수도권 도시철도 운영기관의 일일 수입금 정산시스템 구축 방안

Allocating Daily Revenues to Metropolitan Railroad Operators

신성일 (서울시정개발연구원, 연구위원)
이창주 (서울대학교, 석사과정)
김부원 (원이앤씨, 대표이사)

Key Words : 대중교통 카드(RF Card), 일반화비용, 비지배경로, 유사경로, 일일정산체계

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 일일정산 체계
Ⅲ. 대중교통 카드(RF Card)
Ⅳ. 도시철도 수입금 정산방안 고찰
Ⅴ. 수도권 도시철도 수입금 정산 방법론
Ⅵ. 사례연구
Ⅶ. 결론 및 정책 제안
참고문헌

Ⅰ. 서론

도시철도의 쾌적성, 편리성, 정시성의 장점은 도시철도의 등장 이후 그 이용률을 어느 수준까지 꾸준히 증가하는데 기여해 왔다. 지자체를 비롯한 수도권은 지하철의 새로운 도입을 포함한 도시철도의 연장을 점차 증가시켜왔으며, 수도권의 경우 2008년 현재 총 4개의 운영 기관 (한국철도공사, 서울메트로, 서울시 도시철도공사, 인천시 지하철공사)이 총 17개 노선을 운영 중에 있다. 도시철도의 장점은 2004년 서울시 통합 대중교통개편과 2007년 수도권 통합 환승할인요금제 시행 이후 더욱 부각되고 있다.

그럼에도 불구하고 대중교통 통합요금제의 시행은 그 동안 지하철·전철 운영기관 간의 수입금 정산 문제를 버스와 지하철·전철 문제로까지 확대시켜 좀 더 정확하고 복잡한 정산 방식이 요구되고 있는 실정이다. 기존의 수입금 정산방식은 4개 기관의 연락운임에서 발생하는 수입금을 각 기관에서 일단 보유하고 있다가, 5년 단위로 일괄하여 정산하는 프로젝트를 발주하여 정산을 시행하여 왔으나, 현대와 같이 대중교통카드가 일반화되는 시점에서 새로운 첨단정산체계의 구축 가능성에 대하여 필요성이 제기되어 왔다.

본 연구는 수도권 통합 환승할인요금제 시행 이후 5년 단위을 일괄정산에서 일일정산로의 전환을 위한 시스템 구축방안을 제시하도록 한다. 이를 위해 기존에 일부 포함되었던 마그네틱카드가 중지되는 2009년에는 대중교통 카드(RF Card)를 기반으로 정산체계가 수행되도록 일일 RF카드 자료를 활용하여 정산하는 방법론과 시스템의 운영방안에 대하여 검토한다.

본 연구의 구성은 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 관해 구체적으로 언급하도록 하며, 실제 본 연구에서 제안한 수입금 정산 방법론의 타당성을 위해 실제 대중교통 카드(RF Card)로부터 도출된 O/D와 수도권 지하철·전철 네트워크를 통해 사례 분석을 실시하도록 한다.

Ⅱ. 일일정산 체계

1. 필요성

현재 도시철도 운영기관의 연락운임 정산체계는 발생된 수입금에 대해서 개별 운영기관에 우선 귀속하고 이 후 정산하는 시스템이다. 즉 5년 단위로 수행된 용역결과에 따라 기관별로 주고 받는 금액을 결정하는 것으로 어느 시점의 수요를 평균하여 가정하므로 수요의 시간적인 차이에서 나타나는 문제점을 내포하고 있다. 우선 정산의 결과는 어느 시점(일, 월, 년)에 Data를 적용했느냐에 따라서 운영 기관별 2~3%의 정산액수의 차이를 보이고 있다. 또한 정산의 결과에 영향을 미치는 경로선택의 특성은 그 시점의 교통체계 변화 또는 사회 현상을 내포하는 것으로 평균값과는 많은 차이를 보일 수 있다. 특히 기관별로 서비스 향상을 위해 투자한 시점을 정확하게 반영하지 못한 채 정산한다면 정산결과가 편중되어 나타날 수 있다. 두 번째로 귀속된 정산 금액의 경우 해당 기관의 필요한 사용처에 빈번하게 사용하게 되므로 5년 단위로 정산하게 되면 정산금액이 매우 커져 정산 액수를 마련하는데 어려움이 발생할 수 있다. 따라서 최적의 대안은 매일 발생되는 수입금을 당일로 정산하는 것으로 이를 통해 정산 결과의 편중성을 없애고, 정산금액을 누적시키지 않음으로써 기존의 정산에서 발생할 수 있는 문제점을 해소할 수 있다.

2. 시스템 구축 고려 요소

일일정산 체계 구축을 위해서는 현재 사용되고 있는 RF 카드, MS 카드, 정기권이 일일 사용된 실적으로 취합되어야 하나 2009년 MS카드는 사라지고, 정기권은 RF카드의 형태로 존재하기 때문에 철도 O/D를 RF 카드 위주로 구축이 가능하다. 따라서 본 연구는 RF카드 자료의 연계체계를 중심으로 설명하는

<표 1> 버스와 철도의 교통카드 정보

	수록 정보	내용	실제 버스 Data	실제 철도 Data
1	D/**/암호화ID	개인 정보 암호화	2605n3R5rWsLwYZeeHDmpNqAAyNnh2I=	260y9FwH2nUTvMeBOA2Pvj1LlpTO5A=
2	일일카드번호	일별 최초 사용 시 해당카드에 부여되는 번호		
3	카드종류	카드회사별 번호로 분류		
4	출발시간	사용자가 승차 시 단말기에 카드를 접촉한 시각	20071117075419	20071117072746
5	트랜잭션ID	환승을 구분하기 위한 ID	011	054
6	수단	지하철과 버스유형별 부여된 ID	115	200
7	환승횟수	하차태그 후 30분 이내에 다시 승차한 횟수	0	0
8	버스노선ID	버스노선별로 부여되는 ID [지하철 없음]	11110063	-
9	교통사업자ID	사업자별로 부여 ID, 지하철은 호선정보 수록	111007100	211200000
10	버스차량ID	버스 차량별로 부여되는 ID [지하철 없음]	111707938	-
11	사용자구분코드	초등학생, 청소년, 일반인을 구분하는 코드	01	04
12	운행출발일시	버스가 종점에서 운행을 출발한 시각[지하철 없음]	20071117071845	-
13	승차정류장ID	승차한 정류장에 부여된 ID	0008435	2561
14	도착일시	하차 시 단말기에 카드를 접촉한 시각	20071117081828	20071117074606
15	하차정류장ID	하차한 정류장에 부여된 ID	0009199	2558
16	이용객수	하나의 카드로 지불한 이용객 수	1	1
17	승차금액	승차 시 지불된 금액	900	720
18	하차금액	하차 시 지불된 추가요금	0	0

것이 타당하다고 판단된다. 또한 현재 서울시는 Smart카드(사)와 경기도는 EB카드(사)의 대중교통카드자료를 담당하는 이원적인 체계의 연계가 필요하여 검토내용에 포함되도록 고려한다.

II. 대중교통 카드(RF Card)

1. 대중교통 카드(RF Card) 이용현황

대중교통카드는 1996년 현금지불에 대한 부담과 승차시간 지체의 해소를 위해 서울지역 시내버스에 처음 도입되어 전국 여러 도시에서 사용되고 있다. 이렇게 도입된 대중교통카드는 꾸준한 이용률 증가를 보였으며, 서울시의 경우 2004년 12월말 기준으로 버스는 71%, 지하철은 52%, 부산의 경우 버스는 63%, 지하철은 57%의 이용률을 보였다.

2. 대중교통 카드(RF Card) 특성

2007년 7월 수도권 대중교통 통합환승요금할인제 시행과 함께 그 이용률이 확대된 대중교통 카드는 그 이용에 대한 정보가 전산을 통해 이루어지므로 사람이 조사하는 방식에 비해 정확성과 신뢰성이 높다고 할 수 있다.

또한 설문조사와 같은 직접조사가 아닌 기구축된 교통카드 시스템을 이용하므로 비용이 저렴하고, 모든 시간대 및 광범위한 지역에 걸친 자료 취득이 가능하다. 대중교통 카드(RF Card) 자료에는 버스정보와 철도정보가 함께 포함되어 있어 실질적 O/D 산출이 가능하다.

<표 2> 교통카드이용자료 활용방안의 장점

장점	내용
정확성	수집 자료의 정확성 및 신뢰성 증대
경제성	조사비용의 획기적 절감
지역성	모든 시간대 및 광범위한 지역에 걸친 자료 취득 가능
단축성	실시간 자료구축 또는 자료취득 시간의 단축
활용성	통행목적 파악을 위한 자료의 활용가능성 증대
확장성	방대한 자료 수집 가능 및 향후 정보 확장 가능
안전성	안전사고 및 돌발 상황 예방
범용성	다양한 목적으로의 교통카드 사용 가능

자료: 대중교통정책수립을 위한 교통카드자료 활용방안, 한국교통연구원, 2006

3. 대중교통 카드(RF Card) 자료

대중교통카드 자료는 총 18개의 항목으로 구분되며 개별 정보는 <표 1>과 같다.

III. 도시철도 수입금 정산방안 고찰

1. 기존 연구 고찰

국내에서 2004년 서울시 대중교통체계 개편이전에 1980년대부터 전철·지하철 간 연락운임 정산방안에 관한 연구는 몇 차례 시행된 바는 있으나, 개편 이후에는 신성일·노현수·조종석(2005)과 윤지현·김성수(2007)의 연구 정도가 있다고 할 수 있다.

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

<표 3> 기존 연구 고찰

연구자	연구 내용
수도권 전철·지하철 연락 운임 정산을 위한 조사 연구 (국토연구원, 1987)	▪1,2,3,4호선, 경인선, 경부선, 경원선 ▪7가지 연락운임 배분방안 분석 및 검토 ▪연락수입 정산방법은 정산대상 총액 선정, 정산기관의 선정, 정산비율의 선정과정으로 집약 ▪전철:지하철=57.9%:42.1%로 배분 제안
수도권 전철과 지하철의 운임제도 개선 및 연락운임 정산 방안 연구 (한국교통연구원, 1995)	▪1,2,3,4호선, 경인선, 경부선, 경원선, 과천선 ▪최소역수 통행행태를 가정하여 운영기관별 인·Km, 운영기관별 인·Km당 운송원가, 현행요금수준을 적용변수로 선정 ▪9가지 분석대안별로 7단계의 정산절차 수행 후 결과 비교 ▪초과운임만을 인·Km를 변수로 하여 정산제안
수도권 전철과 지하철의 운임제도 개선 및 연락운임 정산 방안 연구 (한국교통연구원, 1998)	▪1,2,3,4,5호선, 경인선, 경부선, 경원선, 과천선, 일산선 ▪1995년도 연구에 5호선과 일산선 추가하여 연구
수도권 도시철도 수입금 정산 분석모형 (신성일·노현수·조종석, 2005)	▪대중교통체계 개편 후 수도권 도시철도 수입금 정산 분석 모형 제안 ▪일반화비용을 기반으로 K경로탐색 알고리즘, 유사경로 수요배정모형 및 인·Km를 통한 연락 운임 정산 분석 모형 제안
서울시의 대중교통 통합거리비례요금제하에서 운영기관 간 요금정산방안에 관한 연구 (윤지현·김성수, 2007)	▪대중교통체계 개편 후의 국내 무선통신시장에서의 접속료 배분 방법을 활용하여 4가지 대안 선정 ▪정류장 기반 O/D 중 승객표본을 산출하여 각 정산대안의 비용회수율 및 대안별 특성을 분석 ▪비용회수율을 이용한 세 가지 평가기준제시 후 승객유형별 분석결과를 도출 ▪각 운영기관에게 공정하게 배분될 요금수입금 정산방안 제시

2. 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.

$$\text{당해수단의 정산금} = \text{운임부과액} \times \frac{\text{당해 수단의 기본운임}}{\text{각 수단 기본운임의 합}} \quad (1)$$

2) 수단 간 정산 배분 예시

<표 4> 정산배분 예시(2개 수단 이용 시)

구 분	시내버스(4㎞)		지하철 or 버스(5㎞)		총 계 (9㎞)
	승차	하차	승차	하차	
요금부과 (원)	900	0	0	0	900
정산금액 (원)	900×{900/(900+900)} =450		900×{900/(900+900)} =450		900

구 분	시내버스(8㎞)		지하철(9㎞)		총 계 (17㎞)
	승차	하차	승차	하차	
요금부과 (원)	900	0	0	200	1,100
정산금액 (원)	1100×{900/(900+900)}= 550		1100×{900/(900+900)}= 550		1,100

구 분	마을버스(1㎞)		지하철(16㎞)		총 계 (17㎞)
	승차	하차	승차	하차	
요금부과 (원)	600	0	300	200	1,100
정산금액 (원)	900×{600/(600+900)} =360		200+900× {900/(600+900)}=740		1,100

<표 5> 정산배분 예시(3개 수단 이용 시)

구 분	시내버스(7㎞)		지하철(10㎞)		마을버스(4㎞)		총 계 (21㎞)
	승차	하차	승차	하차	승차	하차	
요금부과 (액)	900	0	0	200	0	100	1,200
정산금액 (원)	1200× {900/(900+900+600)}=450		1200× {900/(900+900+600)}=450		1200× {600/(900+900+600)}=300		1,200

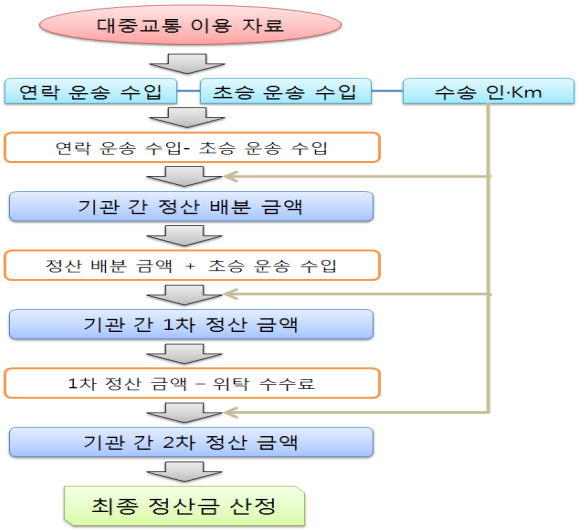
구 분	시내버스(9㎞)		지하철(19㎞)		마을버스(6㎞)		총 계 (34㎞)
	승차	하차	승차	하차	승차	하차	
요금부과 (액)	900	0	0	400	0	100	1,400
정산금액 (원)	1200× {900/(900+900+600)}=450		200+1200× {900/(900+900+600)}=650		1200× {600/(900+900+600)}=300		1,400

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 이용(예, 중앙선 옥수역(철도공사)을 이용하기 위해 3호선 옥수역(서울메트로)을 이용하는 경우)할 경우 해당 기관에 전체 요금의

10%를 수수료로 지불해야 한다. 이는 연락구간 운임 정산에서도 마찬가지로 적용된다.

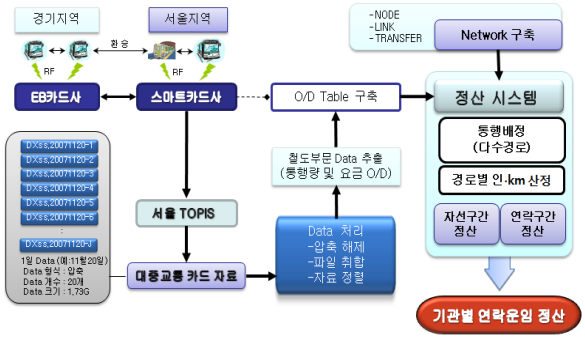
여기서 자선구간의 경우 하나의 기관이 운영하는 노선을 이용하기 때문에 수수료를 제외한 금액을 하나의 이용노선 운영기관이 갖게 되지만, 연락구간의 경우 이용노선 운영기관이 다수이기 때문에 <그림 1>과 같은 정산 절차를 거치게 된다.



<그림 1> 철도 운영기관 간 연락운임 정산 과정

Ⅳ. 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 정보공유를 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 과거 한달 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.

<표 6> 2007년 11월 20일 일일 Data 결합

DXSS.200711201	DXSS.20071120B	➡	20071120.TXT
DXSS.200711202	DXSS.20071120C		
DXSS.200711203	DXSS.20071120D		
DXSS.200711204	DXSS.20071120E		
DXSS.200711205	DXSS.20071120F		
DXSS.200711206	DXSS.20071120G		
DXSS.200711207	DXSS.20071120H		
DXSS.200711208	DXSS.20071120I		
DXSS.200711209	DXSS.20071120J		
DXSS.20071120A	DXSS.20071120K		

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.

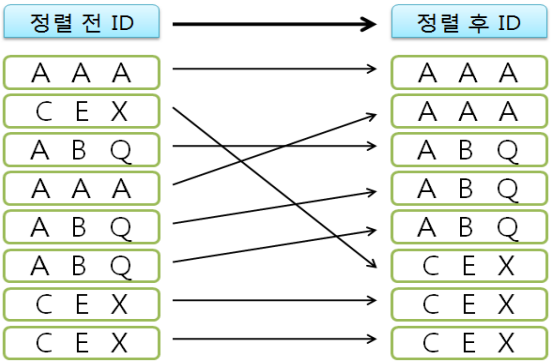
<표 7> Data 가공 전·후 모습

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

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, 아래 <그림 3>은 ID 정렬(Sorting) 과정을 도식화 한 모습이다.



<그림 3> ID 정렬(Sorting) 과정

4) O/D 추출

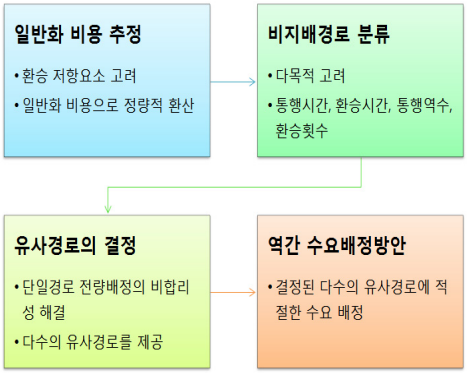
2004년 대중교통 체계 개편 이전의 경우 철도부문의 자료는 철도 통행의 O/D 및 철도 요금이 기록되어 있었으나, 대중교통 체계 개편 이후 대중교통 카드(RF Card)는 버스와 철도의 환승요금제를 적용한 요금이 기록되어 있다. 따라서 대중교통 카드(RF Card) 자료를 수도권 도시철도 운임 정산에 활용하기 위해서는 철도부문의 통행 정보만을 추출할 필요가 있다. 추출된 철도 O/D가 버스와 환승 통행일 경우 식 (1)의 정산 원칙에 의해 요금을 정산한다.

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 제안한 도시철도 수입금 정산 모형을 활용하도록 한다.

신성일 외(2005)가 제안한 모형에 통행시간, 환승시간, 통행역수, 환승횟수의 다목적을 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 단일경로에 의한 정산 시 손해를 보는 불합리함을 극복함과 동시에 현실 모사성을 좀 더 향상시켰다고 볼 수 있다.



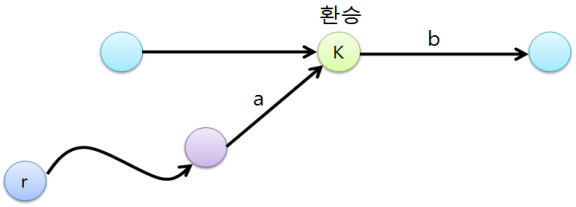
<그림 4> 수입금 정산 알고리즘의 방향

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 다음과 같다.

$$C_{ab}^{r} = IVTT_{ab}^{r} + \alpha_{ab}^{k}(T_{ab}^{k} + H_b/2) \qquad (3)$$



여기서,

r : 출발역

k : 환승역

a, b : 운영기관 링크(노선)

C_{ab}^{r} : 출발지 r에서 출발하여 노선 a와 노선 b 이용 시 일반화비용(분-비용)

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

T_{ab}^{k} : 환승역 k에서 노선 a, b간 도보시간(분)

H_b : 노선 b의 배차간격(분)

α_{ab}^{k} : 환승역 k에서 노선 a에서 b로 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 첨두시와 비첨두시의 표정속도를 평균하여 적용한다.

$$IVTT = \frac{Dis_{ij}}{Speed_n} \qquad (4)$$

여기서,

Dis_{ij} : 역i와 역j간의 링크 길이

$Speed_n$: 노선 n의 차량 속도

<표 8> 노선별 적용 차량 속도

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

노선	93	95	91	96	94	92	97	98
차량속도	46.2	34.8	36.0	45.0	37.6	37.7	41.8	32.6

(3) 환승계수 추정(α_{ab}^{k})

본 연구에서 일반화 비용 추정을 위한 환승계수는 실제 도시철도 이용자의 통행경로 및 환승 선호도 조사를 실시한 후 조사 결과를 토대로 실제 통행배정 결과에 가장 근접한 통행배정을 나타내는 환승계수를 경험적으로 추정한다(신성일 외, 2005).

(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 도보로 시간을 측정한다.

(5) 노선별 배차간격 산정(H_b)

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 평균한 배차간격을 적용한다.

2) 비지배경로(다목적 경로탐색) 분류

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

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

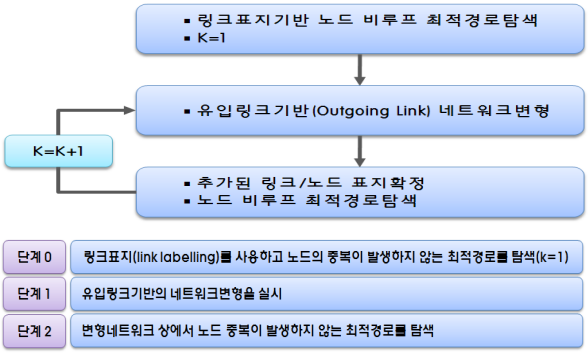
정의 2 : 경로 $P(t)$가 시간 종속적 가능 경로 집합에 포함되고, 다른 어떤 경로도 $P(t)$를 지배하는 경로가 존재하지 않으면 경로 $P(t)$는 비지배경로로 정의

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 포함되는 지의 여부로 유사경로를 나타낼 수 있다. 이는 개인이 느끼는 불편도를 고려하여 결정한 최적경로에 비해, 어느 정도까지 통행대안경로로 선택할 지의 여부로 보면 된다. 예를 들면, 일반화 비용이 70분이 최적경로에 10% 이내에 포함하는 경로를 유사경로로 본다면, 일반화비용이 77분 이내인 모든 경로가 유사경로가 된다. 유사경로 결정비율이 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 링크표지기반 노드 비루프 경로 탐색 알고리즘을 활용하도록 한다.



<그림 5> 유사경로 탐색 알고리즘

5) 역간 수요배정 모형

본 연구에서는 확정된 다수경로에 대하여, 환승행태가 반영된 일반화비용을 적용하기 때문에 Logit 모형을 활용한 수요배분방안을 선택하기로 한다. 즉, 유사경로를 탐색하면 탐색대안이 결정되었으므로, 각 경로에서 도출된 일반화비용에 대한 경로별 선택확률을 계산하여 수요를 배분한다.

$$P_i = \frac{e^{\theta C_i}}{\sum_k e^{\theta C_k}}, \forall k \in K \qquad (5)$$

여기서,

P_i : i번째 경로의 역간 수요배정확률

C_i : i번째 경로의 일반화 비용

$\theta \rightarrow 0$: 균일배정

$\theta \rightarrow \infty$: 단일노선배정

$\theta \rightarrow (0.01 \sim 1)$: 확률배정

Ⅴ. 사례연구

1. O/D 추출

4장에서 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.

<표 9> 대중교통 카드로부터 O/D 분석 예시1

+++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdq5y0= 131448 37 120 0 11110171 111001500 111706500 1 125510 8525 132526 8742 1 900 0 +++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdq5y0= 132924 37 200 1 0 211200000 0 1 0 2534 134809 2539 1 0 0
통행인 : +++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdq5y0= 목적통행 : 1통행 수단통행 : 2통행 (버스 + 철도) 이용 수단 : 버스(120), 철도(200) 총 요금 : 버스 900원 + 철도 0원 = 총 900원

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

즉, 통행자 "+++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdq5y0="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.

<표 11> 수도권 도시철도 O/D 예시

출발역	도착역	통행인원	총수입	총수입 중 기본요금금액
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
1204	2559	1.1	1371.4	1028.6
1204	2560	0.3	371.4	257.1
1204	2611	1.1	1371.4	1028.6
1204	2612	0.6	814.3	642.9
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

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 연락구간 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)을 비교·분석하였다. 그 결과 일별 0.12~0.23%의 오차율을 보였다.

<표 12> 실제 수입금 및 분석 값 비교

구 분	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

이러한 오차율은 ㈜한국스마트카드사는 대중교통 카드에서 발생할 수 있는 오검지 자료 및 수집되지 않는 하차 시 미태그 통행에 대해서는 매월 1회 총 합산하여 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.

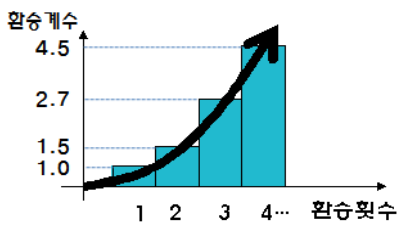
2. 일반화 비용 파라메터 정산

1) 환승 계수 추정(α_{ab}^{k})

4장에서 제시된 방법론을 토대로 일반화 비용 추정에 사용될 환승 계수를 경험적으로 추정하면 <표 13>과 <그림 6>과 같다.

<표 13> 최적 환승 계수

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



<그림 6> 최적 환승 계수

2) 환승 도보시간 조사(T_{ab}^{k})

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

<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 14>는 가산디지털단지역에서 조사한 자료 결과로써, 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.

<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
⋮	⋮	⋮	⋮

3) 노선별 배차간격 산정(H_b)

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
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
11시대:	2,579	413	104	248
12시대:	3,104	456	113	283
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
18시대:	13,009	3,134	365	521
19시대:	9,807	2,449	263	335
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
전체	93,005	17,301	3,036	7,223
첨두시	28,328	6,752	1,085	3,175
비율	30.46%	39.03%	35.74%	43.96%

<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	강남 구청
	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	부평 시장

서울메트로 수송계획(서울메트로, 2007)

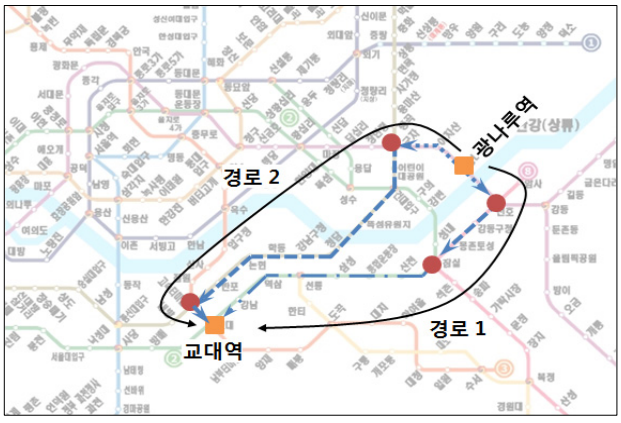
3. 수도권 도시철도 수입금 정산 사례

본 절에서는 2007년 11월 대중교통 카드(RF Card) 한 달 자료로부터 추출된 O/D와 일반화비용을 실제 사례에 적용하여 그 현실성과 활용성을 검증하도록 한다.

1) 다수경로(유사경로) 탐색

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

임의의 역은 환승이 포함된 경로를 가지는 광나루역(2547)과 교대역(330)으로 선정하였으며, 다수경로(유사경로) 탐색 결과는 <그림 7>, <표 18>과 같다.



<그림 7> 탐색된 다수경로(유사경로)

<표 18> 다수경로(유사경로) 탐색 결과

경로	비용(분)	선택 확률(%)	통행량(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

2) 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 2.50%로 알고리즘이 현실을 잘 반영한다고 할 수 있다.

3) 수입금 정산 사례

수도권 도시철도 전체 역을 대상으로 분석을 수행할 경우 수도권 도시철도 운영기관의 일일 수입금 및 상호 정산금액이 상세히 도출되기 때문에 운영기관의 수입금 노출에 대한 문제점이 발생될 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 19>와 같은 기관 간 정산 금액 결과가 도출된다. 정산 결과 서울메트로는 일일 344,497원, 한국철도공사의 경우 일일 434,234원, 인천지하철공사의 경우 일일 75,914원을 타 기관으로부터 정산 받아야 한다. 그러나 서울도시철도공사의 경우 인천지하철공사로부터 일일 75원을 받지만, 서울메트로에 일일 492,134원, 한국철도공사에 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.

<표 20> 기관별 분석대상 역

서울메트로	한국철도공사	서울도시철도	인천지하철
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 구로디지털단지	1809 주안	2747 남구로	3114 계산
220 선릉	1855 서현	2748 가산디지털단지	3117 갈산
230 대림	1859 오리	2750 광명사거리	3130 원인재

4) 수입금 실제 정산 사례

본 연구에서 제안한 방법론을 토대로 2004년부터 2007년까지 실제 수도권 도시철도 운영기관 간 미정산금에 대한 연락운임 정산금액 추정한 결과는 <표 21>과 같다.

Ⅵ. 결론 및 정책 제안

수도권 도시철도 운영기관 간 수입금 정산 문제는 서울시의 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. 특히, 기존 관련 연구 및 모형의 가장 큰 문제점 중에 하나였던 현실 적용성을 대중교통 카드(RF Card) 자료와 실측 자료를 적극 활용함으로써 크게 향상 시켰다고 볼 수 있다. 또한, 실제 통행경로에

<표 19> 기관 간 정산 금액

(단위 : 원/일)

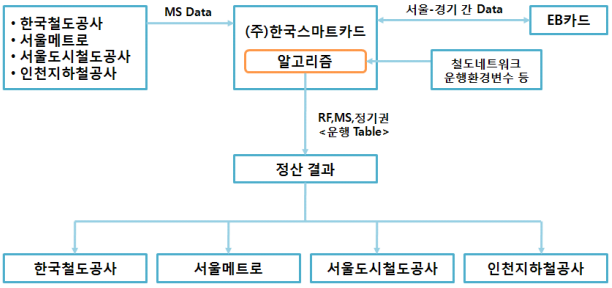
기관 간 정산 금액	받을금액	서울메트로발매	한국철도공사발매	서울도시철도발매	인천지하철발매
지급금액	0	-344,497	-434,234	854,644	-75,914
서울메트로	344,497	0	-149,119	492,135	1,481
한국철도공사	434,234	149,119	0	362,584	-77,469
서울도시철도	-854,644	-492,135	-362,584	0	75
인천지하철	75,914	-1,481	77,469	-75	0

<표 21> 기관 간 정산 금액(2004년~2007년)

기관 간 정산 금액	받을금액	서울메트로발매	한국철도공사발매	서울도시철도발매	인천지하철발매
지급금액	0	51,236,925,690	-36,979,822,297	-19,470,031,762	5,212,928,369
서울메트로	-51,236,925,690	0	-27,183,389,393	-24,220,875,297	167,335,001
한국철도공사	36,979,822,297	27,183,389,393	0	5,101,148,322	4,695,284,582
서울도시철도	19,470,031,762	24,220,875,297	-5,101,148,322	0	350,308,786
인천지하철	-5,212,928,369	-167,335,001	-4,695,284,582	-350,308,786	0

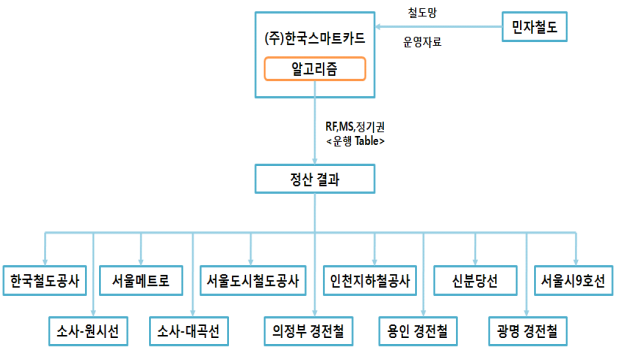
주: (-)는 받는 금액

대한 설문조사를 통해 본 연구에서 제안한 수입금 정산 알고리즘의 현실성을 검증하였으며, 수도권의 실제 도시철도 네트워크에 사례 연구를 실시함으로써 본 연구에서 제안한 수입금 정산 알고리즘의 효용성과 도시철도 운영기관 간 수입금 정산을 위한 실제 적용 가능성을 검증하였다. 이렇게 제안된 방법론은 향후 일일정산 체계 구축을 위해 <그림 8>과 같이 활용 가능하다. <그림 8>은 (주)한국스마트카드사를 중심으로 본 연구에서 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 운행 환경 변화에 대한 변화를 반영하여 운행 Table을 (주)한국스마트카드사에서 제공하게 된다.



<그림 8> 일일정산 체계 대안

또한 본 연구에서 제안한 수입금 정산 방법론을 활용하면 현재 기관 간 수입금 정산 문제뿐만 아니라 향후 도입될 경전철 및 민자 9호선과 같은 민자 철도 등의 수입금 정산 문제도 해결 가능할 것으로 판단된다.



<그림 9> 민자운영기관을 포함한 정산체계

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 정산방안 연구 최종보고서
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