

---

# **Public Transport Demand Optimization – Interface with Agent based Model, LinTim and Gurobi**

**2024. 04. 18**

**Mobility Design Lab (한국교통연구원 김찬성 선임연구위원)**

---

## 발표순서

- I. 교통분야 대표 최적화 개요
- II. Old) 전통적인 교통수요분석 방법
- III. 기존 (대중교통) 수요분석의 한계
- IV. 새로운 도전 전략 예시
- V. 교통분야 최적화 전망

## **I. 교통분야 대표 최적화 개요**

# 1. 교통분야의 대표 최적화 사례

## 교통분야 최적화 적용 사례

- 서울-양평 고속도로 등 도로사업 평가 (대표 사례)
- GTX 등 철도사업 등 철도사업 평가 (대표 사례)
- 교통량 대응 신호등 주기 등 다수

## 예비타당성조사제도에서 대표적으로 적용

- 일정규모 정부 재정이 투입되는 사업
- 매년 표준적인 자료와 분석모형 갱신 그리고 비용-편익산정 지침으로 운영
  - 자료는 한국교통연구원 국가교통DB(KTDB)에서 구축
  - 개별사업 선정과 평가는 기재부(국토부)와 한국개발연구원 공공투자관리센터(PIMAC)

## 2. 국가교통DB개요

www.ktdb.go.kr

- 2010.8-2016.12 : 사업단장
- 기종점통행표, 통계(자가용), 주행거리 생성, 통신 데이터 활용

2018-OD-PSN-MOD-10 전국지역간 주...	2020-02-12 오후 1:42	파일 폴더
2018-TRNT-AG-00 (도로철도통합)전국 ...	2020-02-12 오후 1:42	파일 폴더
1. 존체계	2020-02-12 오후 1:42	파일 폴더
2. 설명자료	2020-02-12 오후 1:42	파일 폴더
3. 사회경제지표	2020-02-12 오후 1:42	파일 폴더
4. 재차인원	2020-02-12 오후 1:42	파일 폴더
5. OD	2020-02-12 오후 1:43	파일 폴더
6. 연평균 일통행량(AADT) 전환계수	2020-02-12 오후 1:42	파일 폴더
2017년 주수단별OD(250)	2019-05-31 오전 9:31	Microsoft Excel ... 6,137KB
2020년 주수단별OD(250)	2019-10-07 오전 9:47	Microsoft Excel ... 6,102KB
2025년 주수단별OD(250)	2019-10-07 오전 9:47	Microsoft Excel ... 6,127KB
2030년 주수단별OD(250)	2019-10-07 오전 9:48	Microsoft Excel ... 6,127KB
2035년 주수단별OD(250)	2019-10-07 오전 9:48	Microsoft Excel ... 6,125KB
2040년 주수단별OD(250)	2019-10-07 오전 9:48	Microsoft Excel ... 6,127KB
2045년 주수단별OD(250)	2019-10-07 오전 9:49	Microsoft Excel ... 6,126KB

출발시도	도착시도	출발시군구	도착시군구	승용차	버스	일반철도/지하철	고속철도	항공	해운	합계
1	1	1	1	58,739	49,801	11,465	0	0	0	120,005
1	1	1	2	40,458	10,790	23,332	0	0	0	74,580
1	1	1	3	6,506	4,169	6,986	0	0	0	17,661
1	1	1	4	7,659	2,079	10,115	0	0	0	19,854
1	1	1	5	7,443	2,246	4,661	0	0	0	14,350

---

## II. Old) 전통적인 교통수요분석 방법

# 1. 교통망평형원리-비선형최적화

어느 누구도 경로를 바꾸어 통행시간을 줄일 수 없다 (Wardrop, 1952)

- 목적함수 : 링크들의 총 통행시간을 최소화
- 제약조건 : 링크간의 교통량 보존
- 비선형인 이유 : 통행시간은 교통량변화에 비선형적 구조 (도로 유형별로 차이)
- 교통망 평형 원리로 알려짐
- 사람이 아닌 지역의 집계된 양을 분석단위로 사용 (지역 A, B, C, D)

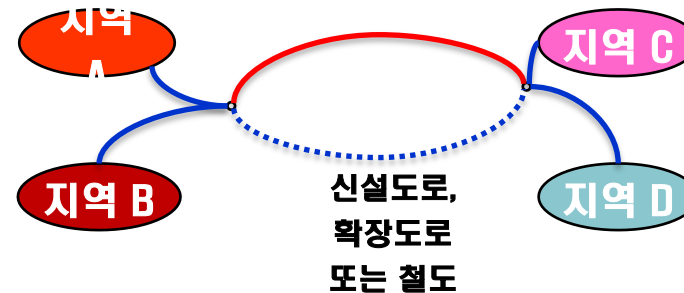
$$t_a = t_f \left[ 1 + 0.15 \left( \frac{V}{C} \right)^4 \right]$$

$t_a$  = 링크 a의 통행시간

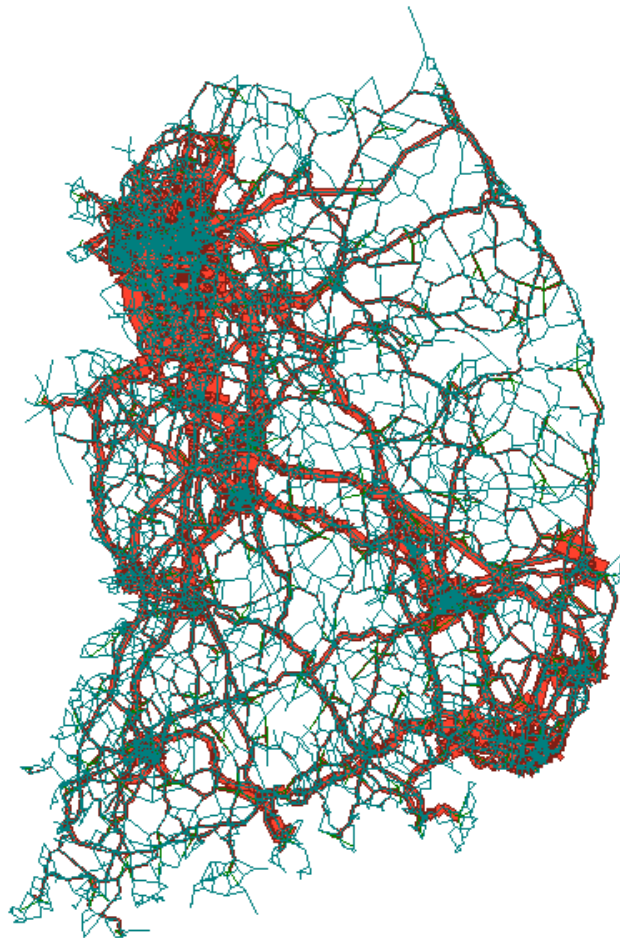
$t_f$  = 링크 a의 자유교통류 통행시간

$V$  = 링크 통행량

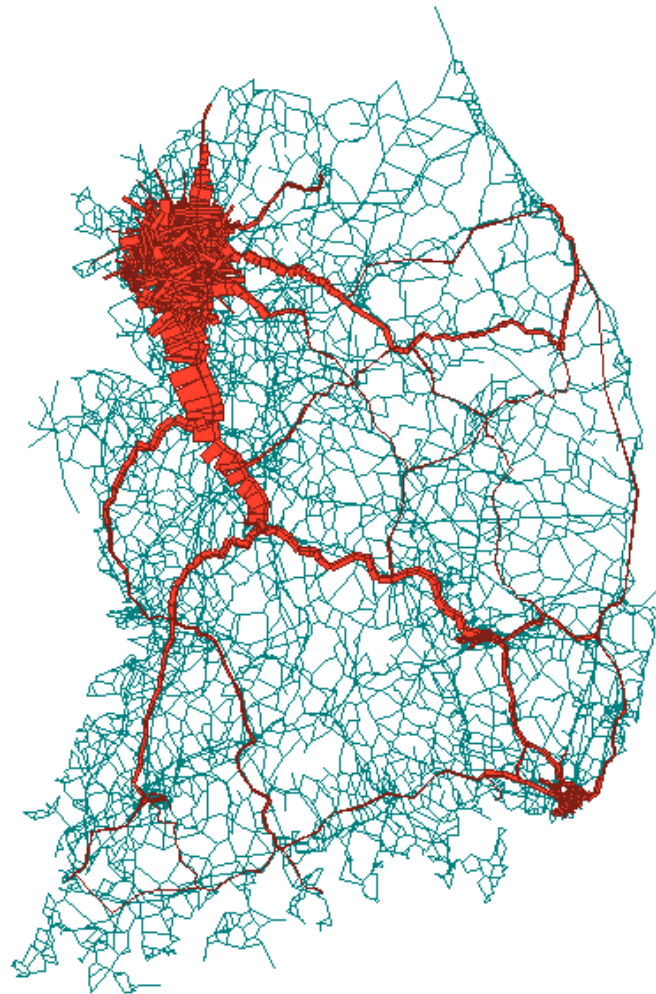
$C$  = 링크 용량



## 2. 평형통행배정 – 80년 전의 수리모형 최적화의 수렴 결과



전국 도로 부분 통행배정 결과



전국 철도 부분 통행배정 결과



---

### III. 기존 (대중교통) 수요분석의 한계

# 1. 기존 수요분석체계의 한계와 새로운 대안

## 개인의 이동화 활동 특성이 무시

- 개인이 선호하는 출발시간을 고려하기 어려움
- 평균적인 사람이 이동하는 통행만을 표현
- 현대의 smart mobility 서비스를 모델링하기 어려움 (전기차 충전 활동)

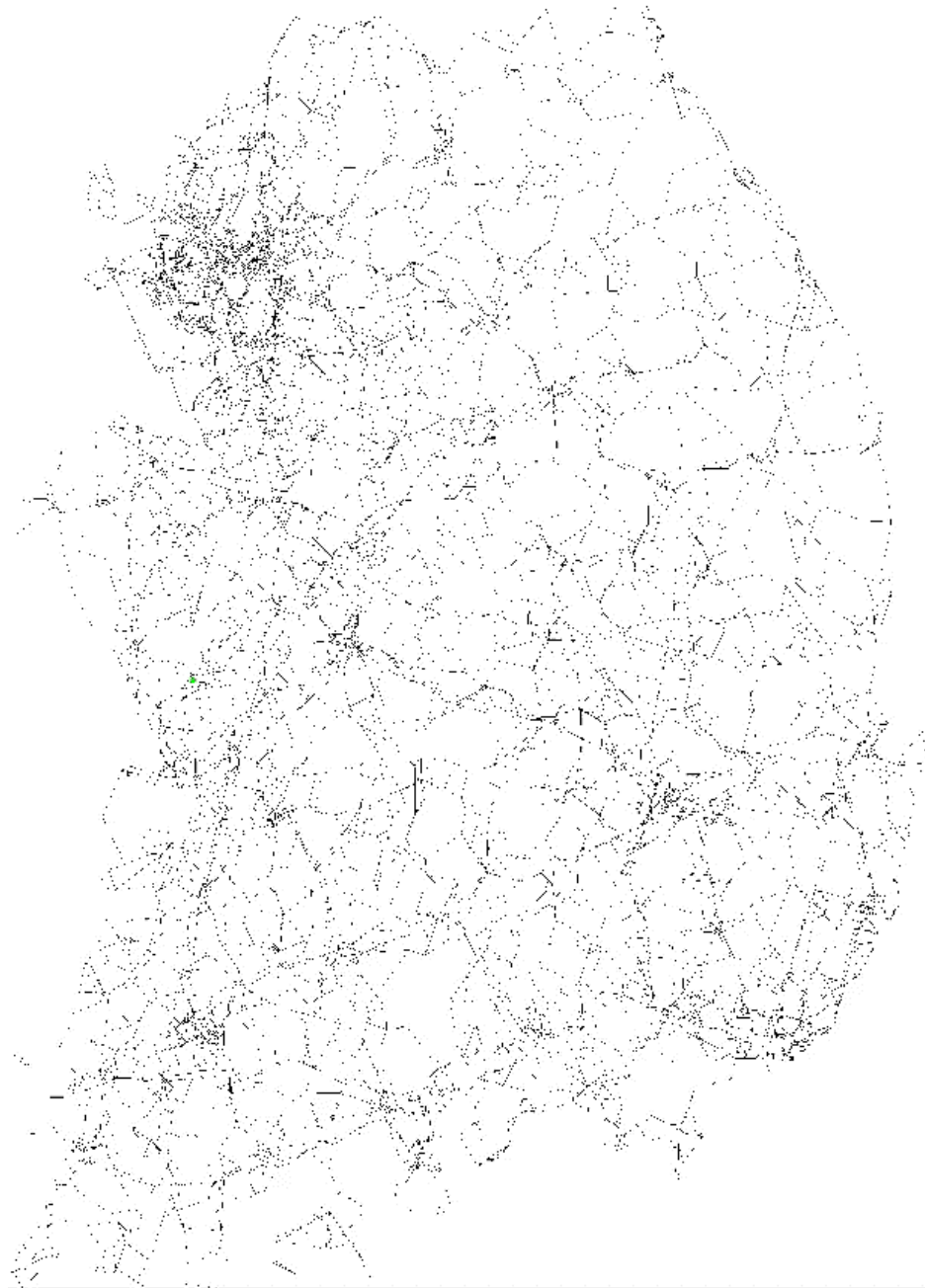
## 교통공급에 따른 상세한 모델링이 어려움

- 인터모달 통행의 표현과 그래픽 표현이 만족스럽지 않음
- 한 노선에 급행과 완행의 서비스의 이용의 그래픽 표현이 만족스럽지 않음

## 따라서, 사람, 차량 개별 단위를 다루는 수요분석기법이 필요

- 개인의 스케줄링을 고려하므로 개인의 출발시간과 도착시간을 고려함
- Headway에 따라 승객이 여러 대의 버스나 열차를 놓칠 수 있음

## 2. 동영상 예시



### 3. 가통자료 전환 결과 (아침 8시 25분, 활동지와 활동상황 표현)

The screenshot displays the Simunto Via software interface. The main window shows a large number of agents (represented as colored dots) on a dark background, with a clock showing 08:25:04. An 'Agent Groups' dialog box is open, showing a table of rules and colors. The right panel shows a 'Queries' window with a list of agent plans and their activities.

**Agent Groups Dialog:**

Rule	Color
l*	Green
e*	Magenta
s*	Yellow
w*	Red
h*	Blue
*	White

**Queries Panel:**

Show Agent Plan

Agent Id: [Search]

Recent Favorites

Plan of Agent 26414-24721121

Plan: [Dropdown]

- Activity: home - 08:20:00
- Leg: car 08:20:00 - 08:20:00
- Activity: work 08:20:00 - 18:00:00
- Leg: car 18:00:00 - 18:00:00
- Activity: home 18:00:00 - 32:20:00
- Leg: car

Follow Agent [Color]

Follow Agent 26414-24721121 ☆

Plan of Agent 26414-24721121 ☆

Plan of Agent 100402-81047211 ☆

Plan of Agent 12576-10732912 ☆

Plan of Agent 96310-30120613 ☆

Plan of Agent 45773-25427422 ☆

Plan of Agent 108577-30680741 ☆

Plan of Agent 58908-25830432 ☆

Follow Agent 57676-25794333 ☆

Plan of Agent 57676-25794333 ☆

Plan of Agent 12576-10732912 ☆

Plan of Agent 20810-9454012 ☆

Plan of Agent 34650-4087411 ☆

Plan of Agent 58908-25830432 ☆

Time: 08:25:04 Speed: 0.1

Time: 00:00 34:30 69:00 103:30 138:00 172:30 207:00

Speed: -150 -2 0 +2 +150

# 4. 개인별 이동과 활동을 시뮬레이션 (MultiAgent Transport Simulation)

MATSim을 하나의 대안 그러나, 상세한 입력자료 필요

- www.matsim.org (install, documentation) : 베르린/스위스 공대
- 기존 보다 상세한 개개인의 통행과 활동자료 (지역 A가 아닌, 사람 정보)
- 대중교통의 스케줄정보와 차량정보 -> 최적화 기법으로 새롭게 작성 필요

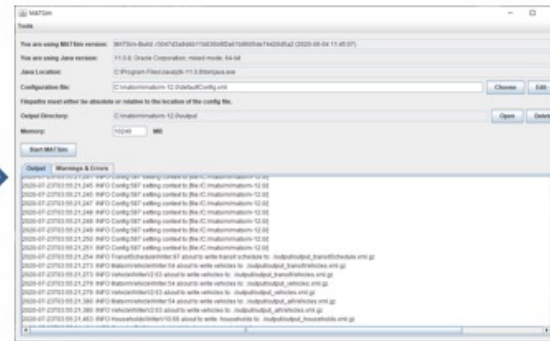
Population plan  
Network  
Transit schedule  
Transit vehicle

Input data



```
<!-- Population -->  
<!-- Network -->  
<!-- Transit schedule -->  
<!-- Transit vehicle -->
```

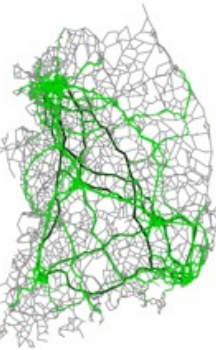
config.xml



MATSIM 구동화면



mode stats.txt  
Event.xml  
Plan.xml  
Scorestat.txt  
Traveldistancestat.txt



MATSIM 결과분석

## 5. MATSim의 한계와 다른 도구와 인터페이스 필요

MATSim이 좋은 플랫폼이지만, 자체적 최적화 도구가 아님

- 기존 집계형 모형의 한계를 극복
- 인터모달의 완벽한 극복
- 그러나, 정책가, 지자체, 연구자가 원하는 대중교통 운영 시나리오는 불가능

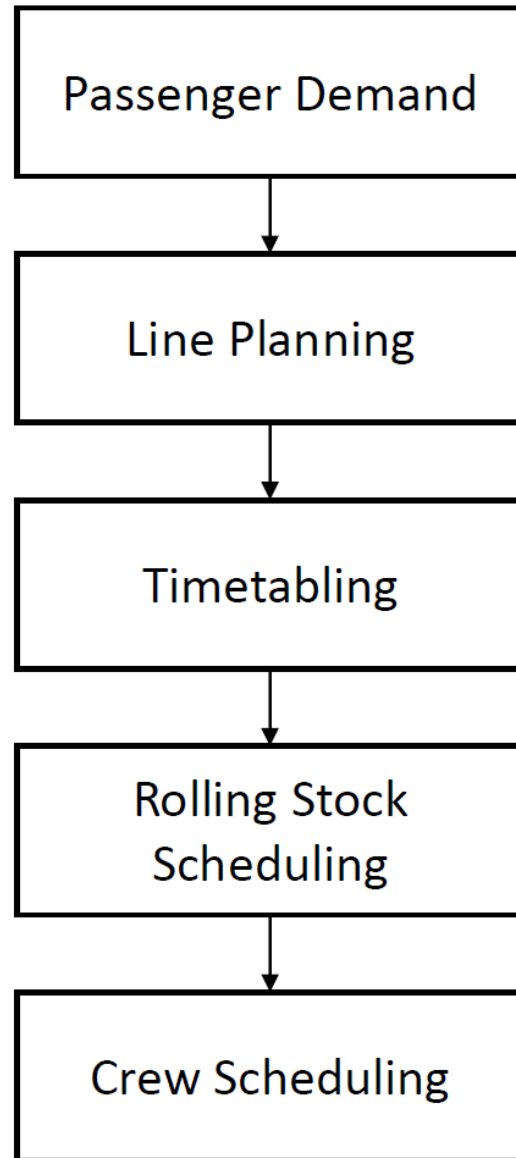
**LinTim-Gurobi**와 같은 tool과 **Interface**가 필요

- 지자체가 원하는 대중교통운영 전략 (현재 대비 비용최소화, 환승최소화 등)
- 지역간 철도에서 급행과 완행의 운영전략
- 도시내에서 급행버스와 완행버스의 운영전략
- 새로운 시나리오에 대하여 새로운 입력자료 (대중교통스케줄과 차량정보) 생성
- MATSim의 입력자료로 활용

---

## IV. 새로운 도전전략 (MATSim-LinTim-Gurobi) 예시

# 1. Transit Network Design - LinTim에서 단계별 및 동시 최적화 가능



독일 Technische Universität Kaiserslautern  
Anita Schobel

노선의 운행 빈도를 결정

차량의 운행시각표를 작성

필요한 차량대수를 추정 - Circulation 포함

필요한 승무원 수를 추정

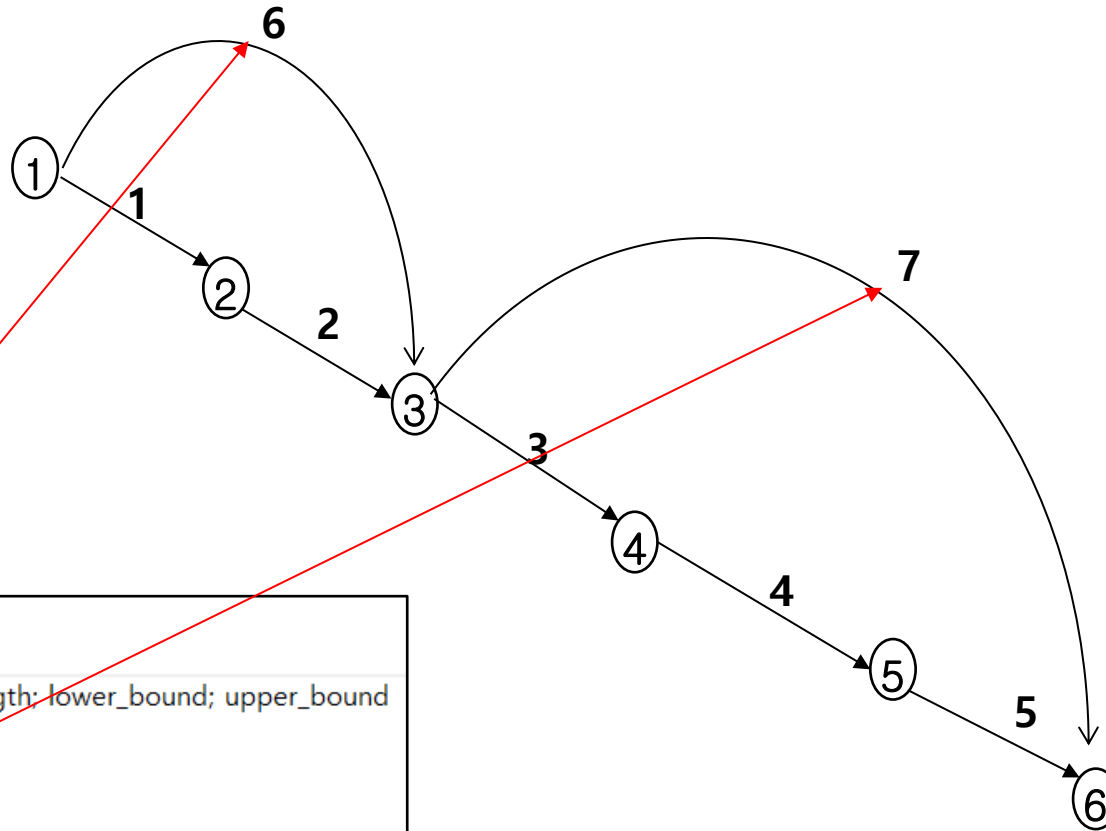


## 2. 경부선의 급행과 완행 도입 단순화 (서울, 천안, 대전, 동대구, 밀양, 부산)

① 서울역

1, 2, 3, 4, 5 : 링크 (완행)

6, 7 : 링크 (급행)



#	link_index	from_stop	to_stop	length	lower_bound	upper_bound
1	1	2	96.6	29	32	
2	2	3	69.7	21	23	
3	3	4	160.0	48	50	
4	4	5	55.3	16	19	
5	5	6	60.1	18	20	
6	1	3	166.3	33	38	
7	3	6	275.4	55	60	

### 3. LinTim 입력자료와 최적화 방법 그리고 출력자료

#### 입력자료

- 교통망 : 링크의 시작, 링크의 도착, 링크 길이, 최소시간, 최대시간
- 이용수요 : 시간대별 OD (기종점통행표)
- 배차간격 : 5분 간격, 1시간 등

#### 목적함수와 **Solver Gurobi (LinTim)**를 이용한 최적화

- line planning optimization : 운행비용 최소화, 환승승객 최소화 등
- time tabling optimization
- vehicle scheduling optimization
- 단계별 최적화 및 동시최적화 문제

#### 출력자료 -> MATSim 입력자료로 활용

- Line planning-Time tabling-Vehicle scheduling
- LinTim의 여러 파일로 부터 MATSim 자료로 전환 (대중교통 파일)

# 4. 4개 파일로부터 MATSim의 경부선 transit vehicle, schedule

- Edge.giv, pool.giv (라인정보)
- stop\_times.txt (차량통행의 스케줄 정보)
- vehicle\_schedules.giv (차량별 통행, 라인의 출도착시간)

```
Edge - Windows 메모장
파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)
# link_index; from_stop; to_stop; length; lower_bound; upper_bound
1; 1; 2; 96.6; 29; 32
2; 2; 3; 69.7; 21; 23
3; 3; 4; 160.0; 48; 50
4; 4; 5; 55.3; 16; 19
5; 5; 6; 60.1; 18; 20
6; 1; 3; 166.3; 33; 38
7; 3; 6; 275.4; 55; 60
```

```
*Vehicle_Schedules - Windows 메모장
파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)
# circulation-ID; vehicle-ID; trip-number of this vehicle; type; aperiodic-start-ID; periodic-start-ID;
start-stop-id; start-time; aperiodic-end-ID; periodic-end-ID; end-stop-id; end-time; line-id
1; 1; 1; TRIP; 1; 1; 1; 28800; 19; 10; 6; 36960; 1
2; 2; 2; TRIP; 2; 1; 1; 32400; 20; 10; 6; 40560; 1

3; 3; 3; TRIP; 21; 11; 6; 28800; 39; 20; 1; 36960; 1
4; 4; 4; TRIP; 22; 11; 6; 32400; 40; 20; 1; 40560; 1

5; 5; 5; TRIP; 41; 21; 1; 28800; 50; 24; 6; 34140; 2

5; 5; 6; EMPTY; 50; 24; 6; 34140; 296; 105; 6; 34200; -1
5; 5; 7; TRIP; 296; 105; 6; 34200; 311; 110; 3; 39240; 4
```

```
trip_id,arrival_time,departure_time,stop_id,stop_sequence
0,08:00:00,08:00:00,1,1
0,08:29:00,08:30:00,2,2
0,08:51:00,08:52:00,3,3
0,09:40:00,09:41:00,4,4
0,09:57:00,09:58:00,5,5
0,10:16:00,10:16:00,6,6

1,09:00:00,09:00:00,1,1
1,09:29:00,09:30:00,2,2
1,09:51:00,09:52:00,3,3
1,10:40:00,10:41:00,4,4
1,10:57:00,10:58:00,5,5
1,11:16:00,11:16:00,6,6

2,08:00:00,08:00:00,6,1
2,08:18:00,08:19:00,5,2
2,08:35:00,08:36:00,4,3
2,09:24:00,09:25:00,3,4
2,09:46:00,09:47:00,2,5
2,10:16:00,10:16:00,1,6

3,09:00:00,09:00:00,6,1
3,09:18:00,09:19:00,5,2
3,09:35:00,09:36:00,4,3
3,10:24:00,10:25:00,3,4
3,10:46:00,10:47:00,2,5
3,11:16:00,11:16:00,1,6

4,08:00:00,08:00:00,1,1
4,08:33:00,08:34:00,3,2
4,09:29:00,09:29:00,6,3
```

## 5. MATSim의 Transit Data 생성

- **KTX 급행** : 경로와 역, 시각표
  - 철도역 출도착시간 (headway)
  - 7시, 8시, 9시 한시간 간격
- **KTX 완행** : 경로와 역, 시각표
  - 철도역 출도착시간 (headway)
  - 7시30분, 8시30분, 9시30분 한시간
- **버스** 정보를 추가로 생성
  - 정류장 출도착시간 (headway)
  - 경로지정 (8번, 9번 정류장)
  - 각 차량이 출발하는 시간 (7시 30분, 7시 45분, 8시)

```
transit_schedule - Windows 데모장
파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)
<transportMode>pt</transportMode>
<routeProfile>
  <stop refId="1" departureOffset="00:00:00" arrivalOffset="00:00:00" awaitDeparture="true"/>
  <stop refId="3" departureOffset="00:34:00" arrivalOffset="00:33:00" awaitDeparture="true"/>
  <stop refId="6" departureOffset="01:29:00" arrivalOffset="01:29:00" awaitDeparture="true"/>
</routeProfile>
<route>
  <link refId="71"/>
  <link refId="12"/>
  <link refId="23"/>
  <link refId="34"/>
  <link refId="45"/>
  <link refId="56"/>
</route>
<departures>
  <departure id="1000" departureTime="07:00:00" vehicleRefId="1C00"/>
  <departure id="1001" departureTime="08:00:00" vehicleRefId="1C01"/>
  <departure id="1002" departureTime="09:00:00" vehicleRefId="1C02"/>
</departures>
</transitRoute>
</transitLine>
<transitLine id="gelbus">
  <transitRoute id="gelb_2">
    <transportMode>pt</transportMode>
    <routeProfile>
      <stop refId="9" departureOffset="00:00:00" arrivalOffset="00:00:00" awaitDeparture="true"/>
      <stop refId="8" departureOffset="00:10:00" arrivalOffset="00:10:00" awaitDeparture="true"/>
    </routeProfile>
    <route>
      <link refId="109"/>
      <link refId="98"/>
    </route>
    <departures>
      <departure id="1006" departureTime="07:30:00" vehicleRefId="1C06"/>
      <departure id="1007" departureTime="07:45:00" vehicleRefId="1C07"/>
      <departure id="1008" departureTime="08:00:00" vehicleRefId="1C08"/>
    </departures>
  </transitRoute>
</transitLine>
```

## 6. 결과의 확인

### KTX 차량 이동의 확인 및 앞지르기

- **동영상 1** : 급행와 완행, 1시간 간격, 앞지르기 확인
  - ; 급행의 경우 7시, 8시, 9시 출발 확인 (서울에서 부산간 1시간 30분)
  - ; 완행의 경우 7시 30분, 8시 30분, 9시 30분 출발 확인 (서울에서 부산간 2시간 16분)

### 버스 차량의 이동의 확인

- **동영상 2** : 북쪽에서 서울역에 도착하는 버스
  - ; 7시 30분, 7시 45분, 8시 출발, 각각 도착지까지 10분 소요

### 사람 이동의 확인 및 인터모달 구현의 확인

- **동영상 3** : 버스-KTX 부산가는 사람
- 7시 30분에 버스 타고 서울역 도착, 9시 급행열차 승차, 10시 30분 부산역 도착

---

## V. 교통분야 최적화 전망

# 1. 교통분야 장래 최적화 전망

## 교통수요분석 & 신호등 최적화 등에 **Built in SW**를 활용

- Emme4 : 캐나다 몬트리올 대학 M. Florian과 그의 아들
- Cube : 미국에서 개발되었고, 도시별 빅데이터와 결합하여 상업화 확대
- PTV : 독일에서 개발되었고, 국내에 보급 배포 중

## 국내의 교통수요분석모형 활용 동향

- 주로 Emme4를 활용
- 국내 연구진에 의해 lamTas가 개발되었으나, 극소수 이용

## 그러나, 앞의 도전 사례 들이 많아져야

- 지자체의 Master Plan과 대중교통노선 개편 (올해 시도 예정, 2-3년 연속 진행)
- 철도와 도시철도 운영기관에서 활용가능성 (올해 시도 예정)



**Thank You**

