전 8시 30분으로 결정하였다. 총 이동시간은 차내 이동시



(a) 환승 저항을 적용하지 않은 경우



(b) 환승 저항을 적용한 경우



(c) 지하철 탑승 환승 저항이 큰 경우



(d) 모든 환승 저항이 큰 경우

(그림 3) 환승 저항 값에 따른 산출 경로 변화 예시

간, 환승 대기시간, 도보 이동시간에 환승 저항을 더한 값이다.

(a)는 환승 저항을 적용하지 않은 산출 경로를 산출한 결과이다. 가장 빠른 경로는 '2230→경의·중앙선→2호선' 순서로 이용하였고 총 이동시간은 29분, 총 환승 횟수는 2회로 나타났다.

(b)는 환승 저항을 환승 유형에 관계없이 모두 동일하게 5분을 부여하였다. 환승 저항 값을 적용하였을 때 (a)에서 산출된 경로의 이동시간은 54분이 소요된다. 환승 횟수가 많아질수록 정류장에서 대기하는 시간이 길어지기 때문에, 환승 횟수가 적은 '272→7호선' 경로가 가장 빠른 경로가 된다. 위의 노선을 이용할 경우 총 이동시간은 환승 저항 값을 포함하여 38분이 소요된다.

(c)는 지하철 탑승을 선호하지 않아 지하철 탑승에 대한 환승 저항값이 크게 부여된 경우이다. 버스-버스 환승 저항값에는 (b)와 동일하게 5분을 부여하고 버스-지하철, 지하철-지하철 환승 저항값에는 15분을 부여하였다. 위의 환승 저항값을 적용한 결과, (a)와 (b)의 경로처럼 지하철을 이용하는 경로 대신 버스를 이용하는 경로가 산출된다. (c)에서 가장 빠른 경로로 산출된 '3216→721' 경로는 45분이 소요되었다.

(d)는 환승을 선호하지 않아 모든 환승 저항값이 크게 부여된 경우로, 환승 저항 값은 환승 유형에 상관없이 15분을 부여하였다. 위의 환승 저항값을 적용한 결과, 출발 정류장부터 도착 정류장까지 환승을 이용하지 않고 이동하는 3220 버스를 이용하는 경로가 최적의 경로로 산출되었다. (d)에서는 환승 저항값이 커지면서 (a)~(c)에서 산출된 경로들의 총 이동시간이 증가하게 되며, 이로 인해 총 이동시간이 47분이 소요된 3220 버스를 이용하는 경로가 가장 빠른 경로로 산출되었다.

#### 4. 결론

기존 운행시간표 기반의 알고리즘에서는 이동시간만을 고려한 경로를 산출하였다. 하지만 이동시간 외에도 환승 횟수를

고려한 경로 산출이 필요하다. 이에 본 연구에서는 환승 저항을 고려한 경로 탐색 알고리즘을 제안한다. 환승 저항을 경로 탐색 과정에서 적용할 수 있는 방법을 이용하였으며, 환승 유형에 따라 다른 환승 저항 값을 부여하였다.

실험 결과, 환승 저항을 고려한 알고리즘의 산출 결과는 기존의 알고리즘보다 실제 승객의 이동경로와 유사한 것을 확인할 수 있었다. 또한, 환승 저항 값에 따라 산출되는 경로가 변하는 것을 확인할 수 있었다. 추후에는 환승 저항외에도 승객이 대중교통 경로 결정에 고려하는 요소들을 알고리즘에 추가할 필요가 있다.

#### 참고문헌

- [1] Cionini, A., D'Angelo, G., D'Emidio, M., Frigioni, D., Giannakopoulou, K., Paraskevopoulos, A., & Zaroliagis, C. 2014. Engineering graph-based models for dynamic timetable information systems. In OASIS-OpenAccess Series in Informatics. p.46-61.
- [2] Delling, D., Pajor, T., & Werneck, R. F. 2012 . Round-based public transit routing. In Proceedings of the Meeting on Algorithm Engineering & Experiments pp. 130-140. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- [3] Park, B.H. and Oh, S.J. 2001 . Effects of Transfer Penalty in the Public Transit Assignment. 17(2).pp,65-92.