수도권 대중교통 수입금 정산방법

2005.06.14

서울시정개발연구원
도시교통연구부

목차

개요

체계개편 前의 정산

체계개편 後의 정산

해외사례

모형

사례연구

결론 및 연구활용

개요

서울시 대중교통체계개편

- 지속가능성의 합치점: 대중교통 활성화
- 노선체계개편: 효율성
- 통합거리비례제 요금제도: 통합교통망
- 준 공영제: 형평성

준 공영제 & 수입금

- 수입금 공동관리 & 배분
- 철도/지하철 조직 + 버스조직

대중교통체계 개편 前 수입금 정산

- 버스개별노선정산
- 지하철/전철 연락운임정산
  - 도시철도공사, 서울시지하철공사, 철도청

대중교통체계 개편 後 수입금 정산

- 현재 기관간의 잠정 합의에 의한 정산
- 先 지하철-버스 통합기관정산
  - 통합대중교통망
- 後 지하철 연락운임정산

향후 대중교통체계의 전개

- 지하철/철도시스템의 다양화
  - 민자9호선, 신공항철도, 급행, 완행
- 교통수단의 다양화
  - 경전철, 고급버스, 일반버스, 등
- 관리지역의 광역화 및 세분화
  - 서울시, 수도권, 인천시, 타 지역
- 관리기관의 증가
  - 민자, 자치단체, 신 교통수단 운영기관

통합정산모형구축

- 기존정산방식의 한계
- 기관간의 분쟁해결 및 궁극적인 서비스향상기반

연구의 목적

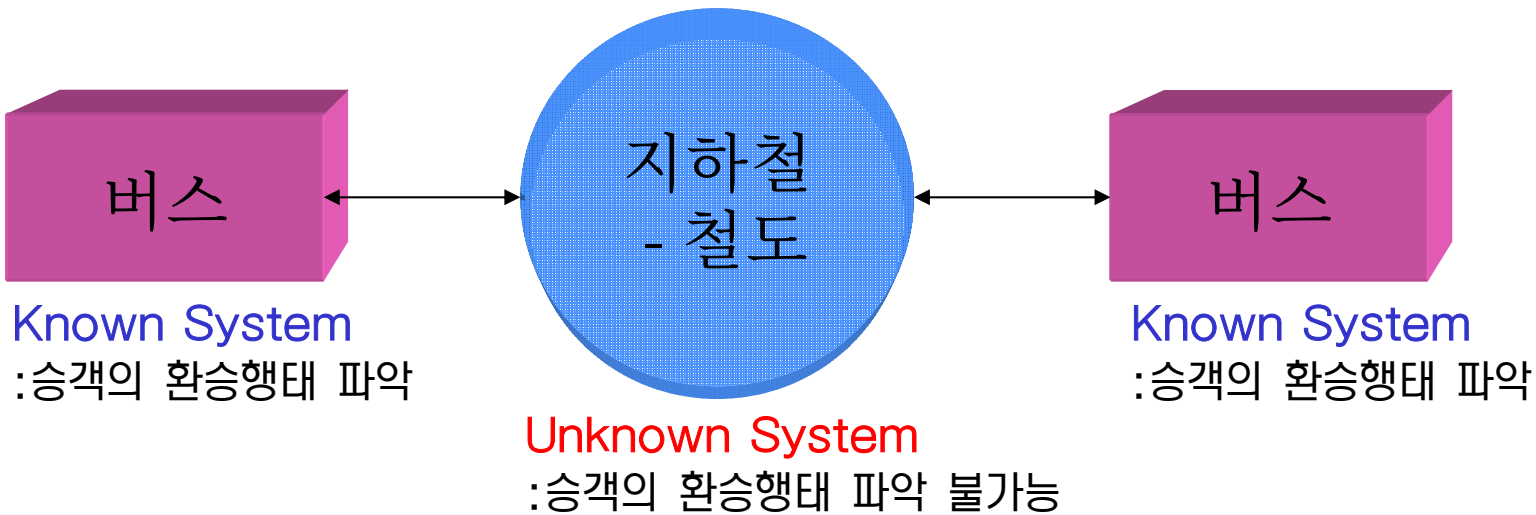
- 대중교통 수입금 정산을 위한 분석모형제시

내용적 범위

- 정산을 위한 기관의 서비스 기여도(지표)도출
  - 승객의 통행행태를 반영한 일반화비용/환승모형
  - 역간유사경로 발견
  - 역간 수요배정

공간적 범위

- 버스시스템: 매 탑승-하차시 tag 접촉으로 노선간 환승행태파악 가능
- 지하철-철도시스템: 최초승차-최종하차시에만 tag 접촉으로 노선간 환승행태 파악 불가능
- 지하철-철도시스템을 본 연구의 공간적 범위로 함



체계개편前의 수입금 정산(1996년 이전)

지하철·철도의 연락운임 정산제도의 변천

1974.8~1978.2	운행거리비례(1:1배분)
1978.3~1982.12	운행거리비례(철도청(1):지하철공사(1.8))
1982.12~1985.10	운행거리비례(1호선 1:1.8, 2,3,4호선 1:1.8)
1985.10~1986	운임제 변경으로 과거정산 실적기준 정산
1987~1988	국토개발연구원 결과에 따라 철도청 57.9%, 지하철공사 42.1% 배분
1989~1990	87년도 및 88년도 정산금액을 산술평균하여 정산금액 산정
1991~1994	전년도 정산액*수송실적증가율*운임인상률에 의해 산정

체계개편前의 수입금 정산(1996년~개편전)

버스개별수입금 정산

지하철/철도 연락운임정산

- 운영기관: 도시철도공사, 지하철공사, 철도청 , 인천시
- 배분기준: 각 기관별 연락구간 수송 인·km
- 통행한 역 수에 따른 단일경로배정모형 (KOTI,1996)
- [역-역]의 링크를 1점
- 배차간격에 따른 환승패널티: 일반역(3점) & 경원선(7점)
- KOTRAS (KOrea Transport software for RAil and Subway)
  - 정산에 요구되는 주요결과 도출
  - 그래픽에 의한 경로확인

KOTRAS의 주요결과

- 역별 승하차인원
- 링크교통량
- 자선구간/연락구간 승객수, 인×KM, 수입금 분석
- 연락구간중 초승기관 승객수, 인×KM, 수입금 분석
- 승차권 발매기관별 승차권 종류별 분석
  - 자선구간/연락구간 승객수 분석
  - 자선구간/연락구간 인×KM분석
  - 자선구간/연락구간 운송수입금 분석

요약

- 수입금 정산의 기준: 제공한 서비스 수준
- 서비스 실적을 기반으로 하고, 투자비용을 고려하여, 수입금 정산 방안을 제시 ▷ 서비스 실적을 제공하는 것은 기본사항

인 - km	• 제공한 서비스(수송)실적기반 배분	1978년
투자비용	• 제공한 기반시설투자비용 또는 운영비용기반 배분	없음
인 - km + 투자비용	• 제공한 서비스(수송)실적과 기반시설투자비용 또는 운영비용을 모두 고려한 배분	1982년 1985년 1986년 1988년 1990년 1994년

체계개편前 정산체계의 문제점

- 예, 안국→동대문운동장
- 단일경로에 의한 수입금 전량배분에 따른 기관간 마찰
- 요금부과와 정산의 불일치 가능성

(안국→동대문운동장) 통행시 경로특성

경로	통행시간(분)	통행거리(km)	환승횟수	통과역수	비고
1	9.2	3.6	1	4	
2	9.3	2.9	1	3	요금기준
3	10.0	3.1	1	4	
4	13.3	3.0	2	3	
5	14.9	3.2	2	4	

경로에 포함된 노선별 통행거리(km)

경로	2호선	3호선	4호선	5호선	총통행거리
1		2.3	1.3		3.6
2		1.0		1.9	2.9
3	0.6	1.6		0.9	3.1
4	1.0	1.0		1.0	3.0
5	1.6	1.6			3.2

체계개편 後의 정산

정산방안

- 先 지하철-버스기관정산
- 後 지하철 연락운임정산

지하철 - 버스기관정산

- 정산주기: 3일
- 환승차액정산
- 미징수 금액: 별정배분금액
  - 수단별 기본요금 비율정산
  - 지하철 우선배분금액 제외

기본정산방법 (버스 - 지하철)

- 수단별 **기본운임 비율기준으로** 정산

$$A_m = C \cdot \frac{BF_m}{\sum_m BF_m}$$

A_m : 수단 m의 정산금
C : 요금 부과액
BF_m : 수단 m의 기본요금

- 지하철+버스(환승) 통행: 지하철 기본거리(12km) 초과추가운임(6km, 100원) → 지하철 우선귀속 후 나머지 통합운임에 대해서 수단별 기본운임 비율로 정산

$$A_s = C_s \cdot \frac{BF_s}{\sum_m BF_m} + SF_s$$

A_s : 지하철 s의 정산금
C_s : (요금 부과액 - s 추가요금)
BF_m : 수단 m의 기본요금
SF_s : 지하철 s의 추가요금

정산예(버스 - 지하철)

마을버스 + 지하철 (또는 버스)
(3km) (10km)
요금 900원

마을버스 : $900 \times \frac{500}{800+500} = 346$

지하철 (또는 버스) : $900 \times \frac{800}{800+500} = 554$

마을버스 + 지하철 (또는 버스)
(3km) (19km)
요금 1,100원

마을버스: $900 \times \frac{500}{800+500} = 346$

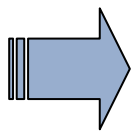
지하철: $900 \times \frac{800}{800+500} + 200 = 754$

정산예(지하철 - 철도)

철도 + 도시철도 + 지하철공사

(20km)

요금 1,000원



철도: 1,000

지하철: 0

- 징수금액 전액 초승기관인 철도청 귀속

체계개편後 정산체계의 문제점

- 지하철-철도 연락운임 정산은 초승기관에 전액귀속
  - 가정의 단순성: 퇴근통행은 출근통행의 역방향이라는 가정
  - 승객의 행태를 논리적으로 설명하는데 부족함
  - 다수의 운영기관 참여시 합의도출 힘듦

- 버스-지하철
  - 연락운임정산 방법이 버스-지하철 정산에도 영향을 미침

환승역에서 개별승객경로추적대안

- 민자기관의 투입에 따른 정산대안 검토필요
- 개별승객의 경로추적을 통한 정산문제 투명화

- 대안 1: 환승 Gate 설치
  - 환승역 토목공사에 따른 비용증가
  - 승객의 Tag접촉에 의한 대기행렬
  - Tag 미접촉 승객 관리의 어려움 (Error)

- 대안 2: 환승통행구간 또는 열차내 RFID Receiver 설치
  - 군집으로 접근하는 승객판단 어려움 (음영 Error)
  - 혼잡한 열차내에도 음영 Error존재

- 승객의 이용행태 파악을 위한 모형접근 필요

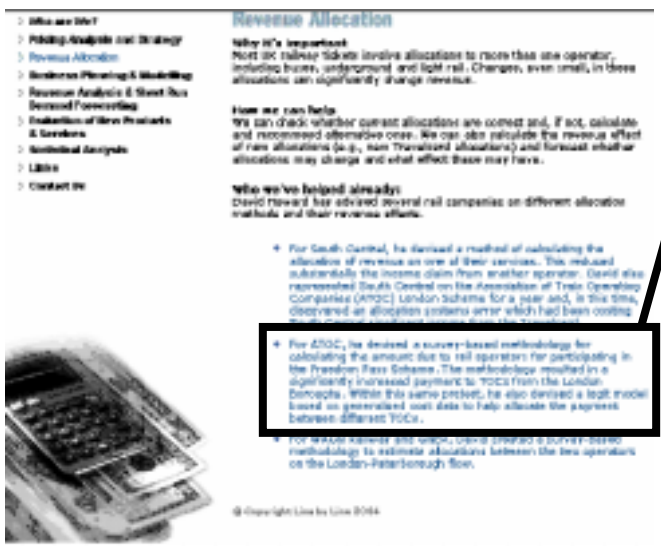
해외사례

도시/국가	요금제도	연락운송실태	수입금정산방법
맬버른/호주	구역요금	• 이용자별, 사용기간별 다양한 ticket • 철도 외 tram, bus와 연락운송	• 정부기관 Revenue Clearing House 운영 • 승객통행량(passenger loads)기반 정산
바르셀로나/ 스페인	구역요금	• Ticket에 따라 환승가능 또는 불가능 -1회 탑승, 환승 불가능 -10회 탑승,(수단간)환승무료 -특정구역, 1달 무제한 탑승 -하루 모든수단 무제한 탑승	• 의회: 요금통합모니터링 위원회 구성 • 개인 수단간 chain 통행, 부과요금 기준 배분
파리/프랑스	구역요금	• Ticket별 무료환승 또는 불가능 - bus와 metro간 무료환승 적용없음 - 하루 무제한 이용 및 환승가능 - 주간, 월간 환승가능	• RATP와 SNCF간 가구설문조사 (매 4~5년)로 연락통행 실태파악, 정산 • 민간버스업체는 일주일간 승객 수 조사(매 2년), 정산 • 정기권 할인결손은 교통세보조

도시/국가	요금제도	연락운송실태	수입금정산방법
동경/일본	거리비례요금	• 단일수단 거리비례요금 • 기관별 하루권 • 하루 모든교통수단 이용 • 1개월-선택된 거리,노선에 사용 • 1개월-모든 수단노선사용가능 • T-card(smart card)사용	• 승차권 발매실적 및 정산대상금액 자료를 각 기관별로 전산관리 • 매월 각 기관간 자료교환 및 정산협의하여 정산 • 각 기관간 요금수입이 확정되어 있어 정산문제는 적음
런던/영국	구역요금	• Oyster (smart card)이용 • Tube, DLR, Bus, Tram, National rail에서 사용가능 • 기간별, 이용자별로 다양한 요금(ticket)차별정책 적용	• 공동협의기구(TfL group)을 구성하여 여기에서 정산방법 및 정산액 결정 • 인/km 기준으로 배분 • 할인결손은 정부에서 보조
암스테르담 로테르담 /네델란드	구역요금	• 네델란드 전역 동일 요금시스템 • 기간, 구역별로 다양한 strip card 사용	• 민-관 WROOV 시스템 개발,운영 • 조사(행태분석 등)로 제공서비스 수준(통행량)산정 후 배분

요약

- 수입금 정산기준: 승객통행량, 개인통행에 부과된 요금기준, 인-km 등 성과 기준으로 수입금 정산
- 정산을 위한 협의 기구의 구성
- 정부의 보조금 지원
- 수입금 정산분쟁을 해결하기 위한 민간업체 발생



http://www.line-by-line.co.uk

For ATOC, he devised a survey-based methodology for calculating the amount due to rail operators for participating in the Freedom Pass Scheme. The methodology resulted in a significantly increased payment to TOCs from the London Boroughs. Within this same project, he also devised *a logit model based on generalised Cost* data to help allocate the payment between different TOCs.

모형

모형의 기본방향

- 일반화비용 / 환승모형
  - 통행시간, 환승행태를 고려한 일반화비용 추정
  - 환승에 대한 통행시간가중치 적용
- 유사경로 결정모형
  - 승객이 이용가능한 경로로서, 최적경로와 비교가능한 대안경로 결정
- 역간수요배정모형
  - 환승모형을 이용하여, 역간 유사경로에 수요배정

모형의 결과

- KOTRAS에서 제시하는 결과
- 인-km, 영업운행거리

기본 정산모형

$$M_i = AM_i + \sum_j CM_{ij}$$

M_i : i기관 배분금액

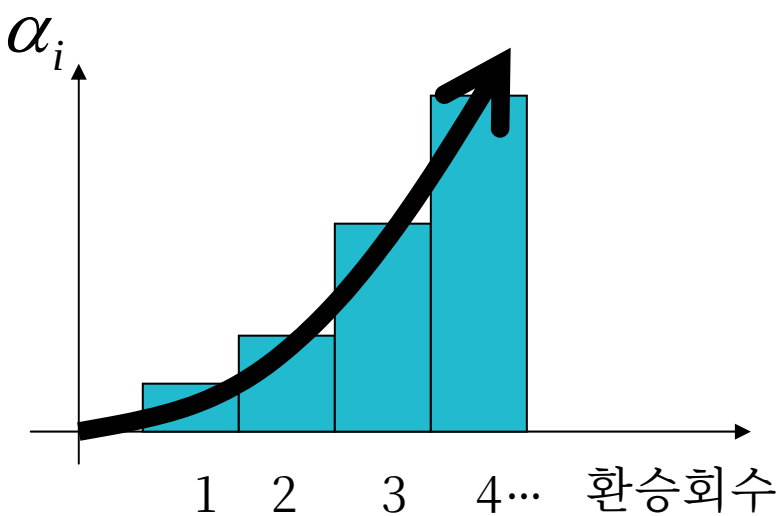
AM_i : i기관 자선구간 성과지표

CM_{ij} : i기관과 j기관의 연락구간 성과지표

일반화비용/환승모형

- 차내통행시간, 환승시간, 배차간격, 환승회수, 혼잡도, 편안감, 층계
- 본 모형에서는
  f(차내통행시간, 환승시간, 배차간격, 환승회수)

$$C = InVeh + \alpha_i \left(TT + H \right)$$



C : 일반화비용

α_i : 환승계수

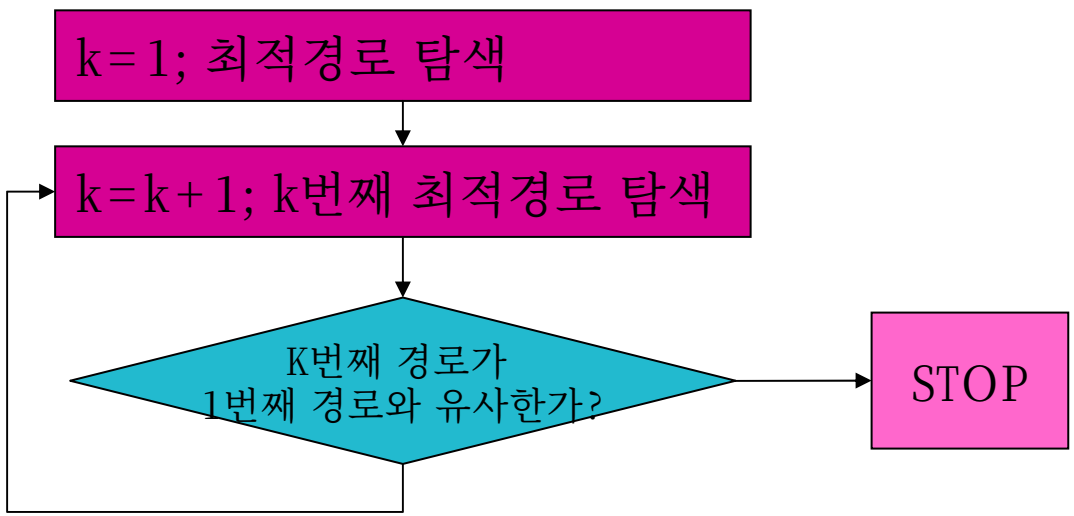
$InVeh$: 차내통행시간(분)

TT : 환승시간(분)

H : 배차간격(또는 대기시간)(분)

유사경로 결정모형

- 일반화 비용에 환승페널티 부과
- one-to-one 선택적 다수경로탐색기법
  - 다수 경로탐색
  - 링크표지
  - 다중환승 페널티 반영



- 유사경로의 예 : 첫번째(k=1)경로의 일반화 비용(대비) 5%이내의 경로

역간수요배정모형

- 단일노선배정
- 균일배정
- 최적전략배정: 노선의 배차간격(기대통행시간)
- Logit 모형의 활용

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

$\theta \to 0$: 균일배정

$\theta \to \infty$: 단일노선배정

$\theta \to (0.001, 0.1)$: 확률배정

- θ에 따라 배차간격의 영향 고려가능

사례분석

적용자료: 일반화 비용에서 환승계수 추정

- 10개의 역간 이용자료 및 대안경로(RP data)
- 부천-남부터미널, 종합운동장-교대, 남부터미널-철산, 창동-남부터미널, 숭실대입구-남부터미널, 미금- 남부터미널, 증산- 남부터미널, 서초-명동, 금정-남부터미널
- 노선수 100% 일치 + (증산- 남부터미널)에 유사경로 추가발견

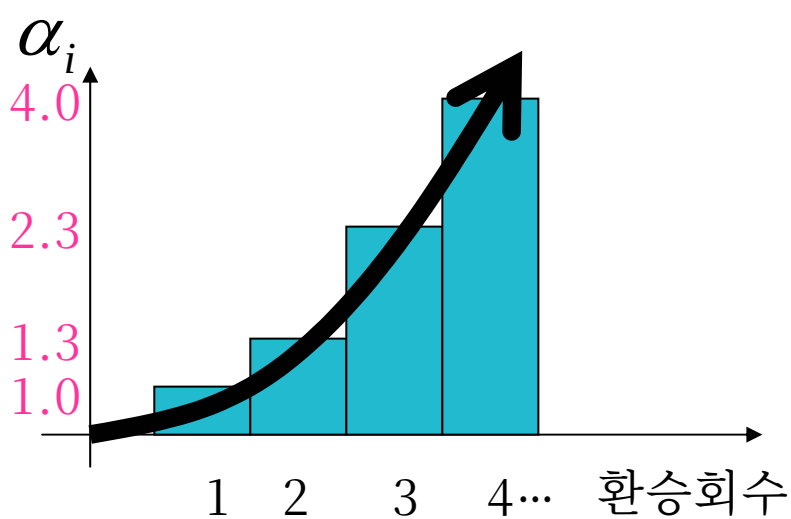
구분	출발역	경유역1	경유역2	경유역3	도착역	호선1	호선2	호선3	호선4	경로선택기준
1	부천	온수	고속터미널		남부터미널	95	7	3		4
2	부천	신도림	교대		남부터미널	95	2	3		0
1	종합운동장	교대			남부터미널	2	3			0
1	남부터미널	고속터미널			철산	3	7			2
2	남부터미널	교대	대림		철산	3	2	7		기타
1	창동	충무로			남부터미널	4	3			0
2	창동	옥수			남부터미널	1	3			4
1	숭실대입구	고속터미널			남부터미널	7	3			0
1	미금	도곡			남부터미널	92	3			2
2	미금	수서			남부터미널	92	3			4
1	신림	교대			남부터미널	2	3			0
1	증산	약수			남부터미널	6	3			0
2	증산	합정	교대		남부터미널	6	2	3		1
2	증산	합정	을지로3가		남부터미널	6	2	3		1
1	서초	사당			명동	2	4			1
2	서초	교대	충무로		명동	2	3	4		0
1	금정	남태령	사당	교대	남부터미널	96	4	2	3	기타
2	금정	남태령	총신대입구	고속터미널	남부터미널	96	4	7	3	기타

경로선택기준	
총통행시간	0
환승횟수	1
환승통행시간	2
역수	3
편안함	4

결과 1: 환승계수의 추정

- 환승계수: 환승횟수에 따른 가중치
- 10개의 역간 이용자료 및 대안경로 이용
- 환승모형 적용하여 환승계수 α_i추정
- 향후 기관간의 합의사항
  - 기관간 100개씩 역 - 역 쌍에 대해 최적의 α_i값 도출

환승횟수	α_i 추정값
1	1.0
2	1.3
3	2.3
4	4.0

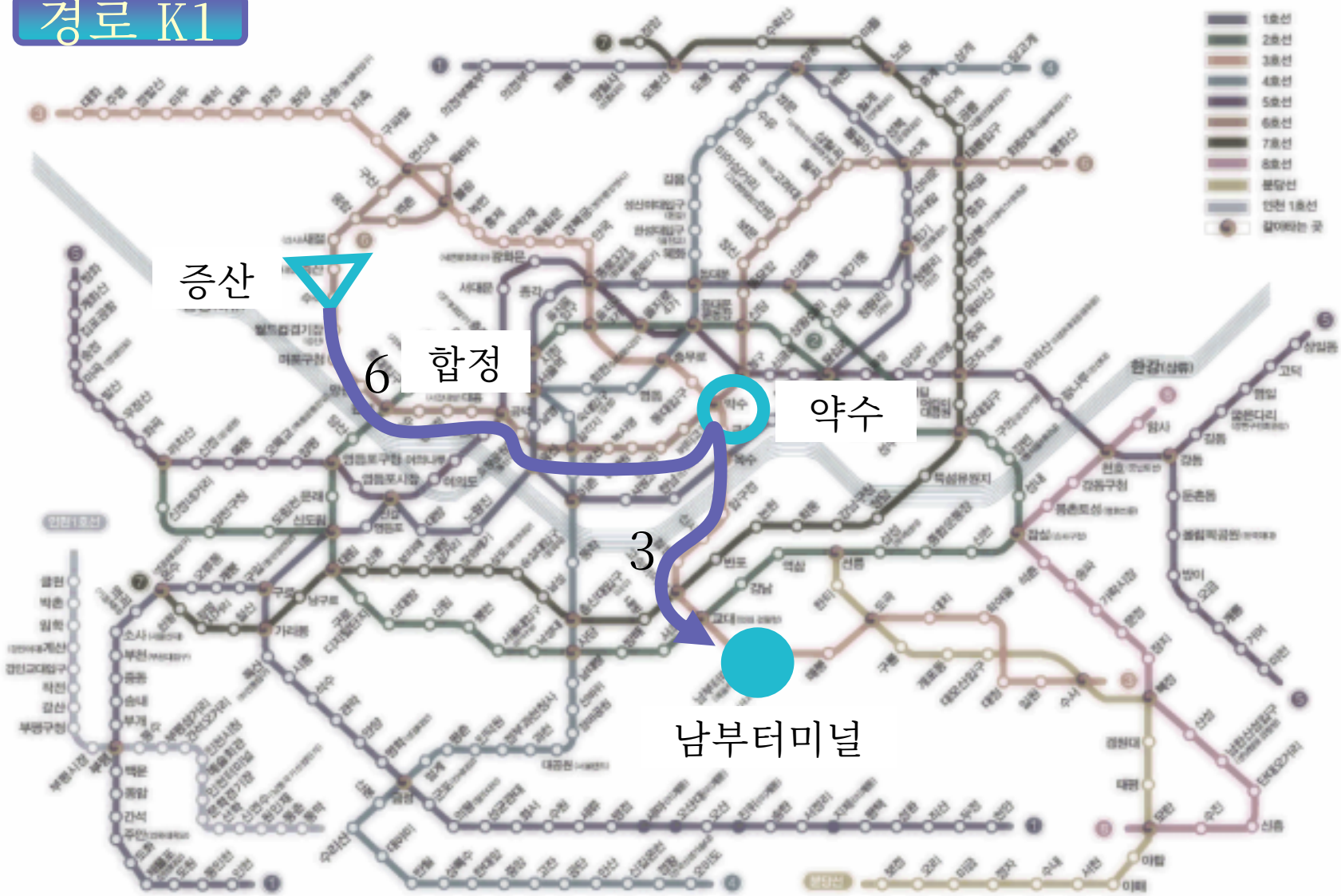


결과 2: 유사경로

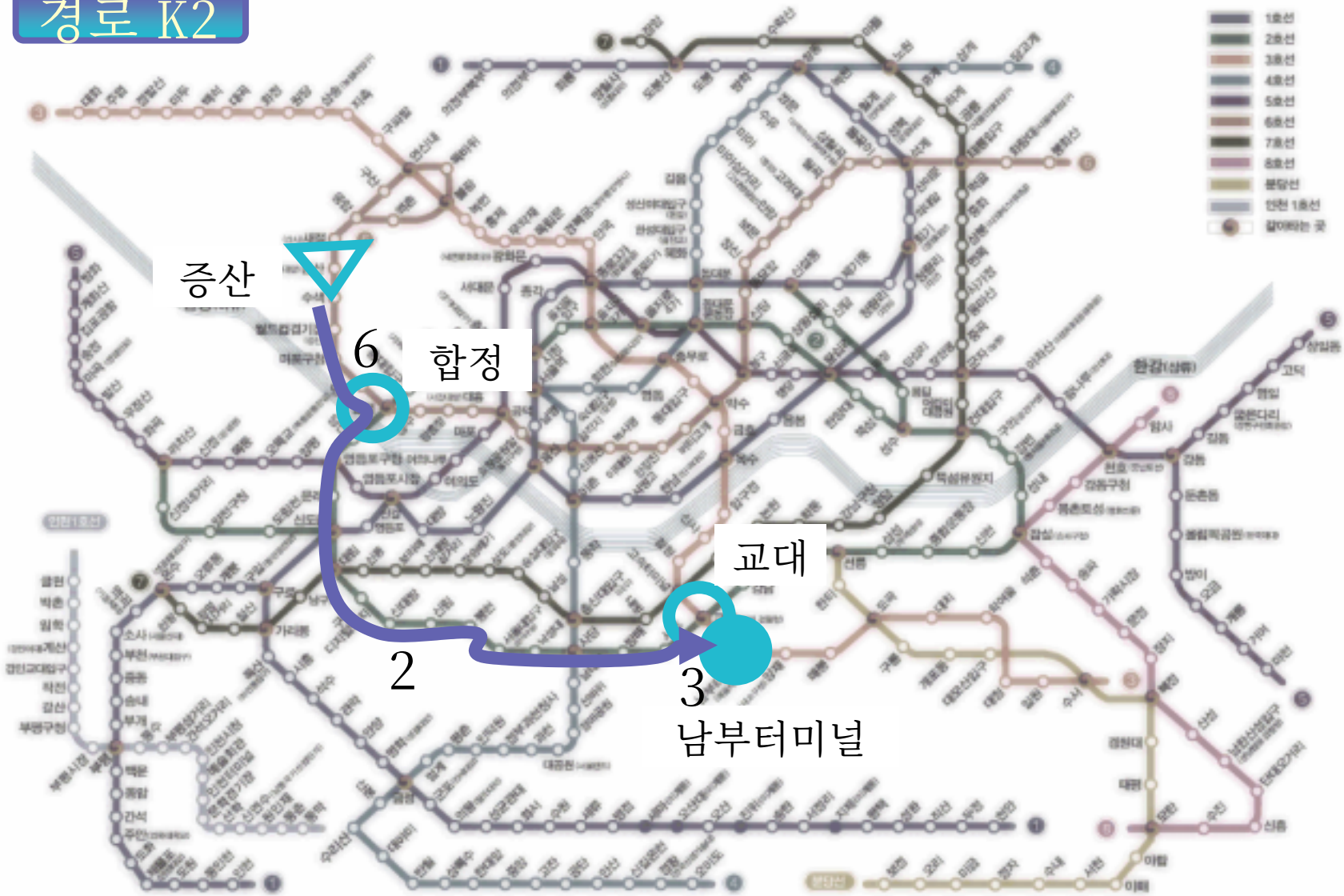
- 추정된 환승계수 값(α_i) 적용
- [최단통행시간의 통행시간(일반화비용)*10%]이내에 들어오는 경로
- 적용사례
  - 설문조사자료와 일치
  - 합리적 통행추가 발견(증산→남부터미널: K4경로)

경로	구분	출발역	경유역1	경유역2	도착역	호선1	호선2	호선3	경로선택기준
K1	1	증산	약수		남부터미널	6	3		0
K2	2	증산	합정	교대	남부터미널	6	2	3	1
K3	2	증산	합정	을지로3가	남부터미널	6	2	3	1
K4	**2**	**증산**	**불광**		**남부터미널**	**6**	**3**		

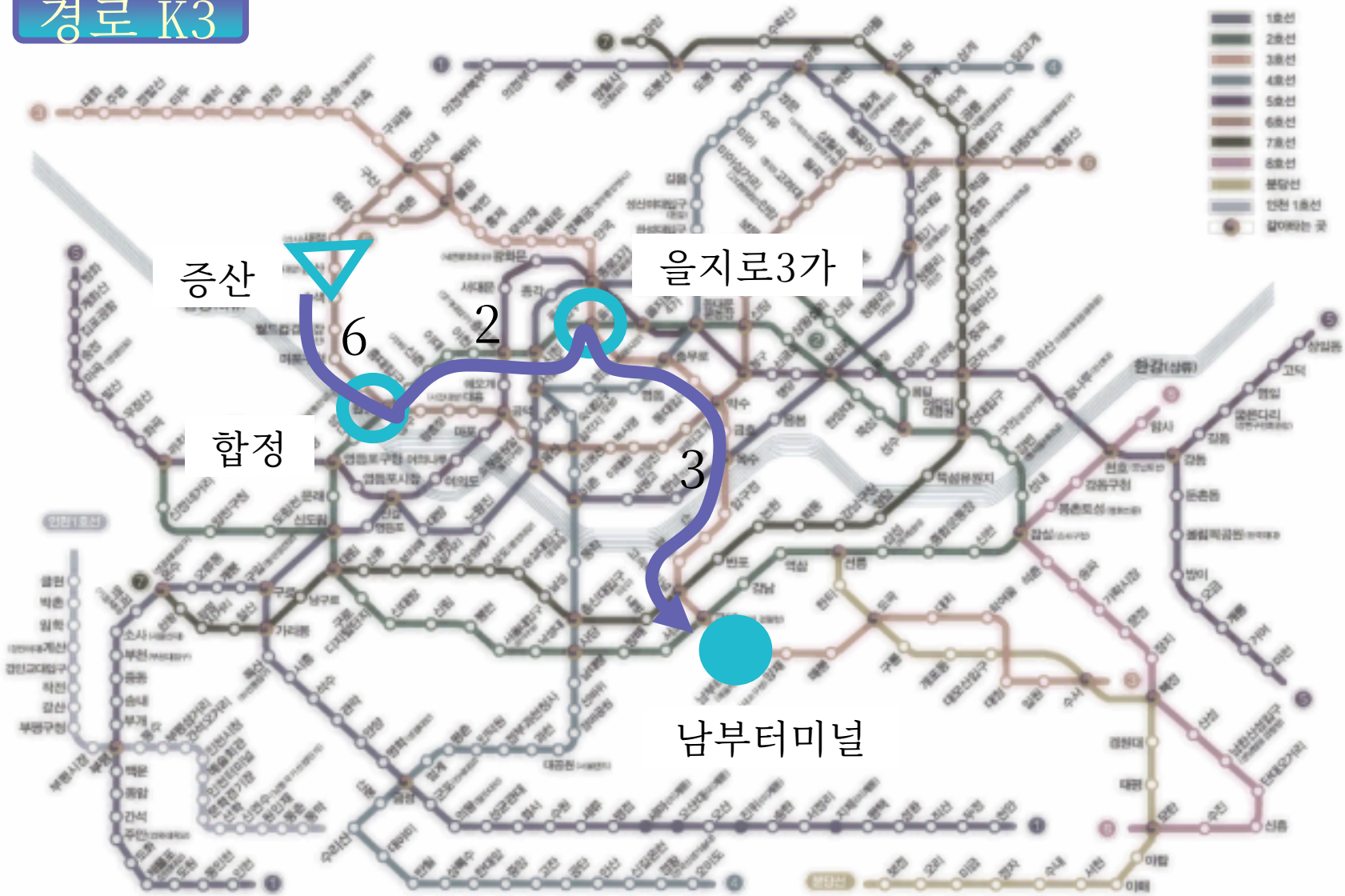
경로 K1



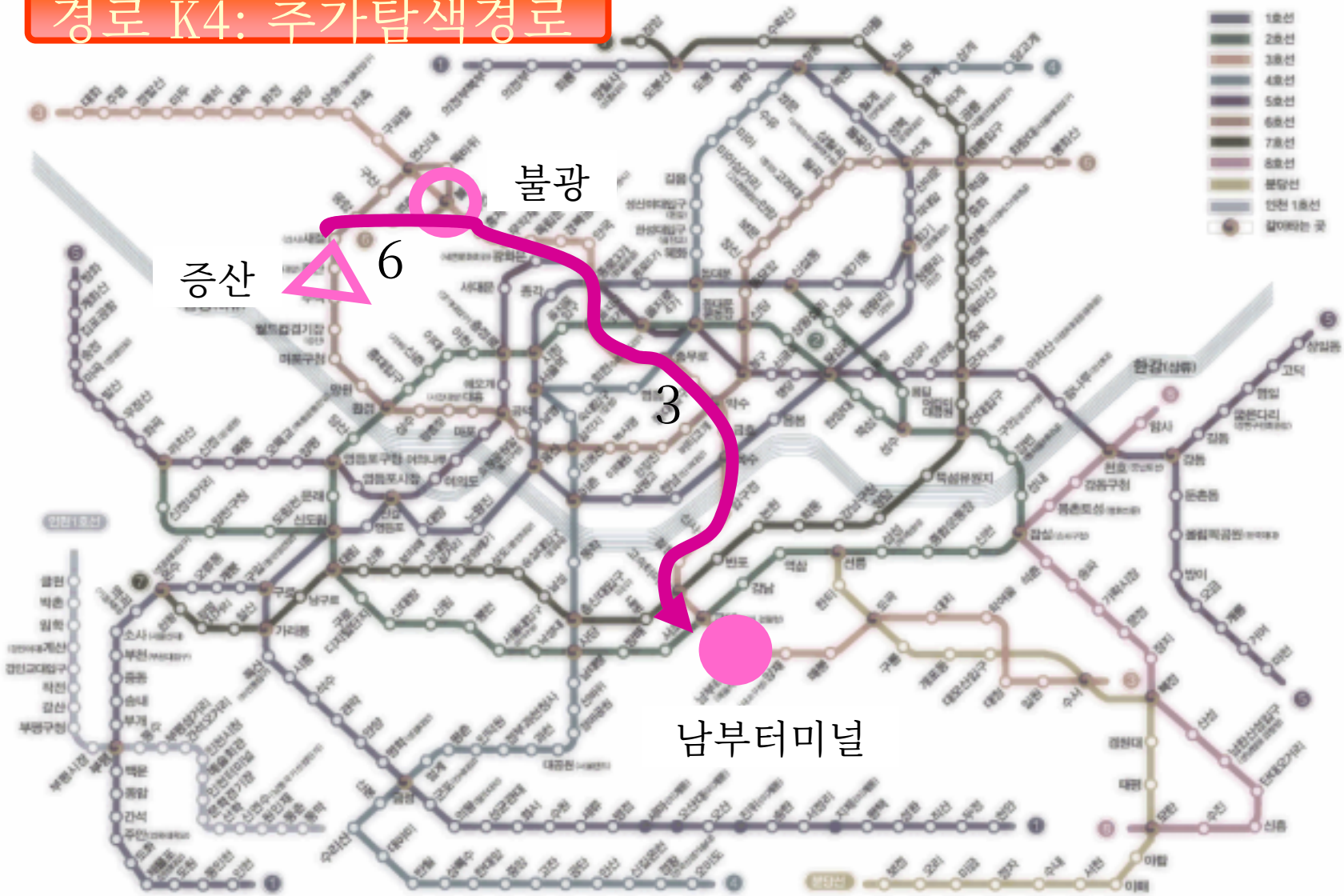
경로 K2



경로 K3



경로 K4: 추가탐색경로



결과 3: 수도권 지하철·철도 수요배정

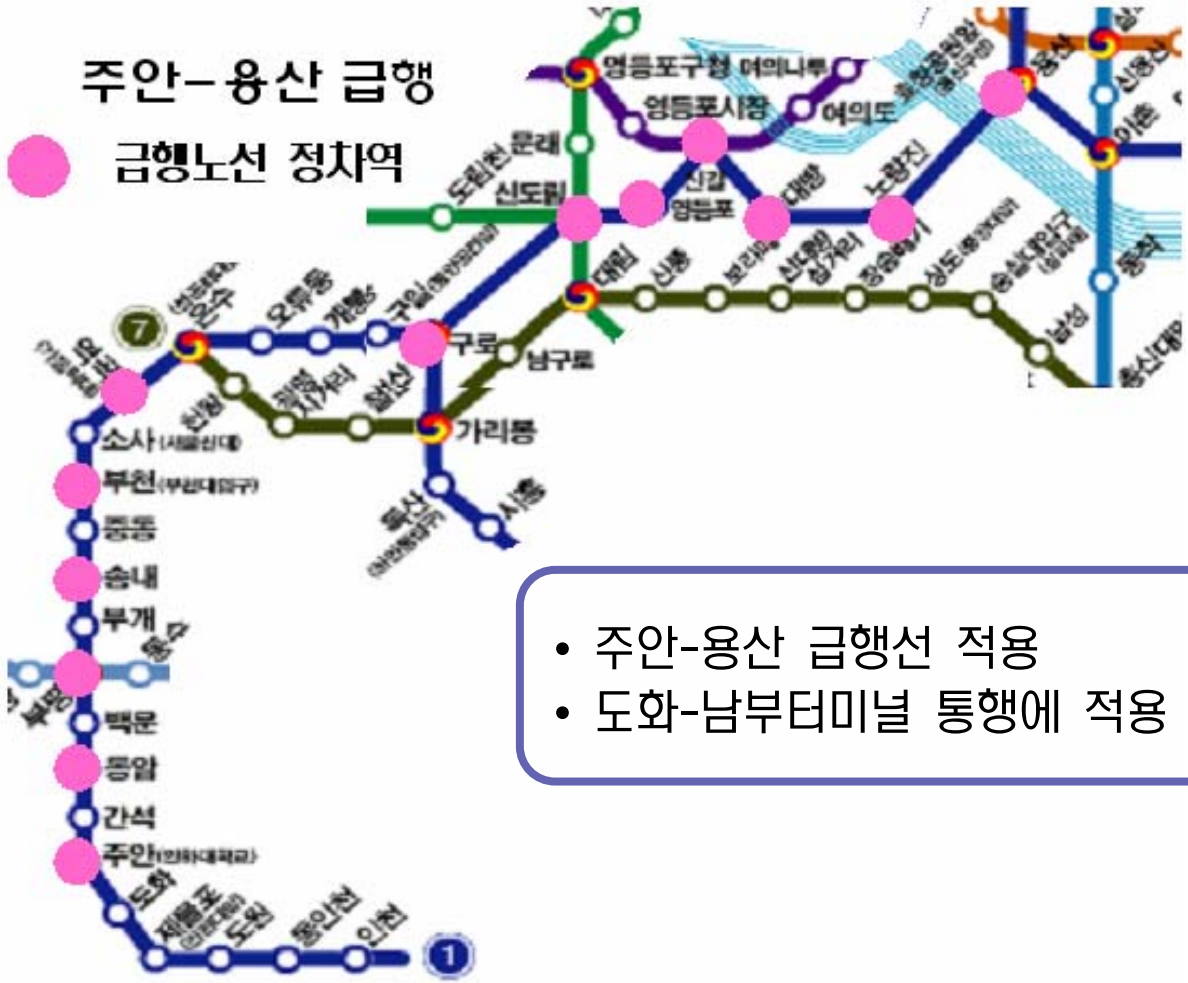
- 사용된 자료: 기·종점자료(magnetic, 서울지하철공사)
  정기권자료(도시철도공사, 지하철공사, 한국철도공사)
  스마트카드자료(한국스마트카드)

(출처: 2004,교통개발연구원,"수도권 지하철 정기권 도입방안")

- OD 추정: 통행배분모형인 Fratar법을 이용하여 추정
- 총OD쌍 : 152,795쌍에 대하여 균일배분($\theta = 0.001$)

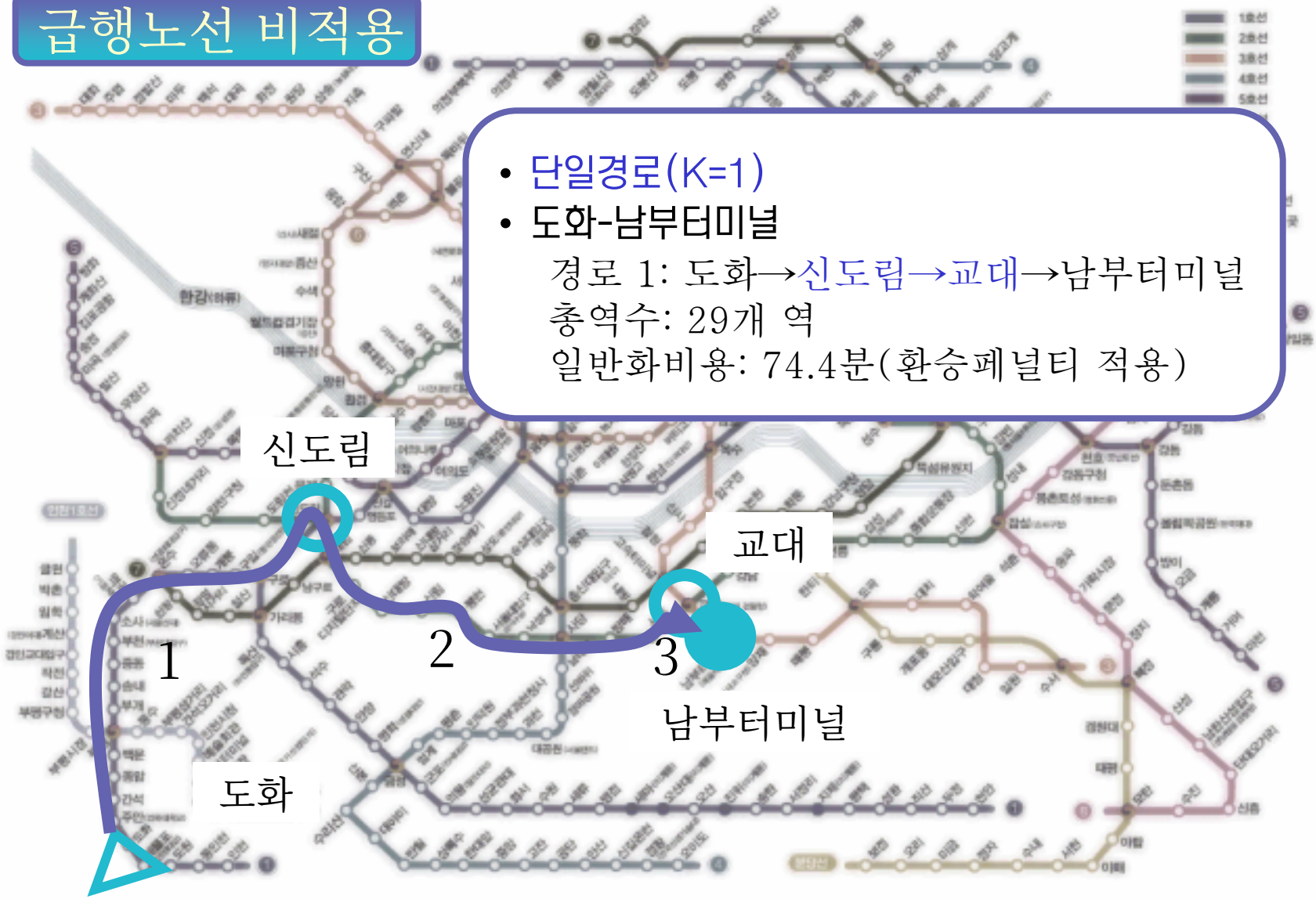
구분	연락구간(인·km)				유사경로쌍
	지철 - 도철	지철 - 기타	도철 - 기타	지철 - 도철 - 기타	
단일경로	12,390,549	23,927,645	4,411,147	5,597,646	0
유사경로 (1%)	12,418,898	23,878,471	4,424,198	5,670,612	11,228
유사경로 (5%)	12,593,821	23,705,259	4,444,580	5,843,794	41,712
유사경로 (10%)	12,970,998	22,441,437	4,494,136	7,303,008	63,933

결과 4: 지하철·철도의 스케줄 반영



- 주안-용산 급행선 적용
- 도화-남부터미널 통행에 적용

급행노선 비적용


• 단일경로(K=1)
• 도화-남부터미널
경로 1: 도화→신도림→교대→남부터미널
총역수: 29개 역
일반화비용: 74.4분(환승페널티 적용)
신도림
교대
남부터미널
도화
1
2
3

급행노선 미적용

- 두번째경로(K=2)
- 도화-남부터미널

  경로 1: 도화→온수→고속터미널→남부터미널
  총역수: 30개 역
  일반화비용: 80.2분(환승페널티 적용)

급행노선 적용

• 주안-용산 급행선 적용
• 모든경로(K=4)가 동일경로상에서 발견
• 도화-남부터미널 통행에 적용
경로 1: 도화→주안→신도림→교대→남부터미널
총역수: 20개 역
일반화비용: 70.6분
신도림
급행노선
교대
남부터미널
주안
도화

결과 5: 합리적 요금부과

- 최단거리요금 부과시, 이용자의 행태와 다른 노선에 요금부과
- 이용자의 합리적 행태를 고려하여 요금부과방안 필요

최단거리통행

- 현재요금부과기준
- 무악재→오리
- 최단거리 요금부과
- 4회 환승
- 통행거리: 39.6km
- 통행요금:1,300원

실제통행가능경로

- 행태반영
- 무악재→오리
- 1회 환승(수서)
- 통행거리: 44.8km
- 통행요금:1,400원

- 이용자의 가능한 합리적 통행행태에 따른 요금부과
- 요금부과와 수입금정산 기준일치

정산방법의 제안

각 기관 관계자 참관 하에 최적의 파라메타 추정

파라메타 추정 및 합의
- 일반화 비용
- 유사경로비율
- 로 짓 배 정

각 기관에서 제시한 샘플에 대하여 파라메타 추정

각 기관 관계자 참관 하에 모형 Switch-On

연락운임정산지표산출
- 일 - Km, 운행거리…

각 기관 정산을 위한 자료로서 활용

결론

- 향후 대중교통은
  - 기관의 수 증가
  - 수단의 다양화
  - 지역의 세분화에 따라 수입금 정산이 매우 문제시 될 것임.

- 본 연구는 통행자의 합리적 통행행태를 정산에 반영하기 위하여,
  1. 선택적 유사경로탐색 방법
  2. 일반화비용/환승모형
  3. 역간 수요배정모형을 제안하였음.

- 합리적인 수입금 정산의 기틀을 마련하였음.

연구활용

수입금 예측모형으로 발전

- 기관의 서비스 개선, 스케쥴의 변화 및 관련 홍보에 따른 수입금의 예측 모형으로 발전

시간대별 승객 행태의 반영

- 시간대별로 승객의 행태의 변화 반영이 필요함. 이는 동적 특성이 반영되도록 추진

요금과 정산의 단일화

- 현재 요금은 최단경로방식으로 추진되고 있으나, 합리적 통행경로에 의한 요금부과 기준마련

감사합니다.

부록 1

일반화비용/환승모형

- 지하철 / 전철 경로선택이유
  - 통행시간, 환승(정량지표)이 95% 차지

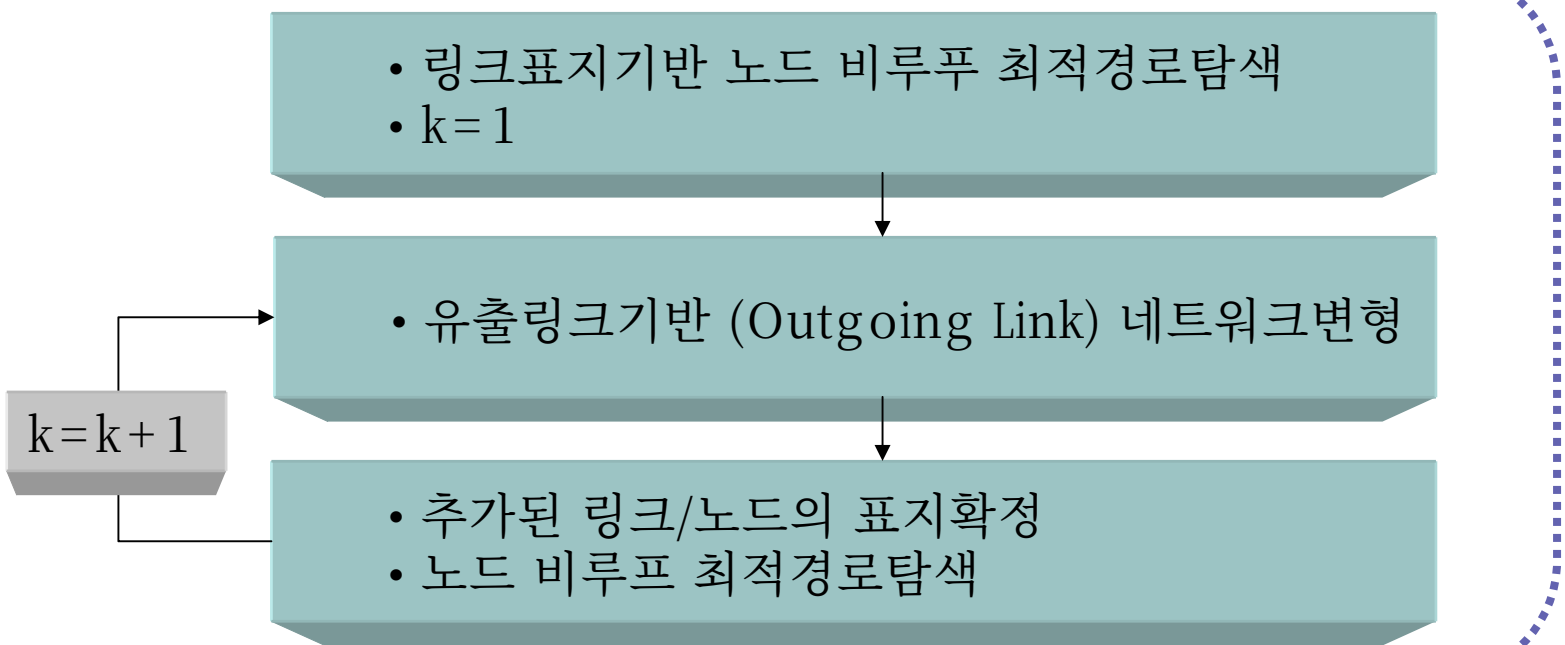
경로선택이유	비율	비고
총통행시간	49.20	통행시간, 환승(정량)
환승횟수	22.46	통행시간, 환승(정량)
환승시간	10.16	통행시간, 환승(정량)
환승역 환경	11.23	통행시간, 환승(정성)
열차배차간격	3.83	통행시간, 환승(정량)
한 구간 오래탑승	1.09	통행시간, 환승(정성)
익숙한 경로	1.64	통행시간, 환승(정성)
이용객이 적은 노선	2.19	혼잡

출처: 이경재, 2004, 서울대

부록 2

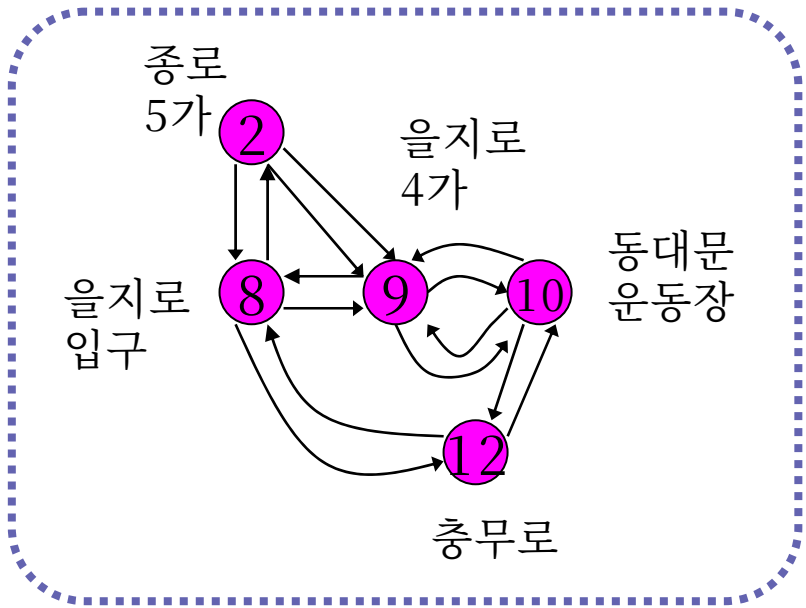
유사경로 결정모형 1

- 링크기반 노드 비루프 K 경로탐색알고리즘 개발제안
  - 경로에 노드의 반복이 존재하지 않는 K개의 경로탐색
  - 노드 비루프 탐색 링크표지기반 최적경로탐색
  - K번째 경로 탐색 후 네트워크변형을 통하여 삭제

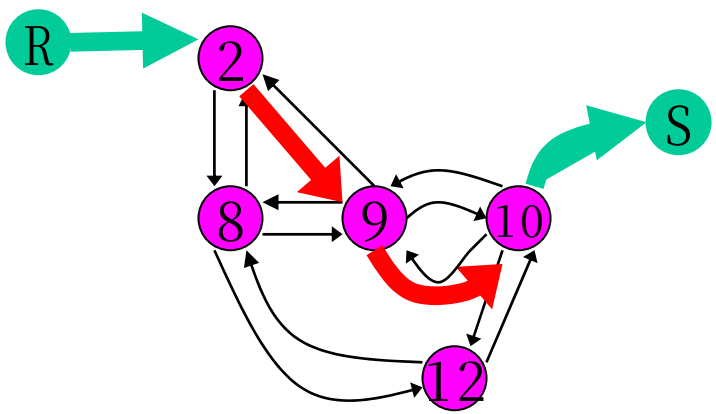


유사경로 결정모형 2

- 링크기반 노드 비루프 K 경로탐색알고리즘 예
  - 통행시간(분) 기준
  - 환승이동시간, 배차간격에 따른 환승횟수 가중치 적용

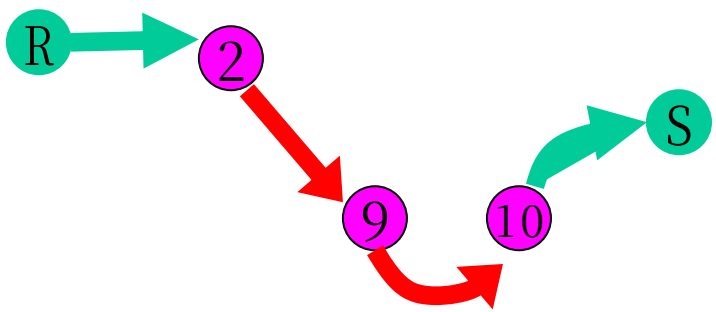


- 출발지 2 (종로3가), 도착지 10 (동대문운동장)
- 노드비루프 최적경로의 발견(2->9->10)
- 종로3가--(5호선)->을지로4가--(5호선)->동대문운동장



: 1차 확장링크

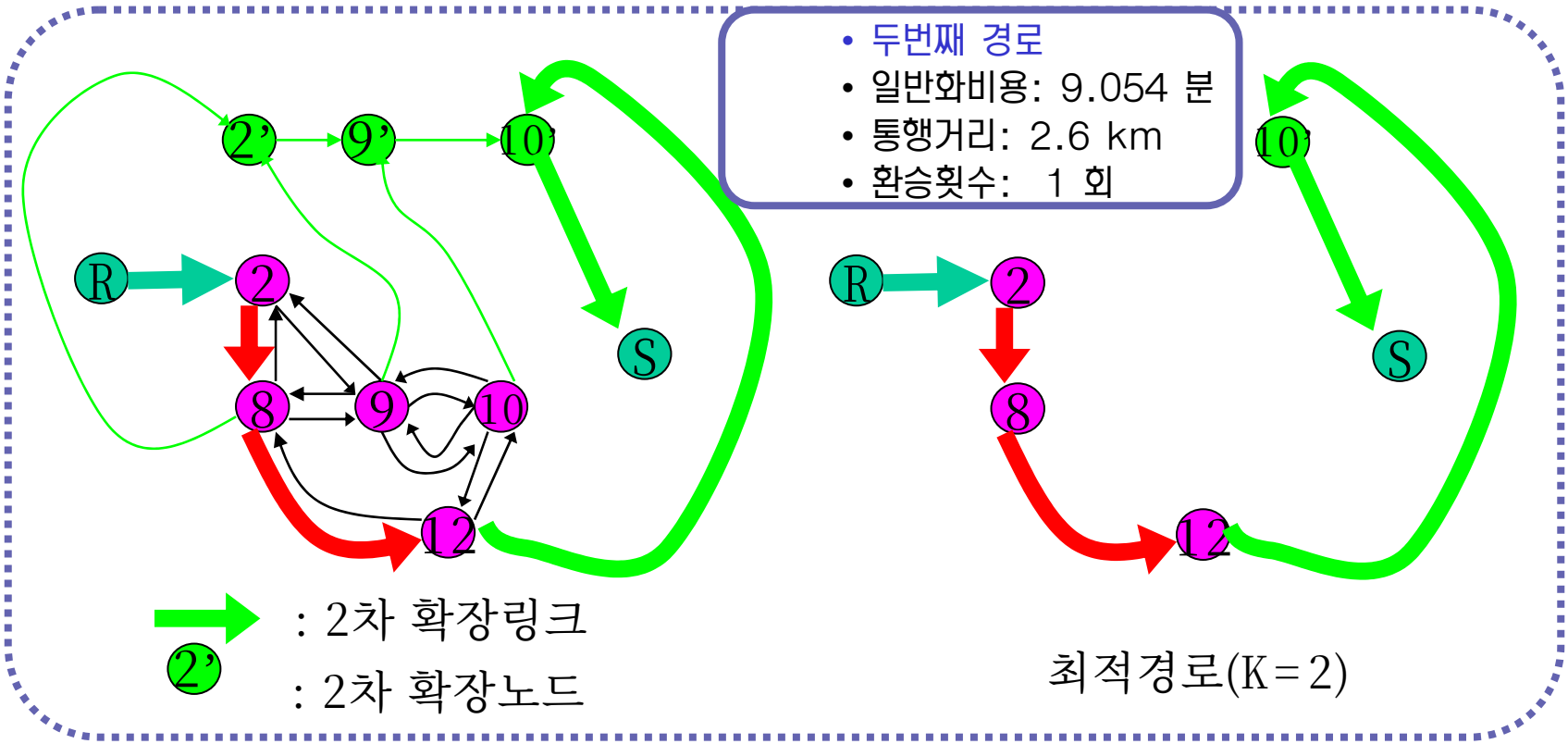
R : 1차 확장노드



최적경로(K=1)

- 일반화비용: 5.138 분
- 통행거리: 1.9 km
- 환승횟수: 0 회

- 노드비루프 두 번째경로의 발견(2->8->12->10')
- 종로3가--(3호선)->을지로3가--(3호선)->을지로4가--(4호선)
  ->동대문운동장
- 유사경로에서 제외: 첫번째 경로와 차이 큼



부록 3

합리적 요금부과

- 지하철/전철 수입금 증대효과
  - 통합거리비례제에 따른 지하철/전철 요금부과
  - 오리에서 전체 역으로 (K=1)의 통행거리도출에 따른 기존 요금액수와 비교(요금표 기준)
  - 32역 (총 308역)에서 100원 요금증대
  - 308역 평균 1.007(Km) 이용거리증대효과
    - 버스-지하철 연계통행에 대해서 전체적인 수입증대효과

역간 수요배정모형 1

- 경로대안(K)이 결정된 Logit모형
  - 비현실적 경로대안 도출 및 배정
  - 예) K=2, 동대문->신설동: 100(인), $\theta = 0.001$

·첫 번째 경로(k=1) : C=6.25 : 49.5(인), 1.3(Km), 64.3(인-Km)
·두 번째 경로(k=2) : C=27.60 : 50.5 (인), 11.6(Km), 586.2(인-Km)

역간 수요배정모형 2

- 경로대안(K)가 제안된 방안으로 구축된 Logit모형
  - 현실적 경로대안 도출 및 배정
  - 예) (K<5, 유사경로), 동대문->신설동: 100(인), $\theta = 0.001$
    - 단일경로탐색 (k=1) : C=6.25 : 100.0(인) , 1.3 (Km)
    - 130 (인-Km)

수도권 지하철·철도 수요배정

- 사용된 자료: 기·종점자료(magnetic, 서울지하철공사)
  정기권자료(도시철도공사, 지하철공사, 한국철도공사)
  스마트카드자료(한국스마트카드)

(출처: 2004,교통개발연구원,"수도권 지하철 정기권 도입방안")

- OD 추정: 통행배분모형인 Fratar법을 이용하여 추정
- 총OD쌍 : 152,795쌍에 대하여 균일배분($\theta = 0.001$)

자선구간	자선구간(인·km)			유사경로쌍
	지철	도철	기타	
단일경로	17,322,442	9,518,768	9,714,097	0
유사경로 (1%)	17,291,374	9,509,960	9,690,946	11,228
유사경로 (5%)	17,301,140	9,280,820	9,825,693	41,712
유사경로 (10%)	16,989,157	8,936,938	10,119,538	63,933

대중교통체계개편에따른수입금정산분석모형

A revenue allocation model for the recent new public transportation system

목 차

Ⅰ. 서론

Ⅱ. 이론적 배경

1. 대중교통체계개편 전 철도/지하철의 연락운임정산
2. 대중교통체계개편 후 수입금 정산
3. 외국 통합대중교통체계의 수입금 정산

Ⅲ. 모형

1. 모형개발방향
2. 유사경로탐색모형
3. 환승행태모형
4. 수요배정모형

Ⅳ. 사례연구

1. 유사경로선택을 위한 모형의 파라메타 정산
2. 수도권 지하철-전철에 대한 모형적용
3. 급행 및 완행에 대한 모형적용
4. 합리적 요금부과 기준

Ⅴ. 기관 간 정산절차

Ⅵ. 결론

참고문헌

부록

Ⅰ. 서 론

대중교통체계 개편전의 지하철 수입금은 철도청, 도시철도공사, 지하철공사 등 관계기관이 연락운임정산 프로젝트를 수년마다 발주하여 결과에 대해 합의함으로서 정산했으나 정산방식에 대한 공평성의 문제가 계속 제기되어 왔다.

서울시의 통합대중교통체계개편으로 수입금 정산 문제가 기존의 지하철 기관 간 문제에서 버스, 경전철, 민자9호선, 인천공항철도, 우이신설, 광명경전철, 영등포, 강남 신교통 등의 교통수단뿐만 아니라 경기도, 인천시 등 수도권의 지역 및 기관 간 문제로 확대될 것이다. 수도권의 이러한 통합교통망의 운영, 관리 문제는 세계에서 유래가 없을 정도로 복잡한 통합교통망으로 확대될 것으로 전망되고 있어 향후 수입금 정산 문제는 매우 예리한 기관 간 이슈가 될 것으로 기대되고 있다. 따라서 합리적인 수입금 정산방식에 대한 접근은 향후 기관 들간의 분쟁을 종식시키고 서비스 향상에 매진하도록 하는 기반이 될 것이다. 향후 전개될 이러한 복잡한 통합교통망을 효과적으로 운영하고 관리하기 위해서는 보다 이론적이고 논리적으로 시스템에 적용될 방안을 강구하는 것이 시급한 과제가 되고 있다.

개편 전 지하철/전철 관리기관의 정산방식에서 가장 큰 문제점은 역간 통행량을 환승저항을 고려한 단일노선에 전량 배정하는 방안이다. 이는 수입금이 단일노선에 포함되는 기관에만 집중되어 대등한 서비스를 제공하는 기관의 노선에 대한 수입금 배정이 무시되는 결과를 초래하고 있다.

개편 후의 정산은 버스와 지하철(철도)에 대해 수단 간 정산을 한 후, 지하철-전철 간 관리기관이 정산을 하는 복잡한 정산방식이 필요하다. 그러나 현재는 잠정적인 합의를 거쳐 운용하고 있으며, 이는 새로운 대중교통운영체계에 따라 개편 전에 제시된 정산방안을 다시 재검토해야 할 상황에 도달하였음을 의미한다.

본 연구는 지하철-전철 수입금 정산 시, 지하철-전철 운영기관간의 근원적인 분쟁소지인 정산문제를 합리적으로 해결하는 접근방식을 제안하였다. 발생 가능한 승객의 통행행태를 고려하여 유사경로를 찾고, 통행량을 이 다수의 유사경로에 배분하여, 각 개별기관의 운행기여도(인-km, 영업운행거리 등)를 산출하는 방안이다. 이는 지하철-전철 망에서 발생하는 승하차 통행량과 통행행태를 결정하는 주요 변수인 통행시간, 배차간격, 환승회수, 환승시간을 고려하

여 다음의 세 가지 문제를 현실적으로 반영하였다.

- 환승행태를 포함한 일반화 비용구축
- 역간 유사경로의 선택적 탐색
- 역간 수요의 확률적 배분

우선, 승객이 지하철-전철망을 이용하는데 비용으로 인식하는 일반화비용을 구축한다. 일반화비용에는 차내통행시간과 환승행태를 설명하는 주요변수로서 차내통행시간, 환승시간, 환승회수, 환승이동시간을 포함하여 일반화 비용을 표현한다.

일반화 비용이 구축되면, 이 비용을 최소화하는 통행을 최적통행으로 규정하고 역간 최적통행과 일반화 비용에서 근소한 차이를 나타내는 경로를 유사경로로 정의하고, 이들 유사경로를 탐색하는 방법론을 제시한다. 이를 위하여 전체경로삭제방법(Martins, 1984; Azevedo et al, 1993, 신성일, 2004; 신성일 & 노현수, 2004)을 활용하는 다수경로탐색알고리즘을 응용하여 유사경로만을 한정하여 탐색하는 방안을 개발한다. 유사경로가 탐색되면 이(들) 경로에 대하여 Logit모형을 활용하여 역간 수요를 확률적으로 배분하는 방안을 제안한다.

Ⅱ. 대중교통수입금 정산

대중교통수입금 정산방법은 2004년 7월1일부터 시행된 대중교통체계의 개편으로 변화하였다. 개편 전, 버스는 개별노선으로 관리되어, 정산은 지하철/전철의 연락구간정산을 위한 방안에 초점이 맞추어졌다(1987, 국토개발연구원, 1996, 교통개발연구원, 1998 교통개발연구원). 한편 체계개편과 함께 시행한 준공영제도와 통합거리비례요금제도, 환승할인제도, 손실금 보전 등에 의해, 기존 지하철/전철의 연락운임정산과 함께 버스와 지하철/전철의 정산문제에 대한 고려가 필요하게 되었다. 현재의 정산방법은 합리적인 방안을 수립하기 보다는 기관 간 잠정적인 합의에 따라 시행하고 있다. 본 장에서는 대중교통개편 전·후의 정산방법과 외국사례를 살펴본다.

1. 대중교통체계 개편 전 철도 지하철 연락운임정산

수도권의 전철과 지하철은 이용승객의 편의증진을 위하여, 기관 간 직통연락운행을 실시해오고 있다. 이러한 직통연락운행에 따라 기관 간 연락운임정산 및 비용정산의 문제가 계속발생하고 있다. 대중교통체계 개편 전 연락운임정산은 1997년부터 철도청(현재 한국철도공사), 서울시 지하철공사, 도시철도공사, 인천시 지하철공사의 4개 기관의 연락운임정산을 위해 수도권 전철과 지하철의 승객이용행태를 파악, 인-Km의 산출하고, 이를 기초정산자료로 활용하였다. 인-Km를 계산하기 위해, 역간 승객통행하경로를 파악하는 모형이 필요하다. 국토연구원(1987)에서 철도청과 지하철공사의 2개 기관을 대상으로 최단거리구간 통행행태를 가정하여 인-Km산정을 제안하였다. 이 때 다수의 통행경로구간에 대해서는 조사를 통한 Logit모형을 적용하였다. 교통개발연구원(1995)년에서 제안한 방법은, 승객은 최단통행역으로 통행한다는 가정을 기반으로, 인-Km를 산정하는 방안이다. 대중교통체계 개편 전까지, 이 방안으로 정산이 이루어져 왔다. 단일노선에 의한 정산방식은, 역간에 매우 유사한 다수의 경로가 존재하는 경우 단일노선에 포함된 기관에만 통행이 배정되기 때문에, 계속적으로 기관 간에 해결해야 할 난제로 남아 있었다.

<표1> 대중교통체계 개편 전의 정산시스템

수행기관	수행기법
국토개발연구원 (1987)	● 최단경로 ● 환승구간은 거리가중치로 환산 ● 유사경로조사로서 Logit 모형을 적용 ● 1,2,3,4호선, 경인선, 경부선, 경원선
교통개발연구원 (1995)	● 최단역수(역-역:1) ● 환승구간을 역수로 환산 (일반3, 경원선7) ● KOTRAS개발 ● 1,2,3,4호선, 경인선, 경부선, 경원선, 과천선
교통개발연구원 (1998)	● 1995년도 제안된 방법과 동일 ● 1,2,3,4,5 호선, 경인선, 경부선, 경원선, 과천선, 일산선

2. 대중교통체계 개편 후 수입금 정산

대중교통체계 개편 후의 정산방법은 통합거리비례제에 시행으로 버스와 지하철의 수입금 통합정산체제의 문제로 복잡하게 구축되었다. 정산규칙은 우선 버스와 전철 지하철(이하 철

도)의 수단에 대한 정산이 이루어지고, 다음에 전철과 지하철에 대한 연락운임정산이 시행된다. 버스와 철도수단에 대해서는 수단별 기본운임 비율기준으로 정산하며, 철도수단에서 초과운임이 발생하는 경우 철도기관으로 귀속되도록 하는 협의에 도달하였다.

식(1) 은 기본요금수단비율에 대한 정산이다.

$$A_m = C \cdot \frac{BF_m}{\sum_m BF_m} \qquad \text{식(1)}$$

여기서,

A_m : 수단 m의 정산금
C : 요금 부과액
BF_m : 수단 m의 기본요금

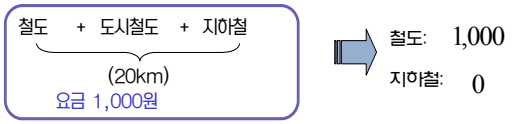
식(2) 는 지하철 추가요금 발생에 대한 정산에 대한 설명

$$A_s = C_s \cdot \frac{BF_s}{\sum_m BF_m} + SF_s \qquad \text{식(2)}$$

여기서,

A_s : 지하철 s의 정산금
C_s : (요금 부과액−s 추가요금)
BF_m : 수단 m의 기본요금
SF_s : 지하철 s의 추가요금

철도기관간의 정산방식은 기존의 단일노선 방식에서 적용하지 않고 우선 탑승하는 역을 관리하는 기관에 전액 배정된다. 그림1은 이러한 정산 예를 보여주는 것으로 철도 도시철도 -지하철의 순으로 통행이 이루어 졌다고 한다면, 초승 탑승기관인 철도에 전액 귀속된다.



<그림 1> 철도 도시철도 지하철의 요금정산

체계개편후의 정산방식은 보다 복잡해진 시스템에 적합한 분석기법을 제안하기 보다는 현재의 시스템을 가동하기 위하여 기관 간 잠정적으로 협의하여 시행하고 있다. 개편 전에도 기관 간에 갈등이 존재하는 시스템을 개편 후에 통합교통망으로 확대되면서 보다 많은 기관이 지역적으로 광역화되어 참여할 시스템에 대한 논리적인 정산기법이 요구된다.

3. 해외사례

통합대중교통 수단에 대하여 다수의 기관이 존재하는 정산문제는 해외 다수 나라의 사례에서 파악할 수 있다. 그러나 각 국의 정확한 정산방안에 대한 정보를 구득하기는 힘들며, 이에 대한 유추정도가 가능하다. <표 2>에서, 각 국가(또는 도시)의 대략적인 정산방법을 살펴보면, 정산은 첫째, 특정 기관에서 전담하는 경우가 있으며, 둘째, 서비스 제공기관의 기여도(또는 성과)를 기반으로 정산을 실시하며, 셋째, 대중교통 기관은 주로 정부+민간 형태로 운영된다.

<표 2> 요금제도 및 수입금정산체계 해외사례

도시/국가	요금제도	연락운송실태	수입금정산방법
맬버른/호주	구역요금	- 이용자별, 사용기간별 다양한 ticket - 철도 외 tram, bus와 연락운송	- 정부기관 Revenue Clearing House 운영 - 조사를 통한, 승객통행량 (passenger loads)기반 정산
바르셀로나/스페인	구역요금	- Ticket에 따라 환승가능 또는 불가능 · 1회 탑승, 환승 불가능 · 10회 탑승,(수단간)환승무료 · 특정구역, 1달 무제한 탑승 · 하루 모든수단 무제한 탑승	- 의회: 요금통합모니터링 위원회 구성 - 개인 수단간 chain 통행, 부과요금 기준 배분
파리/프랑스	구역요금	- Ticket별 무료환승 또는 불가능 · bus와 metro간 무료환승 적용없음 · 하루 무제한 이용 및 환승가능 · 주간, 월간 환승가능	- RATP와 SNCF간 가구설문조사 (매4~5년)로 연락통행 실태파악, 정산 - 민간버스업체는 일주일간 승객 수 조사(매 2년), 정산 - 정기권 할인결손은 교통세보조
동경/일본	거리비례요금	- 단일수단 거리비례요금 · 기관별 하루권 · 하루 모든교통수단 이용 · 1개월-선택된 거리,노선에 사용 · 1개월-모든 수단노선사용가능 · T-card(smart card)사용	- 승차권 발매실적 및 정산대상금액 자료를 각 기관별로 전산관리 - 매월 각 기관간 자료교환 및 정산협의하여 정산 - 각 기관간 요금수입이 확정되어 있어 정산문제는 적음
런던/영국	구역요금	- Oyster (smart card)이용 - Tube, DLR, Bus, Tram, National rail에서 사용가능 - 기간별, 이용자별로 다양한요금(ticket) 차별정책 적용	- 공동협의기구(TfL group)을 구성하여 여기에서 정산방법 및 정산액 결정 - 인/km 기준으로 배분 - 할인결손은 정부에서 보조
암스테르담 로테르담 /네델란드	구역요금	- 네델란드 전역 동일 요금시스템기간, 구역별로 다양한 strip card 사용	- 민-관 WROOV 시스템 개발, 운영 조사(행태분석 등)로 제공서비스 수준 (통행량) 산정 후 배분

정산에서 발생하는 문제는 수단간 환승에 대해 정확한 통행정보를 가지고 있는지의 여부로

유추할 수 있으며, 대부분 통행량 조사 후 이를 기반으로 하여, 수입금 정산을 실시한다. 일본의 경우, 철도시스템은 민영기관과 국영기관으로 구분되며, 각 기관별로 다른 요금을 부과하는 시스템을 구축하여, 수입금 분쟁은 발생하지 않는다(T-card(smart card) 사용 이전). 일본을 제외한 대부분의 국가에서는 이와 같은 시스템을 제공하지 못하며, 기관별 서비스 기여도를 산출하기 위해 통행량 조사를 실시하며, 세부적으로 각 개별수단 또는 수단간 통행량을 기반으로 수입금 정산을 한다.

Ⅲ. 모형

본 장에서는 대중교통체계 개편에 따라 적합한 정산모형을 구축하는 논리와 모형의 구성에 대해서 세부적으로 검토한다.

1. 모형의 개발방향

개별승객이 이용한 통행경로를 완전하게 파악하고, 개별승객의 인-Km를 전체적으로 합산하면, 정산자료를 완벽하게 계산할 수 있다. 현재 버스와 지하철의 개별승객 이용경로에 대해서, 버스탑승·하차 시 카드단말기에 카드를 접촉하는 이중 접촉방식을 택하고 있기 때문에, 승객통행정보를 정확하게 파악한다고 가정할 수 있다. 지하철-전철통행에 대해서도 개별승객이 탑승역에서 단말기에 접촉하고 하차역에서 단말기에 접촉하는 이중접촉방식을 채택하고 있다. 그러나 철도통행에서 통행경로의 산정시 문제가 발생한다. 이유는 환승통행하는 경우에는 환승역에서 카드접촉이 없기 때문에 중간에 발생하는 경로에 대해서는 정확한 통행추적이 어렵다. 따라서 정산모형은 지하철-전철의 환승통행행태를 포함한 경로행태를 반영하는 것이 필요하다. 또한 기존의 정산모형에서 가장 문제시 되던 것은 단일경로배정방식을 취하고 있다는 것이다. 이 방법은 출발역과 도착역 사이에서 발생하는 수요에 대하여 단일경로에 전부 배정하기 때문에 산정된 단일경로와 유사한 노선을 보유하고 있는 기관은 정산 시 손해를 보고 있다는 분쟁을 유발하였다. 기관간의 이는 역간 서비스수준이 유사한 경로에 대해서는 산정이 가능하도록 다수의 유사경로를 모형에서 추적하고 유사경로에 역간 수요를 어느 정도 배분할 것인가에 대해서 합리적으로 설명할 수 있는 방안이 필요하다.

2. 선택적 유사경로탐색 알고리즘

유사경로는 “최적의 경로와 비교하여 크게 비용측면에서 크게 차이가 나지 않는 경로”로 정의된다. 지하철 전철망에서 유사경로는 역간 승객이 이용할 만한 경로를 의미한다. 망이 단순하면 대중교통망의 특성상 대부분의 경로는 단일경로로서 산출되나 망이 복잡해지면 유사경로의 수는 급격하게 증가된다. 현재 서울시의 중심부에는 많은 환승역을 포함하여 다양한 접근경로가 존재하기 때문에 유사경로의 수는 초기에 비하여 매우 증가되었다.

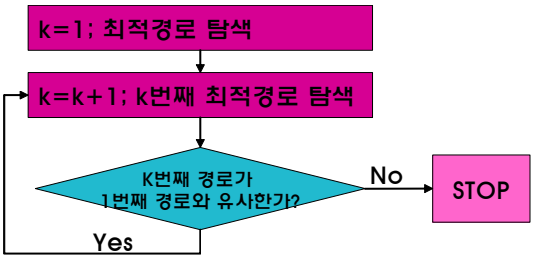
전철 지하철 Network에서 역간 승객이 이용할 만한 다수의 유사통행경로를 파악하기 위한 방법은 1) 설문조사를 이용한 유사통행실태조사, 2) 통행행태를 파악하기 위한 역간 이용자 행태모형으로 구분된다. 설문조사를 이용한 유사통행실태조사는 조사의 비용과 조사 후 다시 정산에 반영하기 위해서는 다양하고 복잡한 모든 경로에 대하여 수작업으로 진행해야 하는 시간적 손실을 감수해야 하는 단점이 있다. 반면 이용자 행태모형을 구축하는 방안은 이용자의 경로선택행태에 대하여 조사가 이루어지면 바로 모형을 적용하여 비용과 시간적인 측면에서 장점이 존재한다.

유사경로를 고려한 행태모형을 구축하는 방안으로 일반화비용을 구축하여 Logit모형을 활용하는 방안이 일반적으로 알려져 있다. 수도권 전철 지하철 초기 정산사례와 현재의 국외사례에서 Logit모형을 활용하여 정산하는 방안이 시도되었다. 그러나 이 방법은 Logit모형의 특성상 대안의 수가 정해져야 하기 때문에, 역간 유사경로의 수가 다양하게 전개될 수 있는 통행에 적용하기에는 이론적으로 한계가 있다. 유사경로를 선택하는 대안으로서 역간 유사경로를 탐색하기 위하여 다수의 경로탐색알고리즘을 활용하였다. 이 방법은 유사경로를 미리 탐색한 후에 경로의 일반화비용을 고려하여 다양한 통행배정기법 단일노선배정, 균일배분, 최적전략배분, Logit모형 의 활용이 가능하다는 장점이 있다.

기존에 알려진 다수의 경로탐색알고리즘은 대부분 노드기반(Yen, 1971; Shier, 1979;

Azevedo, et al, 1993)으로 구축된 방식과 링크기반으로 구축된 방식(Lee, 2004; 신성일, 2004)으로 구분된다. 본 연구는 네트워크의 표현과 환승페널티를 반영이 용이한 링크기반방식에서 알고리즘의 수행속도측면에서 활용성이 높은 신성일(2004)가 제안한 K비루프기반 경로탐색 알고리즘을 활용한다. K 비루프기반 경로탐색 알고리즘은 탐색된 K번째 경로가 재 탐색되지 않도록 경로의 전체를 삭제하는 방식(Entire Path Deletion)에 기반을 두고 있다. 이 알고리즘은 기존에 Avezedo, et al(1994)가 제안한 노드기반알고리즘에서 발생하는 루프생성의 단점을 보완하고 회전지체가 존재하는 통합교통수단이 존재하는 가로망에 적용이 가능하도록 개발하였다(신성일,노현수,2004).

연구에서 유사경로를 파악하기 위한 과정은 그림과 같다. 우선 일반화비용이 최소가 되는 최적경로를 탐색하고 k번째 탐색된 경로가 최적경로와 유사하면 이 경로를 유사경로에 포함하고, k+1번째 경로를 탐색하며 유사하지 않을 때까지 계속 진행한다. 만약 k+1번째가 유사하지 않으면, 유사경로는 k개로 결정한다.



<그림 2>유사경로탐색 알고리즘

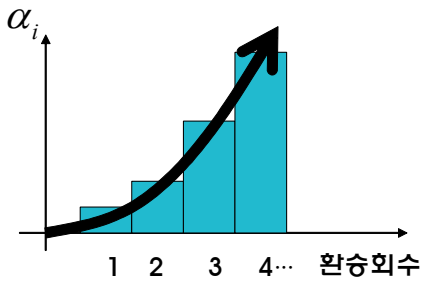
3. 일반화비용과 환승모형

승객의 통행은 통행비용을 최소화하는 행태로 표현된다. 일반적으로 지하철-전철의 통행에서 통행비용에 영향을 미치는 일반적인 변수로는 총통행시간, 환승회수, 환승통행시간, 환승역의 환경, 경로의 익숙성, 혼잡도, 에스컬레이터 유무, 배차간격 등이 존재한다(이경재,2004). 승객은 통행에서 환승이 존재하는 경우 가능한 한 환승을 피하려는 행태를 나타낸다고 알려져 있다. 따라서 환승이 존재하는 전철 지하철 network 에서 환승통행은 승객의 경로의 선택행태를 설명하기 위하여 매우 중요한 변수로 포함해야 하며, 이는 일반화비용에 내제되어 표현해야 한다.

본 연구에서 환승통행을 일반화비용에 포함하는 방안은 다음 식(3)과 같이 구성하였다. 식(3)에서 일반화비용은 통행시간, 환승회수, 배차간격, 환승이동시간으로 구성하였으며, 환승회수는 환승에 필요한 총환승시간, 즉 환승이동시간과 배차간격에 대하여 가중치로서 적용하여 환승이 많아지면 환승을 회피하도록 구성하였다. 그림은 식에 대하여 환승횟수가 증가될수록 환승에 대한 가중치가 높아지도록 표현하는 상황을 보여주고 있다.

$$C = InVeh + \alpha_i (TT + H) \qquad \text{식(3)}$$

C : 일반화비용
α_i : 환승계수
$InVeh$: 차내통행시간(분)
TT : 환승시간(분)
H : 배차간격(또는 대기시간)(분)



<그림 3>환승회수에 따른 환승계수 α_i

4. 역간 수요배정모형

경로를 발견하면 역간의 수요를 배정하여 최종적인 인-Km기여도를 산출한다. 수요를 배정하는 방안으로는 단일노선배정, 균일배정, 최적전략배정, 확률배정 등으로 목적에 맞게 다양하게 구성될 수 있으나, 본 연구에서 제안하는 방법은 탐색된 유사경로에 대하여 Logit모형을 적용하여 배정하는 방안이다. 유사경로를 탐색하면 탐색대안이 결정되었으므로 각 경로에서 도출된 일반화통행비용에 대한 경로별 선택확률을 계산하여 수요를 배분한다. 이때 수요배분에 관련된 파라메타를 이용하여 단일노선배정, 균일배정, 확률배정 등으로 활용이 가능하다. 또한 경로를 구성하는 열차의 배차간격에 대한 정보도 용이하게 파악이 가능하므로 최적전략

배정을 확률적으로 활용하는 방안으로도 용이하게 전개가 가능하다. 식은 본 연구에서 제안하는 Logit모형에 의한 배정방법에 대하여 나타내고 있다.

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

$\theta \to 0$: 균일배정

$\theta \to \infty$: 단일노선배정

Ⅳ. 사례연구

3가지 사례연구를 통하여 제안된 정산방안의 현실적 활용 가능성에 파악한다.

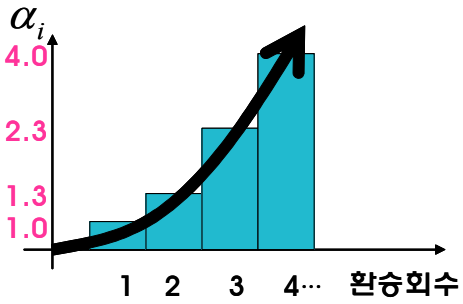
1. 유사경로선택을 위한 모형의 파라메타 정산

유사경로는 최적경로와 일반화비용이 차이가 나지 않는 경로를 의미한다. 유사경로를 결정하는데 영향을 미치는 변수는 경로를 최적경로의 비율과 비교하는 Diff와 경로의 일반화비용에서 환승회수 α_i 이다. 최적경로와 어느 정도 차이가 나지 않을 경로를 일반화 비용에 포함시키는가를 나타내기 위하여 경로이용행태에 대한 설문조사(표 (3))를 실시하여, α_i 에 Diff=0.1로 설정하고 설문조사와 거의 100%일치하는 최적의 α_i 는 그림과 같다.

$$Diff = (C_k - C_1)/C_1 \qquad \text{식(5)}$$

C_1 : 최단경로의 일반화비용

C_k : k번째 경로의 일반화비용



<그림 4> 환승계수 α_i의 추정 값

<표 3>설문조사 내용

구분	출발역	경유역1	경유역2	경유역3	도착역	호선1	호선2	호선3	호선4
1	부천	온수	고속터미널		남부터미널	95	7	3	
2	부천	신도림	교대		남부터미널	95	2	3	
1	종합운동장	교대			남부터미널	2	3		
1	남부터미널	고속터미널			철산	3	7		
2	남부터미널	교대	대림		철산	3	2	7	
1	청동	충무로			남부터미널	4	3		
2	청동	옥수			남부터미널	1	3		
1	송설대입구	고속터미널			남부터미널	7	3		
1	미금	도곡			남부터미널	92	3		
2	미금	수서			남부터미널	92	3		
1	신림	교대			남부터미널	2	3		
1	증산	약수			남부터미널	6	3		
2	증산	합정	교대		남부터미널	6	2	3	
2	증산	합정	을지로3가		남부터미널	6	2	3	
1	사초	사당			명동	2	4		
2	사초	교대	충무로		명동	2	3	4	
1	금정	남태령	사당	교대	남부터미널	96	4	2	3
2	금정	남태령	송산대입구	고속터미널	남부터미널	96	4	7	3

추정된 환승계수를 이용하여 총 유사경로를 산출하고 이를 조사한 자료와 비교해 볼 경우, 증산→남부터미널을 제외하고 모두 일치하였다. 이에 대한 사항을 그림5에서 살펴볼 수 있다. 증산→남부터미널에 대해 추정한 유사경로는 총4개(K1,K2,K3,K4)로 조사한 경로보다 하나가 더 많다. 이 중 K4는 본 모형에서 최단경로로 선택되었다. 경로의 특성 상 이 노선의 선정 결과는 매우 합리적인 것으로 파악된다.

<그림 5> 증산→남부터미널 유사경로 탐색결과

2. 기존 지하철/전철 연락운임정산과의 비교

기존의 지하철-전철 간 연락운임정산을 위해 사용한 자료로, 기·종점자료 (서울지하철공사), 정기권자료(도시철도공사, 지하철공사, 한국철도공사), 스마트카드자료 (한국스마트카드)가 이용되었다. OD추정을 위해 사용된 방법은 기 수집된 자료를 통행분포모형인 Fratar법을 이용하여 추정하였고, 여기서 얻은 OD 쌍은 총 152,795쌍이 발생하였다(교통개발연구원, 2004).

총 OD 쌍에 대하여 환승모형을 적용하여 유사경로(1%, 5%, 10%)에 Logit 모형을 이용한 통행배정을 실시하여 얻은 기여도(인-km)를 살펴보면 <표4>와 같다. 유사경로 비율을 증가시킬수록 (지하철공사-기타)구간에서만 기여도(인-km)가 감소하였고, 나머지 구간에 대해서는 증가하는 추세를 보였다. 특히 (지하철공사-도시철도공사-기타)구간에서 두드러진 증가율을 보였다. 이는 통행자가 경로에 대한 정보를 많이 가질수록 이에 (지하철공사-기타)연락구간에서 다른 연락구간으로 이용이 증가한다는 것을 의미한다.

<표4> 유사경로 선정비율에 따른 연락구간 수송실적(인-km)

구분	연락구간(인-km)				유사경로쌍
	지철-도철	지철-기타	도철-기타	지철-도철-기타	
최적경로	12,390,549	23,927,645	4,411,147	5,597,646	0
유사경로(1%)	12,418,898	23,878,471	4,424,198	5,670,612	11,228
유사경로(5%)	12,593,821	23,705,259	4,444,580	5,843,794	41,712
유사경로(10%)	12,970,998	22,441,437	4,494,136	7,303,008	63,933

3. 급행 및 완행열차에 대한 적용

급행(직통열차) 및 완행를 고려하였다. 현재 운행중인 주안 용산 간 직통열차를 고려하여, <그림 6>과 같이 급행노선 정차역에는 급행노선과 완행노선이 모두 정차하고, 환승이 가능하도록 네트워크를 구축하였다.

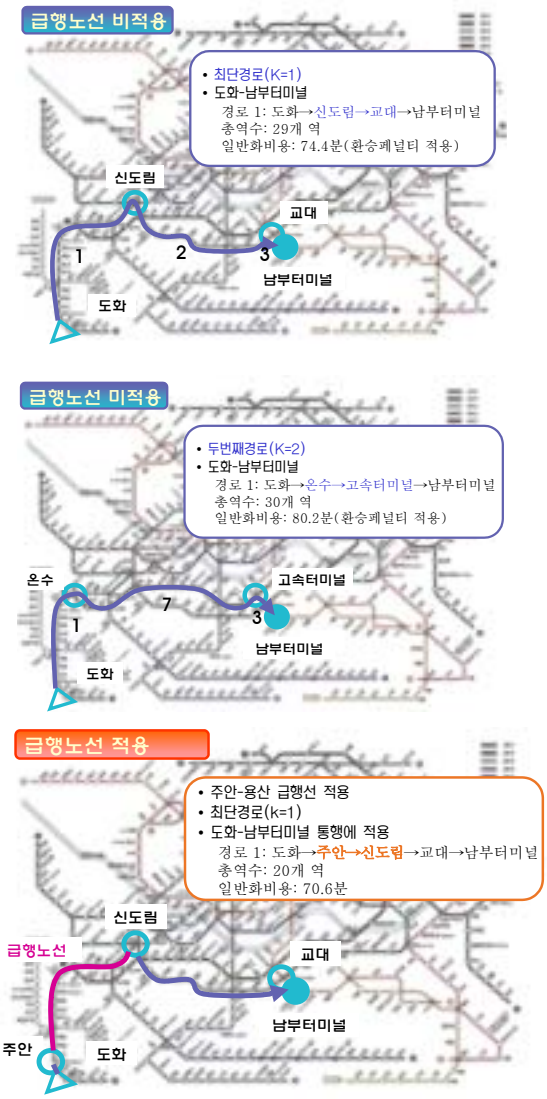
<그림 6>주안-용산 급행노선 구간

<그림 7>은 도화→남부터미널까지 통행에 급행노선을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우에 대해 나타낸다. 급행노선을 적용하지 않았을 경우, 환승페널티를 고려한 최단경로(k=1)은 도화(1호선)→신도림(2호선)→ 교대(3호선)→남부

터미널로, 일반화비용 C_1은 74.4분이고, 환승2번에 총 이용역수는 29개이다. 그리고 두 번째 경로(k=2)는 도화(1호선) →온수(7호선)→고속터미널(3호선)→남부터미널이 제시되었고, 일반화비용 C_2는 80.2분, 환승2번 이용역수는 30개이다.

급행노선을 적용한 경우의 최단경로는 주안→용산간 급행노선을 이용하여 도화(1호선,완행))→주안(1호선,급행)→신도림(2호선)→교대(3호선)→남부터미널로, 70.6분의 일반화비용을 갖고, 환승3번 총 20개 역을 이용하였다.

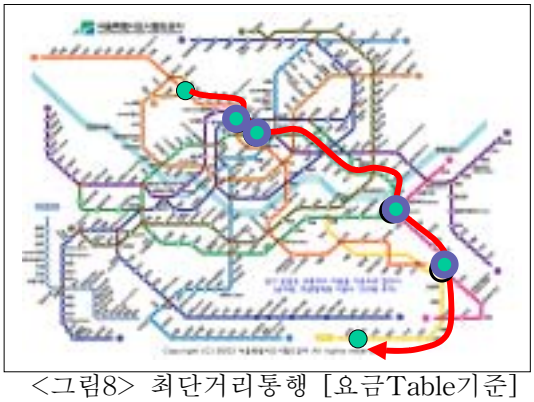
이는 위에서 조사된 자료를 볼 때(부천→남부터미널), 통행시간을 단축하기 위하여 환승을 허용하더라도 급행노선 구간을 선택하는 이용자의 행태를 좀 더 명확히 반영할 수 있는 근거를 제시한다.



<그림 7> 주안-용산 급행노선 추가에 따른 경로변화

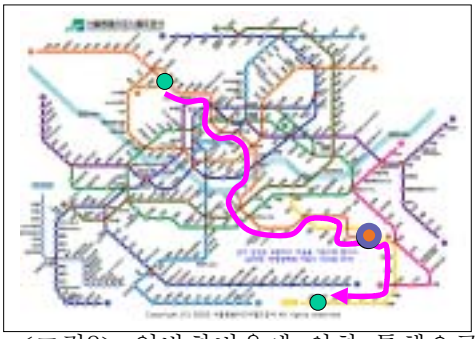
4. 합리적 요금부과기준

현재의 통합거리비례제 요금부과는 승객이 수도권 전철-지하철 망을 최단거리로 이용한다는 가정을 기반으로 하여 산출한 것이다. 이는 실제로 승객의 행태와 매우 다르게 전개 될 수 있다. 예를 들면, <그리 8>의 무악재에서 오리까지의 통행을 현재 요금이 부과되고 있는 통행으로 나타내면, 환승이 종로3가, 을지로4가, 잠실, 복정에서 4번 발생하여, 총 39.6Km를 통행했다고 가정하는 것이다.



<그림8> 최단거리통행 [요금Table기준]
통행거리: 39.6 Km
환승횟수 :4
통행요금: 1,300원

그러나 실제 통행을 일반화 비용 측면에서 고려하여 요금을 부과하면, <그림 9>와 같이 수서역에서 1회 환승하고, 총 44.8Km를 이동한 것이 합리적으로 나타나며, 이때 통합거리비례제에 의한 요금은 1,400원으로 계산할 수 있다.

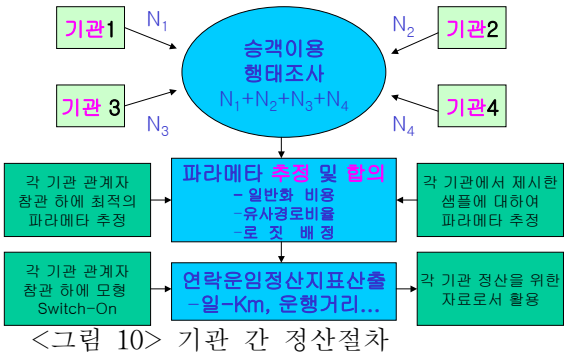


<그림9> 일반화비용에 의한 통행요금
통행거리: 44.8 Km
환승횟수 :1
통행요금: 1,400원

오리에서 요금Table에 포함된 308개 역에 대하여 계산한 결과 총32개역에서 100원의 요금 증가가 발생하였으며, 평균통행거리의 증가는 역1.007Km에 해당하는 것으로 파악하였다. 이는 버스의 통행거리와 합산하는 경우 지하철-전철 기관의 수입금뿐만 아니라 버스의 수입금도 증가되는 효과가 나타날 수 있다.

Ⅴ. 기관 간 정산절차제안

대중교통 민자노선의 투입, 관계기관의 증가, 지역적 세분화 등에 의하여 향후 대중교통의 수입금 정산문제는 기관 간 분쟁의 원인이 될 수 있을 정도로 심각하게 이슈화 될 전망이다. 따라서 합리적인 정산방안이 제시되면 관계기관의 의견을 충분히 반영 하여 사전에 분쟁을 종식시키고 서비스 향상에 매진 할 수 있도록 해야 한다. <그림 10>은 기관 간 정산절차를 간단하게 제안한 것이다. 우선 관계기관은 기관의 의견반영에 필요하다고 생각되는 자료(역간정보)를 일정 수에 맞추어 제출한다. 정산분석기관에서는 제출된 자료에 대하여 분석이 가능한 설문조사를 실시하고 제안한 모형에 대하여 가장 근접된 설문결과를 설명하도록 파라메타를 조정한다. 이때 각 기관에서는 추정한 파라메타에 대하여 검토하고, 모형에 대하여 개별자료를 분석하여 가능한 만족조건에 들어오면 협의과정을 거친다. 각 기관의 협의에 의하여 결정된 변수와 파라메타를 대상으로 본 연구에서 제시한 모형을 수행하여 각 기관의 전체 교통망에서의 기여도를 인-Km, 영업거리 등 필요한 지료로서 산출한다.



<그림 10> 기관 간 정산절차

Ⅵ. 결론

서울시의 통합대중교통체개편으로 수입금 정산 문제가 향후 수도권, 인천시를 포함한 지역 및 기관, 또한 버스와 지하철/전철의 통합교통망문제로 확대될 것으로 전망된다. 이처럼 복잡한 통합교통시스템을 효과적으로 운영, 관리하기 위해서는 보다 이론적이고 논리적으로 시스템에 적용될 방안을 강구하는 것이 필요하다. 대중교통체계개편 전의 정산방식은 지하철/전철 교통망에서 역간 수요의 환승행태를 반영한 최단노선에 전량 배정하는 방안으로, 이는 수입금이 최단노선에 포함되는 기관에만 집중되어 대등한 서비스를 제공하는 기관의 노선에 대한 수입금 배정이 무시되는 결과를 초래한다는 것이다.

본 논문은 복합대중교통시스템에서 역간 통행을 이용가능성이 존재하는 유사한 다수경로에 배정하는 방안을 제안하는 것으로 유사경로탐색알고리즘, 환승행태모형, 역간수요배정모형을 제안하였다.

유사경로탐색알고리즘은 링크표지기반 다수경로탐색알고리즘을 활용하여 최적경로와 유사한 경로만을 선택하는 과정을 반영하였다. 환승행태모형은 승객의 환승인지과정이 경로선택에 영향을 주도록 환승이동시간과 배차간격이 환승회수에 영향을 받도록 반영하는 방안을 제시하였다. 역간수요배정은 발견된 유사경로에 대하여 Logit모형을 적용하여 확률적으로 배분하는 방안을 제시하였다.

사례연구를 통하여 유사경로의 포함범위가 모형에 내제된 유사경로비율과 환승회수 파라메타를 통하여 결정될 수 있음을 예시하였으며, 기존에 제시하였던 단일경로방식과 유사비율에 대하여 수도권 지하철, 철도 운영기관 간의 연락통행으로 발생하는 기여도를 파악할 수 있도록 하였다. 또한 급행과 완행으로 운행되는 스케쥴의 변화에 따른 기여도도 승객의 행태모형에 반영할 수 있다는 사례를 제시하였다. 마지막으로 승객의 통행행태를 반영한 일반화 비용에 의해서 탐색된 경로는 현재 요금부과기준이 되고 있는 최단거리통행에 비하여 환승을 적게 하면서 통행거리를 장거리로 채택하는 경향이 나타나는 것으로 파악되었다. 따라서 요금부과기준을 합리적인 행태에 따라 부과하는 경우 버스와 지하철-전철 수단 모두 수입금이 증대되는 효과가 있는 것으로 파악되었다.

끝으로 기관 간에 정산을 위하여 필요한 방안으로 설문조사, 파라메타 추정, 협의 등의 단계에 대하여 논의하였다.

■ 참고 문헌

1) 김연규 외(2004), 수도권 지하철 정기권 도입방안 최종보고서, 교통개발연구원.
2) 신성일(2004), 교통망에 적합한 K 비루프 경로 탐색 알고리즘, 대한교통학회 제22권 제6호.
3) 신성일 & 노현수 (2004), K 링크 비루프 최적경로 탐색알고리즘과 복합대중교통망에의 활용, 교통정책연구, 교통개발연구원
4) 음성직 외(1987), 수도권 전철・지하철연락 운임정산을 위한 조사연구(착수보고서) 국토개발연구원.
5) 이경재 (2004), 환승역사동선체계를 고려한 환승패널티 추정, 서울대학교 석사학위논문, 서울대학교.
6) 이재림 외(1995), 수도권 전철과 지하철의 운임제도 개선 및 연락운임 정산방안 연구-최종보고서-, 교통개발연구원.
7) Azevedo JA, Santos Costa MEO, Silvestre Madeira JJER, Martins. EQV(1993), An algorithm for the ranking of shortest paths. European Journal of Operational Research 69:97.106.
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) Shier R. D. (1979) On Algorithms from Finding the k Shortest Paths in a Network, Networks, Vol. 9, pp.195-214.
10) Martins EQV(1984), An algorithm for ranking paths that may contain cycles. European Journal of Operational Research 18
11) Yen J.Y.(1971), Finding the K shortest Loopless Paths in a Network, Management Science, Vol.17, pp.711-715.