

■ 論 文 ■

**대중교통 카드(RF Card) 자료를 활용한  
수도권 도시철도 운영기관 간 수입금 정산 방법론에 대한 연구**  
Allocating Revenues to Metropolitan Railroad Operators Using Public Transportation Card Data

**신 성 일**  
(서울시정개발연구원  
도시기반연구본부 연구위원)

**이 창 주**  
((주)LG CNS  
공공/SOC사업본부 대리)

**김 찬 성**  
(한국교통연구원  
국가교통DB센터 책임연구원)

— 목 차 —

- |                          |          |
|--------------------------|----------|
| I. 서론                    | IV. 사례연구 |
| II. 도시철도 수입금 정산 방안 고찰    | V. 결론    |
| III. 수도권 도시철도 수입금 정산 방법론 | 참고문헌     |

**Key Words :** 대중교통 카드 자료, 도시철도 수입금 정산 방안, 비자배 경로, 일반화 비용, 유사경로 탐색 알고리즘  
Public Transportation Card Data, Metropolitan Railroad Revenue Allocation, Non-dominated Path, Generalized Cost, K-path Shortest Algorithm

— 요 약 —

도시철도가 가지고 있는 쾌적성, 편리성 그리고 정시성의 장점은 도시철도의 등장 이후 그 이용률을 어느 수준까지 꾸준히 증가시켜왔다. 이에 따라 지자체를 비롯한 수도권은 지하철의 새로운 도입을 포함한 도시철도의 연장을 점차 증가시켜왔으며, 현재 수도권의 경우 2010년 현재 총 5개의 운영 기관이 총 14개 노선을 운영 중에 있다. 이러한 도시철도의 장점은 2004년 서울시 통합 대중교통개편과 2007년 수도권 통합 환승할인요금제 시행 이후 편리성과 연계성 측면에서 더욱 더 부각되고 있다. 하지만 이러한 대중교통 통합요금제의 시행은 그 동안 도시철도 운영기관 간의 수입금 정산 문제를 버스와의 도시철도 문제로까지 확대시켜 좀 더 정확하고 복잡한 정산 방식의 필요성을 불러일으켰다. 이에 본 연구에서는 수도권 통합 환승할인요금제 시행 이후 대중교통 운영기관 간 수입금 정산 문제를 다루었다. 구체적으로는 대중교통체계 개편 이후 본격적으로 도입된 대중교통 카드(RF Card) 자료로부터 수도권 도시철도 이용자(O/D) 구축을 시작으로 일반화 비용 추정, 수입금 정산 알고리즘 제안, 끝으로 이를 반영한 사례 연구 순으로 연구를 진행하였다. 여기서 본 연구에서의 O/D 추출과정의 정확성 검증을 위해 일정기간 동안의 (주)한국스마트카드사에서 철도 운영기관에 지급한 수입금과 본 연구에서 도출된 철도부문의 O/D(수입금)를 비교·분석하였다. 또한 일반화 비용 추정을 위해 설문조사와 환승역 실태 조사를 시행하였고, 본 연구에서 구축한 유사 경로 검증을 위해 실제 도시철도 이용자의 통행경로를 조사하였다. 본 연구에서 제시한 방법론을 통해 현재 수도권 도시철도 운영기관 간 수입금 정산 문제뿐만이 아니라 향후 도입될 경전철 및 민자 철도의 수입금 정산 문제도 해결될 것으로 기대된다.

Users of metropolitan railroad is increased continuously because of its various advantage such as comfortableness, convenience and punctuality. Thus, several local government including Seoul considered new installation or extension of railroads and four railroad operators maintain seventeen lines at present. After public transportation reforms in 2004 and integrated discount fare system in 2007, public transportation become more convenient in many aspects. However, these trials gives much more complex allocating problems of revenues among public transportation operators. In this paper, we deal with revenue allocating problems among public transportation operators after integrated discount fare system in 2007. Specifically, this study focuses on allocating revenues to metropolitan railroad operators by using RF card data. This research roughly proposes the methodology of O/D extraction from RF card data, generalized cost estimation and allocating revenue algorithm. We use RF card data in order to draw out exact individual O/D data and try to compare our results with those of Korea Smart Card Company. In generalized cost estimation, survey study about transfer factors is conducted for accurate estimation of generalized cost function. Lastly, new allocating revenue algorithm using k-path and non-dominated path concept is suggested. It is expected that case study is also performed with real revenues and O/D data in order to check up the application. Preposed methodology in this research can contribute to solve present and future revenue allocating issues according to the introduction of LRT and private railroad.

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

도시철도가 가지고 있는 쾌적성, 편리성 그리고 정시성의 장점은 도시철도의 등장 이후 그 이용률을 어느 수준까지 꾸준히 증가시켜 왔다. 서울을 포함한 여러 지자체는 이에 따라 지자체를 비롯한 수도권은 지하철의 새로운 도입을 포함한 도시철도의 연장을 점차 증가시켜 왔으며, 수도권의 경우 2010년 현재 총 5개의 운영 기관이 총 14개 노선을 운영 중에 있다. 이러한 도시철도의 장점은 2004년 서울시 통합 대중교통개편과 2007년 수도권 통합 환승할인요금제 시행 이후 편리성과 연계성 측면에서 더욱 더 부각되고 있다.

하지만 이러한 대중교통 통합요금제의 시행은 그 동안 도시철도 운영기관 간의 수입금 정산 문제를 버스와 도시철도 문제로까지 확대시켜 좀 더 정확하고 복잡한 정산 방식의 필요성을 불러일으켰다.

이에 본 연구에서는 수도권 통합 환승할인요금제 시행 이후 대중교통 운영기관 간 수입금 정산 문제를 다루도록 한다. 특히, 대중교통체계 개편 이후 본격적으로 도입된 대중교통 카드(RF Card) 자료를 적극 활용하여 수도권 도시철도 운영기관 간 연락운임 정산에 관한 방법론을 제시하도록 한다.

2. 연구 절차 및 방법

본 연구는 대중교통 카드(RF Card) 자료로부터 수도권 도시철도 이용자료(O/D) 구축을 시작으로 일반화 비용 추정, 수입금 정산 알고리즘 제안, 끝으로 이를 반영한 사례 연구로 구성되어 있다.

특히 본 연구의 주안점인 대중교통 카드(RF Card) 자료의 수입금 정산을 위한 활용 방법론에 대해 구체적으로 언급하도록 하며, 실제 본 연구에서 제안한 수입금 정산 방법론의 타당성을 위해 실제 대중교통 카드(RF Card)로부터 도출된 O/D와 수도권 도시철도 네트워크를 통해 사례 분석을 실시하도록 한다.

II. 도시철도 수입금 정산방안 고찰

1. 기존 연구 고찰

국내에서는 2004년 서울시 대중교통체계 개편 이전에 1980년대부터 도시철도 운영기관 간 연락운임 정산

<표 1> 기존 연구 고찰

연구자	연구 내용
수도권 전철·지하철 연락 운임 정산을 위한 조사 연구 (국토연구원, 1987)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1,2,3,4호선, 경인선, 경부선, 경원선</li> <li>7가지 연락운임 배분방안 분석 및 검토</li> <li>연락운임 정산방법은 정산대상 총액 선정, 정산기관의 선정, 정산비용의 선정과정으로 집약</li> <li>전철:지하철=57.9:42.1로 배분제안</li> </ul>
수도권 전철과 지하철의 운임제도 개선 및 연락운임 정산 방안 연구 (한국교통연구원, 1995)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1,2,3,4호선, 경인선, 경부선, 경원선, 과천선</li> <li>최소역수 통행행태를 가정하여 운영 기관별 인·Km, 운영기관별 인·Km 당 운송원가, 현행요금수준을 적용 변수로 선정</li> <li>9가지 분석대안별로 7단계의 정산 절차 수행 후 결과 비교</li> <li>초과운임에 대해서만을 인·Km를 변수로 하여 정산제안</li> </ul>
수도권 전철과 지하철의 운임제도 개선 및 연락운임 정산 방안 연구 (한국교통연구원, 1998)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1,2,3,4,5호선, 경인선, 경부선, 경원선, 과천선, 일산선</li> <li>1995년도 연구에 5호선과 일산선 추가하여 연구</li> </ul>
수도권 도시철도 수입금 정산 분석모형 (신성일·노현수·조중석, 2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>대중교통체계 개편 후 수도권 도시철도 수입금 정산 분석 모형 제안</li> <li>일반화비용을 기반으로 K경로탐색 알고리즘, 유사경로 수요배정모형 및 인·Km를 통한 연락 운임 정산 분석 모형 제안</li> </ul>
서울시의 대중교통 통합거리비례요금제하에서 운영기관 간 요금정산방안에 관한 연구 (윤지현·김성수, 2007)	<ul style="list-style-type: none"> <li>대중교통체계 개편 후의 국내 무선 통신시장에서의 접속료 배분 방법을 활용하여 4가지 대안 선정</li> <li>정류장 기반 O/D 중 승객표본을 산출하여 각 정산대안의 비용회수율 및 대안별 특성을 분석</li> <li>비용회수율을 이용한 세 가지 평가기준 제시 후 승객유형별 분석결과를 도출</li> <li>각 운영기관에게 공정하게 배분될 요금수입금 정산방안 제시</li> </ul>

방안에 관한 연구는 몇 차례 시행된 바는 있으나, 개편 이후에는 신성일 외(2005)와 윤지현·김성수(2007)의 연구 정도가 있다고 할 수 있다.

국외에서는 Rinks(1986)가 다수의 교통시스템 간 환승을 포함한 승객으로부터 얻은 공동수입배분방안에 대해 연구하였으며, Dimitrios A. et al(1986)은 통합 요금제 하에서의 대중교통 운영기관 간 수입금 정산에 관한 모형을 제시하기도 하였다.

2. 대중교통체계 개편 전 수입금 정산

1) 기존 수입금 정산 방법

대중교통체계 개편 이전에 수입금 정산은 수도권 철

도의 개통과 운임제도 변경과 밀접하게 관련되어 있다.

<표 2>는 1996년 이전의 정산 기준에 관한 것이고, 운임제가 변경된 1985년 이전의 운임정산 기준은 기본적으로 운행거리비례(각 기관의 수송실적(인·Km))에 따라 결정되었다. 그러나 철도의 지상건설과 지하건설의 투자비의 차이가 크기 때문에, 1978년~1985년까지 수송실적을 기준으로 투자비를 고려하여 배분하는 방안이 강구되었다.

1988년에는 국토개발연구원(현 국토연구원)에서 제시한 상호연계 운송에 대한 기여도를 산출하는 방안으로 수입금을 정산하였다. 이후 1996년과 1998년에 수입금 정산 프로젝트가 수행되었다.

<표 2> 수입금 정산 제도 변천(1996년 이전)

기간	정산기준	고려사항
1974.8.15~ 1978.2.28	운행거리비례 (철도청(1):지하철공사(1))	제공서비스수준
1978.3.1~ 1982.12.22	운행거리비례 (철도청(1):지하철공사(1.8))	제공서비스수준 + 투자비
1982.12.23 ~ 1985.9	운행거리비례 (1호선 1:1.8, 2,3,4호선 1:1)	제공서비스수준 + 투자비
1985.10~ 1986.12	운임제 변경(철도청: 이동구간제, 지철: 2구역제)으로 과거정산 실적 기준 정산	제공서비스수준 + 투자비
1987~ 1988	국토개발연구원(현, 국토연구원) 결과에 따라 철도청(57.9%), 지하철공사(42.1%) 배분	제공서비스수준 + 투자비
1989~ 1990	87년 및 88년 정산금액을 산술 평균하여 정산금액 산정	제공서비스수준 + 투자비
1991~ 1994	전년도 정산액 *수송실적증가율* 운임인상률에 의해 산정	제공서비스수준 + 투자비

자료 : 수도권 전철과 지하철의 운임제도 개선 및 연락운임 정산방안 연구(한국교통연구원, 1996)

<표 3> 수입금 정산 제도 비교

수행기관	수행기법
국토연구원 (1987)	· 최단비용(시간비용+통행비용), 전량배정 · 환승구간은 거리가중치로 환산 · 유사경로 조사로서 Logit 모형을 적용 · 1,2,3,4호선, 경인선, 경부선, 경원선
한국교통 연구원 (1995)	· 최단역수, 전량배정 · 환승구간을 역수로 환산(일반선:3역, 경원선:5역) · 연락구간 운임수입금 중 초승기편이 기본운임을 소유하고 나머지 금액을 대상으로 함 · 1,2,3,4,5호선, 경인선, 경부선, 경원선, 과천선
한국교통 연구원 (1998)	· 1995년도 제안된 방법과 동일 · 1,2,3,4,5호선, 경인선, 경부선, 경원선, 과천선, 일산선

2) 시사점

대중교통체계개편 전 수입금 정산은 최단 경로에 통행량을 전량 배정하여 실시하였다. 따라서 이 같은 단일 경로 통행배정 방법은 단일기관에 수입금을 모두 배분하는 결과를 초래하게 되고, 경쟁 가능한 경로를 제공하는 다른 기관과의 분쟁 소지를 가지고 있다. 또한 최단 경로 산정 시 이용되는 환승구간 가중치 역시 역수나 거리 가중치 등으로 환산함으로써 실제 현실을 제대로 반영하지 못한다. 따라서 이러한 부정확한 환승 가중치를 통해 선정된 최단 경로에 의한 통행량 전량 배정은 비현실적인 수입금 정산 방안이 될 수 있다고 판단된다. 이에 대한 구체적인 예시는 4장 3절 수도권 도시철도 수입금 정산 사례에서 살펴보도록 하겠다.

3. 대중교통체계 개편 후 수입금 정산 원칙

본 절에서는 대중교통체계 개편 이후 달라진 수입금 정산 원칙에 관해서 중요한 부분 위주로 언급하도록 한다.

1) 기본 정산 원칙

대중교통 수단간 환승 시 전체 이용거리에 따라 총 부과된 통합 운임은 이용 교통수단별 기본운임비율로 정산한다. 단, 전철 이용거리가 기본운임구간(10km)을 초과한 경우에는 전철 단독 이용 시의 추가운임을 전철 운영기관에 우선 귀속하고, 나머지 금액은 당해 수단의 기본운임 비율로 정산 배분한다.

$$\text{당해수단의 정산금} = \frac{\text{당해수단의 기본운임}}{\text{각수단 기본운임의 합}} \times \text{운임부과액} \quad (1)$$

2) 수단 간 정산 배분 예시

기본 정산 원칙에 따라 수단 간 정산 배분 예시를 살펴보면 <표 4>, <표 5>와 같다. <표 4>에서 보듯이 부과된 총 요금(900원, 1100원)이므로 기본 정산 원칙에 따라 이용된 모든 수단의 기본 운임의 총합(900원 + 900원)을 각 이용된 수단의 기본 운임(900원)으로 나눈 값에 이용된 총 요금(900원, 1100원)에 계산하여 산출하게 된다.

<표 5>는 3개 수단 이용 시 정산 배분 예시이다. <표 4>의 내용과 마찬가지로 총 이용된 요금(1200원)을 이용

<표 4> 정산배분 예시(2개 수단 이용 시)

구분	시내버스(4km)		지하철 or 버스(5km)		총 계 (9km)
	승차	하차	승차	하차	
요금부과 (원)	900	0	0	0	900
정산금액 (원)	$900 \times (900 / (900 + 900)) = 450$		$900 \times (900 / (900 + 900)) = 450$		900

구분	시내버스(8km)		지하철(9km)		총 계 (17km)
	승차	하차	승차	하차	
요금부과 (원)	900	0	0	200	1,100
정산금액 (원)	$1100 \times (900 / (900 + 900)) = 550$		$1100 \times (900 / (900 + 900)) = 550$		1,100

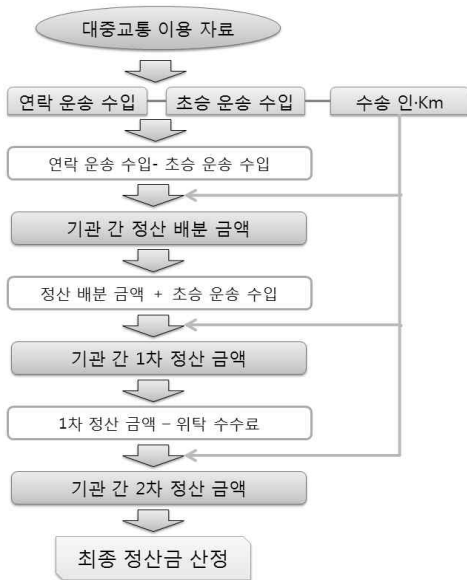
<표 5> 정산배분 예시(3개 수단 이용 시)

구분	시내버스(7km)		지하철(10km)		마을버스(4km)		총 계 (21km)
	승차	하차	승차	하차	승차	하차	
요금부과 (원)	900	0	0	200	0	100	1,200
정산금액 (원)	$1200 \times (900 / (900 + 900 + 600)) = 450$		$1200 \times (900 / (900 + 900 + 600)) = 450$		$1200 \times (600 / (900 + 900 + 600)) = 300$		1,200

된 모든 수단의 기본 운임의 총합(900원+900원+600원)을 각 이용된 수단의 기본 운임(시내버스·지하철:900원, 마을버스:600원)으로 나눈 값에 계산하여 정산하게 된다.

3) 철도 운영기관 간 연락운임 정산

기본적으로 철도에서의 기관 간 운임정산은 자선구간 운임정산과 연락구간 운임정산으로 구분된다. 자선구간의 경우 자 기관의 노선만을 이용하기 때문에 모든 수입금은 자 기관에 귀속되어야 하지만 두 개 이상의 기관이 운영하는 역을 이용할 경우 해당 기관에 전체 요금의 10%를 철도 시설 이용 수수료로 지불해야 한다. 예를 들면 중앙선과 3호선을 이용 가능한 옥수역에서 철도공사의 중앙선을 이용하기 위해 서울메트로 소속의 3호선 옥수역을 이용하는 경우가 이에 해당된다. 이는 연락구간 운임 정산에서도 마찬가지로 적용된다. 연락구간 운임 정산 과정을 자세히 설명하면 <그림 1>과 같다. <그림 1>에서 보듯이 먼저 연락 운임 수입 중 초승 운송 수입을 뺀 나머지 수입에 대해서 기관 간 정산 배분을 실시하게 되고, 이렇게 배분된 정산금에 초승 운송 수입을 합하게 되면 기관 간 1차 정산 금액이 산출된다. 끝으로

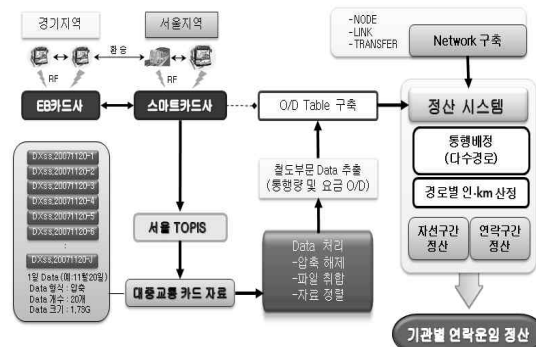


<그림 1> 철도 운영기관 간 연락운임 정산 과정

앞서 자선구간의 운임정산과 마찬가지로 1차 정산 금액에서 타사 철도 시설 이용에 따른 수수료를 제외하게 되면 최종 정산금이 산정된다.

III. 수도권 도시철도 수입금 정산 방법론

본 연구에서 제안하는 수도권 도시철도 수입금 정산 방법론은 크게 대중교통 카드(RF Card) 자료의 활용과 운영기관 간 연락운임 정산 알고리즘 제안으로 나눌 수 있다. 대중교통 카드(RF Card)로부터 구축된 O/D를 토대로 본 연구에서 제안하는 수입금 정산 알고리즘을 활용하여 자선구간을 포함한 기관별 연락구간 운임 정산을 하게 된다.



<그림 2> 본 연구의 수도권 도시철도 수입금 정산 과정

1. Data 가공 및 O/D 구축

1) 대중교통 카드(RF Card) 자료 수집

서울시 버스 및 도시철도에 대한 대중교통 카드(RF Card)의 정보는 (주)한국스마트카드사에서 수집하고 있으며, 경기도의 경우 (주)이비카드사에서 관리를 하고 있다. 양 기관은 정보 공유를 통해 경기와 서울을 통행하는 이용자의 정보를 취합하여 최종적으로 수도권 대중교통 통행정보를 갖게 된다. 현재 서울시 TOPIS에서는 (주)한국스마트카드사로부터 일일 대중교통 카드(RF Card) 자료를 협조 받아 1개월간의 정보를 저장하고 있으며, 일일 정보가 새롭게 저장되면 30일 이전의 하루 자료가 삭제되어 상시 과거한달 자료를 보관한다.

1일 자료는 대략 80~100MB 20개의 압축 파일로 구성되며, 총 1일 자료는 약 2GB에 해당하는 대용량 자료이다.

2) 대중교통 카드(RF Card) 자료 가공

대중교통 카드(RF Card) 자료는 대용량이기 때문에 1일 자료라 하더라도 여러 개의 파일로 나누어져 있다.

따라서 자료 분석을 위해서는 이를 1일 1개 파일로 결합한 후 불필요한 정보 및 자료의 용량 감소를 위한 필터링 과정을 거쳐야 한다.

즉, 대중교통카드 자료의 분석 속도 증가 및 자료 처리의 용이성을 위해 분석에 사용되지 않는 숫자 및 연, 월, 일 등을 삭제함으로써 자료의 용량을 절반 가까이 감소시킬 수 있다.

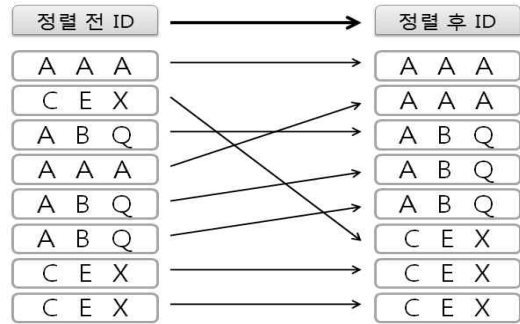
<표 6> 2007년 11월 20일 일일 Data 결합

DXSS.20071120I	DXSS.20071120B	DXSS.20071120G
DXSS.20071120J	DXSS.20071120C	DXSS.20071120H
DXSS.20071120K	DXSS.20071120D	DXSS.20071120I
DXSS.20071120L	DXSS.20071120E	DXSS.20071120J
DXSS.20071120M	DXSS.20071120F	DXSS.20071120K

➔ 20071120.TXT

<표 7> Data 가공 전·후 모습

가공 전 (1일 2.2G Byte)			
2605n3R5rWsLwYZeeHDmpNqAAyNnh2I=20071117075419 011 115 0 11110063 111007100 111707938 01 20071117071845 0008435 20071117081828 0009199 1 900 0			
가공 후 (1일 1.2G Byte)			
n3R5rWsLwYZeeHDmpNqAAyNnh2I=075419 011 115 0 11110063 111007100 111707938 01 071845 8435 081828 9199 1 900 0			



<그림 3> ID 정렬(Sorting) 과정

3) ID 정렬(Sorting)

대중교통 카드 자료의 경우 시간의 흐름에 따라 다수의 사용자가 기록되기 때문에 특정인의 통행이 끝나기 이전에 다른 사람의 정보가 먼저 수록된다. 따라서 개개인의 하나의 목적 통행과 수단 통행을 분석하기 위해서는 ID를 기준으로 정렬 작업을 수행해야 한다.

이러한 과정을 거치게 되면 하나의 목적통행이 끝난 후에 다른 목적통행이 시작되도록 대중교통 카드 자료가 정렬되며, <그림 3>은 ID 정렬(Sorting) 과정을 도식화한 모습이다.

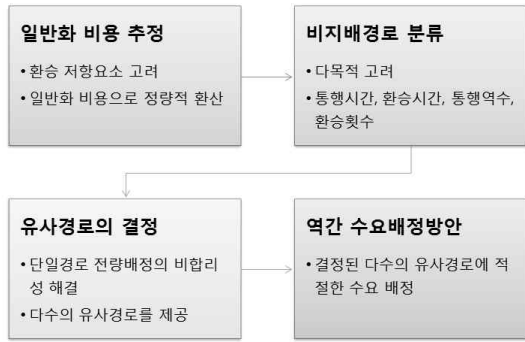
4) O/D 추출

2004년 대중교통 체계 개편 이전의 경우 철도부문의 자료는 철도 통행의 O/D 및 철도 요금이 기록되어 있었으나, 대중교통체계 개편 이후 대중교통 카드(RF Card)는 버스와 철도의 환승요금제를 적용한 요금이 기록되어 있다. 따라서 대중교통 카드(RF Card) 자료를 수도권 도시철도 운임 정산에 활용하기 위해서는 철도부문의 통행 정보만을 추출할 필요가 있다. 추출된 철도 O/D가 버스와 환승 통행일 경우 식(1)의 정산 원칙에 의해 요금을 정산한다.

2. 수도권 도시철도 수입금 정산 알고리즘

1) 기본 방향

수도권 도시철도 수입금 정산을 위해서는 우선 통행자의 정확한 경로추적이 필요하다. 이에 본 연구에서는 승객이 이용 가능한 다수의 경로를 일반화 비용을 통해 탐색하고, 승객에게 대등한 서비스를 제공하는 다수의 유사경로에 통행량을 배분하는 신성일 외(2005)가 제안



<그림 4> 수입금 정산 알고리즘의 방향

한 도시철도 수입금 정산 모형을 활용하도록 한다.

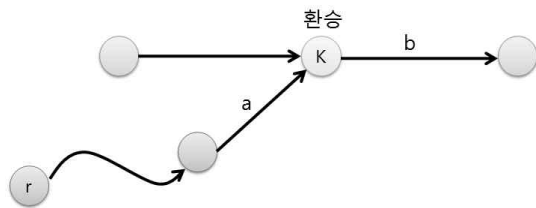
신성일 외(2005)가 제안한 모형에 통행시간, 환승시간, 통행역수, 환승횟수의 다목적성을 고려하여 비지배경로를 분류한 후 유사 경로를 결정하는 모형으로 발전시켜 기존의 정산모형에서 가장 문제시 되던 단일경로 배정방식의 한계를 극복하도록 한다. 이는 다수의 경로에 통행량을 배분함으로써 유사한 노선을 보유하고 있는 기관은 단일 경로에 의한 정산 시 손해를 보는 불합리함을 극복함과 동시에 현실 모사성을 좀 더 향상시켰다고 볼 수 있다.

2) 일반화 비용 추정

(1) 일반화 비용 추정식

개인 통행자는 대중교통을 이용하여 특정 경로로 통행하기 위해서 여러 가지 조건(총통행시간, 환승횟수, 환승시간, 환승역 환경 등)을 고려하게 된다. 따라서 본 연구에서는 일반화 비용 구축을 위해 실제 설문조사 및 환승역 환경 실태조사를 통해 환승 계수를 추정하였으며, 이를 반영하여 본 연구에서 제안하는 일반화 비용 추정 식은 (2)와 같다.

$$C_{ab}^r = IVTT_{ab}^r + \alpha_{ab}^k (T_{ab}^k + H_b/2) \quad (2)$$



여기서,

$r$  : 출발역

$k$  : 환승역

$a, b$  : 운영기관 링크(노선)

$C_{ab}^r$  : 출발지  $r$ 에서 출발하여 노선  $a$ 와 노선  $b$  이용 시 일반화비용(분-비용)

$IVTT_{ab}^r$  : 노선  $a$ 와 노선  $b$  이용 시 차내시간(분)

$T_{ab}^k$  : 환승역  $k$ 에서 노선  $a, b$ 간 도보시간(분)

$H_b$  : 노선  $b$ 의 배차간격(분)

$\alpha_{ab}^k$  : 환승역  $k$ 에서 노선  $a$ 에서  $b$ 로 환승 시 파라미터

(2) 차내 통행시간 추정( $IVTT_{ab}^r$ )

차내 통행시간은 역간 링크의 길이와 차량의 속도를 통해 산출된다. 이때 속도는 서울메트로 수송계획(서울메트로, 2007)에서 제시한 침두시와 비침두시의 표정속도를 평균하여 적용한다.

$$IVTT = \frac{Dis_{ij}}{Speed_n} \quad (3)$$

여기서,

$Dis_{ij}$  : 역 $i$ 와 역 $j$ 간의 링크 길이

$Speed_n$  : 노선  $n$ 의 차량 속도

<표 8> 노선별 적용 차량 속도

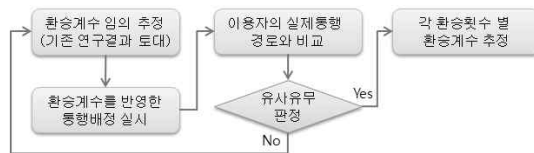
노선	1호선	2호선	3호선	4호선	5호선	6호선	7호선	8호선
차량속도	31.2	33.6	34.0	35.8	32.7	30.1	32.3	34.2

노선	경부선	경인선	경원선	과천선	안산선	분당선	일산선	인천선
차량속도	46.2	34.8	36.0	45.0	37.6	37.7	41.8	32.6

(3) 환승계수 추정( $\alpha_{ab}^k$ )

환승 시 승객이 느끼는 불편도는 그 횟수에 비례하여 증가한다. 본 연구에서 추정하는 환승계수는 매 환승시마다 걸리는 물리적 시간에 개인이 느끼는 불편함을 가중하여 반영하도록 한다. 이를 위해 실제 도시철도 이용자의 통행 경로 및 환승 선호도 조사를 실시한 후 조사 결과를 토대로 실제 통행배정 결과에 가장 근접한 통행배정을 나타내는 환승계수를 경험적으로 추정한다(신성일 외, 2005). 환승계수 추정에 대한 과정은 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 환승계수 추정 과정

(4) 환승 도보시간 조사( $T_{ab}^k$ )

본 연구에서는 환승역의 방향별 환승 도보시간을 산출하기 위해 실제 조사자를 투입하여 55개의 환승역에서 직접 조사를 수행한다. 조사된 환승 도보시간은 조사자가 이전 노선의 열차 중앙에서부터 환승할 다음 노선의 열차 중앙까지의 환승객의 이동에 맞춰 직접 도보시간을 측정한다.

(5) 노선별 배차간격 산정( $H_i$ )

환승역에서의 환승노선 배차간격은 운영기관별 대표역을 선정하여 첨두시(07:00~09:00, 18:00~20:00)통행수와 전체통행수의 첨두 비율을 산출하고, 산출된 첨두 비율을 이용해 첨두시와 비첨두시의 배차간격을 가중 평균 배차간격을 적용한다.

2) 비지배경로(다목적 경로탐색) 분류

본 연구에서 제안하는 수도권 도시철도 수입금 정산 알고리즘에 활용될 비지배경로에 대한 정의는 다음과 같다.

정의1: 두 경로  $P_1(t), P_2(t)$ 가 시간 종속적 가능 경로 집합에 있고,  $n$ 개 속성값  $(u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_n)$ 에서 어떤  $i$ 개별속성( $\mu_i \in u_i$ )에 대하여  $P_1(t), P_2(t)$ 의 개별속성  $\mu_{P_1(t)}, \mu_{P_2(t)}$ 이  $\mu_{P_1(t)} \leq \mu_{P_2(t)}$ 가 모든 속성( $i=1,2,3,\dots,n$ )에서 성립한다면  $P_1(t)$ 은  $P_2(t)$ 를 지배(Dominated)한다고 정의

정의2: 경로  $P(t)$ 가 시간 종속적 가능 경로 집합에 포함되고, 다른 어떤 경로도  $P(t)$ 를 지배하는 경로가 존재하지 않으면 경로  $P(t)$ 는 비지배 경로로 정의

3) 유사경로 결정 방안

유사경로는 “최적의 경로와 비교하여 비용측면에서 크게 차이가 나지 않는 경로”로 정의한다(신성일 외, 2005). 유사경로를 결정하는 기준으로는 일반화 비용을 사용하도록 한다. 각 경로의 일반화 비용은 환승에 대한 불편도 개념이 적용되어 있어, 특정 개인이 경로를 선택하는 합리적인 기준이 될 수 있다. 여기서 유사한지의 여부는 통행거리분포에 따라 몇 가지 변수가 포함될 수 있으나, 본 연구에서는 최적경로의 일반화 비용 대비 다른 경로의 일반화 비용 차이가 몇 %내에 포함되는지의 여

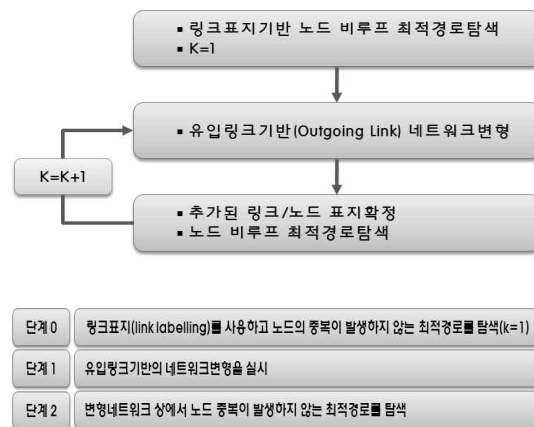
부로 유사경로를 나타낼 수 있다. 이는 개인이 느끼는 불편도를 고려하여 결정한 최적경로에 비해, 어느 정도까지 통행 대안경로로 선택할 지의 여부로 보면 된다. 예를 들면, 일반화비용이 70분이 최적경로에 10% 이내에 포함하는 경로를 유사경로로 본다면, 일반화비용이 77분 이내인 모든 경로가 유사경로가 된다. 유사경로 결정비용이 적합한지를 판단하기 위해서는 반드시 통행행태조사를 실시하여야 하며, 여러 기관 간 수입금 정산 시 이는 합의사항으로 볼 수 있다.

4) 유사경로 탐색 알고리즘

유사경로를 탐색하는 프로세스에 본 연구는 신성일(2004), Lee(2004)와 신성일 외(2004)가 제안한 링크표지 기반 노드 비루프 경로 탐색 알고리즘을 활용하도록 한다. 링크표지 기반 노드 비루프 경로 탐색 알고리즘은 노드기반 표지확정 다수경로 탐색 알고리즘에 비해 합리적 통행행태를 고려하여 다수의 대안 경로 제공이 가능하다. 링크표지 기반 노드 비루프 경로 탐색 알고리즘은 먼저 더미 노드를 생성하여 첫 번째 최적 경로를 탐색하게 되고, 이미 탐색된 경로에 두 번째 최적 경로를 탐색하기 위해 더미노드를 구성하여 각 탐색된 노드의 탐색되지 않은 유출링크를 더미노드에 연결하게 된다. 그리고 이렇게 변형된 네트워크를 통해 또 다시 최적 경로를 탐색하는 과정을 거쳐 다수 경로를 탐색하게 된다.

5) 역간 수요배정 모형

본 연구에서는 확정된 다수경로에 대하여, 환승행태가 반영된 일반화비용을 적용하기 때문에 Logit 모형을



<그림 6> 유사경로 탐색 알고리즘

활용한 수요배분방안을 선택하기로 한다. 즉, 유사경로를 탐색하면 탐색대안이 결정되었으므로, 각 경로에서 도출된 일반화비용에 대한 경로별 선택확률을 계산하여 수요를 배분한다.

$$P_i = \frac{e^{\theta C_i}}{\sum_k e^{\theta C_k}}, \forall k \in K \quad (4)$$

여기서,

- $P_i$  :  $i$ 번째 경로의 역간 수요배정확률
- $C_i$  :  $i$ 번째 경로의 일반화 비용
- $\theta \rightarrow 0$  : 균일배정
- $\theta \rightarrow \infty$  : 단일노선배정
- $\theta \rightarrow (0.01 \sim 1)$  : 확률배정

#### IV. 사례연구

##### 1. O/D 추출

3장에서 제시된 대중교통 카드(RF Card) 자료 가공 및 O/D 구축 방법론을 토대로 2007년 11월 대중교통 카드(RF Card) 자료로부터 실제 수도권 도시철도를 이용한 O/D를 산출하면 <표 9>, <표 10>과 같다.

추출된 O/D의 내용을 살펴보면 통행인은 총 900원을 지불하고 버스와 도시철도를 이용했다. 도시철도 이용 시 추가요금을 지불하지 않았기 때문에 도시철도 O/D만을 추출할 경우 철도 요금은 0원으로 기록되어 요금정산이 불가능하다. 따라서 대중교통 수단 간 수입금 정산방식에 따라 총 요금인 900원을 버스와 철도의 기본요금 비율로 배정한 결과, 철도 이용 시 450원의 요금을 지불한 것으로 분석된다.

즉, 통행자 “+++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdcq5y0=”

<표 9> 대중교통 카드로부터 O/D 분석 예시1

+++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdcq5y0=	131448	37	120
0 11110171 111001500 111706500 1 125510 8525			
132526 8742 1 900 0			
+++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdcq5y0=	132924		37
200 1 0 211200000 0 1 0 2534 134809 2539 1 0 0			

통행인 : +++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdcq5y0=  
 목적통행 : 1통행  
 수단통행 : 2통행 (버스 + 철도)  
 이용 수단 : 버스(120), 철도(200)  
 총 요금 : 버스 900원 + 철도 0원 = 총 900원

은 ‘2534(광화문)’역에서 출발하여 “2539(신금호)” 역에 도착하고 기본요금으로 450원을 지불한 것으로 해석할 수 있다.

<표 10> 대중교통 카드로부터 O/D 분석 예시2

+++kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs=	112250	58	120
0 11110290 111000400 111745429 1 93805 7403			
112504 7387 1 900 0			
+++kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs=	112803	58	200
1 0 211200000 0 1 0 2514 120821 2534 1 0 300			

통행인 : +++kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs=  
 목적통행 : 1통행  
 수단통행 : 2통행 (버스 + 철도)  
 이용 수단 : 버스(120), 철도(200)  
 총 요금 : 버스 900원 + 철도 300원 = 총 1200원

<표 9>의 동일한 방식으로 통행 O/D를 산출하면, 통행인 “kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs=” 는 도시철도로 “2514(송정)”역에서 출발하여 “2534 (광화문)”역에 도착하고, 총 요금 300원을 지불하였다. 위와 같은 절차를 통해 수도권 도시철도의 O/D(통행량, 요금)가 구축되며, <표 11>은 이에 대한 예시이다.

현재 (주)한국스마트카드사에서는 수집된 대중교통 카드(RF Card) 자료를 바탕으로 버스-철도 간 1차 수입금 정산 후 각 운영기관(철도4개 기관 및 각 버스회사)에 수입금을 입금하고 있다. 여기서 철도부문 수입금은 연락 구간 정산 및 위탁수수료가 고려되지 않은 금액으로 본 연구의 수도권 도시철도 O/D요금과 동일한 개념이다.

따라서 본 연구에서의 O/D 추출과정의 정확성 검증을 위해 일정기간(2007년 11월 11일~17일) 동안의 (주)한국스마트카드사에서 철도 운영기관에 지급한 수입금과 본 연구에서 도출된 철도부문의 O/D(수입금)를 비교·분석하였다. 그 결과 일별 0.12~0.23%의 오차율을 보였다.

이러한 오차율은 (주)한국스마트카드사는 대중교통 카드에서 발생할 수 있는 오검지 자료 및 수집되지 않는 하차 시 미태그 통행에 대해서는 매월 1회 총 합산

<표 11> 수도권 도시철도 O/D 예시

출발역	도착역	통행인원	총수입금	기본요금
1204	2555	1.4	1571.4	1285.7
1204	2556	0.7	720.0	505.7
1204	2557	0.1	171.4	128.6
1204	2558	0.6	685.7	514.3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮



<표 12> 실제 수입금 및 분석 값 비교

구분	실제 통행일	분석 값 (천원)	실제 값 (천원)	오차 (%)
DXSS_20071114	11월11일	2,839,159	2,845,629	0.23
DXSS_20071115	11월12일	4,660,564	4,668,202	0.16
DXSS_20071116	11월13일	4,689,281	4,698,608	0.20
DXSS_20071117	11월14일	4,772,949	4,781,864	0.19
DXSS_20071118	11월15일	4,738,918	4,747,679	0.18
DXSS_20071119	11월16일	4,857,364	4,866,517	0.19
DXSS_20071120	11월17일	3,977,144	3,981,941	0.12

하여 기관별 배분하고 있으나 본 연구에서는 이러한 오검지 자료를 고려하지 않았기 때문에 발생하는 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서의 O/D(통행량, 요금) 구축과정은 정확하다고 판단할 수 있다.

2. 일반화 비용 파라미터 정산

1) 환승 계수 추정( $\alpha_{ab}^k$ )

본 연구에서는 일반화 비용 추정에 사용될 환승 계수를 추정하기 위해 철도 이용자의 실제 통행경로 및 환승 선호도 조사를 실시하였고, 조사 결과를 토대로 실제 통행배정 결과에 가장 근접한 통행배정을 나타내는 환승 계수 역으로 추정하였다. 이는 <표 13>과 <그림 7>과 같다.

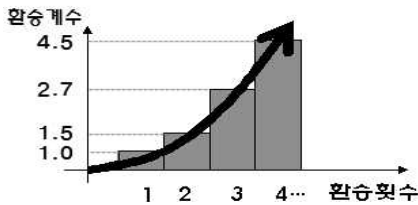
2) 환승 도보시간 조사( $T_{ab}^k$ )

일반화 비용 추정을 위한 환승 도보시간 조사의 결과는 <표 14>와 같다.

<표 15>는 가산디지털단지에서 조사한 자료 결과로

<표 13> 최적 환승 계수

환승횟수	0	1	2	3	4	5
환승계수( $\alpha_{ab}^k$ )	0.0	1.0	1.5	2.7	4.5	5.5



<그림 7> 최적 환승 계수

<표 14> 환승 도보시간 조사 예

No.	역이름	환승 노선	환승 방향		이동시간	
					시간(분)	시간(초)
1	가산 디지털 단지	7	1	장암 의정부	3	10
				장암 인천(수원)	3	33
			온수 의정부	3	6	
			온수 인천(수원)	3	26	
		1	7	의정부 장암	2	58
				의정부 온수	3	1
				인천(수원) 장암	3	25
				인천(수원) 온수	3	21
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

<표 15> 환승 통행 자료

F_node	Transfer	T_node	Time
도봉	도봉산	장암	1.12
도봉	도봉산	수락산	1.00
망월사	도봉산	장암	1.43
망월사	도봉산	수락산	1.18
장암	도봉산	도봉	1.32
수락산	도봉산	도봉	0.97
장암	도봉산	망월사	1.42
수락산	도봉산	망월사	1.03
∴	∴	∴	∴

써, 7호선 장암역 방면에서 1호선 의정부역 방면으로 환승을 할 경우 3분 10초가 소요된다는 것을 알 수 있다. 이러한 방법으로 55개 환승역에 대해서 모든 환승 방향별 조사를 실시하였으며, 조사된 자료를 도시철도 수입금 정산 알고리즘에 활용하기 위해 환승 통행 자료로 구성하면 <표 15>와 같다.

대중교통체계 개편 전 수입금 정산 방안의 경우 환승 정보를 노드정보에 포함시키고 있어 해당 노드를 통과하여 환승하는 이용자는 모두 동일한 시간을 소비하는 것으로 나타난다. 즉 <표 15>에서 보는 바와 같이 실제 도봉산역에서는 총 8방향의 환승이 발생할 수 있지만 대중교통체계 개편 전 수입금 정산 방안에서는 모든 방향에서 발생하는 환승시간을 단순히 3개 역을 통과하는 것과 같은 효율이라고 가정하고 분석을 수행하였다. 본 연구에서는 <표 15>와 같이 8개 방향에서 접근하는 통행자의 시간을 실측 조사하여 각각 적용하고 있기 때문에 보다 현실적인 분석 수행이 가능하다.

3) 노선별 배차간격 산정( $H_i$ )

노선별 배차간격 산정을 위한 시간대별/기관별 통행량은 <표 16>과 같다.

<표 16> 시간대별/기관별 통행량

시간대	서울메트로 출발	서울도시철도 출발	철도공사 출발	인천지하철 출발
00시대:	1,294	91	8	17
05시대:	361	74	30	84
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12시대:	3,104	456	113	283
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
전체	93,005	17,301	3,036	7,223
피크시	28,328	6,752	1,085	3,175
비율	30.46%	39.03%	35.74%	43.96%



<그림 8> 다수 경로 탐색

<표 17> 첨두 비율을 고려한 배차간격 가중평균

노선	첨두시 배차간격	비첨두시 배차간격	첨두 비율	배차간격 가중평균	비고	
서울 메트로	1	3	4	0.3046	3.70	강남
	2	2.5	5.5	0.3046	4.59	
	3	3	6	0.3046	5.09	
	4	2.5	5	0.3046	4.24	
도시 철도	5	2.5	6	0.3903	4.63	강남구청
	6	4	8	0.3903	6.44	
	7	2.5	6	0.3903	4.63	
	8	4.5	8	0.3903	6.63	
철도 공사	경부	6	7	0.3574	6.64	한남
	경인	2.7	5	0.3574	4.18	
	경원	6	7.5	0.3574	6.96	
	중앙	9.2	15.9	0.3574	13.51	
	안산 과천	5	6.7	0.3574	6.09	
	분당	4	6.9	0.3574	5.86	
	일산	6	8.6	0.3574	7.67	
인천 지하철	인천	5.25	9.25	0.4396	7.49	부평시장

자료: 서울메트로 수송계획(서울메트로, 2007)

<표 18> 시간대별/기관별 통행량

경로	통행시간(분)	통행거리(km)	환승횟수	통과역수
1	<b>9.2</b>	3.6	1	4
2	9.3	<b>2.6</b>	1	3
3	10.0	3.1	1	4
4	13.3	3.0	2	3
5	14.9	3.2	2	4

를 제공하는 다른 기관과 분쟁의 소지를 갖고 있다. <그림 8>과 같이 안국역에서 동대문운동장역까지의 통행에 대하여 단일경로 전량 배정 시 최단거리 통행을 제공하는 경로2에 통행량이 전량 배정된다. 하지만 <표 18>에서 보듯이 경로1은 경로2와 같이 동일한 환승횟수를 제공할 뿐만 아니라 더 빠른 통행시간을 제공하므로 경로1에 대등한 서비스를 제공하고 있다고 볼 수 있다. 따라서 기존 수입금 정산 방안대로 수입금을 정산하게 되면, 경로1을 제공하는 운영기관의 경우 수입금을 정산받지 못하는 불합리한 상황에 놓이게 된다.

3. 수도권 도시철도 수입금 정산 사례

본 절에서는 2007년 11월 대중교통 카드(RF Card) 한 달 자료로부터 추출된 O/D와 일반화비용을 실제 사례에 적용하여 그 현실성과 활용성을 검증하도록 한다. 또한 본 연구의 다수경로 탐색을 기반으로 한 수입금 정산 방법론이 어떤 면에서 기존 연구의 한계점을 개선하는 지 분석하도록 한다.

1) 다수경로(유사경로) 탐색의 필요성

앞서 언급했듯이 대중교통체계 개편 전 수입금 정산 방안에서는 단일경로에 통행량을 전량 배정하였다. 그러나 이 같은 단일경로 통행배정 방법은 단일기관에 수입금을 모두 배분하는 결과를 초래하여 경쟁 가능한 경로

2) 다수경로(유사경로) 탐색

수도권 도시철도 역 중에서 임의의 역을 선정하여 본 연구에서 제안한 수입금 정산 방안을 적용하도록 한다.



<그림 9> 탐색된 다수경로

<표 19> 다수경로(유사경로) 탐색 결과

경로	비용 (분)	선택 확률 (%)	통행 량 (인)	이용노선 운영기관	통행 경로	이용 Km	인· Km
1th	26.3	51.6	0.98	도시철도	광나루- 천호	2.0	1.960
				도시철도	천호- 잠실	3.3	3.234
				서울메트로	잠실- 교대	7.9	7.742
2th	27.0	48.4	0.92	도시철도	광나루- 군자	2.5	2.300
				도시철도	군자- 고속터미널	9.7	8.924
				서울메트로	고속터미널- 교대	1.6	1.472

임의의 역은 환승이 포함된 경로를 가지는 광나루역(2547)과 교대역(330)으로 선정하였으며, 다수경로(유사경로) 탐색 결과는 <그림 9>, <표 19>와 같다.

3) 탐색된 다수경로(유사경로) 검증

본 연구에서 제안한 다수경로(유사경로) 탐색 알고리즘을 통해 탐색된 2007년 11월 한 달간 수도권 도시철도 이용자의 모든 유사경로를 실제 설문조사를 통해 검증하였다.

그 결과, 실제 도시철도 이용자의 통행경로(800개) 중 726개의 경로(90.75%)가 본 연구에서 제시한 알고리즘에 의해 탐색되었으며, 54개 경로(6.75%)에 대해서는 비현실적인 경로(불가능한 경로 응답, 최단경로와 비교하여 터무니없는 경로 선택 등)를 선택하여 실질적인 오차율은 2.5%로 800개의 통행경로 중 약 20개 정도의 경로만이 오차로 발생된 것이므로 본 연구에서 제안한 알고리즘이 현실을 잘 반영한다고 볼 수 있다.

4) 수입금 정산 사례

수도권 도시철도 전체 역을 대상으로 분석을 수행할 경우 수도권 도시철도 운영기관의 일일 수입금 및 상호 정산금액이 상세히 도출되기 때문에 운영기관의 수입금

<표 20> 기관별 분석대상 역

A사	B사	C사	D사
222 강남	1711 성균관대	2518 화곡	3126 인천터미널
214 강변	1713 수원	2519 까치산	3116 작전
216 잠실	1716 병점	2521 목동	3131 동막
219 삼성	1804 부천	2522 오목교	3123 간석오거리
226 사당	1805 송내	2527 여의도	3120 부평
221 역삼	1806 부평	2534 광화문	3119 부평시장
228 서울대입구	1808 동암	2722 상봉	3132 동막
232 구로디지털	1809 주안	2747 남구로	3114 계산
220 선릉	1855 서현	2748 가산디지털	3117 갈산
230 대림	1859 오리	2750 광명사거리	3130 원인재

노출에 대한 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구의 사례분석에서는 각 기관별 출발 인원의 상위 10개 역을 대상으로 수입금 정산 사례 분석을 수행하였다.

선택된 각 기관별 역의 O/D를 구축한 후, 본 연구에서 제안한 수입금 정산 방법론을 적용하면 <표 20>과 같은 기관 간 정산 금액 결과가 도출된다. 정산 결과 A사는 일일 344,497원, B사의 경우 일일 434,234원, D사의 경우 일일 75,914원을 타 기관으로부터 정산 받아야 한다. 그러나 C사의 경우 D사로부터 일일 75원을 받지만, A사에 일일 492,134원, B사에 일일 362,584원 정산금을 주어야 한다.

본 사례 연구 결과에서 보듯이 본 연구에서 제안한 수입금 정산 방안을 통해 각 기관별 수입금 정산 금액을 정확히 도출할 수 있음을 알 수 있다. 이를 실제 수도권 도시철도 모든 역을 대상으로 실시한다면, 각 운영기관 별 수입금 정산액을 산출할 수 있을 것으로 판단한다.

V. 결론

수도권 도시철도 운영기관 간 수입금 정산 문제는 서

<표 21> 기관 간 정산 금액

(단위 : 원/일)

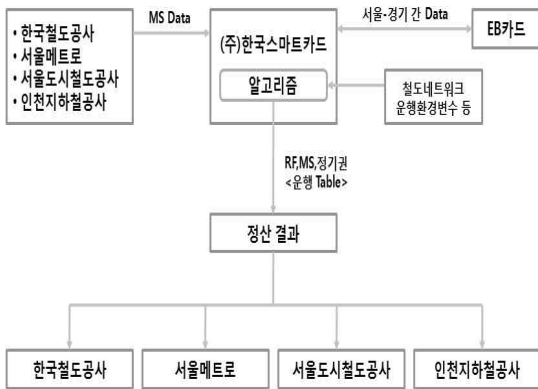
기관 간 정산 금액	받을금액	A사	B사	C사	D사
지급금액	0	-344,497	-434,234	854,644	-75,914
A사	344,497	0	-149,119	492,135	1,481
B사	434,234	149,119	0	362,584	-77,469
C사	-854,644	-492,135	-362,584	0	75
D사	75,914	-1,481	77,469	-75	0

울시의 통합 대중교통체계개편 이후 꾸준히 제기되어왔던 문제이다. 더구나 2007년 7월 수도권 통합 환승할인요금제 시행 이후에는 수단 및 도시철도 운영기관 간 수입금 정산 문제가 수도권 전반으로 확대되면서 새로운 수입금 정산 방안의 필요성이 대두되었다.

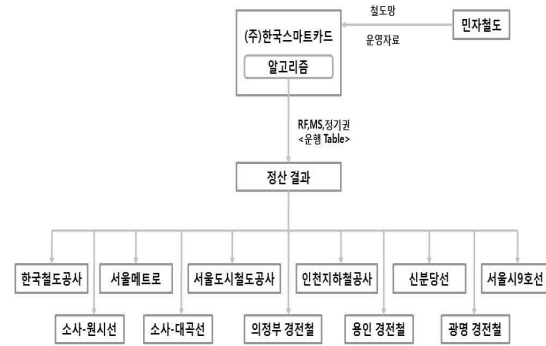
이에 본 연구에서는 수도권 통합 환승할인요금제 시행 이후 활용 가능한 수입금 정산 방법론을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 방법론은 기존 관련 연구의 가장 큰 문제점이었던 단일경로 통행배정에 따른 경쟁 노선의 운영기관과의 수입금 배분 문제를 다수경로(유사경로) 통행배정을 통해 해결하였으며, 연락구간의 부정확한 수송 실적(인·Km) 산출에 따른 현실 적용성 문제를 대중교통 카드(RF Card) 자료와 실측 자료를 통해 해결하였다. 또한 기존의 거리 가중치나 환산 역수로 추정했던 부정확한 환승계수를 실제 통행경로에 대한 설문조사를 통해 정확히 추정하였다. 끝으로 수도권의 실제 도시철도 네트워크에 사례 연구를 실시함으로써 본 연구에서 제안한 수입금 정산 알고리즘의 효용성과 도시철도 운영기관 간 수입금 정산을 위한 실제 적용 가능성을 검증하였다.

이러한 기존 연구의 한계점을 개선한 본 연구의 성과 이외에 본 연구는 실측조사를 통해 환승계수를 추정하였지만 이를 최종적으로는 경험적으로 추정하였다는 한계점을 지니고 있으며, 각 운영기관 간 수입금 정산 결과가 정확하게 정해져 있는 것이 아니므로 본 연구에서 제안한 정산 방법론이 기존 수입금 정산 방법론의 여러 한계점을 보다 합리적으로 개선한 것은 분명하지만 이를 정량적으로 평가할 수 없다는 한계점을 지니고 있다.

본 연구에서 제안한 정산 방법론은 향후 일일정산 체계 구축을 위해 <그림 10>과 같이 활용 가능하다. <그림 10>은 (주)한국스마트카드사를 중심으로 본 연구에서



<그림 10> 일일정산 체계 대안



<그림 11> 민자운영기관을 포함한 정산체계

제안한 알고리즘을 통해 일 단위 정산 결과를 산출하는 과정을 나타낸 것이다. 이 경우 (주)한국스마트카드사에서 EB카드(사)와 연계된 자료를 직접 활용함으로써 분석 Data 수집이 용이하고, 미태그 정보 건 등 3일 후 정보까지 포함하여 정산을 함으로 정산금 결과의 오차율을 줄일 수 있는 장점이 있다. 이 때 본 연구에서 제안한 알고리즘은 철도망 변경 또는 배차 간격 등의 철도 운영 환경 변화에 대한 변화를 반영하여 운행 Table을 (주)한국스마트카드사에서 제공하게 된다.

또한 본 연구에서 제안한 수입금 정산 방법론을 활용하면 현재 기관 간 수입금 정산 문제뿐만 아니라 향후 도입될 경전철과 같은 민자 철도 등의 수입금 정산 문제도 해결 가능할 것으로 판단된다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제59회 학술발표회(2008. 10.24)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 국토개발연구원(1987), “수도권 전철·지하철연락 운임정산을 위한 조사연구(착수보고서)”.
2. 신성일(2004), “교통망에 적합한 K 비루프 경로 탐색 알고리즘”, 대한교통학회지, 제22권 제6호, 대한교통학회, pp.121~131.
3. 신성일·노현수(2004), “K 링크 비루프 최적경로 탐색알고리즘과 복합대중교통망에의 활용”, 교통정책연구, 교통개발연구원.
4. 신성일·노현수·조종석(2005), “수도권 도시철도 수입금 정산 분석 모형”, 대한교통학회지, 제23권 제5호, 대한교통학회, pp.157~167.

5. 윤지현·김성수(2007), “서울시의 대중교통 통합거리비례요금제 하에서 운영기관 간 요금정산방안에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제25권 1호, 대한교통학회, pp.37~47.

6. 한국교통연구원(1995, 1998), “수도권 전철과 지하철의 운임제도 개선 및 연락운임 정산”.

7. Dimirios A. T and Constantinos A.(1986), “Allocating Revenues to Public Transit Operators Under an Integrated Fare System”, Transportation Research Record, pp.29~37.

8. Lee M.(2004), “Transportation Network Models and Algorithms Considering Directional Delay and Prohibition for Intersection Movement”, Ph.D. Thesis, University of Wisconsin-Madison.

9. Rinks D. B.(1986), “Revenue Allocation Methods for Integrated Transit Systems”, Transportation Research A, Vol. 20A, No.1, pp.39~50.

✉ 주 작성자 : 신성일  
 ✉ 교신저자 : 이창주  
 ✉ 논문투고일 : 2008. 11. 10  
 ✉ 논문심사일 : 2009. 1. 5 (1차)  
                   2009. 8. 14 (2차)  
                   2010. 2. 28 (3차)  
 ✉ 심사판정일 : 2010. 2. 28  
 ✉ 반론접수기한 : 2010. 8. 31  
 ✉ 3인 익명 심사필  
 ✉ 1인 abstract 교정필