교통체계효율화사업 보고서

R&D /

승객여정선택형 대중교통(PRT) 경제성평가 연구보고서

2011. 9. .

주관연구기관 / 공공투자연구소
공동연구기관 / 서울시립대 산학협력단
서영엔지니어링(주)
위탁연구기관 / 오늘회계법인

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

PRT(Personal Rapid Transit)
Economic Feasibility Study

제 출 문

국토해양수산부장관 귀하

이 보고서를 "교통체계효율화사업"의 "승객여정선택형 대중교통(PRT) 경제성평가" 과제의 보고서로 제출합니다.

2011. 9. 6.

주관연구기관명 : 공공투자연구소
주관연구책임자 : 정건호 대표
연 구 원 : 정규정 이사
" : 김관수 부연구위원
공동연구기관명 : 서울시립대학교 산학협력단
공동연구책임자 : 이승재 교수
연 구 원 : 김주영 연구원
" : 김태중 연구원
" : 전장우 연구원
" : 신승진 연구원
" : 양도영 연구원
" : 이학수 연구원
공동연구기관명 : 서영엔지니어링(주)
공동연구책임자 : 김강석 상무
연 구 원 : 박정현 부장
" : 권인규 차장
위탁연구기관명 : 오늘회계법인
위탁연구책임자 : 이영찬 회계사
연 구 원 : 홍병희 회계사
" : 강연호 회계사

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td></td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2010.12.22~
2011.09.06</td><td>단 계 구 분</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">교통체계효율화사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">승객여정선택형 대중교통(PRT) 경제성평가</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">정건호</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 16명
내부 : 16명
외부 : 명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부:150,000천원
기업: 천원
계 :150,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 16명
내부 : 16명
외부 : 명</td><td>총연구비</td><td>정부:150,000천원
기업: 천원
계 :150,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">공공투자연구소</td><td>참여기업명</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="5">연구기관명 : 연구책임자 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">상위연구인 “승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술 개발”에서 제시한 PRT시스템의 상용화에 대한 타당성분석을 실시함.
• 경제성 분석 결과, 송도신도시의 경우 B/C 0.63, NPV -986.8억원으로 경제성이 낮은 수준으로 분석되었으며, 상암 DMC의 경우에도 B/C 0.52, NPV -651.9억원으로 경제성이 낮은 수준으로 분석됨.
- 편익, 비용의 변화에 따른 민감도 분석결과에서도 경제성 확보되지 않음.
• 재무성 분석결과 송도신도시 및 상암DMC의 경우 NPV가 각각 (-)652억원 및 (-)402억원으로서 재무성이 없는 것으로 분석되었으며, 재정지원비율이 송도신도시 44.8%, 상암DMC 49.2%일 때 NPV=0으로 나타남.
• PRT사업은 현재 시점에서는 사업타당성을 확보하지 못하는 것으로 분석되었으며, 실제 상용화까지는 장기간이 소요될 것으로 예상함.
- PRT사업은 과학기술적 측면에서 연구개발의 지속적인 시행에 대한 타당성을 별도로 평가해야 할 필요성이 있으며, 정부의 장기적인 교통정책의 전략적인 측면과 국토해양 R&D 또는 교통시설 R&D 투자평가의 기준을 감안하여 결정되어야 할 것으로 판단함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">승객여정선택, 개인교통수단, 경제성평가, 타당성분석</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">PRT(Personal Rapid Transit), Economic Feasibility, Feasibility study</td></tr>
</table>

[요약 보고서]

제1장 연구개발의 개요

제1절 연구개발의 배경 및 목적

1. 연구개발의 추진 배경

○ 자동차 운행 억제를 위한 대체교통수단의 개발과 환경친화적인 대중교통수단의 활성화 필요성의 대두
- 지구온난화와 기상이변에 따른 환경문제를 해결하기 위해서는 온실가스의 배출 감축이 중요
- 고유가 시대에 따른 에너지 절감 필요
  • 자동차의 등록대수가 2010년 말 17,941,356대로 2000년 12,059,276대에 비해 48.8%가 증가하였으며, 2010년 말 승용차의 비중은 76.0%로 1990년의 61.1%, 2000년의 67.0%에 비해 계속 증가 추세

○ 고유가 시대에 따른 에너지 감축과 지구 온난화시대에 능동적으로 대응하고 지속 가능한 녹색성장을 추구하기 위해서는 새로운 국가적 교통체계의 구축 필요
- 도로 중심 교통체계에서 보다 친환경적이고 에너지 효율적인 교통수단의 개발과 도입 필요

○ PRT 도입 검토
- 미래형 신교통수단 중의 하나인 일명 '궤도택시'로 일컬어지는 소형무인자동궤도차량시스템인 PRT(Personal Rapid Transit)에 대한 연구개발 추진

2. 연구개발의 목적 및 기대효과

○ 2004년부터 약 3년간 국가연구개발과제의 하나로 PRT시스템을 연구해 왔으나 중단된 바 있음
- 승객여정선택형(On-demand journey) 대중교통수단의 개발 필요에 따라 연구를 시작하였으나, PRT시스템의 국내 상용화 가능성 및 민간 참여의 불확실성 문제 때문에 중단

○ 2009년부터 정부차원의 PRT관련 기술개발 추진 필요성 대두에 따라 국가연구개발과제의 일환으로 연구개발 재개
- 최근 기술개발의 추세와 국내외 환경변화에 따라 PRT관련 기술 확보의 필요성 부각
- PRT 제작 및 유지보수를 위한 차량위주의 기술보다는 시스템 측면에서 운영과 관련한 차량운행제어 및 네트워크 운행제어 핵심 원천기술의 확보 목적

○ 본 연구는 정부차원의 PRT 기술개발의 추진여부 결정에 대한 판단지원을 목표
- 철도기술연구원 연구과제인 '승객여정선택형 대중교통(PRT)시스템의 운영기술 개발'과 관련하여 PRT시스템 도입 시 비용과 편익에 따른 경제적 타당성 평가

제2절 연구의 방향 및 내용

1. 연구의 기본 방향

○ 철도기술연구원의 연구과제인 '승객여정선택형 대중교통(PRT)시스템의 운영기술 개발(이하 "상위연구")' 에서 도출된 결과를 바탕으로 실시

- PRT도입 가능지역에 대한 교통수요, 비용의 추정 및 사전적 경제적 ·재무적 타당성을 분석하고 정책적 분석 수행
- 즉, 본 연구는 분석대상 사업의 사업추진여부를 위한 경제성 평가이나 정부차원의 PRT 기술개발 추진여부에 대한 정책적 판단을 위한 근거로 활용 목적

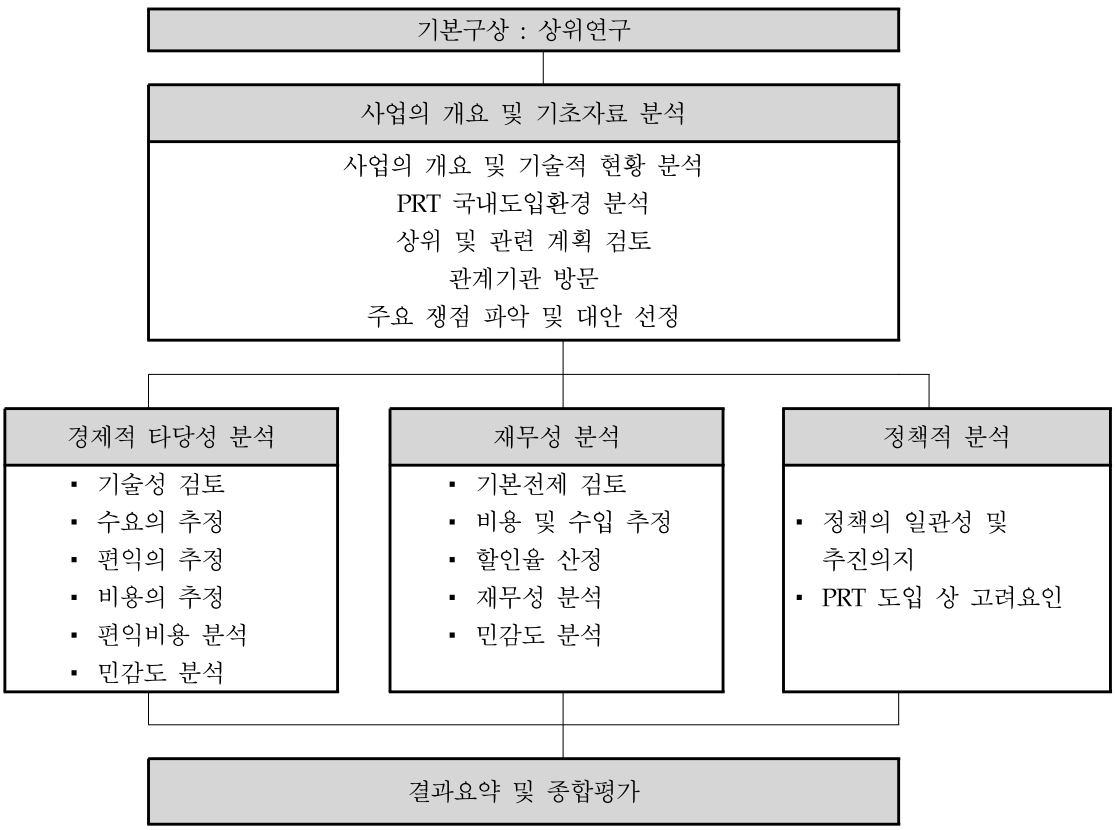
○ KDI 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침』 및 『도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침』의 분석방법론을 원칙적으로 적용

- 사업구상 등 구체성이 상대적으로 낮아 지침에서 제시하는 편익 항목, 비용의 산정기준 적용에 한계 있음

2. 연구의 절차 및 주요 내용

- 아래 연구 업무수행흐름도를 기본으로 하여 연구업무 수행

<표> 연구절차 및 주요내용



제2장 기초자료 분석 및 주요 쟁점

제1절 기초자료 분석

1. PRT의 개요

가. PRT의 개념

○ 1988년 미국 ATRA(Advanced Transit Association) PRT시스템 정의
- 운전자 없이 완전 자동으로 운행할 수 있는 차량
- 고정된 가이드웨이 내에서만 운행
- 1~6명 정원의 소규모 차량으로 24시간 이용 가능하며, 승객의 선택에 따라 혼자 또는 그룹으로 이용 가능
- 지상, 지하 또는 고가에 설치할 수 있는 소규모의 가이드웨이
- 차량은 PRT 네트워크에 연결된 모든 가이드웨이와 정거장을 이용 가능
- 목적지까지 갈아 타거나 정차를 하지 않고 논스톱으로 운행
- 고정된 스케쥴이 아닌 승객의 요구에 따라 차량을 운행

나. PRT의 특징

○ 승객요구에 의한 서비스(on-demand) 제공
- 미리 정해진 고정된 스케쥴에 따라 운행하는 것이 아니라 승객의 호출에 의해 차량을 배치
  • 승객입장에서는 피크 시에도 바로 이용을 할 수 있으므로 대기시간을 줄일 수 있음
  • 운영주체 입장에서는 수요에 따라 차량을 보다 탄력적으로 운영할 수 있으므로 효율적인 운영 가능
- 차량당 승차인원이 1~6인승으로 목적지까지 승객의 사생활 보장

○ Door-to-Door 서비스의 제공이 가능
- 자가용이나 택시와 같이 승객이 원하는 장소까지 논스톱으로 이동, Door-to-Door 서비스 제공이 가능
  • 역간거리를 300~500m 정도로 타 운송시스템보다 조밀하게 네트워크 구성, 출발지에서 목적지까지 최적 경로 선택하여 이동

○ Off-Line 시스템으로 역사를 설치하여 운영의 효율성 증대
- 역에서의 승하차가 본선흐름에 영향을 주지 않으며, 사고나 유지보수 시에도 우회경로 운행이 가능

○ 타 교통시스템에 비해 경제적인 시스템(소형차량)
- 소형차량 사용으로 작고 슬림한 구조물계획과 경량궤도로 네트워크 구성이 가능하기 때문에 초기 건설비용의 대폭 감축이 가능

- 완전 무인운전, 운영자동화 등의 구현으로 운영유지비 절감 극대화가 가능하여 타 교통시스템보다 에너지 절약 교통시스템
  - 비첨두시는 차량이 정거장에서 대기하므로 공차운행에 따른 에너지낭비를 최소화할 수 있음
  - 차량은 정해진 노선을 운행 하지 않고 목적지까지 최적의 노선을 탐색하여 운행하므로 높은 운행효율 확보가 가능

○ 도시미관 개선이 가능한 시스템

- PRT는 차량형식 및 디자인이 기존 교통수단보다는 보다 미래지향적인 디자인으로 구상
- 차량의 소형화로 인하여 교통시설물도 슬림화가 가능하기 때문에 도시미관 훼손도 최소화

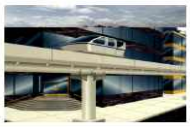
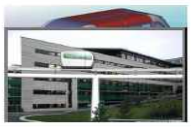
○ 토지활용도를 최대화 할 수 있는 시스템

- PRT는 슬림한 구조물이기 때문에 도로 확충에 들어가는 토지규모를 줄여서 녹지공간이나 보행자를 위한 공간으로 활용 가능
- 도로와 간섭이 없는 전용궤도의 설치가 가능하고 효율적인 도시공간의 활용이 가능한 특징

다. PRT 시스템의 종류

- 현재 개발이 진행되었거나 개발 중인 주요 PRT시스템의 종류와 특징은 다음과 같음

<표> PRT시스템의 종류와 특징

구 분	특 징	구 분	특 징
Cabintaxi 	· 차량: 여객, 화물 · 속도: 36km/h · 역간거리: 0.3-0.8km · 차두간격: 2.5초 · 수요 대응형 · Non-Stop 운행 · 시스템의 완전자동화 · 낮은 소음	MegaRail 	· 차량: 여객용, 화물용 · 속도: 30~60mph · 무인운전 · 도시내부의 선로를 통해 컨테이너 운송 · 대량화물의 선적, 운송, 하역까지 서비스 가능
PRT 2000 	· 화물운송 가능 · 인간 친화적 · Non-Stop 운행 · 24시간 운행 · 경제적 운영·유지비용 · 환경친화적	Vectus 	· 무인운전형태 · 3~5명의 승객 탑승 · 독립된 궤도와 네트워크에서 운행 · 수요대응형 · Non-Stop 운행
Taxi 2000 	· 속도: 32-80km/h · 역간거리: 약 0.8km · 차두간격: 0.5초 · 노선용량 7,200대/시 · 역용량 2,000대/시 · 구배 15% · 악천후시 운행 가능 · 장애인, 노약자 배려	Korean Skycar PRT 	· 3인승 · 속도: 45~60km/h · 차두간격: 0.5초 · 최대용량: 7,200대/시 · 평균용량: 6,000대/시
ULTra PRT 	· 속도: 40km/h · 차두간격: 0.5초 · 노선용량 1,800대/시 · 구배 15% · Non-Stop 운행 · 낮은 운행비 · 낮은 건설비 · 환경친화적, 최대 4인용	CVS 	· 궤도: I자 빔의 강철형 · 최대구배: 10% · 최소곡선반경: 5m · 여객, 화물 · 공기압축식 고무타이어 · 평균속도: 40km/h · 최대속도: 80km/h · 차두간격: 1초
Frog (CyberCab) 	· 차량속도: 11km/h (관광객 고려) · 차두간격: 24초 · 용량: 양방향 600명/시	SkyCabs 	· 짧은 여행시간 · 대기시간의 축소 · 비피크시 서비스 효율화 · 경량의 다양한 구조 · 낮은 비용

라. 주요 PRT시스템

- 세계적으로 주요한 PRT시스템의 사양은 다음과 같음

<표> 주요 PRT시스템의 비교

(단위:USD/Mile)

시스템명	ULRra	Vectus PRT	SkyWeb Express	Frog Cyber Cab
회 사	Advanced Transport System	Vectus	Taxi 2000	2GetThere APMS
위 치	브리스톨, 영국	영국, 한국, 스웨덴	미국 미네소타	네덜란드
차 량	4인승	4인승	3인승	4인승
노 선	지상 또는 고가	고가	고가	지상 또는 고가
운 행 속 도	25mph	37mph	20-60mph	12-19mph
가이드 웨이	콘크리트	레일	레일	노면
동 력	배터리	제3궤조	제3궤조	배터리 또는 가스-전기엔진
개 발 단 계	시험운영, 히드로공항 운행예정	시험선	시험선	
개발자 견적비용	$9-15 Million	$18 Million	$16-24 Million	$9-15 Million
차량 모습				

2. 국내 PRT 개발현황 및 사례

가. 국내 PRT 개발현황

○ 국내 PRT 시스템 개발을 위한 시도는 1990년대 초반 (주)우보엔지니어링에서 시작

- 1992년부터 미국의 Raytheon사와 독점 기술제휴 및 영업계약을 맺고 Raytheon사의 “PRT2000"시스템의 국내도입을 꾸준히 추진
- 1997년 (주)우보엔지니어링은 (주)PRT코리아를 설립하고, 미국의 PRT2000시스템의 기술 도입 및 국산화 연구를 위하여 포항공대 정보통신연구소와 공동연구를 진행
- 새로운 구동방식과 분기방식 등을 적용시킨 ‘Sky Car’시스템을 개발하여 포항공대의 시험 선로에서 기능 시험운전을 함
  • 길이 2.8m, 폭 1.6m, 높이 1.6m, 궤도의 크기는 폭 1.15m로 미국의 Taxi 2000시스템과 유사

○ POSCO는 PRT연구 및 시스템 개발을 위한 벡터스(Vectus Limited, Ltd)사를 설립

- 2005년 영국에 본사 설립, 2007년 5월부터 스웨덴 웁살라시에 만든 400m 시험 궤도에서 차량 3대로 시험 운행 착수
  • 스웨덴 철도청(SRA, Swedish Rail Agency)으로부터 안전인증을 획득
- 차량 및 시스템분야는 벡터스에서 지속적으로 개발, 포스코건설과 대우엔지니어링이 공동으로 설계 정립 및 궤도구조 개선에 대한 연구 진행 중

나. 국내 PRT 도입사례

○ 순천만 소형경전철(Sunchon Bay PRT Project))사업

- 2013년 4월부터 6개월간 순천만 일대에서 열리는 국제정원박람회장과 순천만생태공원을 연계하여 관광객의 이동수단으로 활용하기 위한 사업
- 2009년 순천시와 POSCO가 순천만 소형경전철 사업에 관한 양해각서(MOU)를 체결하고 사업에 착수
- 2011년 6월에 기공식을 갖고 공사에 착수, 2013년 4월 순천만국제정원박람회 개막 이전에 공사를 완료할 예정

<표> 순천만 소형경전철사업 개요

사업개요	사업구간	- 전남 순천시 오천동 ~ 맑은물 관리센터 ~ 순천만
	노선연장	- 5.3km (복선 4.86km, 단선 0.90km)
	차량시스템	- 소형경전철(PRT) 벡터스 시스템
	가이드웨이	- 고가 교량(Elevated Guideway)
	정 거 장	- 2개소 (4 Berth, 지상 2층)
	운영관리동	- 1개소(지상 2층, 검수고, 주박, 사령실)
차량 및 시스템	차량시스템	- 소형경전철(PRT, 벡터스) 시스템
	급전방식	- 제3궤조 (DC 400V)
	편 성 수	- 1량 1편성, 총 40량
	운행방식	- 무인자동운전
	주행방식	- 주행륜, 안내륜, 분기륜 사용(측방안내방식)
	통신방식	- 단거리 전용통신(DSRC)방식

3. 해외 PRT 개발현황 및 사례

가. 해외 PRT 개발현황

(1) 미국

○ 미국의 PRT에 대한 연구개발은 40년 이상의 역사를 가지고 있음
- 최초 연구는 1953년, 작고 가벼운 차량과 적은 비용으로 도시의 전체 교통시스템의 개선에 대한 해결을 위해 개념을 개발하기 시작한 Donn Fichter로부터 시작
- 이외에도 1950년대에서 1960년대 초에 TTI, Alden staRRcar, Uniflo, JetRail 등의 PRT시스템 개발됨

○ 1966년 미국의 HUD(House and Urban Development)에서 "내일의 교통수단"이라는 타당성연구보고서를 통하여 PRT 시스템의 실현가능성 검토 시작
- 1969년 미국 Scientific American지 보고서에서는 PRT 시스템이 미래 교통문제 해결방안으로 제시됨

○ 1970년에 Morgantown의 West Virginia대학에 PRT시스템 설치키로 결정
- 캠퍼스 내의 학생 이동 및 지역사회 교통수단으로 PRT시스템이 결정되어 Alden staRRcar 시스템이 선정
- 1972년의 대통령 선거와 맞물리면서 비용 효율적인 건설은 주요 목적이 되지 못하고 21인승의 차량으로 변경(GRT)됨에 따라 게이트웨이 및 역사규모가 커져 투자비 증가

○ 1990년대 초반에 Taxi2000 Corporation 설립, 정부기관 및 단체에 독자적인 Taxi2000 PRT 시스템 계획안을 제공
- 1993년 미국의 대표적인 방위산업체인 Raytheon사가 Taxi2000 시스템기술에 대한 권리를 사들여 시스템을 개량하였고, PRT2000 시스템이라 명명함
- Chicago RTA(Regional Transportation Authority)와 Raytheon사가 제휴(Raytheon/RTA프로그램)하여 PRT프로그램 개발에 착수
- 2000년에 Raytheon/RTA프로그램은 기술적, 경제 및 정치적인 이유로 취소, 개발 권한은 Raytheon사에서 다시 Taxi2000사로 양도
  • 높은 시스템 구축 비용, 낮은 운임, RTA 리더십 변화 및 연방정부의 재정지원 대상 제외 등에 기인
- 이후 Taxi2000 시스템은 "Skyweb Express"으로 명칭 변경

(2) 유럽

○ EU의 EDICT(The Evaluation and Demonstration of Innovative City Transport)프로그램은 지속 가능한 새로운 교통 시스템으로 PRT를 분석하고 개발키로 함
- EDICT은 유럽 7개국의 16개 기관의 컨소시엄으로 구성, EDICT 프로젝트에서는 ULTra PRT시스템이 사용

• 영국의 ULTra PRT(Urban Light Transport)는 1995년 Bristol 대학의 마틴 로슨(Martin M. Lowson) 교수의 연구팀에 의해 개발

○ 영국 정부에서는 미래 대비 운송수단으로 ULTra 시제 차량의 설계, 제작 및 시험을 위해 5백만 파운드의 정부 연구 보조금을 지원

- 웨일즈 지방의 주도인 Cardiff시에서도 최초의 상용화를 위한 지역 선정 및 건설계획을 위한 연구에 재정 지원

○ 2001년에 네덜란드의 2getthere사 설립

- Frog Navigation Systems 내의 사업부문으로 출발, 2007년 분리하여 독립된 민간기업으로 설립
- 네덜란드의 대규모 꽃박람회인 2002플로리에드(Floriade 2002)에 Cybercab 교통시스템을 설치하여 적용 시험
  • Cybercab은 2002년4월부터 11월까지 운영, 25대의 차량 제공
  • 전기를 동력으로 사용, 차량크기는 4인승으로 완전 자동으로 운행되고 최대속도는 20km/h
- 2getthere社는 Cybercab 시스템운영 경험을 기반으로 2세대 CyberCab을 개발, 아랍에미레이트의 마스다르시에 PRT네트워크를 구축하여 시험운행 중

○ 유럽 각국에서 미래교통수단으로서 PRT 시스템의 개발 가능성 및 적용 타당성을 심도 있게 연구 중

- 노르웨이, 캐나다, 스위스 등 선진 각국에서 PRT 시스템의 개발을 진행하려는 노력이 점점 구체화
- 제어방식, 시스템 구성, 기본 요소기술에서 다양한 양식의 PRT시스템 개념들의 연구가 진행되고 있음

나. 해외 PRT 도입사례

(1) 영국 Heathrow 공항 PRT

○ 영국 ULTra사, 세계 최초의 상용 PRT시스템을 영국 런던 히드로 공항에 도입

- Heathrow 공항 제5터미널 주차장과 CTA(제1,2,3터미널)를 연결
- 길이 3.8km, 공항터미널 5번 구역을 중심으로 3개역 운행
- 2011년 여름부터 운행할 예정

(2) UAE 마스다르(Masdar)

○ 마스다르는 아랍에미리트의 친환경 저에너지 신도시

- 아부다비의 도심에서 30km 거리에 위치, 2008년 공사를 시작하여 2016년 완공을 목표로 개발 중
- 도시 내부에서 화석연료를 사용하는 차량의 운행을 할 수 없도록 계획

○ 마스다르의 내부 교통수단은 네덜란드 2getthere의 CyberCab이 도입

- PRT 규모는 가로 3.2m, 높이 1.9m 크기의 4인승
- 현재 도시입구와 마스다르 과학기술원 사이 1.2km를 시험 운행 중

(3) 영국 다벤트리(Daventry)

○ 승용차 통행억제와 지역경제 활성화를 도모하기 위해 PRT 계획
- 4.8km 노선에 4개 역사, 차량 25대 투입 계획, 향후 총연장 50km에 48개 역사, 차량 500대로 확충할 예정
- 현재 타당성 조사가 완료, PRT시범사업(Pilot Track) 입찰 준비 중으로 재원은 정부에서 조달할 예정

(4) 미국 West Virginia주 Morgantown

○ 1972년부터 West Virginia주의 Morgantown에 PRT와 비슷한 운영특성을 가진 GRT(Group Rapid Transit)를 구축하여 현재까지 운영 중
- 여러 차례의 설계변경을 거쳐 21인승의 GRT로 변경, 차량과 시설의 규모가 커져 건설비용이 초기 예상의 4배나 소요되어 경제성이 떨어짐
- 차량은 8명의 좌석과 12명 내외의 입석으로 되어 있으며, 평균속도는 14mph, 최고속도는 30mph

4. PRT 국내·외 기술개발 현황

가. 국내 PRT관련 기술개발 현황

○ 국내 고속전철 기술개발, 도시철도/경량전철 시스템기술개발, 틸팅 열차 기술개발 등의 대형 철도시스템 연구개발 사업을 통해 경험과 시스템 체계를 수립하고 있음

○ 시스템간 인터페이스 조정관리 및 통합을 위한 절차는 확립되었으나 많은 연구 경험을 갖고 있는 연구원의 확보는 부족

○ 시험평가 기술은 각 개별 장치에 대한 성능평가 뿐만 아니라 각 개별 장치를 종합적으로 비교 분석할 수 있는 종합 계측시스템 구성에 관한 능력으로서 한국형 고속열차, 틸팅 열차, 경량전철 등의 개발을 통하여 상당한 기술력을 축적하고 있음

○ 국가 연구개발 사업의 경량전철 시스템기술개발사업, 도시철도 표준화사업, 고속철도사업 등의 하위과제로 수행한바 있어 시스템의 핵심 및 시스템 통합에 대한 기술은 확보하였으나 시스템의 신뢰성 및 안정성의 측면에서 보완이 필요
- 운영시나리오 작성으로부터 운영안전에 이르기까지 운영과 관련한 전주기적으로 방법을 정의하고 위험원을 제거하여야 하는 업무에 대한 지속적인 연구가 필요

○ 네트워크 노선에서의 시스템 제어는 복잡도와 시스템 최적화가 요구되는 바, 현재 단순 루프형태 노선에서 중앙 집중 방식에 따른 분기/병합 개념 구현수준으로 네트워크 운행제어 기술의 실제 구현이 아닌 시뮬레이션 수준

○ 차량시스템기술인 차체, 주행장치, 추진장치, 기기배치 최적화, 추진제어, 경량화 및 안전성 확보측면에서 요소 및 설계기술은 기존 차량경험으로 요구사항에 따라 설계, 제작 및 평가에 필요한 내용 도출 및 적용은 가능한 수준

○ 컴퓨팅을 기반으로 한 IT기술 접목으로 복잡도 및 제어 알고리즘에 대한 핵심기술을 개발함으로써 세계의 선두주자로 개발할 수 있는 잠재력을 보유

나. 해외 PRT관련 기술개발 현황

○ PRT는 1960년대부터 유럽과 미국을 중심으로 연구가 진행되어 왔으나, 신회/제어/통신 등 각종 기술의 부족으로 실용화 단계에 진입하지 못함

○ 최근의 컴퓨터 등 첨단기술의 개발과 더불어 PRT에 대한 연구가 진행되어 시험선을 운행하고, 상업화프로젝트를 추진하고 있음

○ 기술적인 측면에서 영국이 PRT프로젝트를 국가 미래 성장동력 중 하나로 개발하여 추진함으로써 시스템 및 가이드웨이 기술에 있어서 앞서가고 있음

○ 해외 PRT시스템별 기술개발현황은 본보고서 참조

제2절 상위연구 및 관련계획

1. 상위연구 개요

○ 1차년도 연구개발

- PRT의 운영시나리오와 네트워크 운행제어 변수 도출을 통해 최적 경로탐색 알고리즘을 설계를 수행
- PRT에 대한 수요분석 방법론 개발, 비용산정 기준개발 및 도입가능지역에 분석 등 PRT 적용성 분석을 수행

○ 2차년도 연구개발

- 네트워크 운행제어 시뮬레이션 검증, 시스템 요구사항 도출 및 인터페이스 사양(안)을 도출하여 2단계사업(시스템 구축) 기술개발에 대한 전략을 수립

2. PRT 적용 법규

○ 도시철도법과 궤도운송법

<표> 도시철도법과 궤도운송법 비교

구 분	도시철도법	궤도운송법
적용범위	·도시철도에 대해 적용 * 도시철도 : 도시교통의 원활한 소통을 위하여 도시교통권역에서 건설·운영하는 철도·모노레일·노면전차·선형유도전동기·자기부상열차 등 궤도에 의한 교통시설 및 교통수단	·도시철도 등을 제외한 궤도에 대해 적용 *궤도 : 사람이나 화물을 운송하는데에 필요한 궤도시설과 궤도차량 및 이와 관련된 운영·지원 체계가 유기적으로 구성된 운송체계, 삭도를 포함

○ 본 연구에서 검토를 위한 적용법규는 원칙적으로 도시철도법을 기준, PRT에 적합하지 않는 법률적인 사항에 대해서는 보완적으로 PRT에 적합한 조건을 반영하여 검토

제3절 분석 대상 설정

1. 분석대상 지역 선정

○ 상위연구를 수행하고 있는 한국철도기술연구원은 PRT도입 추진이 검토되었던 23개 지역 중 대중교통수단으로서의 PRT 도입에 가장 적합하다고 판단되는 지역을 선정함

○ PRT 도입 검토지역의 유형을 관광(레저) 단지 또는 소규모 지역내 순환교통, 도시개발과정에서의 대중교통 중심 또는 녹색도시 등 특수한 목적을 가진 도입계획과정에서 도입, 주요 거점지역간 연계교통수단으로서의 기능 등 3가지 특성으로 분류

<표> PRT 도입 검토지역

지역	유형	지역	유형
1. 순천만 정원박람회	관광단지, 특성화지구	13. 무주기업도시	계획도시
2. 여수 세계박람회	〃	14. 상암DMC	〃
3. 국립과천과학관	〃	15. 동탄 2기신도시	〃
4. 설악산	〃	16. 청라지구	〃
5. 평창 동계올림픽지역	〃	17. 위례신도시	〃
6. 남이섬	〃	18. 송도신도시	〃
7. 성내역-아산병원	〃	19. 강남	지역연계교통수단
8. 화성유니버셜스튜디오	〃	20. 용산-노들섬-노량진	〃
9. 인천국제공항	〃	21. 여의도-용산	〃
10. 의왕 철도특구	〃	22. 제주도(공항일대)	〃
11. 인천영종도 운북지구	계획도시	23. 동부간선도로	〃
12. 강릉시	〃		

○ 상기 PRT 검토지역 중 한국철도기술연구원에서는 본 연구의 취지를 감안하여 PRT의 대중교통적인 성격이 미흡한 관광/유원지 유형을 제외하고, 도심지 유형과 신도시 유형에 해당하는 지역을 선정하여 제시

- 도심지 유형은 상암DMC, 신도시는 교통수요 추정 등 연구자료 확보 어려움으로 적합한 대상지역이 없어 유사한 송도신도시를 선정하고 SP조사를 수행한 후 제시

○ 따라서 본 연구에서는 한국철도기술연구원에서 선정하여 제시한 송도신도시와 상암DMC를 대상지역으로 하여 경제성 분석을 실시

2. 선정지역 현황

○ 송도신도시(인천경제자유구역)

- 인천의 공유수면을 매립해 만든 572만㎡ 부지에 2020년까지 3단계에 걸쳐 단계적으로 사업이 진행(2014년까지 2단계 개발계획 예정)
- 주요단위지구는 국제업무지구, 시가지조성 어민생활 대책단지, 국제화 복합단지, 첨단산업클러스터, 지식정보산업단지, 바이오단지지구로 구성
- 장래 교통량 증가로 인한 도로확장 및 신교통 시스템 도입이 가능한 격자형 도로망으로 구성

○ 상암DMC

- 상암지구와 디지털미디어정거장(구 수색정거장) 사이의 택지에 약 17만2천평 규모로 개발하는 지역(2015 완공 예정)
- DMC지구, 상암택지개발지구(주거지구), 월드컵경기장지구로 총3개의 지구로 구분(상암택지개발지구(주거지구)/월드컵경기장지구 완료, DMC지구 공사 중)
- 택지개발지구, 상암DMC 및 월드컵경기장 외곽을 순환하는 도로는 왕복 6~10차로, 난지하늘공원과 인접한 도로는 중앙안전지대가 설치

3. 적용 PRT 시스템 및 운영방식

가. 적용 시스템

○ PRT시스템은 한국철도기술연구원에서 개발/제시하는 시스템을 적용하며, 적용 차량 및 시스템의 개요는 다음과 같음

<표> 적용 차량 및 시스템 개요

항 목	철도기술연구원
차량중량(ton)	만차: 2.0ton, 공차: 1.2ton
승차인원(명)	(MAX: 6명), (NORMAL: 4명)
차량길이(mm)	3,800
궤간(mm)	1,000
최소궤도 중심간격(mm)	2,200
급전방식	배터리
최대속도(km/h)	운행 : 60
축간거리(mm)	2,100~2,200
축수	2축
가속도/감속도	2.5~3.0m/s2
등판능력(‰)	150~200‰ (차량정상조건)
최소곡선반경(m)	6
주행방식	주행륜

나. 운영방식

○ 송도신도시와 상암DMC는 도심지역으로 대중교통 또는 준 대중교통으로의 운영시스템이 필요

○ 역사 및 운영시스템이 완전무인 자동운전(Driverless)의 PRT시스템 도입

- 역사 및 차량은 승차를 위한 자동개찰을 제외하고는 완전개방형으로 이를 기준으로 비용추정
- 운영시간은 무인운영에 따라 24시간 가능하나, 시설물 점검과 유지보수를 위해 일정시간 비영업시간이 필요
- 운영시간을 19시간으로 가정

제4절 연구개발의 주요 쟁점

1. 비용 측면

가. 적용 법규

○ PRT 시스템의 도입과 연구를 위해서는 그 특성에 알맞은 제도와 법규가 만들어지고 기준 설정 필요
- 아직 우리나라에 도입하여 설치한 적이 없기 때문에 설계기준 및 비용산정 시 어느 법을 적용할 것인지에 대해 결정된 바가 없음
- 또한 PRT 시스템이 일반 차량과 같은 고무바퀴나 유도전류에 의한 충전방식 등 궤도가 없는 시스템일 경우에는 이 법규들을 적용할 수 있는가에 대한 문제

○ 본 연구에서 상위연구에서 제시한 PRT 특성을 감안하여 검토를 위한 적용법규는 원칙적으로 도시철도법을 기준으로 하며, PRT에 적합하지 않는 법률적인 사항에 대해서는 보완적으로 PRT에 적합한 조건을 반영하여 검토 수행

나. 배터리의 대체주기 및 적정가격

○ 본 연구 대상의 PRT 차량은 배터리 방식으로 동력을 공급받는데 배터리는 수명에 한계가 있음
- 배터리의 대체주기는 쉐보레 볼트에 장착되는 배터리는 5년간 보증을 하나 그 기간에 대해서는 편차가 있어 3~10년 사이로 변동이 가능한 것으로 파악
- 본 연구에서는 향후 PRT 차량이 산업체가 제시한 교체주기를 5년 대신 10년간 사용이 가능한 배터리를 장착한다는 가정 하에 배터리 교체주기를 10년으로 낙관적으로 설정

○ 배터리 가격에 대해서 표준화 되어 있는 배터리에 대한 자료가 없는 상태이며, 소비자의 주문에 따른 생산형태로서 생산업체는 본 사업의 주문단위인 200~300대 규모로는 견적검토가 어렵다는 의견 제시
- 개략적으로는 3~4만대 주문 시에 1kwh 용량 당 1,000USD(1.05백만 원)로, PRT 배터리 용량이 5kwh (0.24kwh/량-km)라면 약 5.25백만 원이 적정하나 생산량이 적을 경우 1대당 20~30백만 원으로 비용이 상승할 수 있다는 의견 제시 받음
- 한국철도연구원의 시뮬레이션 결과는 30분 운행용량으로 3.96kwh에 1kwh당 60만원으로 산정하여 1대당 배터리 가격을 238만원으로 제시, 배터리 가격은 현재 기술개발추세를 고려하면 10년 후 배터리 비용은 현재 가격의 50% 이하가 될 것으로 판단된다는 의견도 제시
- 연구진은 배터리 용량은 첨두시 충전할 시간이 없다는 가정에서 보수적으로 2시간 용량이 적절하다고 판단하였고, 1대당 배터리 가격으로 10백만 원을 적용

2. 수요 및 편익 측면

가. 교통수단분담모형의 구축

○ 새로이 도입되는 교통수단의 경우 수단분담모형 구축을 통해 기존 수단으로부터의 전환율을 계산하여 이용수요를 산출해야 함.

- 그러나 현재 PRT수단에 대한 수단분담모형이 부재하기 때문에, PRT에 대한 수요분석을 위해서는 PRT를 이용하는 수단O/D 구축이 반드시 필요하며, 이는 PRT 수단분담모형 개발을 통해 가능

○ 본 연구에서는 철도기술연구원의 PRT 수단분담모형개발 용역의 결과값을 참고하여 분석
- 통행자 개개인의 통행 행태 특성을 파악하여 수단 분담률을 예측하는 개별 통행행태모형 중 로짓 모형을 적용
- 분석지역의 정산 과정 수행 후 실제 모형1과 모형2의 적용 후 비교 분석을 통하여 적용가능 모형을 선정

○ PRT 시스템의 운행방식과 최소시격의 특성을 고려하여 균형상태의 수단별 O/D 구축이 필요할 것으로 판단하여, 수단분담 수행 후 도로 및 PRT 수단의 통행시간/비용이 변화하므로 통행배정단계와 수단선택단계를 지속적으로 반복 수행하는 방안을 적용
- 특히 사업 시행 시 달라진 공로 혼잡이 반영된 통행시간을 수단분담 모형에 다시 적용하여 수단별 O/D를 재산출하는 과정을 통해 균형상태(Equilibrium)의 수단별 O/D를 산출

나. SP조사의 적정성

○ PRT 수단분담모형 구축을 위해서는 SP조사를 통한 이용자 통행패턴의 모형화가 이루어져야 함
- 이러한 설문을 위해서는 PRT수단에 대한 속성, 즉 도입지역, 표정속도, 대기시간, 재차인원 등의 물리적 속성이 명확하게 정립되어 있어야 하나, 현 연구단계에서는 다소 불확실한 부분이 많이 존재
- 또한 응답자들은 자신이 선택한 수단이외에는 통행시간/비용에 대한 인지도 부족한 상황

○ 그럼에도 불구하고 본 연구에서는 전환률을 계산하기 위해 SP연구를 토대로 제시된 전환률을 이용하여 기존 이용자들의 전환규모를 파악, 적용

다. PRT 노선

○ PRT 시스템의 노선의 경우 철도기술 연구원에서 계획한 노선을 토대로 수요분석을 위한 기초 노선 데이터를 구축함

○ 철도기술연구원의 PRT 노선의 설계상 특징으로는 복선이 아닌 단선 노선으로 한 방향 통행만이 가능한 것이 특징이며, 이와 같은 결과는 수요분석 시 방향별로 수요가 크게 상이함을 야기할 수 있음
- 역간 수요가 방향별로 상이하게 나타남
- 이는 PRT 노선이 단선으로 설계되고 계획되면서 one-way적인 특성 상 나타나는 결과로 해석될 수 있음

라. 평균 재차인원 및 요금수준

○ 교통수요 추정을 위하여 각 교통수단의 재차인원을 고려하는 것은 중요한 요인임. 특히 재차인원에 따라

운행횟수 및 차량대수가 결정되므로 PRT시스템의 재차인원에 대한 가정은 더욱 중요함

- 그러나 PRT시스템의 경우 현재 국내 운행 및 적용사례가 전무한 실정으로 적용 가능한 재차인원이 없음

○ 본 연구에서는 평균 재차인원을 1.55명으로 가정함

- PRT 시스템의 특성 중 정해진 노선이 아닌 수요에 따라 운행하고 프라이버시 보장 등 특성을 고려하여 택시를 PRT의 유사 교통수단으로 판단
- 「차세대 도시철도 기술개발사업(소형궤도열차시스템)」(1차년도 보고서 P536)에서 4인승과 8인승 차량에 대한 시뮬레이션 결과 승차정원과 관계없이 평균 승차인원이 1.8명 전후로 분석
- 영국 Cardiff PRT 타당성 분석 시 평균재차인원으로 1.32인을 가정함
- 수도권 가구통행실태조사 결과 택시의 평균재차인원은 1.55인임

○ 재차인원 가정시 택시수단의 재차인원을 적용한 것을 토대로 통행요금의 경우 2,000원을 적용함

- 영국 Cardiff PRT 타당성 분석 시 차량 당 1 파운드(인당 70페니)를 가정함
- 현재 PRT시스템의 통행요금이 정확히 정해지지 않고, 특히 요금의 징수방식(통합요금제 혹은 독립요금제)이 정해지지 않은 상황에서 정부의 PRT운영을 전제로 통합요금제 기준의 2,000원을 적용하는 것이 합리적이라 판단한 결과

마. 추가편익 산정항목

○ PRT 시스템의 편익추정을 위하여 본 연구진은 일반적인 교통사업의 예비타당성조사 지침에 의한 통행시간절감편익, 차량운행비용 절감편익, 교통사고 절감편익, 환경비용 절감편익 등 정형화된 편익만을 산정

○ 정시성과 온실가스 감소가 강조되는 것을 고려할 때 정시성과 관련된 항목으로 통행시간 신뢰성 편익과 온실가스 저감효과를 편익항목으로 추가적으로 산정되어야 할 편익이 존재할 것이라고 사료됨

○ 그러나 통행시간 신뢰성 향상편익의 경우 운행실적 자료 등을 통하여 통행시간 신뢰성 지표 및 통행시간 신뢰성 가치에 대한 연구가 필요하나 PRT시스템이 신교통수단이므로 이러한 연구자료의 부재로 인하여 추가편익 산정에 포함하지 않음

- 또한 온실가스 저감효과의 경우 차량통행감소 당 배출량에 대한 데이터가 확보되지 않았고 환경비용 절감편익 중 대기오염 감소편익에 일부 포함되어 중복계상의 우려가 있는 등을 감안하여 산정에서 제외하고 사업특수항목으로 평가

제3장 기술성 검토 및 비용추정

제1절 기술성 검토

1. PRT시스템 설계 기준

가. PRT시스템 설계기준의 기본방향

○ 한국철도기술연구원이 제시하는 최소한의 차량 및 선로기준을 바탕으로 본 연구에 필요한 설계기준으로 추가함으로써 노선계획과 비용 산정의 적정성을 확보

나. PRT시스템의 차량 관련 기준 검토

<표> PRT 차량제원 및 선로기준(한국철도기술연구원)

구 분	기 준	비 고
차 량 중 량	만차: 2.0ton /공차: 1.2ton	승객:0.4톤[65kg,6인],수하물: 0.4톤
차 량 길 이	3,800mm	
축 간 거 리	2,100~2,200mm	동적안전성 고려
축 수	2축	최대 1축당 1톤, 차륜당 0.5톤
주 행 방 식	주행륜	
급 전 방 식	배터리	
승 차 인 원	MAX: 6명/ NORMAL: 4명	
운 행 방 식	무인	
최소시격 (Head way)	3초	60km/h일 때, 차량간격 50m
수 송 능 력	6,000인/방향·시간 (최대)	
궤 간	1,000mm	
최소궤도 중심간격	2,200mm[1)]	일부 복선형태의 경우
설계속도	70 km/h	
운행 최고속도	60 km/h	
가속도/감속도	2.5~3.0m/s^2	APM 표준
등 판 능 력	15~20% (차량정상조건)	PU(폴리우레탄)
최소곡선반경	6 m[2)]	K-AGT : 100m, 부득이한 경우 40m
표준 역간거리	500 m	

주: 1) 최소중심간격 : 1,350mm(내부 : 3인) + 200mm(외부) + 650mm (인명대피를 포함한 차간 공간

2) 자동차의 경우 10km/h미만의 속도에서 최소곡선반경은 5m임 [도로교통 건설규칙]

다. 관련법규 및 시방서 규정

○ 구조물 설계기준 : 도로교 설계기준 (국토해양부,2010)

○ 운영 및 안전 관련 설계기준 : 도시철도법, 도시철도 건설규칙, 도시철도차량 관리에 관한 규칙, 철도안전법

○ 시설규모 선정기준 : 신교통시스템 등의 유사사례 적용

2. 설계기준 선정 및 기술적 적정성 검토

<표> 설계기준

구 분	기 준	비 고
차 량 중 량	만차: 2.0ton / 공차: 1.2ton	
차 량 길 이	3,800 mm	
축 간 거 리	2,150 mm	
축 수	2 축	
주행륜 형식	고무타이어	
급 전 방 식	배터리	
승 차 인 원	MAX: 6명	
운 행 방 식	완전자동무인	Driverless
최소시격 (Head way)	3초	60km/h일 때, 차량간격 50m
수 송 능 력	7,200인/방향·시간 (최대)	본선기준
궤 간	1,000 mm	
최소궤도 중심간격	2,200 mm	복선기준
설계속도	70 km/h	
운행 최고속도	60 km/h	
가속도/감속도(상용)	1.0/1.1 m/s^2	승차감 고려, 비상제동 3.0m/s^2
등 판 능 력	10% (부득이한 경우 15%)	
최소곡선반경	15m (부득이한 경우 6 m)	
완 화 곡 선	클로소이드	
표준 역간거리	500 m	

3. PRT시스템 본선 공법 및 공사비 검토

가. 공법 비교검토 및 최적공법 선정

○ 수요가 고가(교량), 지상(토공), 지하(BOX/터널)과 같은 노반형식에 의해 영향을 받지 않는다는 가정에서는 지상(토공)이 가장 저렴할 것이나 지역 여건에 따라서는 노반형식을 조합하여 사용할 수 있음.

○ 지하공법은 가시설, 방재 및 환기시설, 지장물 처리 등으로 비용 증가가 발생하므로 본 연구 PRT시스템에서는 검토하지 않는 것으로 함.

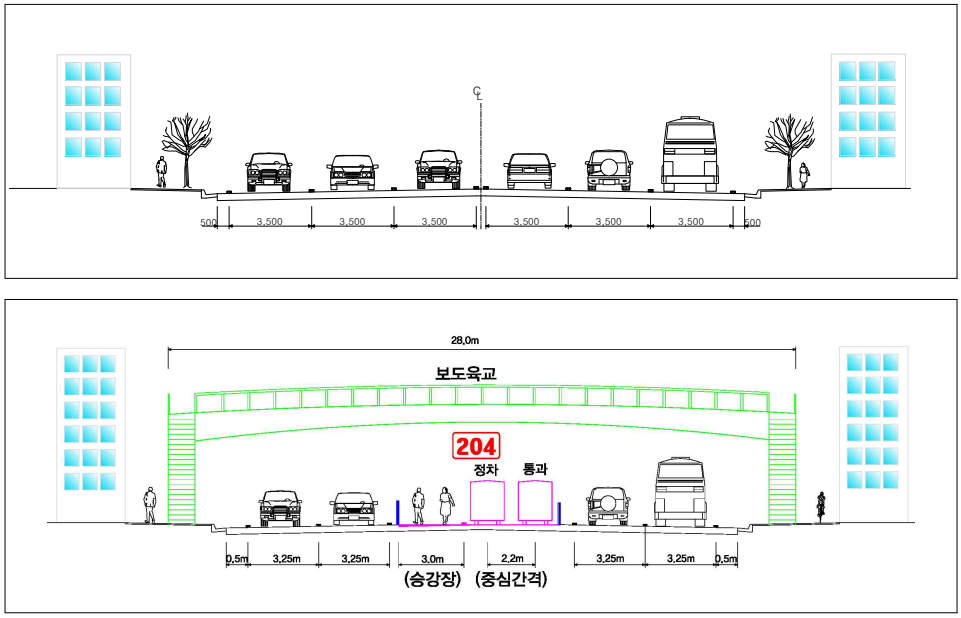
<표> 노반 형식별 AGT 사업비 비교

구 분	고 가	지하+고가	지 하	비 고
토 목 (억원/km)	233.2	474.3	580.5	
시스템 (억원/km)	137.4	303.9	276.6	
부대비 (억원/km)	55.6	116.7	128.6	
계 (억원/km)	462.2	895.0	985.6	
	100%	194%	213%	
차 량	18억원/량	18억원/량	18억원/량	

○ 경제적 효과를 얻기 위해서는 상당 연장을 노면으로 계획하여야 하나, 이럴 경우무인운전의 안전성 확보를 위해 본선구간에 휀스를 설치하고 횡단보도를 모두 철거한 후 육교와 같은 보행자용 횡단시설을 설치해야 하는 등 비용증가로 노면주행에 따른 공사비 절감효과 저감되므로 노면공법은 도입지역 여건 분석 등을 통하여 적용하는 것이 필요

<그림> 노면 공법 평면 및 횡단면도





<표>노반형식 조합별 개요 및 장단점

구 분	개요 및 장단점	적용성	공사비
고가(교량)	- 전 구간 고가로 기존 교통류 상충 방지 도심지구간에서는 민원발생 가능성 상존	도심지	3
고가+지상	- 교차로 구간은 입체화 적용 및 기타 구간 노면운행 - 도심지 구간 적용시 지역단절 또는 보행자를 위한 지하횡단시설 필요 - 횡단시설 미고려시 공사비 비교적 저렴	도심지 위락지	5
지상(토공)	- 도심지 구간 적용시 지역단절 또는 보행자를 위한 지하횡단시설 필요 - 횡단시설 미고려시 공사비 가장 저렴	위락지	6
지상+지하	- 민원구간 지하 적용 - 지상구간의 단점은 고가+지상안과 같음	도심지 위락지	4
지하(BOX)	- 전 구간 지하로 구조물 설치에 따른 민원 최소화 - 공사비 가장 고가(高價)	도심지	1
지하+고가	- 민원구간 지하 적용 및 기타구간 고가 - 지하안에 비해 저렴하나 전반적으로 비용이 높음	도심지	2

주 : 공사비는 1이 가장 고가(高價)이며 6에 가까울수록 낮아짐.

나. 본선 표준 교량 설정 및 공사비 산출

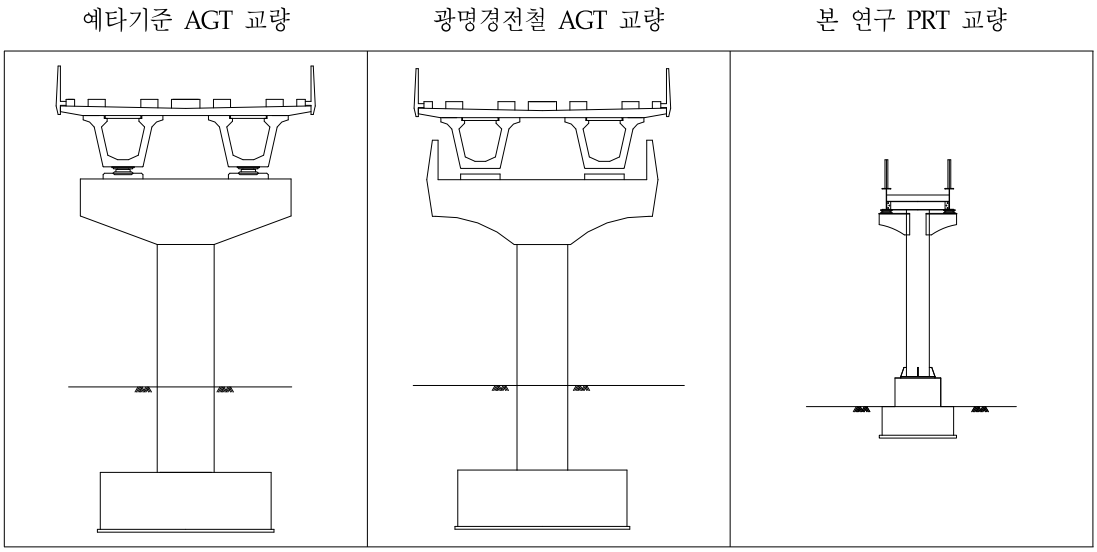
1) 본선 표준 교량의 설정 목적 및 기본방향

○ 도시경관과 조화가 되어야 하며 점유공간 최소화

○ 차량하중이 매우 작음으로 경제성 확보를 위해 경량재료 사용

○ 현장시공이 용이하도록 대블럭 가설 적용 및 시공기간 최소화

<그림> 고가구조물 교량단면 비교



2) 구조계산

○ 도로교 설계기준(2010, 국토해양부)을 적용하되 하중은 PRT시스템의 차량하중을 적용

○ 교각 측면 트럭과의 충돌을 고려하여 도로교설계기준에서 규정하고 있는 충돌하중을 적용

○ 차량 중량(1륜당) : 5kN(만차기준), 등분포하중 : 5.17kN/m

○ 충돌하중 : 차도방향(1,000 kN), 차도직각방향(500 kN), 적용위치(노면위1.8m)

3) 공사비 산출

○ PRT 본선교량의 개략공사비는 1km당 38.22억원(부가세 제외)으로 예비타당성조사지침의 AGT 본선교량 175.94억원(2010년 환산가격)의 22% 수준으로 검토

<표> PRT 교량 개략 공사비

(단위 : 백만원)

구 분	규격	공사비	단위미터공사비	1km당 공사비
직접공사비				
- 상부공사비	3@20=60m	99.328	1.655	1,655.5
- 하부공사비		41.797	0.697	696.6
고정단	2개소	24.474		
가동단	1개소	17.323		
A. 소 계		141.125	2.352	2,352.1
B. 부대공	A의 25%	35.281	0.588	588.0
C. 계	A+B	176.406	2.940	2,940.1
D. 제잡비	C의 30%	52.922		882.0
E. 합 계		229.328		3,822.1
F. 부가가치세				382.2
G. 총 계				4,204.3

주 : 단가기준년도 2010년

4. PRT 노선계획

가. 개 요

○ 대상부지별 노선은 도로현황 등을 고려하여 기하구조를 조정하여 최적화하였으며, 타 교통류와의 상충을 방지하기 위해 전구간 교량으로 계획

○ 차량운행은 단선으로 일방향 운행을 하는 것으로 계획, 정거장위치 한국철도기술연구원의 제시안을 수용, 차량기지 위치는 노선인근 공터 및 대지를 조사하여 선정

나. 송도신도시

○ 송도신도시에 대한 노선 개요

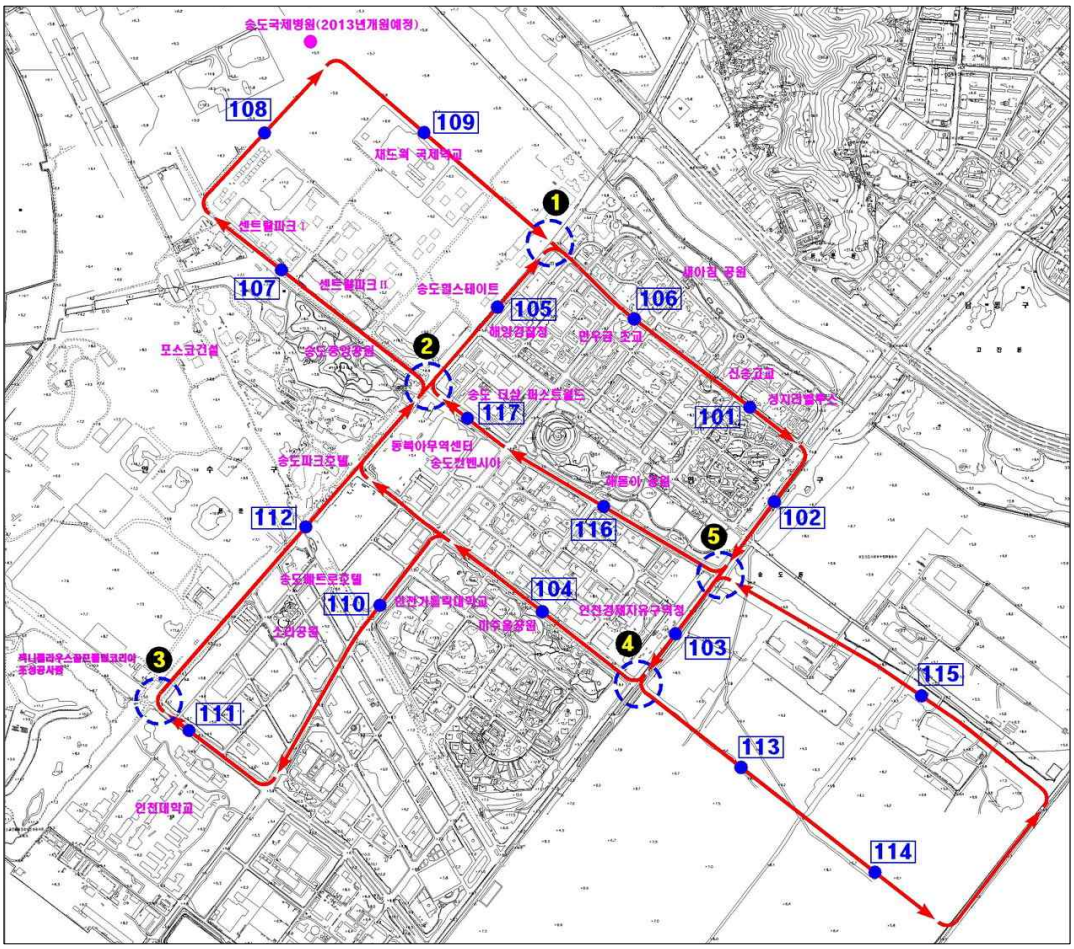
- 노선계획 검토 결과 사업비가 고가(100%)인 1(안) 1,920.79억 원, 지상노면 80%인 2(안) 1,828.44억 원으로 2(안) 사업비가 1(안)의 95.2% 수준으로 큰 차이를 보이지 않음
  - 노면비율이 증가하더라도 사업비 차이가 크지 않은 것은 횡단보도의 대체시설로 육교를 설치해야함으로 추가비용이 발생하기 때문 (2(안)의 사업비 추정은 제Ⅲ장 마지막의 [참고]부분 참조)

- 2(안)의 사업비가 1(안)의 95.2%에 달하여 비용절감의 효과가 적고, 일부 구간의 차로 축소 및 육교설치로 인한 보행자의 통행권을 악화시킬 수 있기 때문에 보다 현실적인 측면에서 송도신도시의 노선계획은 1(안)을 선택하여 분석

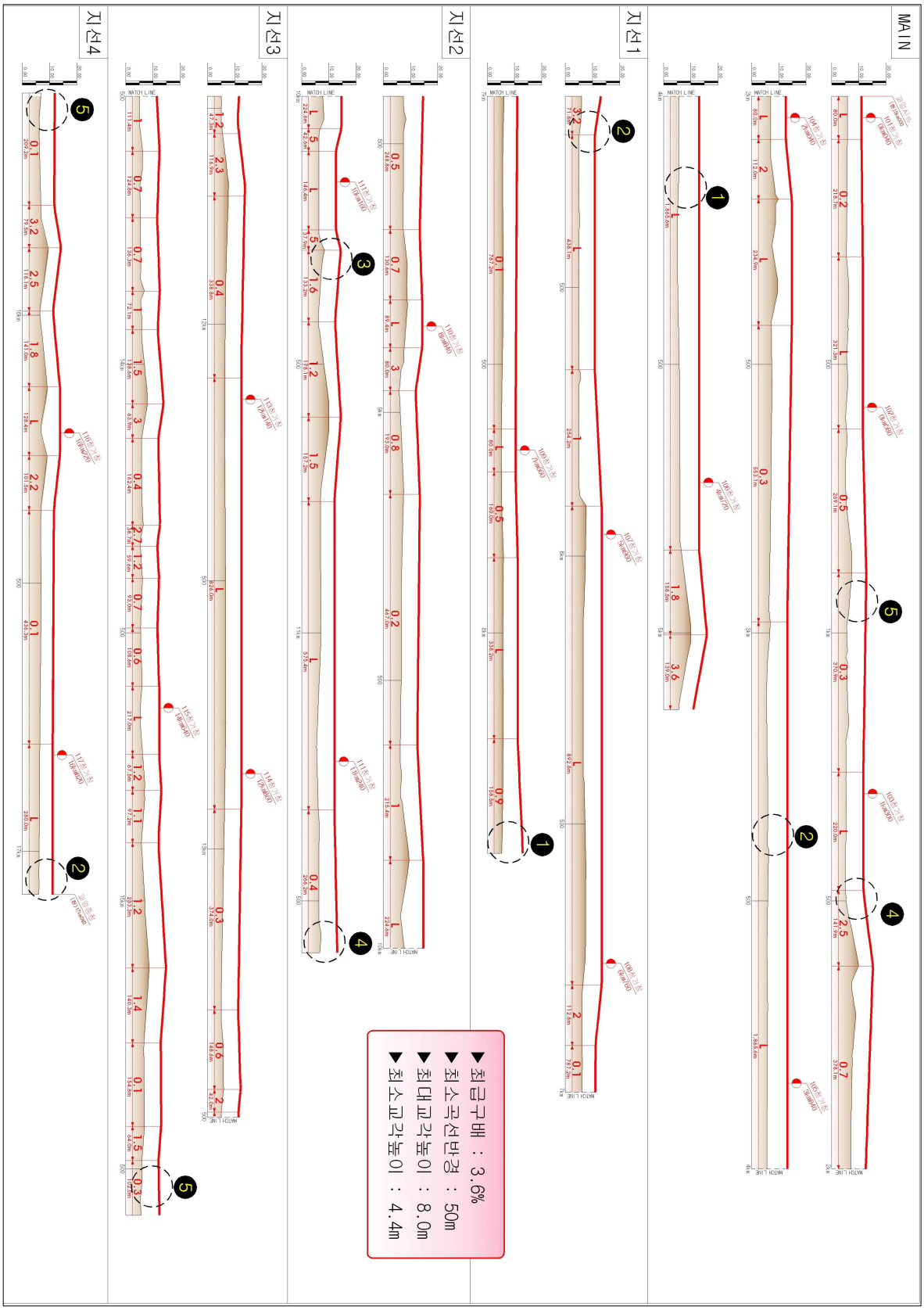
<표> 송도신도시 노선계획(안) 비교

구 분	노면(토공) (km)	고가(교량) (km)	계 (km)	정거장 (개소)	최급 기울기	최 소 곡선반경	사업비 (억원)	비 고
1안 : 고가	-	17.080 (100%)	17.080	17	3.6	50m	1,920.79	적용(안)
2안 : 고가+지상(노면)	13.596 (80%)	3.484 (20%)	17.080	17	8.2	50m	1,828.44	• 노면정거장 구간 차선 축소(6차선→2차선) • 본선 측면 방호시설 설치 • 횡단보도 차단으로 보도육교필요(54개소)

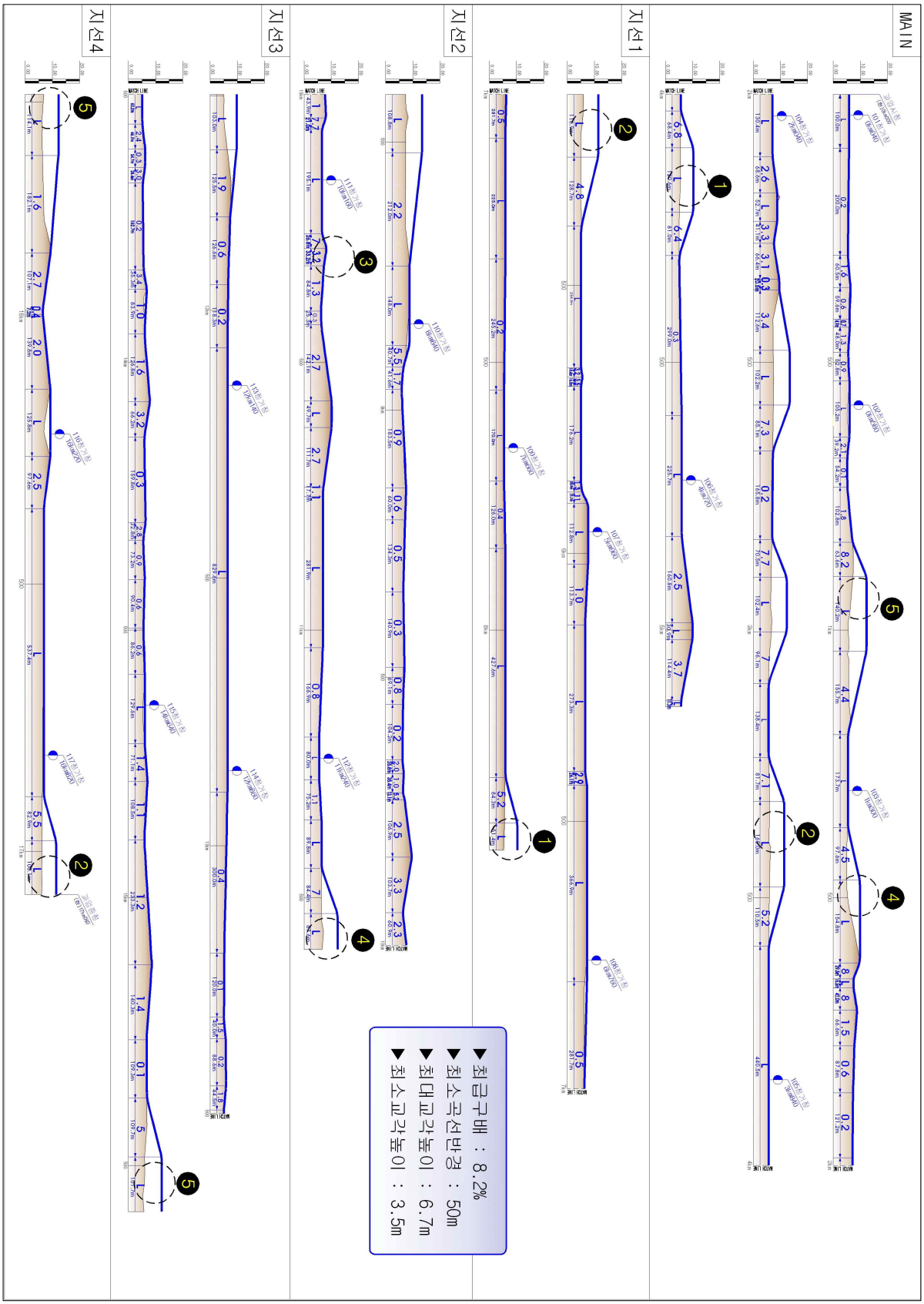
<그림> 송도신도시 노선도



○ 송도신도시 종단면도(1안 : 고가)



○ 송도신도시 종단면도(2안 : 고가+지상)



다. 상암DMC

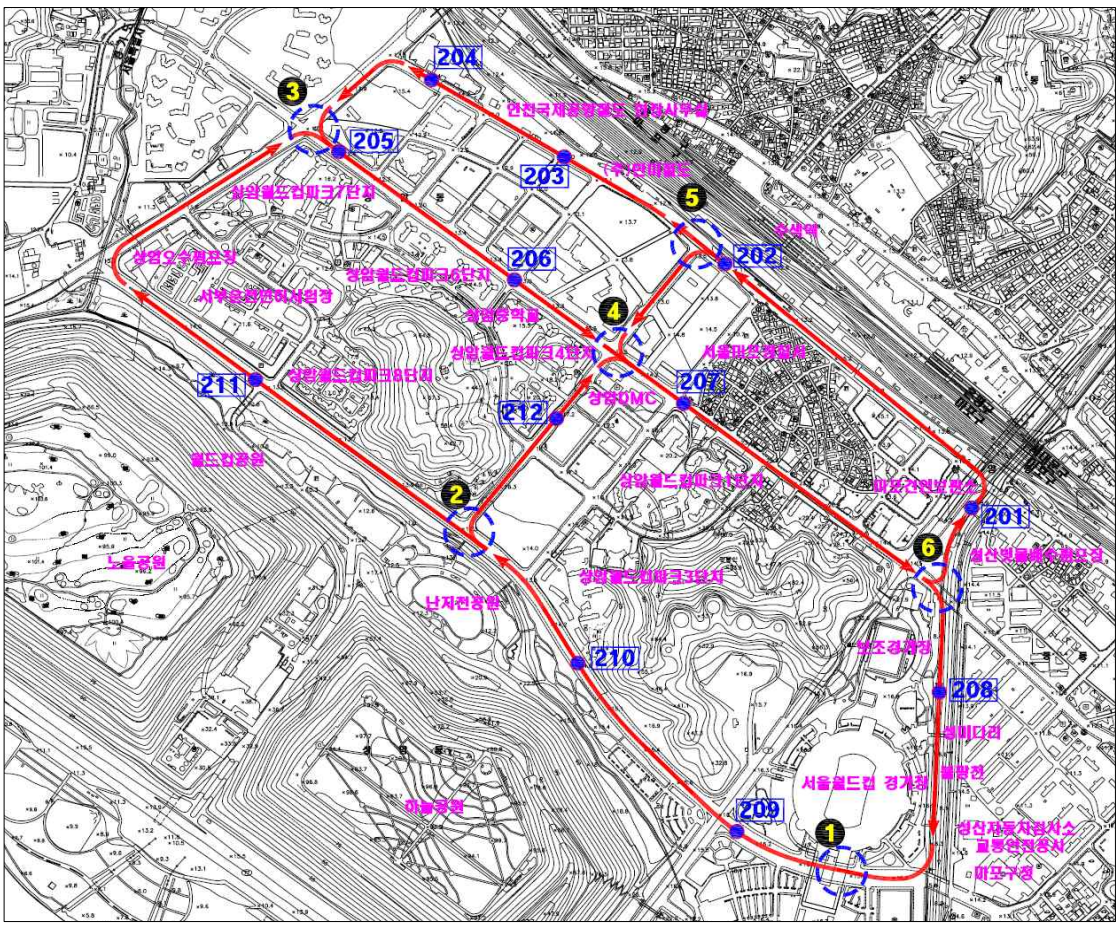
○ 상암DMC에 대한 노선 개요

<표> 상암DMC 노선계획(안) 비교

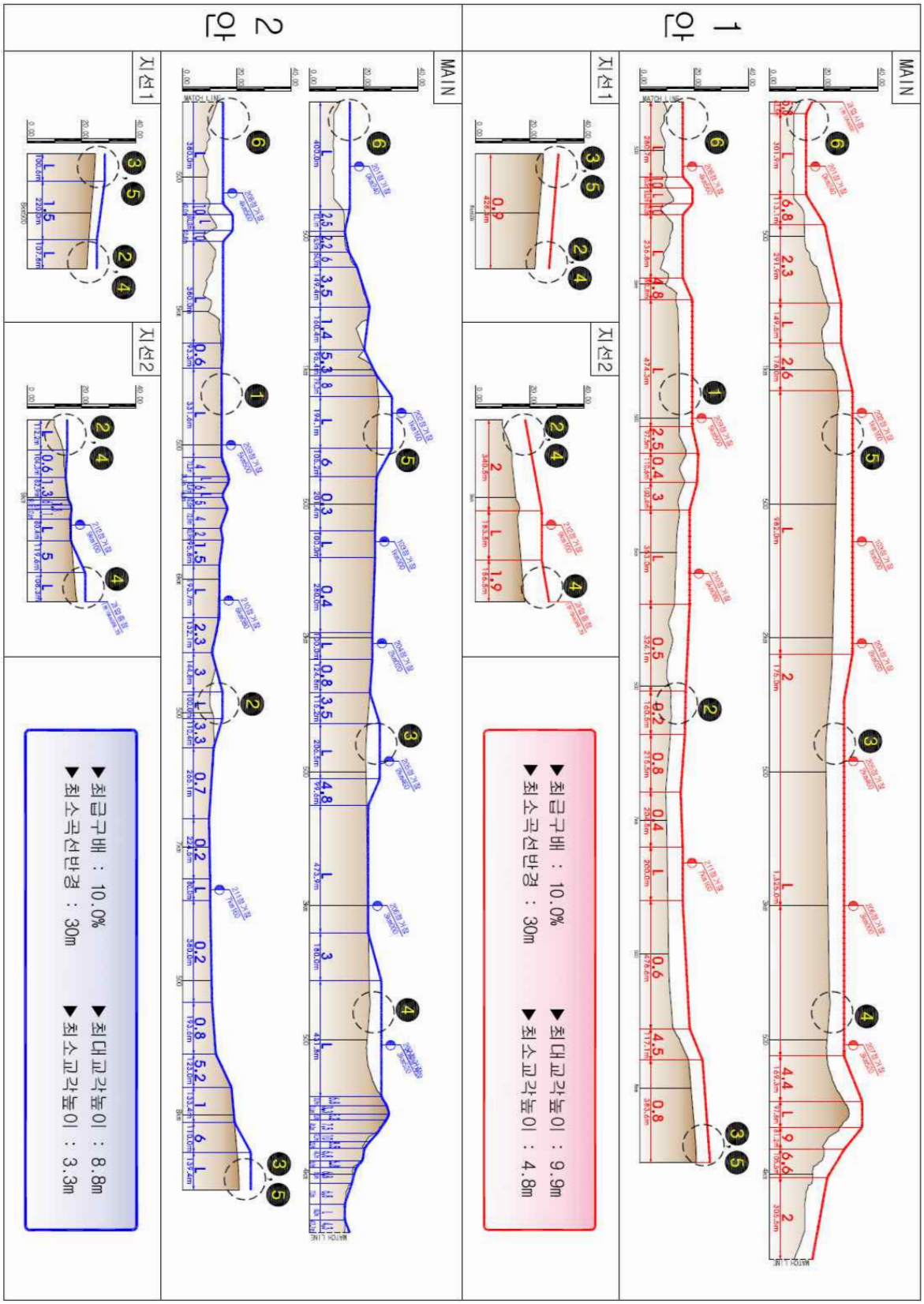
구 분	노면(토공) (km)	고가(교량) (km)	계 (km)	정거장 (개소)	최급 기울기	최 소 곡선반경	비 고
1안 : 고가	-	9.388	9.388	12	10.0%	30m	적용(안)
2안 : 고가+ 지상(노면)	4.113	5.275	9.388	12	10.0%	30m	• 노면정거장 구간 차선 축소(6차선→2차선) • 본선 측면 방호시설 설치 • 횡단보도 차단으로 보도육교필요(21개소)

- 노선계획 검토 결과 2(안)의 경우 1(안)과 대비하여 비용절감의 효과가 적고, 대부분의 구간에서 기존 도로의 폭원 축소 및 육교 설치로 인한 보행자의 통행권을 악화 등의 인해 보다 현실적인 측면에서 1(안)을 선택하여 분석

<그림> 상암DMC 노선도



○ 상암DMC에 대한 종단면도(1안 : 고가 2안 : 고가+지상)



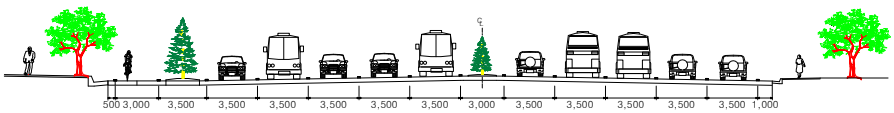
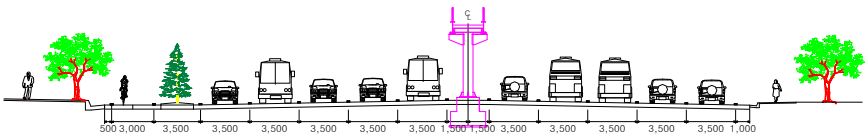
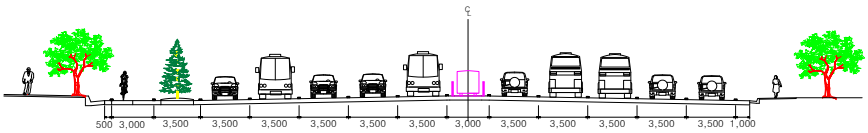
라. 대상부지별 노선계획 결과

○ 노선은 도로현황 등을 고려하고 타 교통류와의 상충방지 등을 감안하여 두 지역 모두 고가(안)을 채택

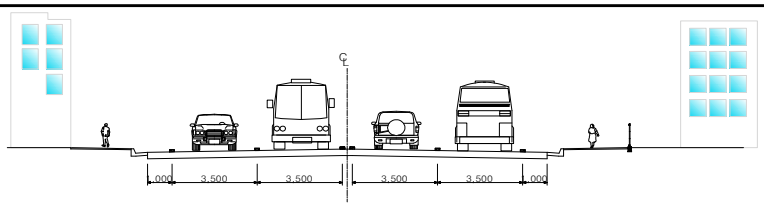
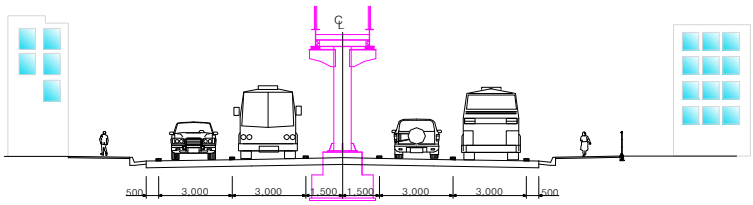
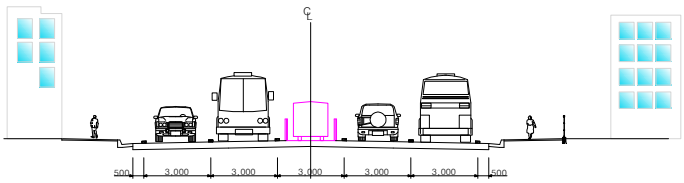
- 노면+고가 병행의 경우 토목공사비 절감효과는 있을 것이나 노선 상에 위치하는 횡단보도 폐지 및 육교 설치에 따른 비용추가에 따른 비용절감 효과 상쇄와 지역주민의 통행권 악화 가능성을 종합적으로 고려하여 검토대상에서 제외

○ 고가설치에 따라 3.0m의 도로 중앙 공간 점유가 필요

<표> 송도도시지구 : 캠퍼스타운역 교차로 ~ 인천자유무역청 교차로구간 횡단면도

기존 도로	
고가	
고가 + 지상	

<표> 상암DMC : 중동교삼거리 ~ SBS미디어센터 교차로구간 횡단면도

기존 도로	
고가	
고가 + 지상	

○ 최소곡선반경, 최급기울기 측면에서 모두 송도신도시가 상암DMC 보다 유리할 것으로 분석

<표> 대안부지별 노선 평면선형 및 종단 비교

구 분		송도신도시		상암DMC		비 고
		고가	고가+노면	고가	고가+노면	
연 장		17,080m	17,080m	9,388m	9,388m	
곡선개소	R = 30	-	-	1개소	1개소	
	R = 50	16개소	16개소	5개소	5개소	
	R = 60	-	-	4개소	4개소	
	R = 80	-	-	1개소	1개소	
	R = 100	-	-	1개소	1개소	
	R = 200	-	-	1개소	1개소	
	R = 300	-	-	1개소	1개소	
	R = 500	1개소	1개소	1개소	1개소	
	R = 800	-	-	1개소	1개소	
	R = 1,000	8개소	8개소	1개소	1개소	
	계	25개소	25개소	17개소	17개소	
곡 선 연 장		1,849m	1,849m	1,455m	1,455m	
직 선 연 장		15,231m	15,231m	7,933m	7,933m	
기울기	10.0%	-	1개소	2개소	3개소	
	9.0%	-	-	1개소	-	
	8.5%	-	-	-	1개소	
	8.0%	-	3개소	-	1개소	
	7.5%	-	3개소	-	1개소	
	7.0%	-	5개소	1개소	5개소	
	6.5%	-	1개소	1개소	-	
	6.0%	-	-	1개소	5개소	
	5.5%	-	2개소	-	1개소	
	5.0%	2개소	5개소	1개소	5개소	
	4.5%	-	2개소	2개소	1개소	
	4.0%	-	-	-	2개소	
	3.5%	1개소	6개소	-	4개소	
	3.0%	4개소	7개소	1개소	2개소	
	2.5%	4개소	9개소	3개소	2개소	
	2.0%	6개소	7개소	4개소	2개소	
	1.5%	5개소	11개소	-	5개소	
	1.0%	12개소	13개소	3개소	4개소	
	0.5%	17개소	18개소	4개소	5개소	
	L	25개소	53개소	13개소	25개소	
	계	76개소	146개소	37개소	74개소	

제2절 총사업비 추정

1. 총사업비 추정의 개요

○ 비용추정의 기본방향

- 본선교량 표준모델 선정에 의한 해석과 물량산출로 비용을 산출
- 기타분야는 유사 경전철 시스템 자료와 해외문헌을 참조하여 원단위 추정
- 대상노선에 대한 수요예측 결과를 반영하여 운영비 산출

○ 비용보정 및 기준년도

- 디플레이터는 총공사비산출을 위해 교통시설 건설공사지수를 적용, 유지관리비 산출에는 소비자 물가지수 적용
- 건설업디플레이터는 2010년 138.4으로 2005년에서 2010년까지 연평균 6.72%가 상승, 소비자물가지수는 2010년 116.1으로 연평균 2.22%로 분석
- 비용분석의 기준년도는 2010년 12월 31일을 기준

○ 부가가치세 적용

- 본 연구에서는 조세특례제한법에 의한 영세율 적용을 하지 않음
- 따라서 부가가치세의 적용은 경제성분석에서는 제외하고 재무성분석에서는 적용하여 분석하는 것으로 하여 비용을 산출

○ 환율

- 환율변동을 특정시점으로 고정하는 것은 오차율이 클 것으로 판단
- 2007.12.31 종가 환율과 2010.12.31 종가 환율의 평균값 1,815원을 적용

2. 총사업비 추정

○ 총사업비는 공사비, 부대비, 용지비, 차량구입비로 분류

- 공사비는 토목, 건축, 시스템, 차량기지로 세분하여 표준 원단위 공사비를 추정하여 적용
- 비용의 추정 및 검증을 위해 해외사례에서의 사업비, 송산그린시티신교통(BRT)시스템, 벡터스(Vectus)에서 제안한 「순천만소형경전철사업」의 공사비 단가, 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)에서 제시된 경량전철 km당 철도건설단가를 활용

가. 공사비

(1) 토목공사비

○ 토목공사비는 크게 본선, 정거장으로 구분하여 노면(토공), 고가(교량)로 세분하여 추정

- 송도의 경우 연약지반을 개량한 구간으로 토목구조물이 설치될 경우 말뚝공사가 수반될 것이나 본 연구에서는 자료의 한계와 일반적인 비용의 적용이라는 관점에서 송도와 상암DMC 모두 말뚝공사비 불포함

<표> 토목 공사비 단가

구분	본선(억원/km)		정거장/건축 (억원/개소)		지 장 물	
	노면	교량	노면	고가	노면	고가
공사비 단가	7.63	38.22	2.84	9.66	본선 노면 공사비의 10%	본선 고가 공사비의 30%
비 고	BRT 70%	직접기초	BRT 55%			

주 : 부가가치세 별도

(2) 시스템 공사비

○ 시스템 공사비는전기, 신호, 통신으로 구분하여 추정

○ 배터리방식의 PRT시스템으로 충전시스템비용을 다벤트리 PRT시설비용 인용하여 추정

<표> 시스템 공사비 단가

(단위 : 억원/km)

구 분	전 기	신 호	통 신	충전 시스템 비용			
				구 분	단가(억원)	정거장수	금액(억원)
공사비 단가	8.10	13.59	4.14	송도신도시	0.1089	17	1.85
비 고	단선	단선	단선	상암DMC	0.1089	12	1.31

주 : 부가가치세 별도

(3) 차량기지 공사비

○ 차량기지 공사비는 토목, 건축, 시스템 등을 포함한 비용으로 원단위를 추정

<표> 차량기지 공사비 단가

구 분	차량기지 면적(㎡)	차량수(량)	1량당 소요면적(㎡)	충전시스템 (억원)	단위당 공사비	
					억원/㎡	억원/개소
송도신도시	3,026	178	17	4.61	0.0340	102.96
상암DMC	680	40	17	0.15	0.0327	22.25

주: 1) 부가가치세 별도

2) 단위공사비는 토목, 건축, 시스템비용을 포함

(4) 공사비 산정결과

<표> 공사비 산정 결과

(단위 : 억원)

공 사 종 류	단위	단가	송도신도시		상암DMC	
			수량	금액	수량	금액
A. 공사비				1,428.29		776.66
A-1. 토목				882.30		510.61
A-1-1. 본선	km		17.080	718.08	9.388	394.69
A-1-1-1. 고 가	km	38.22	17.080	652.80	9.388	358.81
A-1-1-2. 노 면	km	7.64	0.000	-	0.000	-
A-1-1-3. 부대공				65.28		35.88
A-1-2. 정거장	개소		17	164.22	12	115.92
A-1-2-1. 고 가	개소	9.66	17	164.22	12	115.92
A-1-2-2. 노 면	개소	2.84	0	-	0	-
A-2. 시스템				443.03		243.80
A-2-1. 전 기	km	8.10	17.080	138.35	9.388	76.04
A-2-2. 신 호	km	13.59	17.080	232.12	9.388	127.58
A-2-3. 통 신	km	4.14	17.080	70.71	9.388	38.87
A-2-4. 충전시스템	개소	0.1089	17	1.85	12	1.31
A-3. 차량기지				102.96		22.25
A-3-1. 차량기지	㎡	0.03460		102.96	833	22.25
A-4. 부가가치세			-	-	-	-

주 : 부가가치세 제외

나. 부대비 산정

○ 기본설계, 실시설계 등의 설계비, 공사감리비, 측량비 및 조사비 등

○『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판) 및 총사업비관리지침(기획재정부)』을 적용하여 산정

- 조사비 : 공사비의 1%를 산정
- 설계비 : '엔지니어링 사업대가 기준'의 공사비 비율에 의한 방식을 적용
- 공사감리비 : 기획예산처의 총사업비관리지침을 기준으로 공사감리 비용을 산출 적용
- SE 비용 : 시스템 공사비의 5% 적용
- 시운전비 : 개통 초기년도 유지관리비의 50% 적용(6개월)

○ 부대비 산정결과

<표> 부대비 산정 결과

(단위 : 억원)

공사종류	규 격	단위	송도신도시		상암DMC	
			수량	금액	수량	금액
B. 부대비				157.87		88.76
B-1. 조사비	공사비 요율	%	1	14.28	1	7.77
B-2. 기본설계비	공사비 요율	%	1.385	19.79	1.408	10.94
B-3. 실시설계비	공사비 요율	%	2.777	39.66	2.816	21.87
B-4. 공사감리비	공사비 요율	%	1.291	18.44	1.322	10.27
B-5. SE비용	(A-2)×5%	%	5	22.15	5	12.19
B-6. 시운전비	6개월	식	1	43.55	1	25.72
B-7. 부가가치세	(B1~B5)×10%	%	0	0	0	0

다. 용지보상비

○ 송도신도시 및 상암신도시의 PRT 노선은 도로 중앙을 통과하고 정거장도 도로 또는 보도 상에 설치함으로써 사유지 저촉은 피하는 것으로 계획

○ 다만 차량기지의 경우 적절한 공공부지 확보가 어려워 사유지에 설치『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』에서 제시한 표준지의 보상기준을 적용하여 산정

<표> 차량기지 용지보상비

구분	행정구역 및 지목	보상 배율	공시지가 (원/㎡)	편입면적 (㎡)	용지보상비 (억원)
송도신도시	송도동 13-8번지, 전	1.5	290,000	3,026	13.16
상암DMC	덕은동 360-2,3번지, 전	1.5	2,420,000	680	24.68

주) 한국감정평가협회 표준공시지가참조 www.kapanet.co.kr (2010.12.31. 기준)

라. 예비비

○ 공사비+부대비+용지보상비의 10%로 산정

마. 차량 구입비

○ 차량노후에 따른 대체투자비는 내구연한 25년 기준으로 적용

○ 수요에 따른 소요 차량수를 산정, 차량이 필요한 1년 전에 구입하는 것으로 책정
- 대안별 소요차량대수는 시뮬레이션 결과를 수용
- 시뮬레이션 기준은 평균탑승거리 2~4km, 승객 대기시간 2분, 평균승차인원은 1.55명 적용

○ PRT 차량이 소형이라는 점과 공사기간이 3년으로 차량을 구입하여도 유치할 장소가 없다는 점을 고려 하여 개통 전년도에 일괄구매

○ 수요증가에 의한 추가구입은 초기구입 후 5년 후에 하는 것으로 검토

<표> 차량가격 산정

구분	요율	환율(원/£)	가격(백만원)	비고
환율적용	2007년12월31일	1,874	93.70	
	2010년12월31일	1,757	87.85	
철도기술연구원		-	80.00	
적 용	평균	1,815	90.75	

<표> 차량 소요량 및 구입가격

구 분			2016	2021	2026	2031	2036	계
송 도	소요량수(량)	운행	107	162	162	162	162	-
		예비(10%)	11	16	16	16	16	-
		계	118	178	178	178	178	-
	구입량수 (량)		118	60	-	-	-	-
	차량 비용 (억원)		107.09	54.45	-	-	-	161.54
상 암	소요량수(량)	운행	31	36	36	36	36	-
		예비(10%)	3	4	4	4	4	-
		계	34	40	40	40	40	-
	구입량수(량)		34	6	-	-	-	-
	차량 비용(억원)		30.86	5.45	-	-	-	36.31

주 : 1) 부가가치세 제외
2) 내구연한 경과에 따른 대체구입은 별도

바. 총사업비 추정

○ 대상사업별 총사업비는 다음과 같다.

<표> 송도신도시 총사업비

(단위 : 억원, 부가세 별도)

공사종류	규 격	단위	단가	수량	금액	비고
A. 공사비					1,428.29	
A-1. 토목					882.30	
A-1-1. 본선		km		17.080	718.08	
A-1-1-1. 고 가		km	38.22	17.080	652.80	
A-1-1-2. 노 면		km	7.64	0.000	-	
A-1-1-3. 부대공	지장물				65.28	
A-1-2. 정거장		개소		17	164.22	
A-1-2-1. 고 가		개소	9.66	17	164.22	
A-1-2-2. 노 면		개소	2.84	0	-	
A-2. 시스템					443.03	
A-2-1. 전 기		km	8.10	17.080	138.35	
A-2-2. 신 호		km	13.59	17.080	232.12	
A-2-3. 통 신		km	4.14	17.080	70.71	
A-2-4. 충전시스템		개소	0.1089	17	1.85	
A-3. 차량기지					102.96	
A-3-1. 차량기지		㎡		3,026	102.96	
A-4. 부가가치세				0%	-	
B. 부대비					157.87	
B-1. 조사비	공사비 요율	%		1	14.28	
B-2. 기본설계비	공사비 요율	%		1.385	19.79	
B-3. 실시설계비	공사비 요율	%		2.777	39.66	
B-4. 공사감리비	공사비 요율	%		1.291	18.44	
B-5. SE비용	(A-2)×5%	%		5	22.15	
B-6. 시운전비	6개월	식		1	43.55	
B-7. 부가가치세	(B1~B5)×10%	%		0%	-	
C. 용지보상비	공시지가×보상배율	㎡	0.00435	3,026	13.16	
D. 예비비	(A+B+C)×10%	%		10	159.93	
E. 총사업비	A+B+C+D				1,759.25	
F. 차량구입비					161.54	
F-1. 초기구입비	2016년	량	0.9075	118	107.09	
F-2. 추가구입비	2021년	량	0.9075	60	54.45	
총계(E+F)					1,920.79	

<표> 상암DMC 총사업비

(단위 : 억원, 부가세 별도)

공사종류	규 격	단위	단가	수량	금액	비고
A. 공사비					776.66	
A-1. 토목					510.61	
A-1-1. 본선		km		9.388	394.69	
A-1-1-1. 고 가		km	38.22	9.388	358.81	
A-1-1-2. 노 면		km	7.64	0.000	-	
A-1-1-3. 부대공	지장물				35.88	
A-1-2. 정거장		개소		12	115.92	
A-1-2-1. 고 가		개소	9.66	12	115.92	
A-1-2-2. 노 면		개소	2.84	0	-	
A-2. 시스템					243.80	
A-2-1. 전 기		km	8.10	9.388	76.04	
A-2-2. 신 호		km	13.59	9.388	127.58	
A-2-3. 통 신		km	4.14	9.388	38.87	
A-2-4. 충전시스템		개소	0.1089	12	1.31	
A-3. 차량기지					22.25	
A-3-1. 차량기지		㎡		680	22.25	
A-4. 부가가치세				0%	-	
B.부대비					88.76	
B-1.조사비	공사비 요율	%		1	7.77	
B-2.기본설계비	공사비 요율	%		1.408	10.94	
B-3.실시설계비	공사비 요율	%		2.816	21.87	
B-4.공사감리비	공사비 요율	%		1.322	10.27	
B-5.SE비용	(A-2)×5%	%		5	12.19	
B-6.시운전비	6개월	식		1	25.72	
B-7.부가가치세	(B1~B5)×10%	%		0%	-	
C.용지보상비	공시지가×보상배율	㎡	0.03630	680	24.68	
D.예비비	(A+B+C)×10%	%			89.01	
E.총사업비	A+B+C+D				979.11	
F.차량구입비					36.31	
F-1.초기구입비	2016년	량	0.9075	34	30.86	
F-2.추가구입비	2021년	량	0.9075	6	5.45	
총계(E+F)					1,015.42	

3. 운영비 추정

가. 운영비 추정의 기본방향

○ 영업시간은『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』에서 제시하고 있는 도시철도 운영시간과 동일한 총 19시간을 적용

<표> 영업시간

구 분		영 업 시 간		
첨 두 시	오 전	07:00 ~ 09:00	2시간	5시간
	오 후	17:00 ~ 20:00	3시간	
준첨두시	오 전	06:00~07:00, 09:00~10:00	6시간	6시간
	오 후	14:00~17:00, 20:00~21:00		
비첨두시	주 간	05:00~06:00, 10:00~12:00	3시간	8시간
	야 간	12:00~14:00, 21:00~24:00	5시간	

나. 인건비

○『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』에서 근무시간을 고려한 운영요원의 산출식을 사용

- 운영요원수 = [격무출근인원 × 교대수 / 출근율] + 일근자
- 여기서, 출근율 = 0.7(21일 근무기준)

(1) 유지보수인원

○ 지역 순환적인 특징을 가진 PRT시스템에 맞게 20km마다 1개 분소 설치

○ 시스템 유지보수 인원

- 전로보수인원 : 팀장 1인, 보수인원 1인(3교대)

○ 기술지원팀(유지관리 및 하자보수 총괄)

- 소장 1인, 선로 및 시스템 팀장 각1인, 운영요원의 15%

<표> 유지보수인원(송도신도시, 상암DMC)

구 분	노선연장 (km)	근무인원(인)		교대수(조)	운영요원(인)	비 고
		일근	격무			
선로보수	17.080	2	1	3	6	출근율 0.7
전로보수		1	1	3	5	
소계		3	2	6	11	
기술지원		5	-	-	5	
계		8	2	6	16	

(2) 차량보수인원

○ PRT의 중량이 유사 경량전철 중량대비 26%로 정비인원도 그에 해당되는 배율로 조정
- 예비타당성지침의 경량전철 인원에 25%를 적용하여 1량당 0.08인으로 산정

○ 경정비 인원은 3인 3교대, 소장과 중정비 인원은 일근을 기준으로 산정

<표> 차량보수인원 비율

(단위:인/량)

구 분	중량전철	경량전철	본 연구	근무형태	비고
경정비	0.50	0.25	0.06	3교대	
중정비	0.06	0.06	0.02	일근	
계	0.56	0.31	0.08		

<표> 대안부지별 차량보수인원

구 분		근무인원(인)		교대수(조)	운영요원(인)	비 고
		일근	격무			
송도신도시	2016년	2	7	3	32	
	2021년	4	11	3	51	
상암DMC	2016년	1	2	3	10	출근율 0.7
	2021년	1	2	3	10	

(3) 운전사령인원

○ 운전사령인원은 운전과 차량관제를 통합, 신호와 통신관제를 통합, 전력과 설비관제를 통합하여 3개의 관제조직으로 구성

- 사령장은 일근, 각 분야 관제는 1인 3교대, 사령원은 2인 3교대를 기준으로 산정
- 분석 대상지역인 송도신도시와 상암DMC의 운전사령인원은 동일한 것으로 산정

<표> 운전사령인원(송도신도시, 상암DMC)

구 분	근무인원(인)		교대수 (조)	운영요원 (인)	비 고
	일근	격무			
운전사령인원	1	3	3	14	출근율 0.7
계	1	3	3	14	

(4) 역무인원

○ 모든 역의 원활한 운영을 위하여 고객의 불편사항이나 일상적인 점검을 위하여 순회하며 점검 관리하는 인원을 산정

- 팀장은 일근, 순회요원은 2인 2교대, 20개소의 정거장마다 1개의 분소

<표> 역무인원(송도신도시, 상암DMC)

구 분	근무인원(인)		교대수 (조)	분소개수	운영요원 (인)	비 고
	일근	격무				
역무인원	1	2	3	1	7	출근율 0.7
계	1	2	3	1	7	

(5) 관리인원

○ 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』을 기초로 하여 산정

○ 본사 및 현업의 인사, 회계, 기획 및 서무 등의 관리업무를 수행하며 산정한 총 소요 인원의 6.3%를 적용하여 산출

<표> 총 운영요원

(단위 : 명)

구 분	송도신도시			상암DMC		
	인원소계	관리요원	합계	인원소계	관리요원	합계
2016년	69	4	73	47	3	50
2021년	88	6	94	47	3	50
2026년	88	6	94	47	3	50
2031년	88	6	94	47	3	50
2036년	88	6	94	47	3	50

주) 소계 : 유지보수+차량보수+운전사령인원+역무인원

(6) 인건비 산정

○ 운영기관인 서울도시철도공사 외 2개 공사의 2007년 기준 평균임금에 소비자 물가상승률 10.8%를 반영하여 산정

<표> 인건비

(단위 : 억원/년)

구 분	송도신도시		상암DMC		비고
	인원	인건비	인원	인건비	
2016년	73	46.68	50	31.97	
2021년	94	60.11	50	31.97	
2026년	94	60.11	50	31.97	
2031년	94	60.11	50	31.97	
2036년	94	60.11	50	31.97	

다. 동력비

(1) 동력비 산출개요

○ 한전 전기요금중간부하 요금단가를 적용

- 기본요금 이외의 1kWh당 전력비는 중간부하를 기준으로 적용
- 하계와 타계의 전력요금의 가중 평균치를 적용

<표> 산업용 전력(병) 요금표

구분	기본요금 (원/kW)	전기요금 중간부하 전력량 요금(원/kWh)			
		가중평균	여름철 (7~8월)	봄,가을철 (3~6,9~10월)	겨울철 (11~2월)
고압A, 선택II	7,000	78.9	84.6	61.1	79.3

(2) 정거장 동력비

○ 서울시메트로 9호선 실시설계의 정거장을 기준으로 617kwh/년·㎡로 산정

○ 각 정거장의 건축 면적은 230㎡로 적용

<표> 정거장 동력비

(단위 : 억원)

구 분		송도신도시	상암	비 고
역사면적(㎡/개소)		230	230	
정거장 수량(개소)		17	12	
계(㎡)		3,910	2,760	
소모에너지	kwh/년	2,412,470	1,702,920	
동력비	억원/년	5.35	3.77	기본요금 19시간 운영 적용
	부가가치세	0.54	0.38	
	계	5.89	4.15	

(3) 차량기지 동력비

○ 서울메트로 9호선 차량기지 면적 42,352㎡과 경수선, 중수선을 합한 1일 동력소모량 25,600kwh을 기준으로 대안별 차량기지 면적에 비례하여 차량기지 동력비를 산정

<표> 차량기지 동력비

구분		송도신도시	상암	비고
차량기지면적(㎡)		3,026	680	
기준비율		0.0714	0.0161	
소모 에너지	kwh/일	1,828	412	
	kwh/년	667,220	150,380	
동력비	억원/년	1.39	0.31	기본요금 24시간 운영 적용
	부가가치세	0.14	0.03	
	계	1.53	0.34	

주: 기준비율 서울메트로 9호선 42,352㎡ 대비 본 연구 차량기지면적 비율

(4) 차량 동력비

○ 한국철도기술연구원의 차량시뮬레이션 결과를 기준으로 1일 차량당 소모에너지로 연간 차량동력비를 산출하였으며 공차회송 등을 고려하여 운행차량의 10%를 가산. 차량당 평균소모에너지는 0.1571kwh/km이다.

- 차량동력비(억원/년) = 전기소모량(kwh/일·량) × 차량대수(량) × 전기단가(억원/kwh) × 365(일)

<표> 차량 동력비

구분	송도지구			상암지구		
	소모량 (kwh/일)	동력비 (억원/년)		소모량 (kwh/일)	동력비 (억원/년)	
		부가가치세 제외	부가가치세 포함		부가가치세 제외	부가가치세 포함
2016년	11,900	9.63	10.59	2,888	2.34	2.57
2021년	17,936	14.51	15.96	3,148	2.55	2.81
2026년	17,936	14.51	15.96	3,148	2.55	2.81
2031년	17,936	14.51	15.96	3,148	2.55	2.81
2036년	17,936	14.51	15.96	3,148	2.55	2.81

라. 유지관리비

○ 본 과업에서는 일반적으로 사용하는 통계적 방법을 사용하며 세부방법은 공사비 요율에 의한 방식에 따르되 유사 운영기관의 회계통계를 기준으로 하지 않고 초기 공사비의 비율에 의한 방식을 채택

○ 초기공사비 요율방식은 투자된 목적구조물의 비용만큼 향후 유지관리비가 발생한다는 가정에서 통계적 분석에 의해 공종별 공사비요율을 정하는 방식

○ 본 연구에서는 부산모노레일사업 검토에서 분석된 유지보수비와 공사비 비율에 적용

<표> 유지관리비 비교 검토

구 분	유지관리비(억원/년/km)		비율(%)	비고
	도시철도 조정금액 (단선)	본사업		
송도신도시	3.719	1.096	29.5	
상암DMC		1.034	27.8	

<표> 대상사업별 유지관리비

(단위:억원/년)

구 분	송도신도시		상암DMC		비고
	부가세 제외	부가세 포함	부가세 제외	부가세 포함	
토 목	10.59	11.65	6.13	6.74	
전 기	0.56	0.62	0.31	0.34	충전시스템포함
신 호	3.71	4.09	2.04	2.25	
통 신	0.57	0.62	0.31	0.34	
차량기지	2.16	2.38	0.61	0.67	
차량초기	0.75	0.82	0.28	0.31	2016년
소계	18.34	20.18	9.68	10.65	
차량추가	0.38	0.42	0.03	0.03	2021년
계	18.72	20.60	9.71	10.68	

마. 일반관리비

○ 인건비, 동력비, 유지관리비 합계의 7%적용

바. 운영비 산정결과

○ 송도신도시의 운영비는 개통년도인 2016년 기준 일반관리비 5.70억원 포함 87.09억원(부가가치세 제외)으로 산정됨

○ 상암DMC의 경우 개통년도인 2016년 기준 일반관리비 3.36억원을 포함 51.43억원(부가가치세 제외)으로 송도신도시 대비 낮은데 이는 노선연장 및 수요의 차이의 기인함

<표> 운영비 집계(송도신도시)

(단위 : 억원)

구 분		인건비	동력비	유지관리비	소계	일반관리비	합 계
2016년	부가세제외	46.68	16.37	18.34	81.39	5.70	87.09
	부가세포함	46.68	18.01	20.18	84.87	5.94	90.81
2021년	부가세제외	60.11	21.25	18.72	100.08	7.01	107.09
	부가세포함	60.11	23.38	20.60	104.09	7.29	111.38
2026년	부가세제외	60.11	21.25	18.72	100.08	7.01	107.09
	부가세포함	60.11	23.38	20.60	104.09	7.29	111.38
2031년	부가세제외	60.11	21.25	18.72	100.08	7.01	107.09
	부가세포함	60.11	23.38	20.60	104.09	7.29	111.38
2036년	부가세제외	60.11	21.25	18.72	100.08	7.01	107.09
	부가세포함	60.11	23.38	20.60	104.09	7.29	111.38

<표> 운영비 집계(상암DMC)

(단위 : 억원)

구 분		인건비	동력비	유지관리비	소계	일반관리비	합 계
2016년	부가세제외	31.97	6.42	9.68	48.07	3.36	51.43
	부가세포함	31.97	7.06	10.58	49.61	3.47	53.08
2021년	부가세제외	31.97	6.63	9.71	48.31	3.38	51.69
	부가세포함	31.97	7.30	10.62	49.89	3.49	53.38
2026년	부가세제외	31.97	6.63	9.71	48.31	3.38	51.69
	부가세포함	31.97	7.30	10.62	49.89	3.49	53.38
2031년	부가세제외	31.97	6.63	9.71	48.31	3.38	51.69
	부가세포함	31.97	7.30	10.62	49.89	3.49	53.38
2036년	부가세제외	31.97	6.63	9.71	48.31	3.38	51.69
	부가세포함	31.97	7.30	10.62	49.89	3.49	53.38

4. 사업비 및 운영비 분석

○ 송도신도시와 상암DMC에 대한 사업비(차량구입비 별도)는 1km 평균 사업비는 103.66억원(부가가치세 제외), 114.29억원(부가가치세 포함)으로 분석

- 송도신도시의 차량구입비를 제외한 1km 당 사업비는 103.00억원, 상암DMC는 104.29억원으로 유사한 수준으로 분석됨

<표> PRT사업비 평균단가

(단위 : 억원/km)

구 분	송도신도시		상암DMC		평균	
	V.A.T제외	V.A.T포함	V.A.T제외	V.A.T포함	V.A.T제외	V.A.T포함
A. 토 목	57.69	63.45	56.76	62.44	57.23	62.95
B. 시스템	25.94	28.53	25.97	28.57	25.96	28.55
C. 부대비	9.24	10.60	9.45	10.79	9.35	10.70
D. 용지보상비	0.77	0.77	2.63	2.63	1.70	1.70
E. 예비비	9.36	10.34	9.48	10.44	9.42	10.39
계	103	113.69	104.29	114.87	103.66	114.29

○ 유사 경전철 사업과 PRT시스템의 사업비 비교 분석 결과(부가가치세 제외)

- 본 연구 분석대상 지역의 사업비는 복선 AGT 대비 19%, 단선 AGT 대비 26%
- 도심지 관광용으로 계획된 월미도 전차사업의 단선모노레일 비용의 49%
- 순천만소형경전철사업의 복선 비용을 단선으로 조정한 비용의 74% 수준

○ 토목공사비에서 큰 비중을 차지하는 본선교량의 km당 공사비 비교

- PRT시스템 공사비 38.22억원/km
- 벡터스「순천만소형경전철사업」45.4억원/km
- 한국철도기술연구원「소형궤도시스템 Pilot Plant(시험선로) 계획수립용역」34.97억원/km

○ 30년간 운영비가 차량구입비를 제외한 총공사비의 194%로 분석(일반적으로 70~80%수준)

- 운영비 중 차량보수인원에 의한 비용 증가가 요인

<표> 타 경전철 사업과 본 연구 PRT 사업비 평균단가 분석(1)

(단위 : 억원/km)

구 분	속초경전철	속초경전철	대구도시철도3호선	월미도전차사업
차량시스템	AGT	AGT	모노레일	모노레일
선로 규모	복선	단선	복선	단선
구조물 구성	교량 100%	교량 100%	교량81%,터널19%	교량 100%
A. 토 목	278.22	186.87	438.71	113.05
B. 시스템	191.14	143.29	122.02	68.17
C. 부대비	30.44	22.03	42.51	8.84
소계	500.10	352.19	603.24	190.06
	100%	70% (100%)	121%	38% (54%)
D. 용지보상비	0.26	0.24	24.12	-
E. 예 비 비	50.01	37.85	60.32	-
계	550.37	390.28	687.68	190.06

주 : 1) 부가가치세 제외, 2010년 기준
2) 토목비용에는 궤도/건축/차량기지포함

<표> 타 경전철 사업과 본 연구 PRT 사업비 평균단가 분석(2)

(단위 : 억원/km)

구 분	순천만소형경전철		본 연구	비고
차량시스템	PRT	PRT	PRT	
선로 규모	복선	단선	단선	
구조물 구성	교량 100%	교량 100%	교량 100%	
A. 토 목	123.18	86.23	57.23	
B. 시 스 템	30.00	23.55	25.96	
C. 부 대 비	20.10	14.41	9.35	
소계	173.28	124.46	92.54	
	35%	25% (35%)	19% (26%)	복선AGT대비, ( )는 단선AGT대비
D. 용지보상비	-	-	1.70	
E. 예 비 비	-	-	9.42	
계	173.28	124.46	103.66	

주 : 1) 월미도 전차사업은 일부 복선을 단선연장으로 환산하여 분석
2) 순천만소형경전철사업의 단선비용은 복선비용을 기준으로 조정

<표> 본 연구 PRT 차량가격 분석

구 분	비용 (백만원/인)		비율 (%)		비 고
	차량정원	정원150%	차량정원	정원150%	
K-AGT	15.8	11.5	100	73	고무타이어
로템 AGT	8.7	6.1	55	39	철제차륜
VAL 208	22.7	16.1	143.7	101.9	고무타이어
본 연구 PRT	15.2	58.5	96	370	고무타이어

<표> 차량대수와 수요·노선연장 분석

구 분		송도신도시	상암DMC
총수요 (인/일)		44,928	20,445
노선연장 (km)		17.080	9.388
차량대수 (량)		178	40
1량/km		10.4	4.3
총수요 대비	인/km	2,630	2,178
	인/량·일	252	511
	인/km/량·일	14.8	54.5

5. 대체투자비 및 잔존가치

○ 차량의 내구연한은 일반철도는 철도안전법 시행규칙, 도시철도는 「도시철도차량 관리에 관한 규칙」에 제시된 내구연한을 기준으로 재투자 비용 및 잔존가치를 산정

○ 법령에서 내구연한이 제시되어 있지 않은 시설에 대해서는 교통시설 투자평가지침(건설교통부, 2007)에서 제시된 내구연한을 기준으로 재투자 비용 및 잔존가치를 산정

가. 차량 및 시설물 재투자비용과 잔존가치

○ 신호, 통신, 전기 분야에 대하여 20년 기준으로 재투자 비용 산정

○ 차량은 구입 후 25년에 재투자하는 것으로 산정

<표> 차량 및 시설별 수명

구 분	차 량					
	디젤기관차	전기기관차		디젤동차	수도권전동차	고속전기차
		구형	신형			
내용년도	30	40	30	20	25	25

구 분	시 설										
	노 반				궤도	건물	신호	통신	전차선	전력	기계
	토공	교량	터널	역							
내용년도	80	60	60	60	25	60	20	20	20	20	20

자료 : 철도공사 내부자료(2006)

나. 차량배터리 대체투자비

○ 향후 PRT 차량이 10년간 사용이 가능한 배터리를 장착한다는 가정하에 배터리 교체주기를 10년으로 설정

○ 한국철도연구원은 배터리 1대당 가격을 238만원으로 제시
- 한국철도연구원은 시뮬레이션 결과 1시간 평균소요에너지가 7.92kwh로서 분석
- 30분 운행용량으로 3.96kwh에 1kwh당 60만원으로 산정

○ 배터리용량은 오전 첨두시 2시간 동안 연속적으로 운행하고 오후 첨두시간 3시간 중 오전과 같은 피크 시간은 2시간을 가정, 비첨두 또는 준첨두 시간에 여유차량으로 배터리 충전하는 것으로 가정

○ 본 연구 노선의 차량대수를 최적화하여 차량대수를 축소하거나 정거장 수를 증가시키거나 정거장 마다 유치선을 설치하여 모든 차량을 정거장에서 유치할 수 있는 용량을 확보한다면 이에 대한 추가적인 검토가 필요

<표1> 배터리 용량과 가격

구 분		한국철도연구원 제시	본 연구 검토	적용
30분	용량(kwh)/가격	3.96 / 2.38백만원	2.50 / 2.75백만원	-
1시간	용량(kwh)/가격	-	5.00 / 5.25백만원	-
2시간	용량(kwh)/가격	-	10.0 / 11.00백만원	10.00 / 11.00백만원

6. 연차별 투자비 추정

○ 공사기간은 설계 0.5년 이후에 용지매입을 병행하는 3년으로 가정

<표> 공사기간별 연차별 투자비율

(단위 : %)

공사기간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	합계
2	50	50												100
3	30	40	30											100
4	10	35	35	20										100
5	10	20	30	30	10									100
6	5	20	25	25	20	5								100
7	5	15	20	20	20	15	5							100
8	5	8	16	16	17	17	16	5						100
9	5	5	10	10	15	16	16	16	7					100
10	4	5	5	8	10	12	16	16	16	8				100
11	3	5	5	6	8	10	10	15	15	15	8			100
12	3	5	5	5	5	6	8	10	15	15	15	8		100
13	3	5	5	5	5	6	8	8	10	10	12	15	8	100
용지보상비	30	70												100

주 : 기본 및 실시설계비는 사업의 추진계획에 따라 투입률을 설정함

자료 : INRET & INTRAPLAN, Traffic & Profitability for Western European High Speed Train Network, 1993

○ 연차별 투자비

<표> 연차별 투자비율

(단위:%)

구 분	2012년	2013년	2014년	2015년	비고
A. 조사비	100	-	-	-	
B. 설계비	100	-	-	-	
C. 용지비	-	100	-	-	
D. 공사비	-	30	40	30	
E. 감리비	-	30	40	30	
F. 예비비	-	-	-	-	연도별 (A~F)의 10%

<표> 송도신도시

(단위 : 억원)

구분	공사비		차량비		운영비		대체투자비		계	
	VAT제외	VAT포함	VAT제외	VAT포함	VAT제외	VAT포함	VAT제외	VAT포함	VAT제외	VAT포함
2012년	81.10	97.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.10	97.94
2013년	499.21	548.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	499.21	548.33
2014년	646.32	711.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	646.32	711.80
2015년	532.63	583.80	107.09	117.79	0.00	0.00	0.00	0.00	639.72	701.59
2016년	0.00	0.00	0.00	0.00	87.09	90.81	0.00	0.00	87.09	90.81
2017년	0.00	0.00	0.00	0.00	91.09	94.92	0.00	0.00	91.09	94.92
2018년	0.00	0.00	0.00	0.00	95.08	99.03	0.00	0.00	95.08	99.03
2019년	0.00	0.00	0.00	0.00	99.08	103.15	0.00	0.00	99.08	103.15
2020년	0.00	0.00	0.00	0.00	103.07	107.24	0.00	0.00	103.07	107.24
2021년	0.00	0.00	54.45	59.90	107.09	111.38	0.00	0.00	161.54	171.28
2022년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2023년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2024년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2025년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	12.98	14.16	120.07	125.53
2026년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.38	0.00	0.00	107.09	111.38
2027년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2028년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2029년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2030년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	6.60	7.20	113.69	118.57
2031년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.38	0.00	0.00	107.09	111.38
2032년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2033년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2034년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2035년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	456.01	550.23	563.10	661.60
2036년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.38	0.00	0.00	107.09	111.38
2037년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2038년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2039년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2040년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	113.69	124.99	220.78	236.36
2041년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.38	0.00	0.00	107.09	111.38
2042년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2043년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2044년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	0.00	0.00	107.09	111.37
2045년	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09	111.37	-312.63	-368.23	-205.54	-256.86
계	1,759.26	1,941.87	161.54	177.69	3,152.66	3,279.45	276.66	328.36	5,350.11	5,727.36

<표> 상암DMC

(단위 : 억원)

구분	공사비		차량비		운영비		대체투자비		계	
	VAT제외	VAT포함	VAT제외	VAT포함	VAT제외	VAT포함	VAT제외	VAT포함	VAT제외	VAT포함
2012년	44.64	53.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.64	53.89
2013년	290.86	317.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	290.86	317.58
2014년	351.61	387.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	351.61	387.24
2015년	292.00	319.63	30.86	33.94	0.00	0.00	0.00	0.00	322.86	353.57
2016년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.43	53.08	0.00	0.00	51.43	53.08
2017년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.49	53.22	0.00	0.00	51.49	53.22
2018년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.53	53.26	0.00	0.00	51.53	53.26
2019년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.60	53.34	0.00	0.00	51.60	53.34
2020년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.63	53.37	0.00	0.00	51.63	53.37
2021년	0.00	0.00	5.45	5.99	51.69	53.38	0.00	0.00	57.14	59.37
2022년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2023년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2024년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2025년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	3.74	4.08	55.43	57.53
2026년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.38	0.00	0.00	51.69	53.38
2027년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2028년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2029년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2030년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.66	0.72	52.35	54.17
2031년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.38	0.00	0.00	51.69	53.38
2032년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2033년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2034년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2035년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	247.54	299.08	299.23	352.53
2036년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.38	0.00	0.00	51.69	53.38
2037년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2038년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2039년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2040년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	31.52	34.66	83.21	88.11
2041년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.38	0.00	0.00	51.69	53.38
2042년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2043년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2044년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	0.00	0.00	51.69	53.45
2045년	0.00	0.00	0.00	0.00	51.69	53.45	-147.54	-175.69	-95.85	-122.24
계	979.11	1,078.34	36.31	39.93	1,549.93	1,602.17	135.92	162.85	2,701.27	2,883.29

[참고] 송도신도시 본선 구조물 비율에 따른 비용 분석

1. 2안(고가 20%+노면 80%) 사업비 추정

○ 보도육교(평균 72㎡(폭3.6m×길이20m)의 보도육교 가정) 54개소의 공사비는 308.88억원으로 산정
- 한국토지공사 2009년 조성원가추정자료 보도육교 STEEL BOX 구조의 단위공사비인 7,507천원/㎡을 적용, 2010기준 건설공사비지수 105.4를 계상한 단위공사비 7,912천원/㎡로 한 원단위 공사비는 5.72억원

○ 기타부대공인 방호벽은 50억원 산정(일반도로공사 m당 약 1.84억원, 노면구간인 13.596km의 양쪽에 설치)

<표> 송도신도시 총사업비(대안2) - 부가가치세 제외

(단위 : 억원)

공사종류	규 격	단위	단가	수량	금액	비고
A. 공사비					1,350.48	
A-1. 토목					804.56	
A-1-1. 본선		km		17.080	640.34	
A-1-1-1. 고 가		km	38.22	3.484	133.16	
A-1-1-2. 노 면		km	7.64	13.596	103.83	
A-1-1-3. 부대공	지장물	식			44.47	
	보도육교	개소	5.72	54	308.88	
	기타(방호벽 등)	km	1.84	27.192	50.00	
A-1-2. 정거장		개소		17	164.22	
A-1-2-1. 고 가		개소	9.66	17	164.22	
A-1-2-2. 노 면		개소	2.84	0	-	
A-2. 시스템					443.03	
A-2-1. 전 기		km	8.10	17.080	138.35	
A-2-2. 신 호		km	13.59	17.080	232.12	
A-2-3. 통 신		km	4.14	17.080	70.71	
A-2-4. 충전시스템		개소	0.1089	17	1.85	
A-3. 차량기지					102.96	
A-3-1. 차량기지		㎡		3,026	102.96	
A-4. 부가가치세				0%	-	
B. 부대비					151.65	
B-1. 조사비	공사비 요율	%		1	13.51	
B-2. 기본설계비	공사비 요율	%		1.365	18.44	
B-3. 실시설계비	공사비 요율	%		2.712	36.62	
B-4. 공사감리비	공사비 요율	%		1.287	17.38	
B-5. SE비용	(A-2)×5%	%		5	22.15	
B-6. 시운전비	6개월	식		1	43.55	
B-7. 부가가치세	(B1~B5)×10%	%		0%	-	
C. 용지보상비	공시지가×보상배율	㎡	0.00435	3,026	13.16	
D. 예비비	(A+B+C)×10%	%		10	151.54	
E. 총사업비	A+B+C+D				1.666.90	
F. 차량구입비					161.54	
F-1. 초기구입비	2016년	량	0.9075	118	107.09	
F-2. 추가구입비	2021년	량	0.9075	60	54.45	
총계(E+F)					1,828.44	

2. 본선 구조물 비율에 따른 분석 결과

○ 송도신도시의 경우 보행자의 통행권을 제한하고 육교로 통행을 한다고 하였을 경우, 교차로만 고가로 입체화하고 나머지 구간을 노면으로 하는 방안(고가 20%+노면 80%)과 차로구간을 포함한 모든 구간에 노면을 적용(노면100%)하였을 경우의 사업비와 운영비, 대체투자비 등 총할인비용을 추가로 검토하여 분석

○ 전 구간 고가로 적용한 (안)의 총할인비용을 100으로 하였을 경우 고가20%+노면80%는 97, 노면100%는 92로 분석되어 큰 차이가 나지 않음

- 노면비율이 증가함에도 총할인비용 차이가 크지 않은 것은 횡단보도 대체 시설로 육교를 설치해야함으로 추가비용이 발생하는 점과 총할인비용 중 운영비 비중이 상대적으로 높다는 점이 주요 원인이기 때문

○다만, 본 연구는 개발되지 않은 시스템에 대한 비용분석을 시행한 것임으로 향후 추가적인 기술개발을 바탕으로 비용절감 연구가 있을 경우 총비용은 감소할 수도 있을 것으로 판단됨

<표> 송도신도시 본선 구조물 비율에 따른 비용 분석

구 분		고가	고가+노면	노면	비고
연장 (km)	고가	17.080	3.484	-	
	노면	-	13.596	17.080	
	계	17.080	17.080	17.080	
비율 (%)	고가	100	20	-	
	노면	-	80	100	
	계	100	100	100	
육교(개소)		-	54	54	308.88억원
사업비	금액(억원)	1,920.79	1,828.44	1,696.77	불변가격
	비율(%)	100	95	88	
총할인비용 (30년)	금액(억원)	2,646.56	2,561.46	2,444.95	운영비, 대체투자비 포함
	비율(%)	100	97	92	

주 : 1) 총할인비용 할인율 5.5%

2) 부가가치세 제외

제4장 수요 및 편익 산정

제1절 교통수요추정

1. 교통수요 추정과정

○ 장래 교통수요 예측은 기준연도의 통행패턴에 대한 신뢰성을 전제로 교통 영향권을 설정한 후 장래 교통체계에 대한 교통수요를 추정하는 과정

○ 전통적으로 가장 많이 사용되어 오는 대표적인 수요추정 방법은 4단계 추정방법이며, 이 방법은 통행발생, 통행분포, 수단선택, 통행배정의 4단계로 나누어 순차적으로 교통존(traffic zone)을 중심으로 교통수요를 추정하는 방법임

- 통행발생 단계 : 각 교통존에서 발생하는 통행량(production)과 도착하는 통행량(attraction)을 추정하는 단계로써 증감율법, 원단위법 또는 교차분류법, 회귀분석법 등이 사용되며 그 결과 각 교통존별로 여객 및 화물의 발생과 도착량이 생성됨

- 통행분포 단계 : 통행분포는 앞 단계에서 추정된 발생·도착통행량을 교통존 간에 배분하는 단계로써 성장인자모형, 중력모형, 엔트로피극대화모형, 간섭기회모형 등이 많이 사용되며 그 결과 교통존간 여객 O/D 및 화물 O/D가 생성됨

- 수단선택 단계 : 수단선택은 앞 단계에서 생성된 교통존간 O/D 자료를 이용자가 선택 가능한 교통수단별로 세분화하는 단계로써, 통행단모형, 통행교차모형, 개별행태모형 등이 많이 사용되며 그 결과 여객의 경우 승용차, 버스, 철도 각각에 대한 O/D가 생성되며, 화물의 경우 트럭 화물과 철도 화물 O/D가 생성됨

- 통행배정 단계 : 전량 통행배정방법, 용량제약 통행배정방법, 확률적 통행배정방법, 평형 통행배정방법 등이 많이 사용되며 통행배정의 결과로써 모든 도로의 각 구간에 대하여 차량 통행량이 추정되고, 철도도 각 구간에 대하여 승객 통행량이 추정됨

○ 분석기간은 설계 및 시공기간 등 사업계획 기간과 개통 후 30년을 포함하는 기간으로 설정하고, 공간적 범위는 분석 대상권과 영향권(직접영향권 및 간접영향권)으로 구분

○ 해당 사업의 시행으로 인하여 모든 역세권 내 교통패턴이 크게 변화하게 되므로 역세권은 반드시 영향권에 포함되어야 함

○ 본 연구에서는 상위연구에서 제시한 수단분담모형 및 수요추정 모형을 검토.

○ PRT 시스템 통행배정은 기본시간 단위만을 도로부문과 같은 방법으로 적용하여 사용하며, PRT 시스템 통행배정 과정에서 용량제약을 고려하지 않고 기본적으로 최적전략 등에 의해서 노선과 경로가 선택되며, 이때 통행배정과정에서 차내·외 시간 또는 요금 등과 관련된 파라미터를 적용한 일반화 비용을 이용하여 통행배정을 수행함

2. 수요 추정 방법론

가. 통행수요 예측

○ 통행발생 모형 정립

- 통행발생량을 산출하기 위하여 「수도권 장래교통 수요예측 및 대응방안 연구」에서 제시된 함수식을 적용하여 회귀분석법을 사용함
- 회귀모형에서 독립변수는 종속변수에 대해 가장 설명력이 높으며 의미있는 변수를 선택하여야 하는데 각 통행목적에 사용된 독립변수의 경우 「인천경제자유구역 송도지구 개발계획(변경), 2010.5」와 디지털 미디어시티 홈페이지(http://dmc.seoul.go.kr)에 의거하여 산출하였으며, 이를 통하여 회귀모형을 구축함
- 용지배분 계획과 교육수요를 고려하여 통행발생 독립변수를 산정하였음

<표> 통행목적별 회귀모형식

통행목적		모형식	R^2
가정기반 출·퇴근통행	생성	1.59175 × 취업자수	0.9066
	유인	1.94029 × 1,2차산업 종사자수 2.60308 × 3차산업 종사자수	0.9004
가정기반 등·하교통행	생성	1.65753 × 6~17세 인구 1.66580 × 18~21세 인구	0.9803
	유인	1.85501 × 초중고 수용학생수 2.08154 × 대학교 수용학생수	0.9901
가정기반 학원통행	생성	0.62953 × 6~21세 인구(학령인구)	0.8656
	유인	15.33172 × 학원관련 종사자수	0.7055
가정기반 쇼핑통행	생성	0.10323 × 15세이상 인구 1.43871 × 천가구당 자동차보유대수	0.7825
	유인	0.53730 × 3차산업 종사자수	0.5817
가정기반 기타통행	생성	0.31766 × 15세이상 인구 6.58399 × 천가구당 자동차보유대수	0.8356
	유인	1.47240 × 3차산업 종사자수 0.12227 × 총수용학생수	0.8684
비가정기반 업무통행	생성	0.34712 × 2차산업 종사자수 0.59412 × 3차산업 종사자수	0.8731
	유인	0.45184 × 2차사업 종사자수 0.53597 × 3차산업 종사자수	0.8364
비가정기반 쇼핑통행	생성	0.03961 × 2,3차산업 종사자수 0.05107 × 총수용학생수	0.6023
	유인	0.13436 × 3차산업 종사자수	0.7078
비가정기반 업무통행	생성	0.18456 × 2,3차산업 종사자수 0.32991 × 총수용학생수	0.7152
	유인	0.47788 × 3차산업 종사자수 0.17060 × 총수용학생수	0.7764

자료: 시정개발연구원,『수도권 장래교통 수요예측 및 대응방안 연구(3장)』, 2009

나. 장래 수단별 O/D 예측

○ 수단통행/목적통행 비

- 목적통행을 수단통행으로 전환하기 위하여 시정개발연구원의『수도권 장래교통 수요예측 및 대응방안 연구』에 제시된 연도별 수단통행과 목적통행의 비율을 적용하였으며, 각 년도 별로 수단통행/목적통행 비율을 산정하여 분석에 적용하였음

<표> 수도권 수단통행/목적통행 비율

(단위 : 통행/일, 인)

구분	2006년	2011년	2016년	2021년	2026년	2031년	2036년
목적통행	51,056,006	52,979,847	54,175,302	54,191,558	53,654,325	52,956,855	51,658,426
수단통행	51,476,035	54,303,276	57,005,456	58,487,173	58,116,491	57,271,993	55,936,405
인구	23,711,590	24,779,373	25,622,623	25,996,667	26,180,995	26,120,532	25,729,395
1인당 목적통행	2.15	2.14	2.11	2.08	2.05	2.03	2.01
1인당 수단통행	2.17	2.19	2.22	2.25	2.22	2.19	2.17
수단/목적	1.01	1.02	1.05	1.08	1.08	1.08	1.08

○ 내·외부 통행분포

-「수도권 장래교통 수요예측 경신연구 (2010. 5.)」의 내용을 토대로 내·외부통행분포를 산출하였음

<표> 송도 신도시 & 상암 DMC의 장래 내·외부 통행분포

연도	2011년		2016년		2021년		2026년		2031년	
지 역	송도	상암	송도	상암	송도	상암	송도	상암	송도	상암
내부통행비	39.78%	28.8%	48.56%	29.1%	48.56%	28.9%	48.56%	28.7%	48.56%	28.7%
외부통행비	60.22%	71.20%	51.36%	70.90%	51.36%	71.10%	51.36%	71.30%	51.36%	71.30%

다. 수단선택 모형

(1) 교통수단분담모형의 적정성

○ 통행자 개개인의 통행 행태 특성을 파악하여 수단 분담률을 예측하는 개별 통행행태모형 중 로짓 모형을 적용함

○ 철도기술연구원의 PRT 수단분담모형개발 용역의 결과값을 참고하여 분석하였으며, 분석지역의 정산 과정 수행 후 실제 모형1과 모형2의 적용 후 비교 분석을 통하여 적용가능 모형을 선정

○ PRT 시스템의 운행방식과 최소시격의 특성을 고려하여 균형상태의 수단별 O/D 구축이 필요할 것으로 판단하여, 수단분담 수행 후 도로 및 PRT 수단의 통행시간/비용이 변화하므로 통행배정단계와 수단선택 단계를 지속적으로 반복 수행하는 방안을 적용

○ 사업 시행시 달라진 공로 혼잡이 반영된 통행시간을 수단분담 모형에 다시 적용하여 수단별 O/D를 재산출하는 과정을 통해 균형상태(Equilibrium)의 수단별 O/D를 산출

○ 수단선택 모형의 적정성

- 모형 추정결과
  - 내부통행에 대한 수단분담모형을 구축함
  - 모형적용성을 고려하여, 통행시간과 통행비용을 설명변수로 하는 수단분담 모형을 개발하였음
  - 입력 error, 일관성이 없는 응답 등은 filtering 하여 모형을 추정함
  - 추정된 모형에 대한 통계치를 살펴보면, 매개변수들은 모두 통계적으로 유의미하며, alternative-specific 상수항의 경우에도 주요 교통수단에 대해 통계적으로 유의미함

- 송도신도시 모형 활용
  - 모형1과 모형2 모두 모형계수 및 시간가치 산출된 값은 실제적용성이 우수함
  - 특히 모형 1의 경우에는 차내통행시간과 차외통행시간에 대한 민감도를 현실감 있게 설명하고 있어, PRT 역사 접근시간과 대기시간의 변화에 따른 수요민감도분석을 하는 데 매우 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 판단됨

- 상암 DMC 모형 활용
  - 상암DMC의 경우 서울도심지 특성과 이용자 사회경제특성에 의해 시간가치가 송도보다 높게 나옴
  - Travel time과 wait/access time을 구한 모형1의 경우에 차내통행시간 가치가 차외통행시간가치보다 크게 나옴. 이는 조사된 대부분 통행에 있어서 수단들 간에 차외통행시간에 대한 차별성이 작게 관측되었기 때문으로 판단됨
  - 따라서, 총통행시간과 비용을 변수로 한 모형 2를 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료됨

- 최종적으로, 모형적용의 일관성 측면에서 모형 2가 보다 바람직 할 것으로 판단됨

(2) 교통수단분담모형의 시간가치와 효용함수식 및 모형의 추정결과

○ 본 연구에서는 수단분담율을 예측하는 개별 행태모형 중 Discrete choice (multinomial logit) model을 사용하였음

○ 송도 신도시에 적용한 수단선택모형의 시간가치와 효용함수식 및 모형의 추정결과는 다음과 같음

<표> 송도 신도시 수단선택모형의 효용함수(현황)

교통수단	효용함수식
승용차	$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot time_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij}$
택 시	$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot time_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij}$
버 스	$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot time_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij}$
전 철	$U_{rail}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot time_{rail}^{ij} + C \cdot cost_{rail}^{ij} + \epsilon_{rail}^{ij}$
도 보	$U_{walk}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot time_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij}$
자전거	$U_{bike}^{ij} = \quad T \cdot time_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij}$
모형추정결과	

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	36.5178	2.07E+06	1.76E-05	1.00E+00
T	-0.37167	0.077231	-4.81248	1.49E-06
C	-0.00309	0.00052	-5.93721	2.90E-09
A2	9.43195	2.81E+06	3.35E-06	1.00E+00
A3	37.4397	2.07E+06	1.81E-05	1.00E+00
A4	37.7415	2.07E+06	1.82E-05	1.00E+00
A5	36.8531	2.07E+06	1.78E-05	0.999986

시간가치	Travel+Wait/Access	7,224(원/시)

<표> 송도 신도시 수단선택모형의 효용함수

교통수단	효용함수식
승용차	$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot time_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij}$
택 시	$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot time_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij}$
버 스	$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot time_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij}$
전 철	$U_{rail}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot time_{rail}^{ij} + C \cdot cost_{rail}^{ij} + \epsilon_{rail}^{ij}$
도 보	$U_{walk}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot time_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij}$
자전거	$U_{bike}^{ij} = \alpha_6 + T \cdot time_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij}$
PRT	$U_{prt}^{ij} = \quad T \cdot time_{prt}^{ij} + C \cdot cost_{prt}^{ij} + \epsilon_{prt}^{ij}$
모형추정결과	

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-2.38098	0.320829	-7.42135	1.16E-13
T	-0.4325	0.056439	-7.66301	1.82E-14
C	-0.00305	3.60E-04	-8.49525	2.89E-15
A2	-98.2782	14681.3	-0.00669	9.95E-01
A3	0.301678	0.427562	0.705577	4.80E-01
A4	0.110696	0.651296	0.169962	8.65E-01
A5	-1.21446	0.568829	-2.13502	3.28E-02
A6	-106.751	14681.3	-0.00727	9.94E-01

시간가치	Travel+Wait/Access	8,496(원/시)

○ 상암 DMC에 적용한 수단선택모형의 시간가치와 효용함수식 및 모형의 추정결과는 다음과 같음

<표> 상암 DMC 수단선택모형의 효용함수(현황)

<table>
<tr><th>교통수단</th><th colspan="5">효용함수식</th></tr>
<tr><td>승용차</td><td colspan="5">$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \bullet time_{auto}^{ij} + C \bullet cost_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij}$</td></tr>
<tr><td>택 시</td><td colspan="5">$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \bullet time_{taxi}^{ij} + C \bullet cost_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij}$</td></tr>
<tr><td>버 스</td><td colspan="5">$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \bullet time_{bus}^{ij} + C \bullet cost_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij}$</td></tr>
<tr><td>도 보</td><td colspan="5">$U_{walk}^{ij} = \alpha_4 + T \bullet time_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij}$</td></tr>
<tr><td>자전거</td><td colspan="5">$U_{bike}^{ij} = \quad T \bullet time_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij}$</td></tr>
<tr><td>모형추정결과</td><td colspan="5"><table>
<tr><th></th><th>Coeff.</th><th>Std.Err.</th><th>t-ratio</th><th>P-value</th></tr>
<tr><td>A1</td><td>1.36712</td><td>1.93E+00</td><td>7.09E-01</td><td>4.78E-01</td></tr>
<tr><td>T</td><td>-1.12078</td><td>0.228388</td><td>-4.90733</td><td>9.23E-07</td></tr>
<tr><td>C</td><td>-0.00531521</td><td>0.00167286</td><td>-3.17731</td><td>1.49E-03</td></tr>
<tr><td>A2</td><td>5.26745</td><td>4.48E+00</td><td>1.18E+00</td><td>2.40E-01</td></tr>
<tr><td>A3</td><td>10.9009</td><td>2.22434</td><td>4.90075</td><td>9.55E-07</td></tr>
<tr><td>A4</td><td>4.91811</td><td>3.52E+00</td><td>1.40E+00</td><td>1.63E-01</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>시간가치</td><td colspan="3">Travel+Wait/Access</td><td colspan="2">12,652(원/시)</td></tr>
</table>

<표> 상암 DMC 수단선택모형의 효용함수

<table>
<tr><th>교통수단</th><th colspan="5">효용함수식</th></tr>
<tr><td>승용차</td><td colspan="5">$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \bullet time_{auto}^{ij} + C \bullet cost_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij}$</td></tr>
<tr><td>택 시</td><td colspan="5">$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \bullet time_{taxi}^{ij} + C \bullet cost_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij}$</td></tr>
<tr><td>버 스</td><td colspan="5">$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \bullet time_{bus}^{ij} + C \bullet cost_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij}$</td></tr>
<tr><td>도 보</td><td colspan="5">$U_{walk}^{ij} = \alpha_4 + T \bullet time_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij}$</td></tr>
<tr><td>자전거</td><td colspan="5">$U_{bike}^{ij} = \alpha_5 + T \bullet time_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij}$</td></tr>
<tr><td>PRT</td><td colspan="5">$U_{prt}^{ij} = \quad T \bullet time_{prt}^{ij} + C \bullet cost_{prt}^{ij} + \epsilon_{prt}^{ij}$</td></tr>
<tr><td>모형추정결과</td><td colspan="5"><table>
<tr><th></th><th>Coeff.</th><th>Std.Err.</th><th>t-ratio</th><th>P-value</th></tr>
<tr><td>A1</td><td>-5.03019</td><td>0.332078</td><td>-15.1476</td><td>2.89E-15</td></tr>
<tr><td>T</td><td>-0.511955</td><td>0.0428109</td><td>-11.9585</td><td>2.89E-15</td></tr>
<tr><td>C</td><td>-0.00225416</td><td>2.37E-04</td><td>-9.53063</td><td>2.89E-15</td></tr>
<tr><td>A2</td><td>-3.91312</td><td>1.23342</td><td>-3.17257</td><td>1.51E-03</td></tr>
<tr><td>A3</td><td>-0.394419</td><td>0.295398</td><td>-1.33521</td><td>1.82E-01</td></tr>
<tr><td>A4</td><td>-2.02705</td><td>0.421776</td><td>-4.80598</td><td>1.54E-06</td></tr>
<tr><td>A5</td><td>-5.68655</td><td>0.477039</td><td>-11.9205</td><td>2.89E-15</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>시간가치</td><td colspan="3">Travel+Wait/Access</td><td colspan="2">13,627(원/시)</td></tr>
</table>

3. 수요 추정

가. 기본자료 설정

○ 교통존 체계

- 본 과업에서는 수도권 5차 자료의 존 체계인 1,522개의 존 체계로 구성하여 분석을 수행
- PRT시스템의 분석 대상지역인 송도신도시와 상암DMC의 경우 PRT시스템의 특성상 교통존을 세분화하여 분석을 수행
- 제공된 O/D 자료에서 동춘2동과 기 반영된 송도신도시의 통행량을 분류하기 위하여 장래의 동춘2동과 송도신도시가 포함되어 있는 230,458존의 O/D를 분석하여 동춘2동의 O/D를 분류하여 230,458존에 재입력하였으며, 송도신도시의 경우 「인천경제자유구역 송도지구 개발계획(변경), 2010.5」 보고서를 기초로 하여 본 과업에 반영
- 상암DMC의 경우 수도권 교통본부 5차배포자료의 111,474존의 마포구 상암동에 이미 반영되어 있어 기존 반영량과 상암DMC규모를 고려하여 DMC의 O/D를 마찬가지의 방법으로 분류하여 본 과업상에 반영

○ O/D 자료

- 기준연도 여객통행 O/D는 수도권교통본부에서 제공한 2006년 수도권 수단 O/D(전일)를 기준으로 『도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』(이하 도로·철도 부문 표준지침(제5판))에서 제시한 보간법을 이용하여2008년 O/D를 구축하였고, 장래 여객통행 O/D는 동일한 기관에서 제공하는 2011년~2036년의 O/D를 이용

나. 분석의 범위 설정

○ 시간적 범위 설정

- 분석의 기준년도는 2009년이며, 초기 분석년도는 2019년, 중간 분석년도는 2021년, 2026년, 2031년, 최종 목표년도는 2036년으로 설정하였음

<표> 시간적 범위

구 분		본과업
기준연도	교통수요 분석	2009년
	경제성 분석	2010년
편익발생년도(운영 시작)		2016년
최종목표년도		2036년
중간분석년도		2021년, 2026년, 2031년

○ 공간적 범위 설정

- 간접영향권은 직접영향권과 함께 편익산출의 대상이 되는 지역으로 직접영향권을 포함
- 송도신도시가 속한 인천광역시 연수구와 서울특별시 마포구의 O/D기준 통행량비율을 고려하여 중존 단위의 간접영향권을 설정하였음

<표> 최종 영향권 설정결과(송도 신도시)

구 분		대상 지역
본 과업	직접 영향권(1차 영향권)	인천광역시 연수구
	간접 영향권(2차 영향권)	인천광역시 및 부천시, 시흥시, 구로구, 김포시 양촌면 일대

<표> 최종 영향권 설정결과(상암 DMC)

구 분		대상 지역
본 과업	직접 영향권(1차 영향권)	서울특별시 마포구
	간접 영향권(2차 영향권)	서대문구, 중구, 영등포구, 용산구, 종로구, 은평구, 강서구, 강남구 일대

다. 기준연도 O/D

- 2009년의 택시를 포함한 승용차의 총 수단 통행량은 21,994,416 통행/일이고 버스의 경우는 14,989,118 통행/일, 지하철은 7,212,999통행/일로 각각 49.77%, 33.91%, 16.32%를 차지하고 있음

<표> 분석에 이용된 총 통행량(2009년)

(단위: 통행/일, %)

구 분	통행량	
	통행량	비율
승용차(택시포함)	21,994,416	49.77
버 스	14,989,118	33.91
지하철	7,212,999	16.32
소계	44,196,532	100.00

라. 장래연도 O/D 및 Network 수정

○ 기본 O/D 자료

- 기준 도로 및 철도 수요 분석시 승용차, 버스, 택시, 지하철 O/D외에도 PRT를 이용 가능할 것으로 예상되는 자전거, 도보, 기타 O/D를 분석에 추가
- 기준연도의 여객통행 O/D는 수도권 교통본부에서 2009년에 배포한 2006년 수도권 수단 O/D(전일)를 기준으로 구축하였고, 장래 여객통행 O/D는 동일한 기관에서 제공하는 2011년~2036년의 O/D를 이용
- 2006년, 2011년, 2016년, 2021년, 2031년의 장래 여객통행 O/D를 제공하고 있으므로 기준연도 2009년은 KDI의 도로·철도부문 표준지침(제5판) 에 따라 보간법으로 도출함

○ 장래 O/D 수정

- 본 조사에서는 직접영향권의 택지개발계획 중 2009년 12월을 기준으로 실시계획 승인 고시가 공고된 사업을 반영하여 분석을 수행하였는데 본 과업노선의 영향권 내 여객O/D에 수도권 5차 자료의 O/D에 반영은 되어있으나, 직접영향권 및 간접영향권 내부의 개발계획 중 수용인구수가 변경된 사업은 이를 고려하여 추가로 수용인구를 반영
- 수도권 5차 자료와 수용인구수가 변경되어 추가로 반영된 택지개발사업은 인천 논현2차, 서창2차, 가정지구, 한들지구, 영종하늘도시 이렇게 5개 사업지구에 한하여 추가적인 수정하여 반영

<표> 본 사업의 택지개발계획 추가 반영 내역

계획	계획인구	준공년도	구 분	반영 여부
				SDI
논현2	41,585	2008	실시계획승인	인구변경(+3,067)
서창2	33,007	2012	실시계획승인	인구변경(+5,867)
가정	18,189	2012	실시계획승인	인구변경(+5,063)
한들	16,820	2012	실시계획승인	인구변경(-6,611)
영종하늘도시	60,000	2012	실시계획승인	인구변경(+69,828)

○ 기준연도 Network의 수정

- 도로 네트워크 수정
  - 2009년 도로 현황을 기준으로 차로 수를 비롯하여 용량과 도로 위계 및 VDF를 확인하여 잘못 기입된 네트워크를 수정하였음

<표> 수정된 도로 NETWORK 현황

구간명	수정사항	수정내역
서울외곽순환도로(의정부~송추IC)	용량(ul1) 수정	ul1: 1 → 1600
두무개길	차로수 수정	lanes: 1 → 2
정동 MBC앞	차로수 수정	lanes: 3 → 4
칠패길	차로수 수정	lanes: 2 → 1 (동향), 2 → 3 (서향)
우면산터널	차로수 수정	lanes: 4 → 2
한남대교	링크추가	올림픽대로 → 한남대교 램프추가
경명로	VDF수정	VDF 4 → 8
서울외곽순환고속도로(김포IC 부근)	용량(ul1) 수정	ul1: 1 → 1600
88JCT	링크추가	99JCT 연결로 추가
김포우회도로	링크추가	김포우회도로 추가
경명로~지방도356호선	링크추가	지방도356호선과 인천시 경명로간 연결 추가 반영
경인고속도로(서인천~부평)	VDF수정	VDF 30 → 2
경서삼거리	차로수 수정	lanes: 2 → 3

○ 장래 Networtk의 수정

- 국가기간교통망계획(2000~2019) 등 국가 상위계획 및 지자체 계획을 검토하여 계획이 완료되었거나 실시설계 단계까지 진행된 사업 중 국가교통DB에 누락된 사업을 네트워크에 추가 반영

마. 통행배정모형의 정산

○ 통행배정 모형의 정산 결과

- 사업지역을 중심으로 우선적으로 정산을 수행한 후, 영향권 내의 주요 도로에 지점을 선정하여 정산을 수행하였음

○ 재차인원 및 환산계수

- 승용차와 버스의 재차인원은 SDI(2009), 2006 서울시 가구통행실태조사 에서 제시된 경기도계 5개소를 포함한 수도권 전체의 승용차와 버스의 재차인원 자료를 근거로 산정한 승용차 1.29인/대, 택시 1.55인/대, 버스 14.22인/대를 적용

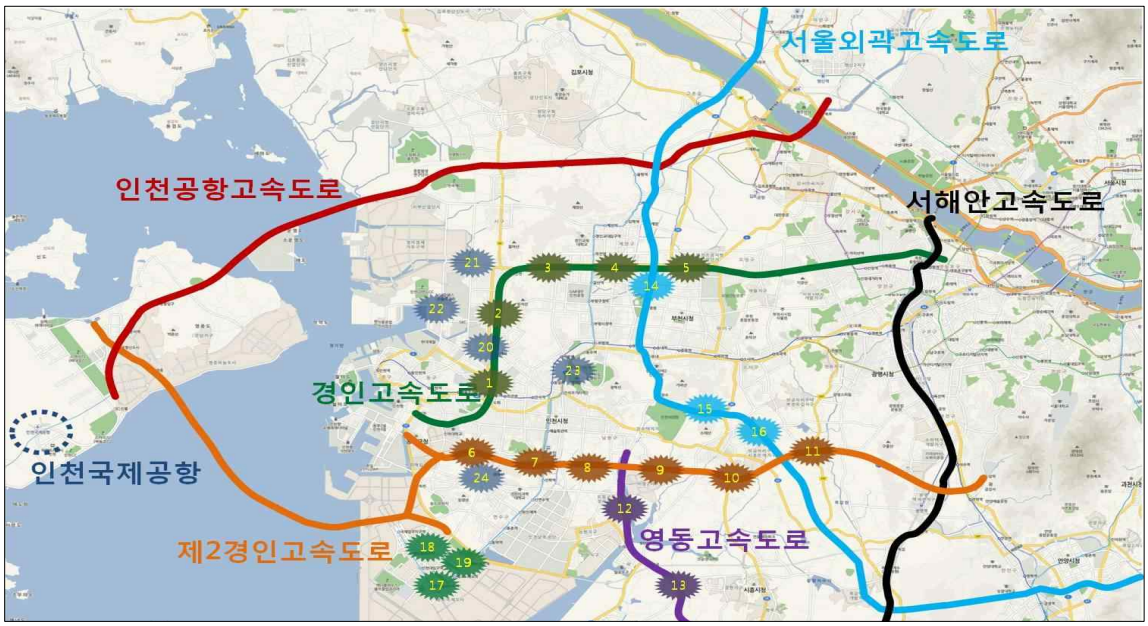
<표> 수도권의 평균재차인원과 승용차 환산계수

구 분	평균재차인원(인/대)	승용차 환산계수
승용차	1.29	-
택 시	1.55	-
버 스	14.22	2
트 럭	1.13	1.56

자료: 1) 수도권교통본부, 「수도권 장래교통 수요예측 및 대응방안 연구」, 2009.

2) 수도권교통본부, 2006 수도권 가구통행실태조사 , 2009.

<그림> 정산지점도(송도 신도시)



<그림>정산지점도(상암 DMC)



<표> 모형의 도로망 정산결과(송도 신도시)

(단위: 대/일, %)

구분	도로명	정산 지점	관측 교통량	배정 교통량	오차	오차율
경인 고속도로	도화IC ~ 가좌IC	1	61,464	55,840	-5,624	-9.15%
	가좌IC ~ 서인천IC	2	97,530	102,111	4,581	4.70%
	서인천IC ~ 부평IC	3	177,107	166,689	-10,418	-5.88%
	부평IC ~ 서운JCT	4	131,398	141,323	9,925	7.55%
	서운JCT ~ 부천IC	5	134,137	148,506	14,369	10.71%
제2경인 고속도로	인천시점 ~ 문학IC	6	76,400	81,459	5,059	6.62%
	문학IC ~ 남동IC	7	97,538	106,145	8,607	8.82%
	남동IC ~ 서창JCT	8	135,145	159,728	24,583	18.19%
	서창JCT ~ 신천IC	9	97,538	109,785	12,247	12.56%
	신천IC ~ 안현JCT	10	117,095	130,890	13,795	11.78%
	안현JCT ~ 광명IC	11	78,449	76,601	-1,848	-2.36%
영동 고속도로	서창JCT ~ 월곶IC	12	167,563	200,865	33,302	19.87%
	월곶IC ~ 서안산IC	13	149,734	182,721	32,987	22.03%
	서운JCT ~ 중동IC	14	133,828	147,163	13,335	9.96%
	장수IC ~ 시흥IC	15	214,471	206,021	-8,450	-3.94%
	시흥IC ~ 안현JCT	16	243,420	237,070	-6,350	-2.61%
송도지구	갯벌타워	17	10,652	10,344	-308	-2.89%
	해양경찰청	18	10,398	11,520	1,122	10.79%
	경제자유구역청	19	8,519	9,417	898	10.54%
인천시내	인천교	20	33,738	31,094	-2,644	-7.84%
	목재단지앞	21	35,500	33,071	-2,429	-6.84%
	북항사거리	22	16,080	15,813	-267	-1.66%
	부평삼거리	23	61,553	59,157	-2,396	-3.89%
	문학터널	24	43,574	39,627	-3,947	-9.06%

<표> 모형의 도로망 정산결과(상암 DMC)

(단위: 대/일, %)

구분	구간명	정산 지점	관측 교통량	배정 교통량	오차	오차율
외곽순환 고속도로	일산IC ~ 자유로JCT	1	109,888	117,745	7,857	7.15%
	자유로JCT ~ 김포IC	2	133,366	147,783	14,417	10.81%
	김포IC ~ 노오지JCT	3	178,045	188,977	10,932	6.14%
	노오지JCT ~ 계양IC	4	134,384	145,753	11,369	8.46%
경인 고속도로	부천IC ~ 신월IC	5	134,023	153,135	19,112	14.26%
	서운JCT ~ 부천IC	6	115,367	126,869	11,502	9.97%
서울시내	양화대교남단	7	124,471	119,691	-4,780	-3.84%
	성산대교북단	8	189,313	184,353	-4,960	-2.62%
	성산대교북단(강변북로)	9	218,160	211,637	-6,523	-2.99%
	국방대입구	10	55,009	60,757	5,748	10.45%
	서강대교	11	58,590	64,519	5,929	10.12%
	개화I.C(올림픽대로)	12	87,319	80,499	-6,820	-7.81%
	오목교동단	13	67,452	63,324	-4,128	-6.12%
	연희I.C	14	95,951	93,399	-2,552	-2.66%
	여의2교남단	15	100,217	92,049	-8,168	-8.15%
	증산교	16	80,572	84,496	3,924	4.87%

바. 수단분담 모형 구축

○ 상위연구결과의 수단선택모형 구축

- PRT 시스템의 경우 신교통수단으로써 PRT수단 도입에 따른 수단전환효과를 추정하기 위하여 SP 조사를 통한 모형의 구축이 필요
- 본 분석에서는 상위 연구인 철도기술연구원의 「승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술개발」에서 수행한 PRT 시스템의 수단분담모형 구축 결과를 수용하여 본 분석에 적용
- 철도기술연구원에서는 PRT시스템의 도입여부를 결정짓는 송도신도시와 상암DMC의 현장 설문조사(SP 조사)를 바탕으로 최종적인 수단선택모형을 구축하였으며 이때 모형의 경우 통행시간과 통행비용을 일반변수(generic variable)로 하여 구축
- 위 연구결과에서 제시하고 있는 수단선택 효용함수의 파라미터 값은 다음과 같음

○ 송도 신도시 수단분담 모형 1

- 현황 수단선택모형(RP)

· 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 전철(rail), 도보(walk), 자전거(bike)

<표> 모형추정결과 송도_모형1_현황수단선택 모형

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	37.0524	1.92E+06	1.93E-05	0.999985
T	-0.33369	0.0726	-4.59625	4.30E-06
C	-0.00318	0.000535	-5.93875	2.87E-09
A2	11.3209	2.68E+06	4.22E-06	0.999997
W	-0.62081	0.194624	-3.18976	0.001424
A3	40.0472	1.92E+06	2.09E-05	0.999983
A4	41.0991	1.92E+06	2.15E-05	0.999983
A5	36.8619	1.92E+06	1.92E-05	0.999985

- PRT 수단선택모형

·교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 전철(rail), 도보(walk), 자전거(bike), PRT(prt)

<표> 모형추정결과 송도_모형1

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-2.90013	0.387743	-7.47951	7.46E-14
T	-0.36442	0.05511	-6.61257	3.78E-11
C	-0.00315	0.000362	-8.70627	2.89E-15
A2	-97.6858	14887.2	-0.00656	0.994765
W	-0.62204	0.097865	-6.3561	2.07E-10
A3	1.06332	0.53659	1.98163	0.047521
A4	1.33981	0.819932	1.63405	0.102248
A5	-2.43153	0.731853	-3.32243	0.000892
A6	-108.21	14887.2	-0.00727	0.994201

○ 송도 신도시 수단분담 모형 2

- 현황 수단선택모형(RP)

· 설명변수: 통행시간(차내통행시간+차외통행시간), 통행비용

<표> 모형추정결과 송도_모형 2_현황 수단선택모형

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	36.5178	2.07E+06	1.76E-05	1.00E+00
T	-0.37167	0.077231	-4.81248	1.49E-06
C	-0.00309	0.00052	-5.93721	2.90E-09
A2	9.43195	2.81E+06	3.35E-06	1.00E+00
A3	37.4397	2.07E+06	1.81E-05	1.00E+00
A4	37.7415	2.07E+06	1.82E-05	1.00E+00
A5	36.8531	2.07E+06	1.78E-05	0.999986

- PRT 수단선택모형

<표> 모형추정결과 송도_모형 2

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-2.38098	0.320829	-7.42135	1.16E-13
T	-0.4325	0.056439	-7.66301	1.82E-14
C	-0.00305	3.60E-04	-8.49525	2.89E-15
A2	-98.2782	14681.3	-0.00669	9.95E-01
A3	0.301678	0.427562	0.705577	4.80E-01
A4	0.110696	0.651296	0.169962	8.65E-01
A5	-1.21446	0.568829	-2.13502	3.28E-02
A6	-106.751	14681.3	-0.00727	9.94E-01

○ 상암 DMC 수단분담 모형 1

- 현황 수단선택모형(RP)

· 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 도보(walk), 자전거(bike)

<표> 모형추정결과 상암_모형1_현황 수단선택모형

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	1.48176	2.02E+00	7.34E-01	4.63E-01
T	-1.21668	0.305732	-3.97958	6.90E-05
C	-0.00578773	0.00199045	-2.90775	3.64E-03
A2	4.84936	5.24E+00	9.25E-01	3.55E-01
W	-0.995766	0.30491	-3.26577	1.09E-03
A3	10.0818	2.58E+00	3.91E+00	9.12E-05
A4	5.26827	4.34E+00	1.21E+00	2.25E-01

- PRT 수단선택모형

· 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 도보(walk), 자전거(bike), PRT(prt)

<표> 모형추정결과 상암_모형1_PRT 수단선택모형

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-4.30796	0.376502	-11.4421	2.89E-15
T	-0.807755	0.0963942	-8.37971	2.89E-15
C	-0.0025006	2.64E-04	-9.46156	2.89E-15
A2	-4.15625	1.25901	-3.3012	9.63E-04
W	-0.193687	0.071866	-2.69511	7.04E-03
A3	-1.0617	0.374192	-2.83731	4.55E-03
A4	0.172189	0.596724	0.288557	7.73E-01
A5	-3.83	0.595548	-6.43105	1.27E-10

○ 상암 DMC 수단분담 모형 2

- 현황 수단선택모형(RP)

<표> 모형추정결과 상암_모형2_현황 수단선택모형

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	1.36712	1.93E+00	7.09E-01	4.78E-01
T	-1.12078	0.228388	-4.90733	9.23E-07
C	-0.00531521	0.00167286	-3.17731	1.49E-03
A2	5.26745	4.48E+00	1.18E+00	2.40E-01
A3	10.9009	2.22434	4.90075	9.55E-07
A4	4.91811	3.52E+00	1.40E+00	1.63E-01

- PRT 수단선택모형

<표> 모형추정결과 상암_모형2_PRT수단선택모형

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-5.03019	0.332078	-15.1476	2.89E-15
T	-0.511955	0.0428109	-11.9585	2.89E-15
C	-0.00225416	2.37E-04	-9.53063	2.89E-15
A2	-3.91312	1.23342	-3.17257	1.51E-03
A3	-0.394419	0.295398	-1.33521	1.82E-01
A4	-2.02705	0.421776	-4.80598	1.54E-06
A5	-5.68655	0.477039	-11.9205	2.89E-15

○ 모형 검토 결과

- 모형 검토결과 매개변수들은 모두 통계적으로 유의미하며 alternative-specific 상수항의 경우에도 주요 교통수단에 대해 통계적으로 유의미한 결과를 보였음.
- 모형적용의 일관성 측면에서 모형2가 보다 바람직할 것으로 판단되어 본 연구에서는 모형2를 기본적인 수단분담모형으로 선정하여 분석을 수행하였음.

- 단, 송도신도시와 상암DMC의 시간가치가 다르게 추정된 이유로는 각 지역마다 개별적으로 SP 조사 및 설문조사를 수행하였고, 그에 따라 각 지역의 사람들이 느끼는 효용에 대한 값이 수단분담모형의 시간가치(VOT)개념으로 사용되었기 때문으로 판단됨.
- 본 분석에서는 이러한 지역별 차이를 고려하여 수단분담모형의 정산과정 및 더미변수 산출을 통하여 PRT도입에 따른 지역별 수단분담모형을 적용하였으므로, 모형의 계수차이에 대한 Calibration 과정을 수행하였기 때문에 지역별 특성에 따른 수단분담모형은 적절히 구축되었다고 판단함.

○ 수단 선택 모형 적용

- 수단선택모형에 변수 값으로 반영되는 통행시간과 통행비용을 산정하는 기준은 다음과 같음.

<표> 교통수단별 통행비용 산정기준

구 분	통행비용
승용차	통행거리 매트릭스와 통행시간 매트릭스를 이용하여 출발지-도착지간 평균통행속도를 계산한 후, 통행속도별 km당 평균비용을 적용
버스	10km 이내 : 900원 이후 매 5km마다 100원
지하철	10km 이내: 900원 10km 이상: 5km마다 100원

- 본 분석에서는 PRT시스템의 경우 신규교통수단으로 통행시간 및 통행비용 산정에 대한 관련자료가 부재한 실정이다. 따라서 본 분석에서는 PRT의 통행시간, 통행비용을 산정하기 위하여 다음과 같은 가정을 하였음.

<표> PRT시스템의 통행시간 및 통행비용 산정기준

구 분	통행비용
통행시간	·차내시간 : PRT 역간 운행시간 매트릭스를 구축 ·차외시간 - PRT를 이용하기 위한 접근시간은 버스의 기준을 적용함 - 환승 대기시간은 평균배차간격의 1/2 적용
통행비용	·직승직하의 경우 2,000원의 요금을 적용 ·단 정부통합요금제를 가정하여 타 대중교통수단으로 환승시 환승할인 적용

○ 장래 수단 선택 모형 적용

- 점진적 로짓모형(Incremental Logit model).

· 점진적 로짓모형(Incremental Logit)은 설명변수의 변화에 의한 효용치의 변화량을 이용하여 각 대안들의 선택확률을 계산함.

$$P_i^* = \frac{P_i \exp \triangle V_i}{\sum P_j \exp \triangle V_j}$$

여기서, P_i^* : 사업시행시 수단i의 선택확률

P_i : 사업미시행시 수단i의 관측 분담률

$\triangle V_i$: 사업시행 전·후 수단i의 효용변화

- 가법적 로짓모형(Additive Logit)

· 가법적 로짓모형(Additive Logit)은 관측치(base matrices)의 수단분담률에 시행시와 미시행시의 로짓모형의 수단분담률 차이를 이용하여 사업시행시의 수단분담률을 산출함.

$$P_i^* = P_i + S_i^* - S_i$$

여기서, P_i^* : 사업시행시 수단i의 선택확률

P_i : 사업미시행시 수단i의 관측 분담률

S_i^* : 사업시행시 Logit 모형산출 분담률

S_i : 사업미시행시 Logit 모형의 분담률

4. 수요 추정결과

가. 분석의 전제

○ PRT 노선 운영방식의 경우 한국철도기술연구원에서 구축한 운영방식을 토대로 노선도 및 정거장 계획을 수용함

○ PRT 운영시 통행요금의 경우 정부 통합요금제를 가정하여, 총 2000원(1,100원+900원)으로 설정

- PRT 시스템의 특성상 정해진 노선이 아닌 수요에 따라 운행하는 on-demand 방식의 특성을 고려하여 버스 및 지하철이 아닌 택시를 PRT의 주요 경쟁수단으로 인식
- 현재 PRT 시스템의 통행요금이 정확히 정해지지 않은 상태에서 정부의 PRT 운영을 전제로 하여 통합요금제 기준의 2,000원을 적용하는 것이 합리적이라고 판단

<표> PRT 시스템 분석의 전제

구분		설 명
노선 개요	송도신도시	· 총길이 16.7 km · 역사수 17개소
	상암 DMX	· 총길이 9 km · 역사수 12개소
요금징수방식		· 정부운영을 전제로한 통합요금제(환승할인 900원 적용)
통행요금	직승직하	· 2,000원(PRT)
	직승환하	· 1,100원(PRT)
	환승직하	· 1,100원(PRT)
	환승환하	· 1,100원(PRT)

나. 수요추정 결과

○ 2036년 송도신도시의 경우 총 44,928인/일의 수요를 보이는 것으로 추정되었으며 그중 64.5%, 28,959인/일의 수요가 PRT이용과 함께 버스, 지하철 등의 대중교통 수단으로 환승하는 것으로 분석

○ 상암DMC의 경우도 2036년 20,389인/일의 총 수요 중에서 60.9%, 12,426인/일의 수요가 대중교통수단으로 환승되는 것으로 분석

<표> 수요추정 결과 종합

(단위: 인/일, %)

구분	2016년	2016년	2021년	2026년	2031년	2036년
송도신도시	총수요(A)	30,655	44,823	45,017	44,934	44,928
	환승수요(B)	19,980	28,860	29,667	29,241	28,959
	환승수요비율(B/A)	65.2%	64.4%	65.9%	65.1%	64.5%
상암DMC	총수요(A)	18,728	20,385	20,445	20,409	20,389
	환승수요(B)	11,383	12,307	12,549	12,427	12,426
	환승수요비율(B/A)	60.8%	60.4%	61.4%	60.9%	60.9%

○ 수단O/D의 경우 2006년부터 2026년까지 통행량이 증가하다가 2026년 이후 감소하는 추세로 예측이 되었으며, 본 분석에서도 PRT 수요패턴이 동일한 결과로 분석

- 수도권 교통본부에서 배포한 자료의 경우 P/A 기반 모형을 기반으로 O/D가 생성되며, 모형에서 고려되는 독립변수는 연령별 인구, 취업자수, 1·2·3차 산업 종사자수, 학생수, 자동차 보유대수 등으로 이를 기반으로 존단위 회귀분석을 통해 O/D가 생성됨
- PRT 수요의 경우 신규 교통수단의 도입으로 공로상의 수요가 많을수록 수단전환효과가 높기 때문에 수단 O/D가 최대치가 되는 2026년의 수요가 최대가 되는 것으로 분석

○ 상기 수요는 상위연구에서 주어진 분석대상지역과 운영방식을 기준으로 적용한 결과임
- 실제 적용될 정거장의 위치, 노선이나 운영방식 등에 따라 수요추정치는 달리 나올 가능성이 있음
- 왜냐하면 PRT수단의 특성상 대중교통 통행배정이 수행되어야 하며, 이에 따라 수요추정의 일반화를 위해서는 도입지역, 노선 설계, 운영방식, 수단분담모형의 적용에 따른 수요를 각각 추정해야 하기 때문임

제2절 편익의 종류와 추정방식

1. 편익의 종류

○ 한국개발연구원의 표준지침(도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제5판))에 따라 차량운행비용 절감편익, 통행시간비용 절감편익, 교통사고비용 절감편익, 환경비용(대기오염비용 및 소음비용을 모두 포함함) 편익을 산출함

<표> 철도관련 투자사업의 편익항목

구 분		세부항목
직접편익 (사용자 편익)	철도이용자 편익	· 철도(기존 및 신규 철도) 사용자의 통행시간 절감
	타 수단 이용자 편익	· 차량운행비용 절감 · 도로·철도간 전환수요에 의한 통행시간 절감 편익 · 교통사고 감소
간접편익 (비사용자 편익)		· 환경비용 절감(대기오염, 소음 절감) · 주차수요 감소로 인한 주차공간 기회비용 절감

2. 편익 산정 방법

가. 차량운행비용 절감 편익

○ 분석 대상 사업의 직·간접 영향권 내 링크를 대상으로 통행배정 작업의 결과로 산출된 주행속도와 교통량을 이용하여 주행속도에 따른 차량운행비용 원단위를 적용하여 산정

○ 산출된 각 링크의 차량운행비용을 분석 도로망 내에 있는 모든 링크를 대상으로 합한 뒤 사업 미시행시와 사업 시행시의 비교된 차액을 운행비용 절감 편익으로 산출

나) 통행시간 절감 편익

○ 사업미시행시와 사업 시행 시에 대해 수단별로 산출된 총 통행시간에 시간가치를 적용하여 총 통행시간 비용을 산출한 후 비교된 차액을 통행시간 절감 편익으로 산출

다) 교통사고비용 절감 편익

○ 교통사고비용 절감 편익 산출과정
- 사고 유형에 따라 경제적 손실이 다르므로 유형별 교통사고 비용 원단위를 적용

○ 도로/사고 유형에 따른 원단위 적용
- 본 과업에서 영향권 내에 있는 도로는 대부분 도시 내 도로이기 때문에 지역 간 비율을 직접적으로 적용할 수 없음
- 따라서 도시 내 도로에 대한 사고비용 추정치가 없기 때문에 이와 특성이 비슷한 고속도로와 국도의 사고비용을 적용

라) 환경비용 절감 편익

○ 대기오염 절감 편익
- 대기오염비용은 분석 대상 지역의 직·간접 영향권 내 링크를 대상으로 주행속도에 따른 대기오염비용 원단위를 적용하여 산정

○ 소음 절감 편익
- 소음 절감 편익을 산정하기 위해서는 사업 시행으로 발생하는 소음변화량과 단위 소음당 원단위에 대한 정보를 통하여 소음절감 편익을 산정

3. 편익 산정

○ 총 편익은 차량운행비용 절감편익, 통행시간 절감편익(운영자 수입분 제외), 교통사고비용 절감편익, 환경비용 절감편익의 합으로 산정

○ 통행시간 절감편익이 가장 큰 비중을 차지하였고, 그 다음으로 차량운행비용, 환경비용, 사고비용 등의 순으로 나타났음

<표> 편익추정결과 (송도 신도시)

(단위: 억원/년)

연도	통행시간 절감편익	운행비용 절감편익	교통사고 절감편익	환경비용 절감편익	편익소계
2016년	73.9	19.8	8.4	10.5	112.6
2021년	108.0	28.7	10.4	15.4	162.4
2026년	108.5	31.6	13.6	17.4	171.1
2031년	108.3	30.5	11.7	16.4	166.8
2036년	108.2	30.0	10.9	16.2	165.3

<표> 편익추정결과 (상암 DMC)

(단위: 억원/년)

연도	통행시간 절감편익	운행비용 절감편익	교통사고 절감편익	환경비용 절감편익	편익소계
2016년	38.4	13.3	4.7	7.1	63.4
2021년	41.8	14.6	5.2	7.5	69.0
2026년	41.9	15.1	5.5	7.7	70.2
2031년	41.8	14.7	5.1	7.4	69.0
2036년	41.8	14.2	5.1	7.4	68.5

제5장 경제성 분석

제1절 경제성 분석의 전제

1. 경제성 분석 방법

○ 경제성 분석은 각 대안별 수요를 기초로 대안별로 비용과 편익을 분석하여 경제적으로 사업의 시행이 타당한지를 알아보는 것임

○ 경제적 타당성 판단은 3가지 지표(편익/비용 비율, 순현재가치, 내부수익률)를 통해 산정함

2. 경제성 분석 기준

○ 사회적 할인율

- 사회적 할인율 5.5%를 적용

○ 기준연도 및 기준가격

- 경제성분석 기준년도 : 2010년
- 사업기간 : 2012~2015년
- 분석기간 : 2016~2045년 (운영기간 30년)

제2절 경제성 분석 결과

○ 송도신도시, 상암DMC 사업 모두 경제성이 없는 수준으로 분석됨

- 송도신도시의 경우 본 사업을 시행할 경우 B/C가 0.63, NPV가 -986.8(억원)으로 분석됨
- 상암 DMC의 경우 B/C가 0.52, NPV가 -651.9(억원)으로 분석됨

<표> 경제성 분석 결과 요약

(단위: 억원, %)

구 분	할인비용	할인편익	B/C	NPV	IRR
송도 신도시	2,646.6	1,659.8	0.63	-986.8	-3.95
상암 DMC	1,371.1	719.1	0.52	-651.9	-9.91

○ 민감도 분석을 위해서 편익변화와 비용변화를 ±20%까지 10%포인트씩 변화시켜 분석한 결과, 편익비용비율은 편익 및 비용의 변화에서 경제성이 확보되지 않음

- 할인율 변화에 따른 민감도 분석 결과도 경제성이 확보되지 않음

<표> 편익 및 비용변화에 따른 민감도 분석 결과 (송도신도시)

(단위: 억원)

구 분		구분	-20	-10	0	10	20
변화항목	편익	할인비용	2,646.6	2,646.6	2,646.6	2,646.6	2,646.6
		할인편익	1,327.8	1,493.8	1,659.8	1,825.7	1,991.7
		B/C	0.50	0.56	0.63	0.69	0.75
	비용	할인비용	2,117.2	2,381.9	2,646.6	2,911.2	3,175.9
		할인편익	1,659.8	1,659.8	1,659.8	1,659.8	1,659.8
		B/C	0.78	0.70	0.63	0.57	0.52

<표> 편익 및 비용변화에 따른 민감도 분석 결과 (상암 DMC)

(단위: 억원)

구 분		구분	-20	-10	0	10	20
변화항목	편익	할인비용	1,371.1	1,371.1	1,371.1	1,371.1	1,371.1
		할인편익	575.3	647.2	719.1	791.0	863.0
		B/C	0.42	0.47	0.52	0.58	0.63
	비용	할인비용	1,096.8	1,233.9	1,371.1	1,508.2	1,645.3
		할인편익	719.1	719.1	719.1	719.1	719.1
		B/C	0.66	0.58	0.52	0.48	0.44

<표> 할인율 변화에 따른 민감도 분석 결과

(단위: 억원)

구 분		구분	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
할인율 변화	송도신도시	할인비용	2,948.7	2,790.9	2,646.6	2,514.2	2,392.6
		할인편익	1,979.5	1,810.9	1,659.8	1,524.1	1,402.0
		B/C	0.67	0.65	0.63	0.61	0.59
	상암 DMC	할인비용	1,521.0	1,442.8	1,371.1	1,305.2	1,244.5
		할인편익	854.2	783.0	719.1	661.7	610.0
		B/C	0.56	0.54	0.52	0.51	0.49

○ 이는 상위연구에서 주어진 분석대상지역과 PRT 운영방식을 근거로 산출된 결과치로 실제 PRT 시행시 도입지역, 정거장의 위치와 노선 설계에 따라 수요 예측치가 달라질 수 있으며 경제성 분석 결과 또한 변동이 될 수 있음

○ 향후 PRT 도입 추진이 검토되었던 23개 지역이외에 추가적으로 보다 PRT 특성에 적합한 지역이 발굴되고 수요 창출을 위한 교통정책 수립, 노선 설계 등이 도입된다면 지금의 편익결과치와 다른 결과가 나타날 가능성이 있음

- 신도시 계획단계부터 PRT를 기반으로 하는 교통체계를 구축하고, 보행자와 타 교통류의 통행에 영향을 최소화하는 도시기반 설계를 도입하여 비용절감과 수요증가를 얘상할 수 있음. 다만, 현재 인구감소가 예측되고 있는 상황에서 대규모 신규 계획도시의 개발 가능성이 줄어들고, 대규모 신도시 개발에는 상당한 장기간이 소요됨을 고려하여야 할 것임

○ 그러나 검토대상지역이 PRT 도입이 검토되었던 지역 중 가장 적합하다고 판단하여 선정한 지역이며, 또한 민감도 분석결과 비용이나 편익이 20% 정도 변화하더라도 경제성이 확보되지 못하는 것으로 분석되어 PRT 도입에 있어서 분석의 가정이 변화하게 되더라도 경제적 타당성이 있을 것이라고 일반화 하기엔 어려움이 따를 것으로 보임

제6장 재무성 분석 및 민자연계방안

제1절 재무성 분석의 전제

1. 기본전제

가. 분석 대상사업 및 분석기간

○ 재무성 분석의 분석 대상사업은 송도신도시, 상암DMC로 경제성분석과 동일함

○ 분석기준시점은 2010년 말이며, 재무성 분석의 분석 대상 기간은 건설기간을 포함하여 33.5년으로 설정하였음

- 건설기간 : 2012.7~2015.12(3.5년)
- 운영기간 : 2016.1~2045.12(30년)

나. 재무적 할인율

○ 재무성 분석에 적용할 재무적 할인율은 각 자금조달 원천별(자기자본,타인자본) 자본비용을 자금의 구성비에 의하여 가중평균하여 산출되는 바, 일반지침에 따라 산정된 재무적 할인율은 5.54%임

○ 일반지침에 따르면 예비타당성조사 재무성 분석에서는 5.5%를 실질 재무적 할인율로 사용하도록 되어 있고, 상기 도출된 재무적 할인율 5.54%와 거의 근사하므로 본 재무성 분석에서는 일반지침에 따라 5.5%를 실질 재무적 할인율로 적용하였음

다. 기타 가정

○ 물가상승률 : 중기 소비자물가안정목표치인 3.0%를 적용함

○ 법인세율 : 분석기준시점 현재의 법인세법을 반영하여 과세표준 2억원 이하는 10%, 2억원 초과분은 20%, 법인세에 부수되는 주민세(법인세의 10%)를 감안하여 각각 11% 및 22%를 적용하였음

○ 감가상각 : 운영기간 개시후 30년을 내용연수로 보고 정액법으로 감가상각함

○ 재원조달구조 : 민투법에 따른 최소 자기자본비율인 20%를 적용함

○ 타인자본비용 : 재무적할인율 산정시 적용한 부채의 자본비용인 7.5%를 적용함

2. 총사업비

○ 재무성 분석에 적용한 사업비는 경제성 분석시 적용한 사업비에 매입부가가치세를 추가, 송도신도시의 경우 2,060억원, 상암DMC의 경우 1,112억원을 적용하였음

<표> 총사업비

(단위: 억원,VAT포함)

구분	송도신도시	상암DMC
A. 공사비	1,571	854
B. 부대비	181	101
C. 용지보상비	13	25
D. 예비비	177	98
E. 초기차량구입비	118	34
총사업비	2,060	1,112

3. 운영비

○ 재무성 분석에 적용한 운영비는 경제성 분석시 적용한 운영비에 매입부가가치세를 추가, 송도신도시의 경우 4,096억원, 상암DMC의 경우 1,953억원을 적용하였음

<표> 운영비용

(단위:억원,VAT포함)

구분	송도신도시	상암DMC
인건비	1,763	959
일반관리비	215	105
동력비	685	218
유지관리비	617	320
대체투자비	816	351
합계	4,096	1,953

4. 운영수입

○ 운영수입 추정시 적용한 요금은 경제성 분석시 수요산정의 기준인 직승요금 2,000원 및 환승요금 1,100원을 적용하였음

○ 적용한 수요는 다음과 같음

<표> 적용 수요

(단위:명/일)

구분	송도신도시		상암DMC	
	직승수요	환승수요	직승수요	환승수요
2016년	10,676	19,980	7,346	11,383
2021년	15,963	28,860	8,078	12,307
2026년	15,350	29,667	7,896	12,549
2031년	15,692	29,241	7,982	12,427
2036년	15,969	28,959	7,963	12,426

제2절 분석방법 및 분석결과

○ 재무성 분석 방법에는 순현재가치법(NPV), 내부수익률법(IRR), 및 수익성지수법(PI)이 있음

○ 본 분석에서는 순현재가치법을 기본적인 틀로 하고 내부수익률 및 수익성지수를 추가적으로 계산하여 제시하였음

○ 사업별 재무성 분석 결과는 다음과 같음

<표> 재무성 분석 결과

구분	송도신도시	상암DMC
현금유입의 현가	2,431 억원	1,185 억원
현금유출의 현가	3,084 억원	1,587 억원
순현금현가(NPV)	-652 억원	-402 억원
IRR	1.67%	0.85%
PI	0.79	0.75

○ 분석결과 송도신도시 및 상암DMC의 경우 NPV가 각각 (-)652억원 및 (-)402억원으로서 재무성이 없는 것으로 분석되었음

○ 송도신도시 및 상암DMC의 경우 재정지원금을 지원할 경우 NPV가 0이 나오는 재정지원금의 수준은 각각 923억원(사업비 대비 44.80%) 및 547억원(사업비 대비 49.20%)으로 분석되었음

○ 한편, 본 사업이 국내의 기존 사례가 없는 사업인 점을 고려할 때 사업에 대한 risk가 기존의 SOC사업과는 다를 것이므로 재무적 할인율의 변동에 따라 NPV가 0이 나오는 재정지원금 수준에 대한 민감도를 추가로

분석하였음

<표> 재무적할인율 민감도(송도신도시)

재무적 할인율	재정지원비율	재정지원금	NPV	IRR	PI
5.50%	44.80%	923	0	5.50%	1.00
6.50%	51.46%	1,060	0	6.50%	1.00
7.50%	56.99%	1,174	0	7.50%	1.00

<표> 재무적할인율 민감도(상암DMC)

재무적 할인율	재정지원비율	재정지원금	NPV	IRR	PI
5.50%	49.20%	547	0	5.50%	1.00
6.50%	55.08%	613	0	6.50%	1.00
7.50%	60.02%	668	0	7.50%	1.00

○ 분석 결과 재무적 할인율이 높아질수록 재정지원비율도 높아져, 재무적 할인율이 7.5%일 경우 송도신도시는 재정지원비율이 56.99%이상일 때 재무성이 있는 것으로 분석되었으며 상암DMC의 경우 재정지원비율이 60.02%이상일 때 재무성이 있는 것으로 분석됨

제3절 민자연계방안

○ 일반지침에 따르면 경제성 분석 결과, B/C가 0.9를 상회하여 경제적 타당성이 있는 사업에 대하여 정성적 평가방법인 1·2단계 check list 평가를 통한 민간투자 가능성을 검토하도록 규정하고 있음

○ 본 사업의 경우 경제성 분석 결과 경제적 타당성이 확보되지 않는 것으로 분석되어 민간투자 가능성을 검토하는 것이 적절하지 않을 수 있으나, 그럼에도 불구하고 check list 평가를 통한 민간투자 가능성에 대한 정성적인 측면을 살펴보았음

○ 1단계 평가결과 PRT시스템은 국내 도입사례가 없어서 적용법규가 확정되지 아니한 측면이 있으나 본 연구에서는 도시철도법의 적용을 기본하여 본 시설을 도시철도법 제3조제1호의 규정에 의한 도시철도로 보아 민투법 제2조에 정의된 민간투자 대상 시설 유형에 포함되는 것으로 보고, 기타 항목의 경우 본 사업이 민투법에 의한 BTO사업으로 추진될 경우 일반적인 BTO사업과 대동소이 할 것으로 판단되는 바, 1단계 check list를 통한 법적·정책적 타당성을 확보하는 것으로 판단됨

○ 본 사업은 서비스 질 향상, 재원조달 및 운영 리스크의 상당 수준 민간으로 이전, 향후 추진될 유사 재정사업에 대한 긍정적인 파급효과가 기대되는 바, 1단계 및 2단계 평가 결과를 종합하면 경제적 타당성이 확보된다는 전제하에 정성적인 측면에서 민간투자사업으로 추진 가능성이 있는 사업으로 판단됨

제7장 정책적 분석

제1절 정책적 분석의 개요

○ 사업시행으로 인한 편익분석이나 재무성분석과 같은 계량분석 틀 속에 포함시킬 수는 없으나 사업의 시행 여부를 판단하는 데 있어서 고려하여야 할 평가요소들에 대한 분석

○ 본 연구에서는 정책적 분석 항목으로 본 연구 목적을 반영하여 관련계획 및 정책방향과의 일치성, 사업 추진의지 및 선호도, 상용화 준비정도, 재원조달 가능성 및 환경성 평가를 포함

○ 관련계획 및 정책방향과의 일치성은 국가 전체 정책 및 교통정책 측면과 연구개발 측면(기술적 파급효과 포함)으로 나누어 평가.

- 정책의 일관성 및 추진의지를 PRT 시스템 도입사업(상용화) 측면과 기술개발 측면에서 동시에 분석
- 이는 본 연구의 목적인 PRT시스템 상용화에 대한 타당성 분석과 더불어 기술R&D의 타당성에 대한 정책적 측면을 보완

<표> 정책적 분석 항목

중분류	세부평가항목	평가내용
정책의 일관성 및 추진의지	관련계획 및 정책방향과의 일치성	• 국가·교통관련계획 및 정책방향과의 일치성 • 국가 R&D 및 국토해양 R&D 정책방향과의 일치성 • 기술개발의 파급효과
	사업추진의지 및 선호도	• 중앙정부, 해당 지자체 및 주민의 사업에 대한 추진의지, 선호도 및 숙원도
	상용화 준비정도	• PRT 사업 도입을 위한 기술적, 사회적, 제도적 측면에서 사업 추진시기의 적정성
PRT 도입 상의 고려요인	재원조달 가능성	• 재원조달 계획의 현실성 • 민자유치를 통한 재원조달의 가능성
	환경성 평가	• 해당 사업으로 발생되는 CO_2 절감효과에 대한 정성적 평가 • 타 수단대비 해당 사업의 도시미관 개선에 대한 정성적 평가

제2절 국가·교통관련계획 및 정책방향과의 일치성

1. 국가계획과의 일치성

○ 정부는 '저탄소 녹색성장'을 새로운 국가비전으로 설정하고 추진 중

- 녹색성장 5개년계획('09~'13)을 확정하고, 국가 온실가스 감축목표 발표
- 도로에서 철도중심의 녹색교통체계로 전면 개편하기 위한 '녹색교통 추진전략'을 수립·추진

○ 교통부문은 지속가능·녹색성장에 대응하여 각 부문별로 친환경적인 신교통수단 도입에 대한 필요성이 높아짐

- 개인교통수단의 하이브리드 차량 개발 및 도입 가속화
- 대중교통수단의 BRT, GRT, PRT 등에 대한 시스템 도입 추진

○ PRT는 매연, 소음이 없는 친환경적인 단거리 교통수단으로 저탄소 녹색성장에 적합한 것으로 판단됨

- 자동차 대비 70% 에너지 효율 증가 예상(피크 시간의 경우 90%) 의 에너지 소비 감소효과
- 자동차 교통 대비 CO_2발생량 최소 60%이상 감소

2. 교통정책방향과의 일치성

○ 선진국들은 에너지문제, 환경변화, 삶의 질 등에 대응하기 위하여 '지속가능한 교통', '안전한 교통', '효율적인 교통'으로 교통정책 전환

- 교통연구원의 국가경쟁력 강화를 위한 신 교통정책 구상에서도 교통정책 목표를 '지속가능하고 안전하며 효율적인 교통'으로 제시

○ 세계 10대 교통 선진국 대상 교통혁신 경쟁력을 평가한 결과에 따든 미래 교통의 트렌드(동아일보 미래전략연구소, 아서디리틀(ADL))

<표> 미래교통의 6가지 트랜드

항 목	내 용
개인 교통	소유에서 공유로
정책 관점	개별 교통수단에서 통합시스템으로
추구 가치	효율성 지상주의에서 지속가능 발전으로
교통 정책	규제에서 촉진으로
시스템 변화	하드웨어 중심에서 인간 중심으로
가치 창출	인프라 구축에서 신(新) 교통 산업 창출로

○ 현재 우리나라의 교통인프라는 여전히 화석연료를 통해 효율성을 극대화하는 '효율 중심 모델'에 머물고 있는 것으로 나타남

- 세계 10대 교통 선진국의 교통혁신 경쟁력을 평가한 결과에서도 우리나라는 영국, 캐나다와 함께 효율중심의 교통시스템을 보유한 국가로 평가되었으나, 친환경성 및 가치창출성 측면에서는 모두 8위로서 낮은 수준으로 평가

○ 기존의 철도교통수단은 개인교통수단으로서 입지가 확고한 자동차에 비해 대중교통은 접근성이 떨어지고 주로 대량수송수단인 점에서 야기되는 불편함으로 인해 활성화에 한계

- 또한 다양한 도시통행 행태 중에서 단위지역 내 많지 않은 수요가 지속적이면서 분산적인 형태를 보이는 경우, 대규모 수송수단인 기존의 도시철도나 버스로 이를 수용하기에는 비효율적.
- 이에 따라 자전거, PRT, 바이모달트램, 경전철 등 친환경 신교통수단은 기술발전과 함께 녹색교통체계의 핵심으로 부상할 것으로 전망

○ PRT도입은 친환경, 지속가능성, 교통인프라의 개인화 등 교통정책방향 및 가치창출성 등 미래 트렌드의 일치성은 높은 것으로 평가

- PRT는 단거리 신교통수단으로서 기존 교통수단의 단점을 보완하면서 도시권역의 교통 혼잡과 사고 완화가 가능한, 기존의 Mass-transit 개념에서 벗어나 Para-transit 개념에 가까운 신교통수단

제3절 국가 R&D 및 국토해양 R&D 정책방향과의 일치성

1. 국가 R&D 정책방향

○ 정부R&D투자는 최근 5년간(07~11년) 연평균 11.1% 증가하여 정부 재정총지출의 6.9%를 크게 상회

- 민간부문의 R&D투자 증가가 둔화된 반면 정부·공공부문 R&D투자가 확대
- 미래성장동력 관련 국가R&D사업의 특허생산성은 증가하나 원천기술 관련성이 높은 우수특허 비중은 낮아 원천기술개발에 집중할 필요성 제기

○ 중기재정운용계획 상 '11~'15년 R&D분야 주요 투자방향 제시

- 정부R&D투자 증가율을 적정 수준으로 유지하면서 내실화와 효율성 제고
- 정부재정여건을 고려하여 R&D분야에 우선순위를 두고, 이를 위하여 국가유망기술 발굴, 기술분야 별 투자우선순위 설정 등 전략·기획 기능을 강화
- 기초연구 및 공공분야 투자 확대, 산업기술분야 정부/민간의 역할분담 적극 모색

○ 국가 R&D 정책방향에 비추어 볼 때, PRT 관련 기술개발은 미래에 필요성이 높은 기술 분야의 하나

○ 그러나, 정부 R&D투자의 내실화 및 효율화측면에서 볼 때 민간기업에서 PRT를 진행되고 있는 상황으로, 정부주도의 기술개발 필요성 및 상용화의 불확실성 측면에 대하여 추가적인 검토가 필요하리라고 판단됨

2. 국토해양 R&D 정책방향

○ '국토해양 R&D 발전전략'에서 건축물과 교통부문에서 2020년 배출 전망치 대비 30%이상 감축을 미래 국토해양의 역할로 설정

- 국토해양 2030시나리오는 국토해양의 미래상을 결정지을 수 있는 핵심동인(Key Driver)으로 기후변화대응, 기술혁신, 정부정책공조 및 규제, 에너지믹스, 교통모드 전환, 녹색도시모델 발전으로 파악
- 기후변화 대응과 기술혁신을 양축으로 한 그린혁명(Green Innovation)을 가장 이상적인 시나리오로 보고, 그린혁명을 위한 전략 중의 하나로 친환경 교통수단(철도, 비동력 운송수단)의 수송 분담률 확대로 정하고, 지속가능교통사업 및 친환경철도사업 등의 R&D를 진행
  - 국토해양 R&D의 녹색기술 비중을 50%에서 70%로 확대, 기초·원천 기술에 대한 투자를 16%에서 25~30%로 확대, R&D사업 예산규모는 2020년까지 연 10%~14% 이상 확대 전망
  - 국가 R&D 신교통수단 총 4개 사업 중 고무차륜 AGT, 바이모달트램은 개발사업이 완료, 도시형 자기부상열차와 무가선트램의 개발이 진행 중으로 2013년 이내에 완료 예정

○ 국토해양 R&D 발전전략 및 신교통R&D 추진현황에 비추어 볼 때, PRT 관련 기술개발은 기후변화대응과 기술혁신의 그린혁명 시나리오에 따른 지속가능교통사업 및 친환경철도사업 R&D에 부합한 분야로 판단됨

○ 그런데, 아직 PRT는 신교통수단에서 큰 비중을 차지하지 못하고 있는 실정임

- 과거 40년동안 기술개발이 진행되어 왔으나 기술개발 성과가 미흡하고, Test-bed를 제외하고는 아직 실질적으로 상업화를 한 사례도 없는 등 시장이 형성되어 있지 않음

○ 따라서 PRT는 기술개발 실용화 가능성에 대한 판단이 우선적으로 필요하고, 유사 신교통 R&D와의 우선순위에 대하여 검토가 필요할 것으로 사료됨

3. 기술개발의 파급효과

○ 세계 각국이 21세기 성장전략산업으로 PRT를 포함한 철도분야를 설정, 차세대 기술을 선점하기 위해 국가적인 지원과 개발 진행

- 영국은 자국 시스템(ULTra) 사업지원 및 국제표준 선점작업이 진행 중
- 네덜란드는 자국 내 박람회에서 시험운행을 지원하는 등 국가차원에서 UAE 사업 수주를 지원

○ PRT 기술개발이 성공적으로 완료되어 도입될 경우 국내 기술로 개발한 신교통수단으로서 의의가 크고, 또한 국내의 IT기술을 바탕으로 한 운영제어기술 개발은 PRT시스템의 수출을 통한 성장동력으로 가능성을 내포하고 있음

- 그리고 PRT시장이 2016년 이후 부터 급격한 시장성장을 예상하는 전문기관의 예측과 같이 PRT기술은 신교통수단에 대한 수요를 바탕으로 시장창출가능성이 기대되는 분야일 수 있음

○ 다만, 현재까지는 세계적인 전동차 제작업체인 독일의 지멘스, 프랑스의 알스톰, 캐나다의 봄바르디에, 일본의 히타치제작소 뿐만 아니라 우리나라의 로템도 시장규모 등의 한계로 PRT 기술개발에 적극적인 모습을 보이지 않는 등 시장매력도가 아직은 낮은 수준

- 본 대상기술은 운영제어 등 소프트웨어적 기술개발로서 부품국산화 등 측면에서의 파급효과도 한정적일 수 있음

제4절 사업의 추진의지 및 상용화 준비정도

1. 사업 추진의지 및 선호도

○ PRT시스템은 기술개발을 위한 의사결정단계로서 지방자치단체 및 기타 이해당사자의 사업 추진의사를 구체적으로 평가하기에는 이른 단계

○ 장기적으로 PRT와 같은 고급 대중교통수단의 추진 의지 및 선호도는 점증할 것으로 추정

- 외부 통행이 목적지까지 빠르고 쾌적하게 이동해야 하고, 승용차와 같은 개인이동수단보다는 대중교통수단이 선호되는 교통 트렌드
- 단위지역 내 많지 않은 수요가 지속적이면서 분산적인 형태를 보이고, 대규모 수송수단인 기존의 도시철도나 버스로 수용하기에는 비효율적인 지역

2. 상용화 준비정도

○ PRT시스템은 다양한 형식을 가지고 있으며, 아직까지 실질적인 상용화가 이루어진 사례가 없음

- PRT와 관련된 기술개발 수준은 아직 초기단계, 상당한 기간의 경과에도 불구하고 여전히 형성되지 못하고 테스트 단계에 머물러 있는 상황

○ PRT사업의 상용화를 위한 준비 정도는 아직 상당 수준 미비하여 미성숙단계

- 기술적인 제약뿐만 아니라 정치·경제·사회적 측면에서도 PRT 상용화는 발아단계로서 리스크를 내포, 실질적인 상용화단계까지는 아직도 많은 시간이 필요
- PRT에 대한 사용자의 안전성에 대한 이해와 동 교통수단에 대한 수용성 확보가 필요

제5절 PRT 도입 상 고려요인

1. 재원조달 가능성

가. 『국가재정운영계획』 상의 투자계획

○ 「국가재정운용계획보고서」의 SOC 분야 세부 예산계획에서 '10~'14년 기간 동안 철도·도시철도 재정투입의 연평균 증가율은 8.3%로 전체 SOC 분야의 타 부문보다 상당히 높음

- 녹색교통사업 중 신규사업에 대하여 '11~'20년 연간 2,964억원이 소요될 것으로 예상되어 PRT 도입 시 재원조달 측면에서의 무리는 없을 것으로 판단

○ 전체 SOC분야의 투자예산이 감소가 예상되는 상황에서 철도·도시철도 재정투입도 우선순위에 입각한 집중화 및 효율화가 진행될 것으로 보임

- 다만, PRT도입의 적시성 및 타 유사교통시설과의 경쟁우위에 대한 평가가 이루어질 필요

나. 민자유치 가능성

○ PRT시스템은 도시철도법 제3조제1호의 규정에 의한 도시철도에 포함되는 경우 민간투자법 제2조에 정의된 민간투자 대상 시설의 44개 유형에 포함될 수 있을 것으로 판단

○ 본 연구대상사업의 경우 모두 자체적으로는 수익성이 확보되지 못하는 것으로 분석

- 대중교통수단으로서의 실증 및 운행경험 부족 등으로 아직까지는 PRT에 대한 민간기업의 관심은 크지 않은 것으로 파악
- 향후 기술개발을 통한 사업비 절감, 일정 수준의 재정지원이 이루어질 경우 민간유치 가능성은 있을 것으로 판단

2. 환경성

가. CO2 절감효과

○ 온실가스로 인한 지구온난화를 방지하기 위해 에너지효율이 높고 친환경성을 갖춘 PRT와 같은 신교통수단의 도입이 도심 교통문제 해결의 대안으로 주목

- PRT는 CO_2발생량이 자동차 교통 대비 최소 60%이상 감소가 가능
- 통행차량거리(VMT, vehicle miles traveled)의 감소와 이에 상응하는 CO_2배출량 감소

<표> VMT 및 CO_2 감소 분석: New York Itacha 사례

감소요인	주중 VMT 감소(일)	주말 VMT 감소(일)	년간 VMT 감소	연간 CO_2 배출량 감소 (metric ton)
Reduction in Bus Service (Bus miles)	352	311	124,200	357
Shift in Mode Share	8,010	3,120	2,413,700	1,101
Park & Ride Service	1,980	0	516,200	236
Total	10,342	3,431	3,054,100	1,694

나. 도시미관 개선효과

○ 고가도로, 철로, 각종 신호등 및 안내판 등 교통시설물 뿐만 아니라 교통수단 자체가 도시 미관에 미치는 영향이 지대

- 미래 교통수단을 도입할 경우 시설물 및 교통수단의 형태, 디자인 등의 요소 감안 필요
- PRT는 차량형식 및 디자인이 기존 교통수단보다는 보다 미래지향적인 디자인으로 구상, 차량의 소형화에 따른 교통시설물 슬림화로 도시미관 훼손 최소화 가능

○ PRT는 소형·경량화로 공중, 지상 또는 지하 등 어디에서나 설치가 가능하며 건물을 통과하여 설치할 수도 있음

- 도로와 간섭이 없는 전용궤도 설치가 가능하여 효율적인 도시공간 활용이 가능
- 특히 TOD(Transit-Oriented Development, 대중교통지향형도시개발)를 통한 도심재개발사업이 이루어질 경우 토지이용의 효율성을 제고할 수 있어서 지가상승에 따른 PRT 도입효과를 추가적으로 누릴 수 있을 것임

제8장 결과요약 및 종합평가

제1절 결과요약

○ PRT 도입추진이 검토되었던 23개 지역 중 가장 적합하다고 판단되는 지역으로 한국철도기술연구원에서 선정하여 제시한 송도신도시, 상암DMC를 대상으로 분석

○ 경제성 분석 결과 대상지역 모두 경제성을 확보하지 못하는 것으로 분석
- 편익-비용 비율이 송도신도시의 경우 0.63, 상암 DMC의 경우 0.52
- km 당 평균 사업비는 103.66억원(VAT 제외)으로 기존 경량전철 대비 상당히 낮으나 수송능력 대비 경쟁적이지 못하고, 대상노선에서 충분한 수요가 전환되지 못한 결과로 판단
- 또한 비용, 편익 및 할인율 변화에 따른 민감도 분석을 실시한 결과에서도 경제성 확보에 부족한 수준

○ 재무성분석 결과 재정지원이 없을 경우 재무성이 없는 것으로 분석
- NPV가 송도신도시 경우 (-)652억원(세후수익률: 1.67%), 상암DMC의 경우 (-)402억원(세후수익률: 0.85%)
- 재정지원을 가정할 경우 경량전철 재정지원수준에서 사업추진이 가능한 수준
  • 다만, 본 사업이 새로운 개념의 교통시설도입사업으로서 민간총사업비나 수요에 대한 위험부담이 추가적으로 고려되는 경우에는 요구수익률이 높아져 추가적인 재정지원이 필요할 수 있을 것으로 판단

○ 정책적 분석 결과, 본 사업은 간접적이기는 하지만 관련 및 상위계획과의 일치성이 인정
- PRT는 매연, 소음이 없는 친환경적인 단거리 교통수단으로, 저탄소 녹색성장정책과 부합
- 친환경, 지속가능성, 교통인프라의 개인화 등 교통정책방향 및 가치창출성 등 미래 교통트렌드와의 일치성도 높은 것으로 평가
- CO_2 절감효과 및 도시미관개선효과도 PRT도입의 장점으로 판단

○ 사업추진주체(주무부처 및 지자체)의 추진의지는 아직 표출되지 않은 상황이나 향후 연구개발이 진행되고 환경이 성숙되어 진다면 주무관청의 PRT사업에 대한 선호도는 존재할 것으로 판단

○ 본 사업과 관련된 사전 연구들이 공공과 민간에서 이루어져왔지만, 아직 개발초기단계로서 사업의 준비정도가 충분하다고 판단하기는 어려움
- PRT는 과거 40년동안 기술개발이 진행되어 왔으나 기술개발 성과가 미흡하고, Test-bed를 제외하고는 아직 실질적으로 상업화를 한 사례도 없는 등 시장이 형성되어 있지 않기 때문
-기술적인 제약뿐만 아니라 정치·경제·사회적 측면에서도 PRT 상용화는 여전히 발아단계로서 실질적인 상용화는 여전히 리스크를 내포하고 있으며, 실질적인 상용화단계에 접어들기 위해서는 아직도 많은 시간이 필요

- PRT는 민간기업이 상용화를 진행하고 있는 상황으로 기술개발의 중복성 측면의 재검토가 선행되어야 하고, 교통정책측면을 고려한 유사 신교통수단 R&D와의 중복성 및 우선순위에 대한 검토가 필요

제2절 종합평가

○ PRT사업은 현재 시점에서는 사업추진 타당성을 확보하지 못하는 것으로 판단
- PRT 도입추진이 검토되었던 지역 중 가장 적합하다고 판단되는 송도신도시와 상암DMC를 분석대상지역으로 하였으나 분석 결과 두 검토대상 지역 모두 경제성이 확보되지 않음
- 비용과편익 변화에 따른 민감도 분석을 실시한 결과에서도 경제성 확보에 부족한 수준
- 송도신도시와 상암DMC가 23개 지역 중 가장 적합하다고 판단하여 선정, 제시된 것이라 점 등을 고려할 때, 타 지역의 경우 본 연구 분석대상지역보다 경제성이 높을 것이라고 일반화 하기에는 어려움
- 재무성분석 결과는 재정지원이 없을 경우 재무성이 없는 것으로 분석되었으나 경량전철수준의 재정지원이 이루어 질 경우 재무적 측면에서는 사업추진이 가능할 것으로 보임

○ 사업의 시행 여부를 판단하는 데 있어서 고려하여야 할 정책적 평가요소
- PRT는 친환경적인 단거리 교통수단으로 저탄소 녹색성장정책과 부합
- 미래 교통트렌드와의 일치성, CO_2 절감효과 및 도시미관개선효과도 PRT도입의 장점으로 판단

○ PRT 도입은 기술적인 제약뿐만 아니라 정치·경제·사회적 측면에서 장기간 소요될 것으로 예상
- 전세계적으로 대중교통수단으로 PRT의 도입은 아직 초보적인 단계로 실질적인 상용화까지는 많은 리스크를 내포
- 타 교통류와의 상충문제 등으로 기존 도시지역에서는 고가형식의 노선 선택이 불가피하며, 비용축소를 위한 노면 형식의 PRT도입은 새로 계획되는 신도시에 기획단계에서부터 반영이 필요하고 이 경우 교통정책 측면에서 적정성에 대한 재검토도 필요
- 기존 개인교통수단 및 대중교통수단에서 충분한 수요 전환을 위한 PRT에 대한 인식 제고, 안전성에 대한 이해 및 동 교통수단에 대한 수용성 확보가 필요
- 계획 신도시에 PRT 적용하는 것은 인구축소에 따른 신도시 개발계획의 축소 가능성 및 신도시 개발에 장기간이 소요됨을 감안

○ 과학기술적 측면에서 연구개발의 지속적 시행여부에 대해서는 별도로 판단할 필요
- PRT 상용화에 대한 경제성과 정책적 분석의 결과와 상관없이 제시된 기술개발 계획이 적절하거나 현재의 기술 수준과 앞으로의 전망에 비추어 보았을 때 해당 연구개발의 시행이 과학기술적 관점에서 타당한 경우도 존재(기초, 원천기술의 사전확보나 기술개발에 따른 파급효과 필요성 등)

○ PRT 운영기술 개발 추진에 대한 판단은 경제성 분석결과를 바탕으로 정책적 측면을 고려하되, 정부의 장기적인 교통정책의 전략적인 측면과 국토해양 R&D 또는 교통시설 R&D 투자평가의 기준에 따라 결정되어야

할 것으로 판단

- 민간기업과의 기술개발의 중복성 측면과 교통정책측면을 고려한 유사 신교통수단 R&D와의 중복성 및 우선순위에 대하여 검토가 필요
- 향후 PRT 상용화에 세계시장의 진행경과와 신교통수단의 도입방향 추세를 주시하면서 PRT기술개발 추진여부를 판단하는 정책결정이 바람직할 것으로 사료됨

(영문 요약서 및 영문 목차)

SUMMARY

Personal Rapid Transit(PRT) is an emerging technology that has potential to reduce the emission of greenhouse gases and provides non-stop personal on-demand services for passengers. Therefore, it is fitted to future-oriented and cutting-edge mass transit systems in order to deal with demands for various transport services and satisfy requirements such as environment-friendliness, economic efficiency, etc.

As a efforts of PRT development, the Personal Rapid Transit(PRT) Operation Technology Development project is conducted currently and its goal is to verify the operation feasibility of mass transits for on-demand journey that is a new means of transportation network.

To support the decision making of whether or not above R&D project is funded for further Research, It is determined that feasibility of PRT projects is analysed as a one of criteria and this is purpose of this Research.

For this purpose, the 4 kinds of analysis will be conducted mainly based on the general guidelines and the standard guideline for preliminary feasibility study present by KDI.
The 4 kinds of analysis includes analysis of project overview and basic materials, Economic feasibility analysis, Financial feasibility assessment & Preliminary VfM Test and Policy analysis.
The cost-benefit analysis calculating figures such as B/C ratio, NPV and IRR based on measured cost-benefit is used as the basic method to analyze the effects of the project for the national economy and investment viability.

Policy analysis is important in assessing project feasibility although they are not included in the economic feasibility analysis. As a Policy analysis item, promoting regional economy, possibility of receiving fiscal support, consistency with related plans, environmental impact assessment, etc are evaluated.
Based on the outcome of economic feasibility analysis and further sensitivity analysis, the appropriateness of the PRT project implementation of all is not met.
However, our recommendation is that determining whether to implement the R&D project should be evaluated in a comprehensive manner reflecting national R&D development guideline and Policy analysis.

Contents

Chapter 1. Introduction
 Section 1 Background and purpose of the Research
 Section 2 Research contents and scope

Chapter 2. Analysis of project overview and basic material
 Section 1 Analysis of basic material
 Section 2 Study on Natioal Planning Policy & related Research
 Section 3 Selecting Projects for Feasibility Study
 Section 4 Finding main issues for Feasibility Study

Chapter 3. Technical Requirement & Cost Estimate
 Section 1 Technical Requirement Analysis
 Section 2 Cost Estimate

Chapter 4. Demand Forecast & Benefit Estimate
 Section 1 Demand Forecast
 Section 2 Benefit Estimate

Chapter 5. Economic Feasibility Analysis
 Section 1 Framework
 Section 2 Economic Feasibility Assessment

Chapter 6. Financial Feasibility & Preliminary VfM Analysis
 Section 1 Framework of Financial Feasibility Analysis
 Section 2 Appraisal Guidance
 Section 3 Financial Feasibility Assessment
 Section 4 Preliminary VfM Analysis

Chapter 7. Conclusion & Recommendation
 Section 1 Conclusion
 Section 2 Recommendation

Reference

〔본 보고서〕

목 차

제Ⅰ장 연구개발의 개요 ····· 1
제1절 연구개발의 배경 및 목적 ····· 1
1. 연구개발의 추진 배경 ····· 1
2. 연구개발의 목적 및 기대효과 ····· 3
제2절 연구의 방향 및 내용 ····· 4
1. 연구의 기본 방향 ····· 4
2. 연구의 절차 및 주요 내용 ····· 5

제Ⅱ장 기초자료 분석 및 주요 쟁점 ····· 7
제1절 기초자료 분석 ····· 7
1. PRT의 개요 ····· 7
2. 국내 PRT 개발현황 및 사례 ····· 16
3. 해외 PRT 개발현황 및 사례 ····· 19
4. PRT 국내·외 기술개발 현황 ····· 30
제2절 상위연구 및 관련계획 ····· 34
1. 상위연구 개요 ····· 34
2. PRT관련 법규 ····· 38
제3절 분석대상 설정 ····· 39
1. 분석대상 지역 선정 ····· 39
2. 선정지역 현황 ····· 44
3. 적용 PRT 시스템 ····· 65
4. PRT 운영방식 ····· 65
제4절 연구의 주요쟁점 ····· 66
1. 비용 측면 ····· 66
2. 수요 및 편익 측면 ····· 67

제Ⅲ장 기술성 검토 및 비용 추정 ····· 69
제1절 기술성 검토 ····· 69
1. PRT시스템 설계 기준 ····· 69
2. 설계기준 선정 및 기술적 적정성 검토 ····· 72
3. PRT시스템 본선 공법 및 공사비 검토 ····· 74
4. PRT노선계획 ····· 83
제2절 총사업비 추정 ····· 105

1. 총사업비 추정의 개요 ····· 105
2. 총사업비 추정 ····· 107
3. 운영비 추정 ····· 130
4. 사업비 분석 ····· 142
5. 대체투자비 및 잔존가치 ····· 147
6. 연차별 투자비 추정 ····· 149

제Ⅳ장 수요 및 편익 산정 ····· 157
제1절 교통수요추정 ····· 157
1. 교통수요 추정과정 ····· 157
2. 수요 추정방법론 ····· 159
3. 수요 추정 ····· 168
4. 수요 추정결과 ····· 220
제2절 편익의 종류와 추정방식 ····· 234
1. 편익의 종류 ····· 234
2. 편익 산정 방법 ····· 235
3. 편익 산정 ····· 245

제Ⅴ장 경제성 분석 ····· 247
제1절 경제성 분석의 전제 ····· 247
1. 경제성 분석 방법 ····· 247
2. 경제성 분석 기준 ····· 249
제2절 경제성 분석 결과 ····· 250
1. 경제성 분석 결과 ····· 250
2. 민감도 분석 결과 ····· 250
3. 소결 ····· 252

제Ⅵ장 재무성 분석 및 민자연계방안 ····· 253
제1절 재무성 분석의 전제 ····· 253
1. 기본전제 ····· 253
2. 총사업비 ····· 258
3. 운영비용 ····· 260
4. 운영수입 ····· 263
제2절 분석방법 ····· 264
1. 순현재가치법(NPV : Net Present Value) ····· 264
2. 내부수익률법(IRR : Internal Rate of Return) ····· 264
3. 수익성지수법(PI : Profitability Index) ····· 264

제3절 재무성 분석 결과 ····· 265
1. 현금흐름분석 ····· 265
2. 재무성 분석 결과 ····· 273
제4절 민자연계방안 ····· 275
1. 개요 ····· 275
2. 1단계 체크리스트(Check List) 평가 ····· 276
3. 2단계 체크리스트(Check List) 평가 ····· 277

제Ⅶ장 정책적 분석 ····· 279
제1절 정책적 분석의 개요 ····· 279
제2절 국가·교통관련계획 및 정책방향과의 일치성 ····· 281
1. 국가계획과의 일치성 ····· 281
2. 교통정책방향과의 일치성 ····· 282
제3절 국가 R&D 및 국토해양 R&D 정책방향과의 일치성 ····· 285
1. 국가 R&D 정책방향 ····· 285
2. 국토해양 R&D 정책방향 ····· 286
3. 기술개발의 파급효과 ····· 289
제4절 사업의 추진의지 및 상용화 준비정도 ····· 290
1. 사업 추진의지 및 선호도 ····· 290
2. 상용화 준비정도 ····· 291
제5절 PRT 도입 상 고려요인 ····· 292
1. 재원조달 가능성 ····· 292
2. 환경성 ····· 295

제Ⅷ장 종합평가 ····· 299
제1절 결과 요약 ····· 299
제2절 종합 평가 ····· 300

참고 문헌 ····· 302

표 목 차

<표 II-1> 타 철도시스템과의 비교 ····· 11
<표 II-2> 나홀로 차량비율 및 평균재차인원 ····· 13
<표 II-3> 순천만 소형경전철 사업 개요 ····· 19
<표 II-4> ULTra PRT와 기존 셔틀버스 비교 ····· 26
<표 II-5> Masdar의 PRT 개요 ····· 29
<표 II-6> 분야별 핵심기술 국내수준 분석 ····· 32
<표 II-7> 국내 기술개발 단계수준 ····· 32
<표 II-8> 해외 PRT시스템별 기술개발 현황 ····· 33
<표 II-9> 한국철도기술연구원의 상위과제 연구목표 및 내용 ····· 36
<표 II-10> 한국철도기술연구원의 상위과제 시스템 개발목표사양 ····· 37
<표 II-10>의 계속 ····· 38
<표 II-11> 도시철도법과 궤도운송법 비교 ····· 39
<표 II-12> PRT 적용의 유형별 특성 ····· 41
<표 II-13> 국내 PRT 도입 검토지역 ····· 42
<표 II-13>의 계속 ····· 43
<표 II-14> 적용 차량 및 시스템 개요 ····· 65

<표 III-1> PRT 차량제원 및 선로기준(한국철도기술연구원) ····· 71
<표 III-2> 설계기준 ····· 74
<표 III-3> 노반 형식별 AGT 사업비 비교 ····· 75
<표 III-4> 노반형식 조합별 개요 및 장단점 ····· 77
<표 III-5> PRT 교량 개략 공사비 ····· 82
<표 III-6> 송도신도시 노선계획 검토 ····· 83
<표 III-7> 송도신도시 횡단보도 상세현황 ····· 87
<표 III-8> 상암DMC 노선계획 검토 ····· 94
<표 III-9> 상암DMC 횡단보도 상세현황 ····· 97
<표 III-10> 노선구성 ····· 103
<표 III-10>의 계속 ····· 104
<표 III-11> 디플레이터 ····· 106
<표 III-12> 토목공사비 표준공사비 비교 ····· 110
<표 III-12>의 계속 ····· 110
<표 III-13> 시스템공사비 원단위 비교 및 표준공사비 ····· 112
<표 III-14> 충전시스템 비용 ····· 112

<표 III-15> 차량기지 공사비 원단위 비교 ····· 113
<표 III-16> 공사비 산정결과 ····· 114
<표 III-17> 엔지니어링 사업대가기준(공사비 비율에 의한 설계용역비) ····· 115
<표 III-18> 전면책임감리 요율 ····· 115
<표 III-19> SE비용 ····· 116
<표 III-20> 시운전비 ····· 116
<표 III-21> 부대비 산정결과 ····· 117
<표 III-22> 지역별 지목별 보상배율 ····· 117
<표 III-23> 용지보상비(차량기지) ····· 118
<표 III-24> 예비비 ····· 118
<표 III-25> 송도 소요차량 분석(2016년) ····· 120
<표 III-26> 송도 소요차량 분석(2026년) ····· 121
<표 III-27> 상암 소요차량 분석(2016년) ····· 122
<표 III-28> 상암 소요차량 분석(2026년) ····· 123
<표 III-29> 차량가격 ····· 124
<표 III-30> 차량 소요량 및 구입가격 ····· 124
<표 III-31> 대상부지별 주요 구조물 현황 ····· 125
<표 III-32> 송도신도시 총사업비 - 부가가치세 제외 ····· 126
<표 III-33> 송도신도시 총사업비-부가가치세 포함 ····· 127
<표 III-34> 상암DMC 총사업비-부가가치세 제외 ····· 128
<표 III-35> 상암DMC 총사업비-부가가치세 포함 ····· 129
<표 III-36> 영업시간 ····· 130
<표 III-37> 유지보수인원(송도신도시,상암DMC) ····· 131
<표 III-38> 차량보수인원 비율 ····· 132
<표 III-39> 차량보수인원(송도신도시) ····· 132
<표 III-40> 차량보수인원(상암DMC) ····· 132
<표 III-41> 운전사령인원(송도신도시, 상암DMC) ····· 133
<표 III-42> 역무인원(송도신도시, 상암DMC) ····· 133
<표 III-43> 총운영요원(송도신도시) ····· 134
<표 III-44> 총운영요원(상암DMC) ····· 134
<표 III-45> 인건비 ····· 135
<표 III-46> 산업용 전력(병) 요금표 ····· 135
<표 III-47> 정거장 동력비 ····· 136
<표 III-48> 차량기지 동력비 ····· 136
<표 III-49> 차량 동력비 ····· 137
<표 III-50> 동력비(송도신도시)-부가가치세 제외 ····· 137
<표 III-51> 동력비(송도신도시)-부가가치세 포함 ····· 138

<표 III-52> 동력비(상암DMC)-부가가치세 제외 ····· 138
<표 III-53> 동력비(상암DMC)-부가가치세 포함 ····· 138
<표 III-54> 유지관리비 비교 검토 ····· 139
<표 III-55> 송도신도시 유지관리비 ····· 140
<표 III-56> 상암 유지관리비 ····· 140
<표 III-57> 운영비 집계(송도신도시)-부가세 미포함 ····· 141
<표 III-58> 운영비 집계(송도신도시)-부가세 포함 ····· 141
<표 III-59> 운영비 집계(상암DMC)-부가가치세 미포함 ····· 142
<표 III-60> 운영비 집계(상암DMC)-부가가치세 포함 ····· 142
<표 III-61> 총 비용 분석-부가가치세 제외 ····· 144
<표 III-62> 총 비용 분석-부가가치세 포함 ····· 144
<표 III-63> 본 연구 PRT 사업비 평균단가 분석-부가가치세 제외 ····· 145
<표 III-64> 본 연구 PRT 사업비 평균단가 분석-부가가치세 포함 ····· 145
<표 III-65> 타 경전철 사업과 본 연구 PRT 사업비 평균단가 분석(1) ····· 145
<표 III-65>의 계속 ····· 146
<표 III-66> 본 연구 PRT 차량가격 분석 ····· 146
<표 III-67> 차량대수와 수요・노선연장 분석 ····· 146
<표 III-68> 차량 및 시설별 수명 ····· 147
<표 III-69> 배터리 용량과 가격 ····· 149
<표 III-70> 공사기간별 연차별 투자비율 ····· 149
<표 III-71> 연차별 투자비율 ····· 150
<표 III-72> 송도신도시 : 부가가치세 미포함 ····· 151
<표 III-73> 송도신도시 : 부가가치세 포함 ····· 152
<표 III-74> 상암DMC : 부가가치세 미포함 ····· 153
<표 III-75> 상암DMC : 부가가치세 포함 ····· 154
<표 III-76> 송도신도시 총사업비(대안2) - 부가가치세 제외 ····· 155
<표 III-77> 송도신도시 본선 구조물 비율에 따른 비용 분석 ····· 156

<표 Ⅳ-1> 통행목적별 회귀모형식 ····· 160
<표 Ⅳ-2> 송도 신도시 용지배분 계획 ····· 161
<표 Ⅳ-2>의 계속 ····· 162
<표 Ⅳ-3> 상암 DMC 용지배분 계획 ····· 163
<표 Ⅳ-4> 송도 신도시 공구별 학교시설계획 ····· 164
<표 Ⅳ-5> 인천대학교 이전계획 ····· 165
<표 Ⅳ-6> 연세대학교 학생수 예측 ····· 165
<표 Ⅳ-7> 통행발생 독립변수 산정과정 ····· 166
<표 Ⅳ-8> 수도권 수단통행/목적통행 비율 ····· 167

<표 Ⅳ-9> 송도 신도시 장래 내·외부 통행분포 ····· 167
<표 Ⅳ-10> 상암 DMC 장래 내·외부 통행분포 ····· 167
<표 Ⅳ-11> 수도권 5차 자료의 교통존 체계 ····· 169
<표 Ⅳ-11>의 계속 ····· 170
<표 Ⅳ-12> 시간적 범위 ····· 173
<표 Ⅳ-13> 사업노선이 경유하는 지역의 발생통행량 ····· 175
<표 Ⅳ-14> 송도 신도시 사업노선 경유 지역의 발생 통행량 분포 ····· 175
<표 Ⅳ-15> 상암 DMC 사업노선 경유 지역의 발생 통행량 분포 ····· 175
<표 Ⅳ-16> 최종 영향권 설정결과(송도 신도시) ····· 178
<표 Ⅳ-17> 최종 영향권 설정결과(상암 DMC) ····· 178
<표 Ⅳ-18> 분석에 이용된 총 통행량(2009년) ····· 179
<표 Ⅳ-19> 사업시행 전 장래 수단 O/D의 총통행량 ····· 180
<표 Ⅳ-20> 수도권교통본부(5차배포자료)의 개발계획 반영목록 ····· 181
<표 Ⅳ-21> 본 사업의 택지개발계획 추가 반영 내역 ····· 186
<표 Ⅳ-22> 택지개발계획 추가반영 ····· 187
<표 Ⅳ-23> 수정된 도로 NETWORK 현황 ····· 188
<표 Ⅳ-24> 기존 용량인정 범위와 입력용량의 범위 ····· 189
<표 Ⅳ-25> 개방식 고속도로 등 기타 유료도로의 통행요금 ····· 190
<표 Ⅳ-26> 인천광역시 장래도로망 계획 ····· 192
<표 Ⅳ-27> 서울특별시 장래도로망 계획 ····· 194
<표 Ⅳ-28> 수도권의 평균재차인원과 승용차 환산계수 ····· 196
<표 Ⅳ-29> 통행비용함수 ····· 197
<표 Ⅳ-30> 교차로 지체 포함 VDF함수내역 ····· 198
<표 Ⅳ-31> 수도권 지역의 1시간 통행량의 지속시간과 각 시간대별 집중률(예) ····· 199
<표 Ⅳ-32> 교통량 수준별 허용 기준 ····· 200
<표 Ⅳ-33> 모형의 도로망 정산결과(송도 신도시) ····· 202
<표 Ⅳ-34> 모형의 도로망 정산결과(상암 DMC) ····· 203
<표 Ⅳ-35> 모형추정결과 송도_모형1_현황수단선택 모형 ····· 206
<표 Ⅳ-36> 모형추정결과 송도_모형1 ····· 207
<표 Ⅳ-37> 모형추정결과 송도_모형 2_현황 수단선택모형 ····· 209
<표 Ⅳ-38> 모형추정결과 송도_모형 2 ····· 210
<표 Ⅳ-39> 모형추정결과 상암_모형1_현황 수단선택모형 ····· 211
<표 Ⅳ-40> 모형추정결과 상암_모형1_PRT 수단선택모형 ····· 213
<표 Ⅳ-41> 모형추정결과 상암_모형2_현황 수단선택모형 ····· 214
<표 Ⅳ-42> 모형추정결과 상암_모형2_PRT수단선택모형 ····· 215
<표 Ⅳ-43> 교통수단별 통행시간 산정기준 ····· 217
<표 Ⅳ-44> 교통수단별 통행비용 산정기준 ····· 217

<표 Ⅳ-45> PRT시스템의 통행시간 및 통행비용 산정기준 ····· 218
<표 Ⅳ-46> PRT 시스템 분석의 전제 ····· 221
<표 Ⅳ-47> 수요추정 결과 종합 ····· 222
<표 Ⅳ-48> 2016년 장래수요 결과(송도 신도시) ····· 223
<표 Ⅳ-49> 2021년 장래수요 결과(송도 신도시) ····· 224
<표 Ⅳ-50> 2026년 장래수요 결과(송도 신도시) ····· 225
<표 Ⅳ-51> 2031년 장래수요 결과(송도 신도시) ····· 226
<표 Ⅳ-52> 2036년 장래수요 결과(송도 신도시) ····· 227
<표 Ⅳ-53> 2016년 장래수요 결과(상암 DMC) ····· 228
<표 Ⅳ-54> 2021년 장래수요 결과(상암 DMC) ····· 229
<표 Ⅳ-55> 2026년 장래수요 결과(상암 DMC) ····· 230
<표 Ⅳ-56> 2031년 장래수요 결과(상암 DMC) ····· 231
<표 Ⅳ-57> 2036년 장래수요 결과(상암 DMC) ····· 232
<표 Ⅳ-58> 철도관련 투자사업의 편익항목 ····· 234
<표 Ⅳ-59> 차종별・속도별 차량운행비용 (2009년 기준) ····· 236
<표 Ⅳ-60> 차량 1대당 평균 통행시간가치 (수도권: 2009년 기준) ····· 239
<표 Ⅳ-61> 도로 유형별 교통사고 발생비율 ····· 241
<표 Ⅳ-62> 도로부문의 교통사고 비용 원단위(2009년 기준) ····· 241
<표 Ⅳ-63> 차종별・속도별 대기오염비용 원단위(2009년 기준) ····· 242
<표 Ⅳ-64> 일반도로 소음도 예측식 이격거리 관련 파라미터 ····· 244
<표 Ⅳ-65> 소음가치의 원단위(2009년 기준) ····· 244
<표 Ⅳ-66> 편익추정결과 (송도 신도시) ····· 245
<표 Ⅳ-67> 편익추정결과 (상암 DMC) ····· 245

<표 Ⅴ-1> 경제성 분석기법의 비교 ····· 249
<표 Ⅴ-2> 경제성 분석 결과 요약 ····· 250
<표 Ⅴ-3> 편익 및 비용변화에 따른 민감도 분석 결과 (송도신도시) ····· 251
<표 Ⅴ-4> 편익 및 비용변화에 따른 민감도 분석 결과 (상암 DMC) ····· 251
<표 Ⅴ-5> 할인율 변화에 따른 민감도 분석 결과 ····· 251

<표 Ⅵ-1> 명목 재무적 할인율 계산 절차 ····· 256
<표 Ⅵ-2> 총사업비 ····· 258
<표 Ⅵ-3> 연차별 사업비_송도신도시 ····· 259
<표 Ⅵ-4> 연차별 사업비_상암DMC ····· 259
<표 Ⅵ-5> 운영비용 ····· 260
<표 Ⅵ-6> 연차별 운영비용_송도신도시 ····· 261
<표 Ⅵ-7> 연차별 운영비용_상암DMC ····· 262

<표 VI-8> 적용 수요 ····· 263
<표 VI-9> 수익성 분석표_송도신도시 ····· 265
<표 VI-10> 수익성 분석표_상암DMC ····· 266
<표 VI-11> 추정 손익계산서_송도신도시 ····· 267
<표 VI-12> 추정 손익계산서_상암DMC ····· 268
<표 VI-13> 추정 재무상태표_송도신도시 ····· 269
<표 VI-14> 추정 재무상태표_상암DMC ····· 270
<표 VI-15> 추정 현금흐름표_송도신도시 ····· 271
<표 VI-16> 추정 현금흐름표_상암DMC ····· 272
<표 VI-17> 재무성 분석 결과 ····· 273
<표 VI-18> 재무성 분석 결과_재정지원금_송도신도시 ····· 273
<표 VI-19> 재무성 분석 결과_재정지원금_상암DMC ····· 273
<표 VI-20> 재무적할인율 민감도_송도신도시 ····· 274
<표 VI-21> 재무적할인율 민감도_상암DMC ····· 274
<표 VI-22> 본사업의 1단계 Check list 평가결과 ····· 277
<표 VI-23> 민자연계방안 2단계 Check list 평가항목 ····· 278

<표 VII-1> 정책적 분석 항목 ····· 280
<표 VII-2> 교통수단별 에너지 사용비교 ····· 282
<표 VII-3> 미래교통의 6가지 트랜드 ····· 283
<표 VII-4> 교통 혁신 경쟁력 종합점수 평가 순위 ····· 284
<표 VII-5> 신교통수단 국토해양 R&D사업 ····· 288
<표 VII-6> SOC분야 재정투자 추이 ····· 293
<표 VII-7> SOC분야 투자계획(국가재정운용계획) ····· 294
<표 VII-8> VMT 및 CO2 감소 분석: New York Itacha 사례 ····· 296

그 림 목 차

<그림 I-1> 연구개발의 효과 ····· 3
<그림 I-2> 연구 절차 및 주요 내용 ····· 5

<그림 II-1> PRT 개념도 ····· 8
<그림 II-2> PRT시스템의 특징 ····· 9
<그림 II-3> PRT Network 특성 ····· 10
<그림 II-4> PRT의 공간활용성 및 점유면적 비교 ····· 11
<그림 II-5> 교통시스템별 에너지 사용량 ····· 12
<그림 II-6> 승용차 및 PRT시스템의 토지활용도 ····· 14
<그림 II-7> PRT시스템의 종류와 특징 ····· 15
<그림 II-8> PRT시스템의 비교 ····· 16
<그림 II-9> Sky Car 시험선 차량과 가이드웨이 ····· 17
<그림 II-10> Vectus의 웁살라 시험선 ····· 17
<그림 II-11> 순천만 소형경전철사업에 도입할 벡터스PRT 차량 ····· 18
<그림 II-12> Morgantown PRT차량 및 정거장 ····· 21
<그림 II-13> Chicago Raytheon PRT Test Track ····· 22
<그림 II-14> ULTra PRT Cardiff Track ····· 24
<그림 II-15> Floriade 2002의 Cybercab ····· 24
<그림 II-16> Rivium GRT와 Schiphol GRT ····· 25
<그림 II-17> ULTra PRT 차량, 정거장 및 노선 ····· 26
<그림 II-18> Heathrow ULTra PRT 계획도 ····· 27
<그림 II-19> Masdar의 개발 개요 ····· 28
<그림 II-20> Masdar의 PRT 모습 ····· 28
<그림 II-21> Daventry PRT Network ····· 29
<그림 II-22> Morgantown GRT시스템 노선과 차량 ····· 30
<그림 II-23> 한국철도기술연구원의 상위과제 연구범위 ····· 35
<그림 II-24> PRT 적용가능지역 선정 흐름도 ····· 40
<그림 II-25> 송도신도시 현황도 ····· 45
<그림 II-26> 송도신도시 지구단위계획도 ····· 46
<그림 II-27> 송도신도시 주요교차로 현황 ····· 48
<그림 II-28> 달빛공원 교차로 현황 ····· 48
<그림 II-29> 달빛공원 교차로 전경 ····· 49
<그림 II-30> 송도중앙공원 교차로 현황 ····· 49
<그림 II-31> 송도중앙공원 교차로 전경 ····· 50

<그림 II-32> 인천대학교 교차로 현황 ····· 50
<그림 II-33> 인천대학교 교차로 전경 ····· 51
<그림 II-34> 인천경제자유구역청 교차로 현황 ····· 51
<그림 II-35> 인천경제자유구역청 교차로 전경 ····· 52
<그림 II-36> 해돋이공원 교차로 현황 ····· 52
<그림 II-37> 해돋이공원 교차로 전경 ····· 53
<그림 II-38> 상암DMC 현황도 ····· 54
<그림 II-39> 상암DMC 지구단위계획도 ····· 55
<그림 II-40> 상암DMC 주요교차로 위치도 ····· 57
<그림 II-41> 서울월드컵 경기장 앞 교차로 현황 ····· 58
<그림 II-42> 서울월드컵경기장 앞 교차로 전경 ····· 58
<그림 II-43> 상암월드컵파크 3단지 교차로 현황 ····· 59
<그림 II-44> 상암월드컵파크 3단지 전경 ····· 59
<그림 II-45> 월드컵파크 7단지 교차로 현황 ····· 60
<그림 II-46> 월드컵파크 7단지 교차로 전경 ····· 60
<그림 II-47> 디지털 미디어시티 교차로 현황 ····· 61
<그림 II-48> 디지털 미디어시티 교차로 전경 ····· 61
<그림 II-49> 수색정거장 앞 교차로 현황 ····· 62
<그림 II-50> 수색정거장 앞 교차로 전경 ····· 63
<그림 II-51> 중암교 교차로 현황 ····· 64
<그림 II-52> 중암교 교차로 현황 ····· 64

<그림 III-1> 유사 PRT 시스템의 차량 ····· 70
<그림 III-2> 노면 공법 평면 및 횡단면도 ····· 76
<그림 III-3> PRT시스템의 교량(ULTra) ····· 78
<그림 III-4> 고가구조물 교량단면 비교 ····· 78
<그림 III-5> 구조물 제원 ····· 79
<그림 III-6> 모델링(Modeling) ····· 80
<그림 III-7> 해석결과 ····· 80
<그림 III-8> 표준교량 도면 ····· 81
<그림 III-9> 송도신도시 노선도 ····· 84
<그림 III-10> 송도신도시 노선도종단면도(고가) ····· 85
<그림 III-11> 송도신도시 종단면도(고가+지상) ····· 86
<그림 III-12> 송도신도시 횡단보도 설치 현황 ····· 87
<그림 III-13> 송도신도시 주요도로 단면위치 현황 ····· 89
<그림 III-14> 송도신도시 도로 횡단면 A-A ····· 90
<그림 III-15> 송도신도시 도로 횡단면 B-B ····· 90
<그림 III-16> 송도신도시 도로 횡단면 C-C ····· 91
<그림 III-17> 송도신도시 도로 횡단면 D-D ····· 91

<그림 III-18> 송도신도시 도로 횡단면 E-E ····· 92
<그림 III-19> 송도신도시 도로 횡단면 F-F ····· 92
<그림 III-20> 송도신도시 도로 횡단면 G-G ····· 93
<그림 III-21> 상암DMC 노선도 ····· 94
<그림 III-22> 상암DMC 종단면도(고가/고가+지상) ····· 95
<그림 III-23> 상암DMC 횡단보도 설치 현황 ····· 96
<그림 III-24> 상암DMC 주요도로 단면위치 현황 ····· 98
<그림 III-25> 상암DMC 도로 횡단면 A-A ····· 99
<그림 III-26> 상암DMC 도로 횡단면 B-B ····· 99
<그림 III-27> 상암DMC 도로 횡단면 C-C ····· 100
<그림 III-28> 상암DMC 도로 횡단면 D-D ····· 100
<그림 III-29> 상암DMC 도로 횡단면 E-E ····· 101
<그림 III-30> 상암DMC 도로 횡단면 F-F ····· 101
<그림 III-31> 상암DMC 도로 횡단면 G-G ····· 102
<그림 III-32> 상암DMC 도로 횡단면 H-H ····· 102
<그림 III-33> 고가구조물 교량단면 비교 ····· 109

<그림 IV-1> 전통적인 4단계모형의 교통수요 추정 과정 ····· 159
<그림 IV-2> 송도 신도시 존 세분화 내역 ····· 171
<그림 Ⅳ-3> 상암 DMC 존 세분화 내역 ····· 171
<그림 Ⅳ-4> 송도 신도시 O/D기준 통행량 비율(PV) 결과 ····· 176
<그림 Ⅳ-5> 상암 DMC O/D기준 통행량 비율(PV) 결과 ····· 176
<그림 Ⅳ-6> 교통량 변화량에 따른 영향권 설정(RV) 결과(송도 신도시) ····· 177
<그림 Ⅳ-7> 교통량 변화량에 따른 영향권 설정(RV) 결과(상암 DMC) ····· 177
<그림 Ⅳ-8> 최종영향권 설정(송도 신도시) ····· 177
<그림 Ⅳ-9> 최종영향권 설정(상암 DMC) ····· 178
<그림 Ⅳ-10> 정산지점도(송도 신도시) ····· 201
<그림 Ⅳ-11> 정산지점도(상암 DMC) ····· 201
<그림 Ⅳ-12> 송도신도시 PRT 운영시나리오 ····· 220
<그림 Ⅳ-13> 상암DMC PRT 운영시나리오 ····· 220

<그림 VI-1> 민간투자사업으로 추진가능성 검토 방법 ····· 275

<그림 VII-1> 향후 국토해양 R&D사업 예산규모 ····· 287
<그림 VII-2> PRT 시장 전망 ····· 290

제Ⅰ장 연구개발의 개요

제1절 연구개발의 배경 및 목적

1. 연구개발의 추진 배경

최근의 지구온난화와 기상이변에 따른 환경문제를 해결하기 위해서는 전체 온실가스 배출의 80%이상을 차지하고 있는 이산화탄소(CO_2)의 배출 감축이 가장 중요하고, 고유가 시대에 따른 에너지 절감을 위해서 환경 친화적인 대중교통수단의 활성화 필요성이 대두되고 있다.

우리나라 온실가스 총배출량은 2007년 기준 620.0백만톤 CO_2로 2006년의 602.6백만톤 CO_2 대비 2.9% 증가한 가운데 배출량 증가율이 확대되었으며, 1990년(선진국 의무감축 기준년도) 배출량대비 2007년 배출량은 103.0% 증가한 규모로서 연평균 4.3% 증가세를 기록하였다.[1)]

세계 각국은 온실가스 감축을 위해'기후변화에 관한 UN 규약의 교토 의정서(Kyoto Protocol)'를 채택하였고, 우리나라는 이'교토의정서'상 개발도상국으로 분류되어 온실가스 의무감축 대상국에서 제외된 바 있다. 그러나 OECD 국가로서 뿐만 아니라 온실가스 배출규모 등을 감안할 때, 우리나라에 대한 국제사회의 압박은 향후 더욱 거세질 것으로 예상된다.

또한, 우리나라 국내 부문별 최종에너지 소비량은 2010년 기준 총 194,946천TOE로서 산업부문 10,554천TOE(59.2%), 가정·상업부문 38,316천TOE(19.6%), 수송부문 36,590천TOE(18.8%), 공공·기타부문 4,596천TOE(2.4%) 순이지만, 1991년부터 2010년까지 20년 동안 최종에너지 소비량 증가율은 산업부문 5.5%, 수송부문 4.7%, 가정·상업부문 3.3%, 공공·기타부문 3.0%의 증가율을 보이고 있다.[2)] 이처럼 발전, 산업, 수송부문을 중심으로 한 에너지 소비의 증가가 온실가스 배출량 증가에 큰 영향을 주었다고 볼 수 있다.

특히, 우리나라 자동차의 등록대수를 보면 2010년 말 현재 17,941,356대로 지난 1990년 3,394,803대보다 4배 이상 증가하였으며, 2000년 12,059276대에 비해 48.8%가 증가하였다. 2010년 말 자동차

1) 2009.12.29 지식경제부 보도자료
2) 에너지경제연구원 에너지정보통계센터

등록대수 중 승용차의 비중은 76.0%로 1990년의 61.1%, 2000년의 67.0%에 비해 계속 증가 추세이며, 자가용 승용차의 등록대수 증가가 큰 영향을 미치고 있다.[3)]

이제까지 교통 분야는 도로중심의 시설투자로 인하여 여객은 승용차, 화물은 트럭 중심의 수송체계가 형성되어져 왔다. 그러나 고유가 시대에 따른 에너지 감축과 지구 온난화시대에 능동적으로 대응하고 지속 가능한 녹색성장을 추구하기 위해서는 새로운 국가적 교통체계의 구축이 필요하다. 따라서 보다 친환경적이고 에너지 효율적인 교통수단의 개발과 도입이 되어져야 하는 바, 현재의 도로 중심 교통체계에서 녹색교통수단이라 불리는 철도 중심 교통체계로의 전환이 검토되어져야 하는 시점이다.

현재 선진국들은 21세기 성장전략산업으로 철도분야를 설정하고 차세대 기술을 선점하기 위해 국가적인 지원과 개발이 진행되고 있다. 이에 비해 우리 산업계에서는 기술개발을 위한 투자 의지와 사업 환경이 조성되어 있는 반면, 기술개발의 구체적인 방향 지표 제시가 미흡한 상태이므로 정부차원의 체계적이고 신속한 기술개발 방향 제시가 절실한 실정이다.

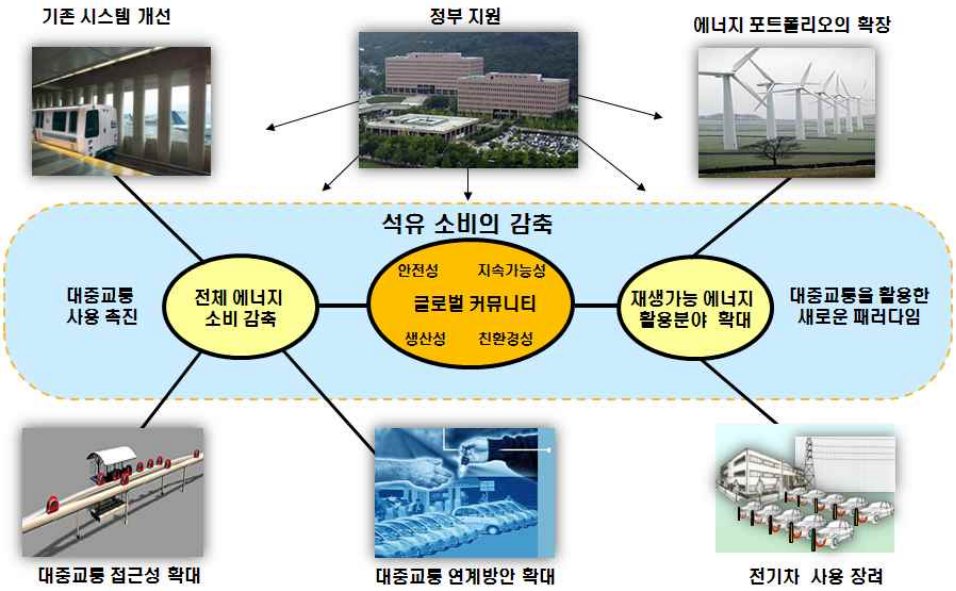
새로운 미래형 교통수단의 화두는 첫째, 승객의 쾌적성 제고와 프라이버시 보장 등의 이용자 Needs를 수용하고, 둘째, 교통약자 및 서비스 낙후지역에 대해 대중교통의 접근성이 제공되어져야 하며, 셋째, 대중교통수단의 연계수단으로 도심지역의 접근성 향상으로서 승객 여정선택형(Journey on Demand) 대중교통수단에 대한 Global Standard를 창출하여 세계기술 선도 및 세계시장 진출기반을 확보하여야 한다.

이 미래형 신교통수단 중의 하나가 일명'궤도택시'로 일컬어지는 소형무인자동궤도차량시스템인 PRT(Personal Rapid Transit)이다. 이 PRT는 궤도를 타고 움직이는 시스템이지만 일정하게 운행하는 스케줄 없이 승객이 역에서 호출하면 대기 중인 차량이 역내로 진입해 중간역에 정차를 하지 않고 승객이 원하는 목적지까지 운행한다는 점이 다른 신교통시스템과 차별되는 점이다.

국내에서도 과거 대내외적 공감대 부족과 적용성에 대한 논란으로 인해 국가R&D로 진행된 PRT 개발 사업이 유보된 경험이 있다. 그리고 현재 세계 각국에서 PRT의 상용화를 위해 노력하고 있고, 또한 국내에서도 민간기업이 PRT 도입을 진행하고 있다. 이러한 상황에서 새로운 교통시스템의 정착에는 제도·기술적, 재정적으로 많은 난관이 있는 바, 우선 경제성 평가를 통해 PRT 도입에 따른 타당성 여부를 검토해 보는 것이 필요한 상태이다.

3) 통계청, 통계DB

〈그림 I-1〉 연구개발의 효과



자료 : 승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술 개발 보고서, 한국철도기술연구원, 2010.10

2. 연구개발의 목적 및 기대효과

환경 변화에 따른 지속 가능한 교통수단으로서 친환경적이고 에너지 소비가 적은 철도차량에 대해 재조명되고, 접근성의 향상, 도시권역의 교통 혼잡과 사고, 환경오염에 따른 문제를 해결하기 위한 맞춤형 서비스가 가능한 승객 여정선택형(On- demand journey) 대중교통수단의 개발이 필요함에 따라 2004년부터 약 3년 동안 한국철도기술연구원에서 국가연구개발과제의 하나로 PRT시스템을 연구해 왔으나, PRT시스템의 국내 실용화 가능성 및 민간 참여의 불확실성 문제로 중단이 되었다.

그러나 최근 기술개발의 추세와 국내외 환경변화에 따른 민간기업의 참여의지 피력에 따라 PRT 관련 기술 확보의 필요성이 대두됨으로써 정부차원의 기술개발 추진 필요성이 부각되었다.

이에 한국철도기술연구원에서는 국가연구개발과제의 일환으로 PRT 제작 및 유지보수를 위한 차량위주의 기술보다는 시스템 측면에서 운영과 관련한 차량운행제어 및 네트워크 운행제어의 핵심원천기술을 확보하고 운영의 신뢰성을 갖출 수 있도록 체계적인 기술확보의 필요성을 위해 2009년부터 PRT의 핵심기술인 네트워크 운행제어 기술연구를 수행해오고 있다.

본 연구는 철도기술연구원에서 수행하고 있는 연구과제인 '승객여정선택형 대중교통(PRT)시스템의 운영기술 개발'과 관련하여 PRT시스템의 국내 도입 시 비용과 편익에 따른 경제적 타당성 평

가를 목표로 한다.

이를 위해 PRT에 대한 기초자료 및 현황을 분석하며, 철도기술연구원의 연구과제의 일부로 제공되는 PRT 도입 가능지역과 운영시나리오를 바탕으로 총사업비 및 운영비를 산정하고 교통수요를 추정하여 대상지역에 대한 PRT 도입의 경제적 타당성을 분석한다.

한편, 본 연구는 정부차원의 PRT 기술개발 여부를 결정하는데 대한 지원을 하며, KDI의 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침』 및 『도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침』을 원칙적으로 수용, 적용함으로써 필요시 예비타당성 분석보고서로 활용될 수 있도록 한다.

제2절 연구의 방향 및 내용

1. 연구의 기본 방향

본 연구는 철도기술연구원에서 수행하고 있는 연구과제인'승객여정선택형 대중교통(PRT)시스템의 운영기술 개발(이하 "상위연구")'과 과제에서 도출된 결과를 바탕으로 PRT 시스템이 국내에 도입되었을 때의 경제적 효과와 재무적 효과 등을 대상지역에 대한 검토를 통하여 사전 검증하고자 한다.

이를 위해 PRT도입 가능지역에 대한 교통수요 및 비용의 추정 및 사전적 경제적 ·재무적 타당성을 분석하고 정책적 분석을 수행한다.

본 연구에서는 KDI의 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침』 및『도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침』의 분석방법론을 원칙적으로 수용·적용하여 타 사업 경제성 평가와의 일관성 유지하도록 한다. 다만, 본 연구는 일반 경제성분석과 비교하여 특수성을 가지고 있는데, 그것은 분석대상 사업의 사업추진여부를 위한 경제성 평가가 아닌 정부차원의 PRT 기술개발 추진여부에 대한 정책적 판단을 위한 사례 접근적 성격이며, 이에 따라 사업구상 등 구체성이 상대적으로 낮아 지침에서 제시하는 편익 항목, 비용의 산정기준의 적용에 한계가 있다는 점이다.

따라서 상기 지침이 본 연구의 경제성분석에 적용하는 데 있어서 연구대상 사업의 특수성을 반영하지 못하는 경우, 다음과 같이 수행을 한다.

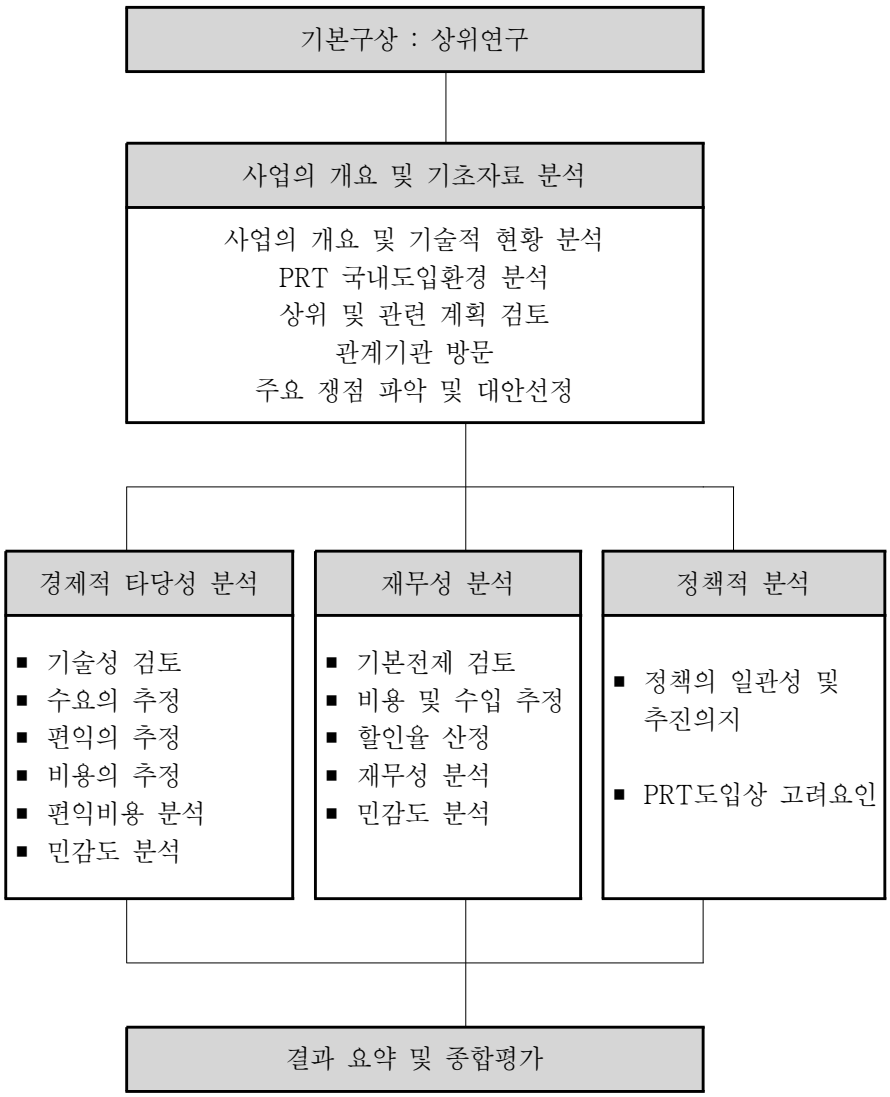
첫째,『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침』 및『도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침』을 적용하기 어려운 경우『R&D 부문사업의 예비타당성조사 표준지침』에 준하여 실시한다.

둘째, 지침과 다른 기준을 적용하는 경우 공식적인 통계자료, 조사과정에서 직접 수집한 자료 등 다른 기준을 적용한 판단의 근거를 제시한다. 그러나 결과에 대한 일관성을 고려하여 다른 기준을 적용하는 데 있어서는 신중한 접근을 실시한다.

2. 연구의 절차 및 주요 내용

본 연구는 기획재정부의 「2009년도 예비타당성조사 운용지침」의 예비타당성조사 수행 흐름도에 따라 수행함을 기본으로 한다. 따라서 본 연구는 <그림 I-2>의 연구 업무수행 흐름도를 기본으로 하여 그 절차에 따라 연구 업무를 수행하고자 한다.

〈그림 I-2〉 연구 절차 및 주요 내용



제Ⅱ장 기초자료 분석 및 주요 쟁점

제1절 기초자료 분석

1. PRT의 개요

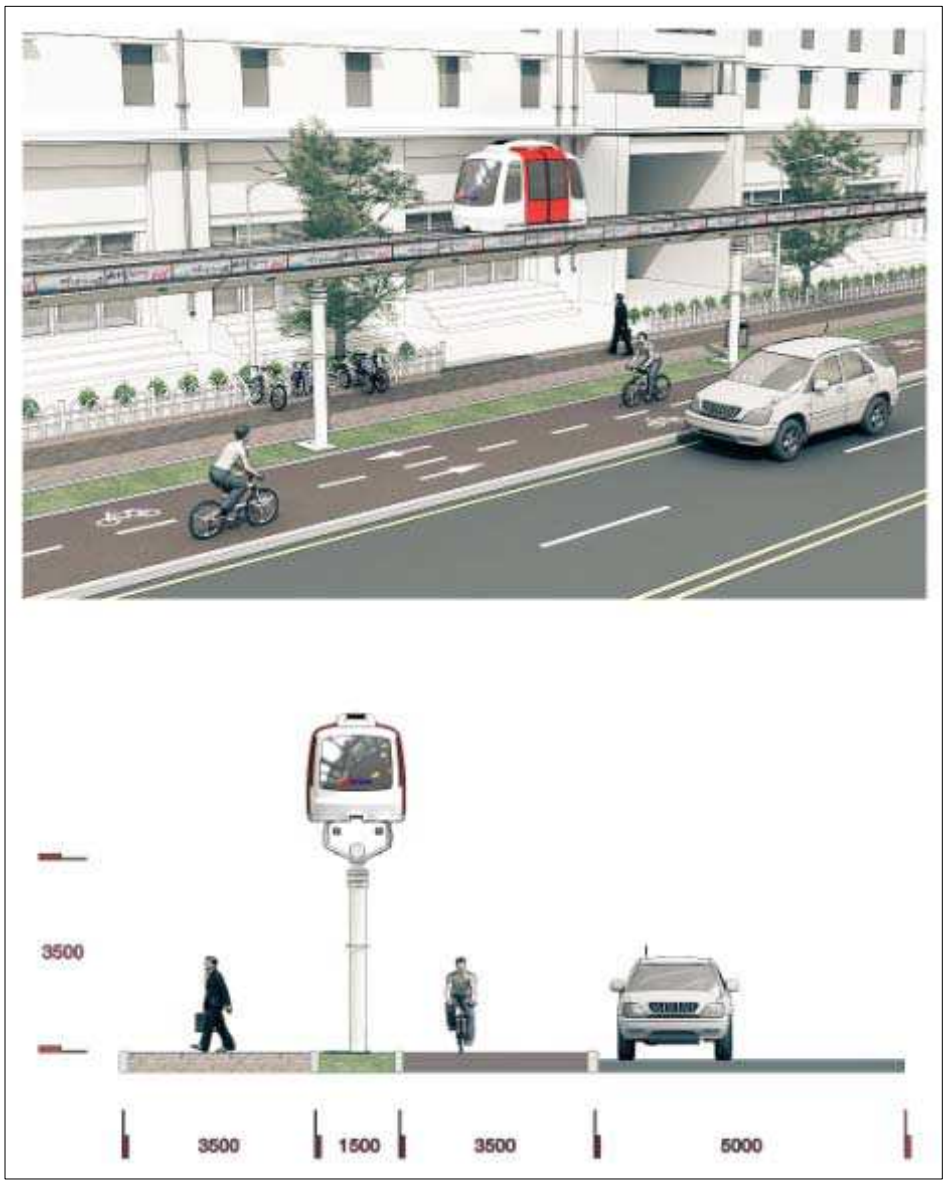
가. PRT 개념

PRT(Personal Rapid Transit)는 2~6인이 승차할 수 있는 소형차량이 궤도(Guideway)를 통하여 목적지까지 정차하지 않고 운행하는 새로운 도시교통수단이다. 일종의 궤도승용차시스템으로 개인대중교통수단, 개인궤도수송시스템, 궤도택시, 무인자동택시 등으로 불린다. 선형 또는 원형의 단일 경로를 정해진 시간 계획에 따라 운행하는 기존의 철도시스템과는 다르게 무인 자동운전 하는 소형의 차량을 네트워크 형태의 노선에서 운영한다.

PRT는 승객의 요청에 의해 배차되어 목적지에 도달하기 위한 네트워크 상의 여러 경로 중 최적의 경로를 선택하여 목적지까지 무정차로 운행을 하는 첨단 신 교통시스템으로 택시와 같이 승객은 원하는 시점에 항상 차량을 이용할 수 있으며, 차량을 남과 공유하지 않을 수 있어서 개인의 Privacy를 보장받을 수 있다.

또한 소형, 경량의 전용 주행로는 도시 미관에 미치는 영향을 최소화하며, 공장에서 미리 생산하여 현장 조립이 가능하므로 건설기간을 크게 줄일 수 있다. 아울러, 공사 기간 중에 기존의 도로 교통에 미치는 영향 또한 최소화할 수 있다. 그리고 전기를 동력원으로 사용하기 때문에 배출가스가 없고 소음이 적어 친환경적이며, 승객이 차량을 기다리는 시간이 거의 없고 전용 주행로를 이용하여 무정차 운행하기 때문에 이동시간을 획기적으로 단축할 수 있다.

〈그림 Ⅱ-1〉 PRT 개념도



자료 : 김민우·이희영, 『PRT 기술개발현황 및 궤도기술연구』, 대우엔지니어링, 기술보 제25권 제1호 (통권 제30호), 2009.10

PRT의 개념이 도입되던 초창기에는 PRT의 개념 자체가 매우 불분명하였다. 이후 1988년 미국의 ATRA(Advanced Transit Association)은 다음과 같이 PRT시스템을 정의하였다.

1. 운전자 없이 완전 자동으로 운행할 수 있는 차량

2. 고정된 가이드웨이 내에서만 운행

3. 1~6명 정원의 소규모 차량으로 24시간 이용 가능하며, 승객의 선택에 따라 혼자 또는 그룹으로 이용 가능

4. 지상, 지하 또는 고가에 설치할 수 있는 소규모의 가이드웨이

5. 차량은 PRT 네트워크에 연결된 모든 가이드웨이와 정거장을 이용 가능

6. 목적지까지 갈아타거나 정차를 하지 않고 논스톱으로 운행

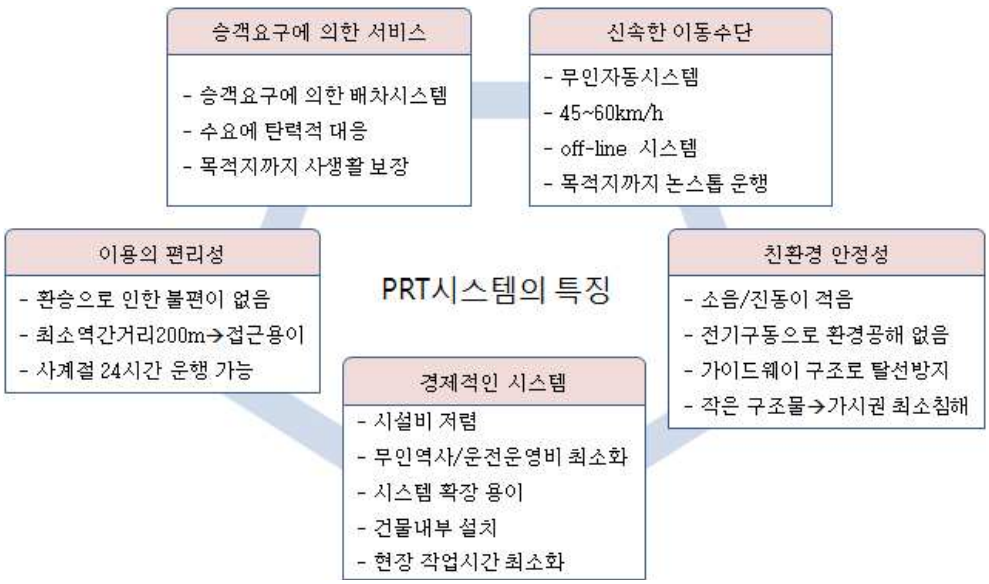
7. 고정된 스케쥴이 아닌 승객의 요구에 따라 차량을 운행

나. PRT의 특징

PRT시스템의 특징은 우선 승객요구에 의한 서비스(on-demand)가 제공된다는 것이다

기존의 지하철이나 버스 같은 대중교통수단들은 미리 정해진 시간표에 따라 운행이 됨으로 승객의 입장에서는 교통수단이 도착할 때까지 기다리고 있다가 이용을 해야 하는 불편함이 있다. 그러나 PRT는 승객의 필요에 의해 차량이 배치된다. 즉, 고정된 운행시간표가 아니라 승객 수요가 많지 않은 시간에는 정거장에 대기하고 있는 빈 차량을 곧바로 이용하고, 출퇴근 시간과 같이 승객의 수요가 몰리는 시간에는 가장 가까운 곳에 위치하고 있는 차량을 호출하여 이용할 수 있다.

〈그림 II-2〉 PRT시스템의 특징



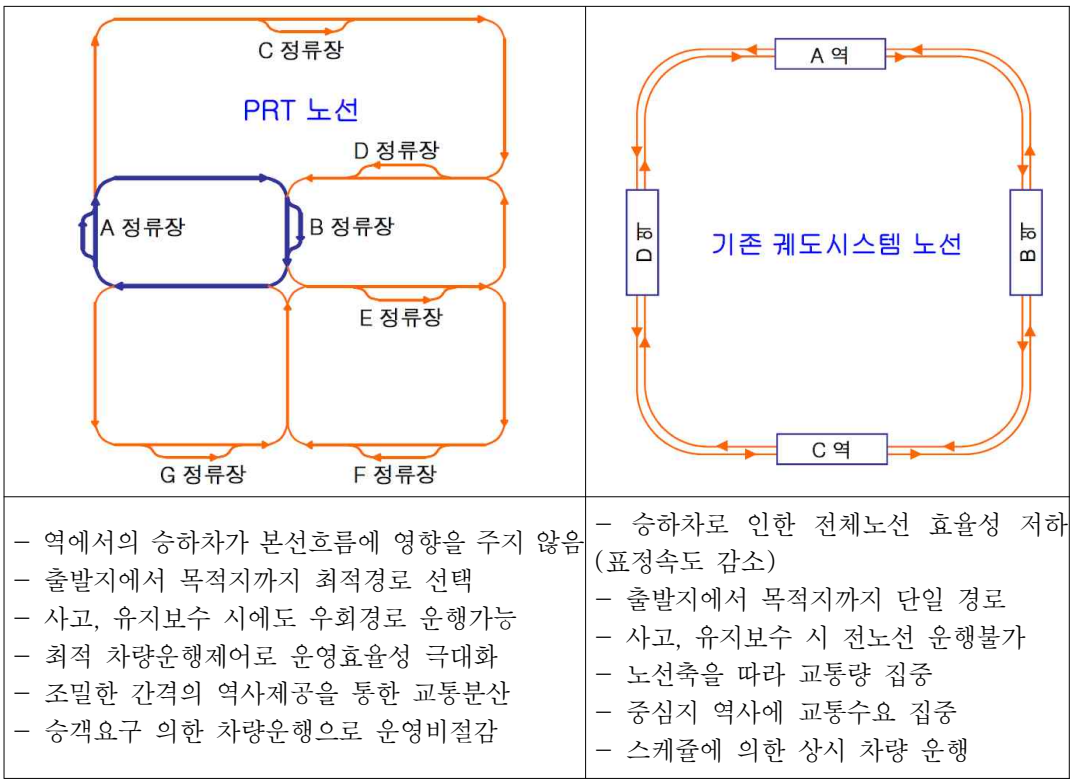
자료 : 김연규, 『해외PRT 시스템 소개』, 대한교통학회 학술토론회 발표자료, 2008

따라서 승객입장에서는 피크 시에도 바로 이용을 할 수 있으므로 대기시간을 줄일 수 있고, 운영주체 입장에서는 수요에 따라 차량을 보다 탄력적으로 운영할 수 있으므로 효율적인 운영이 가능하

다.

둘째, Door-to-Door 서비스의 제공이 가능하다. 기존의 대중교통 시스템은 효율성을 위하여 주요 교통 축을 중심으로 건설되고 단일 노선을 따라 운행하기 때문에 승객들이 정거장에 접근하거나 타 목적지로 가기 위해서는 다른 교통수단을 이용하거나 상당한 거리의 도보 이동이 요구된다. 그러나 PRT는 차량 및 궤도가 소형·경량이고 회전반경이 작기 때문에 복잡한 도시 지역에서도 설치와 운영이 가능하고 역간거리를 300~500m 정도로 타 운송시스템보다 조밀하게 네트워크를 구성할 수 있기 때문에 자가용이나 택시와 같이 승객이 원하는 장소까지 논스톱으로 이동하고 Door-to-Door 서비스를 제공할 수 있다.

〈그림 II-3〉 PRT Network 특성

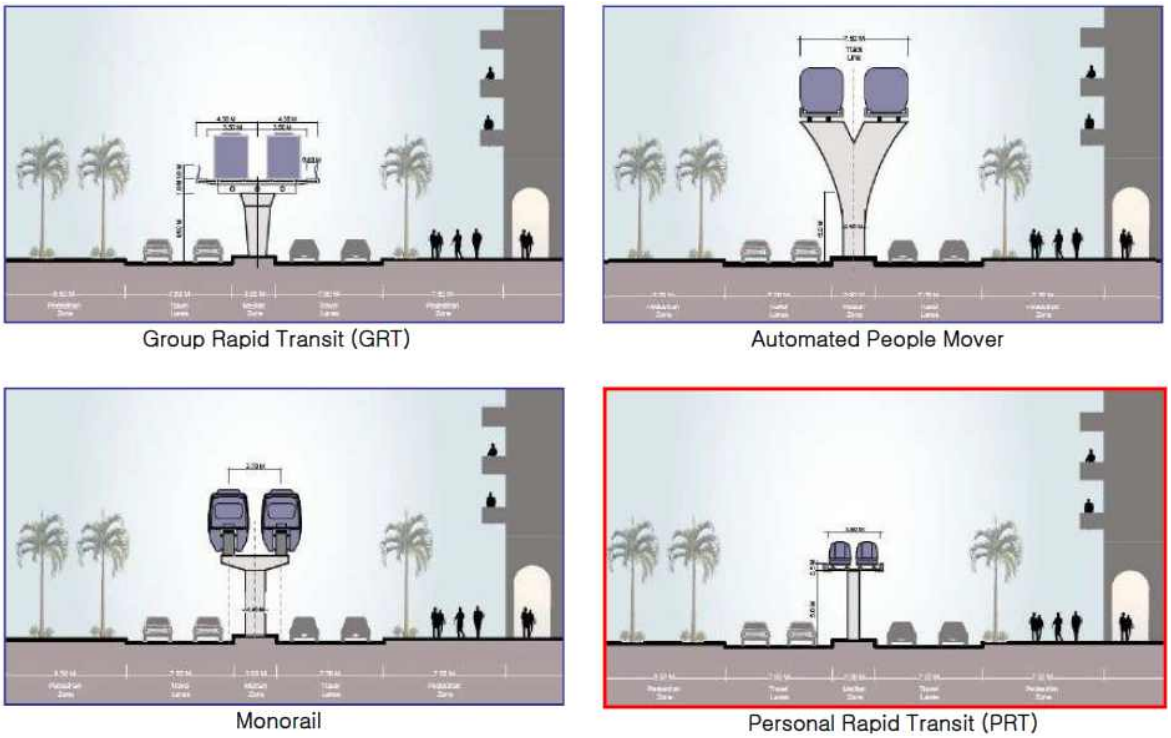


– 역에서의 승하차가 본선흐름에 영향을 주지 않음 – 출발지에서 목적지까지 최적경로 선택 – 사고, 유지보수 시에도 우회경로 운행가능 – 최적 차량운행제어로 운영효율성 극대화 – 조밀한 간격의 역사제공을 통한 교통분산 – 승객요구 의한 차량운행으로 운영비절감	– 승하차로 인한 전체노선 효율성 저하 (표정속도 감소) – 출발지에서 목적지까지 단일 경로 – 사고, 유지보수 시 전노선 운행불가 – 노선축을 따라 교통량 집중 – 중심지 역사에 교통수요 집중 – 스케쥴에 의한 상시 차량 운행

자료 : Vectus 소형경전철(PRT) 소개자료, Posco, 2009. 8

셋째, PRT시스템은 타 교통시스템에 비해 경제적인 시스템이다. 일반적으로 PRT의 운행거리는 1~10km정도로 비교적 단거리이며, 1차량 1편성을 기준으로 3~6인 이용이 가능하며 시간당·방향당 약 3,000~10,000명 정도를 수송할 수 있다. 이처럼 PRT는 소형 차량을 사용함으로 작고 슬림한 구조물계획과 경량궤도로 네트워크 구성이 가능하기 때문에 초기 건설비용을 대폭 감축시킬 수 있다.

〈그림 Ⅱ-4〉 PRT의 공간활용성 및 점유면적 비교



자료 : Dubai Exhibition City PRT 타당성보고서, 2008

〈표 Ⅱ-1〉 타 철도시스템과의 비교

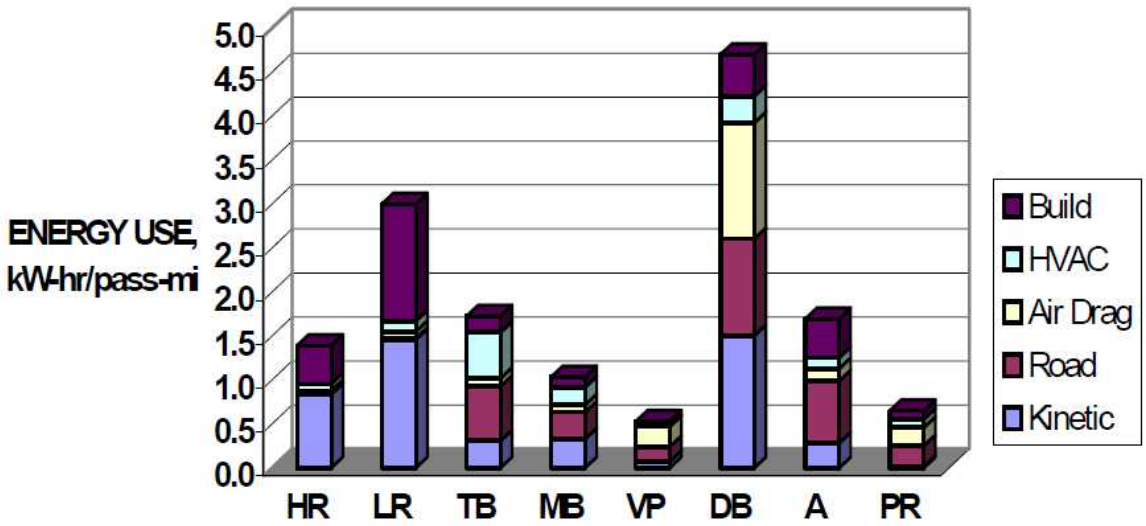
	PRT	HRT (중량 전철)	LRT (경전철)	BRT (전용노선버스)
운행방법	Off-line Station (논스톱 운행)	Line-haul System (역/정류소마다 정차)		
역간거리	300~500m	1,000m	800m	500m
표정속도*	40~45km/h	25~35km/h	25~35km/h	20~30km/h
운행간격	최소 3초 (On-demand)	2분 이상	2분 이상	노선마다 다양
건설비	150억원/km 이하	1,000억원/km 이상	400~600억원/km	50~150억원/km
운영형태	무인역사/운전	유인역사/운전	무인 or 유인역사/운전	유인 운전
운행시간	24시간	일정시간	일정시간	일정시간
운영비용	1.2억원/km년 (추정)	55.3억원/km년	19.3억원/km년	3.5억원/km년

주: 표정속도 : 정차,지체,운행시간의 합을 총 운행거리로 나눈 속도 값, 대중교통의 평가척도로 활용
자료: PRT 기술개발현황 및 궤도기술연구, 대우엔지니어링 기술보 제25권 제1호(통권 제30호), 2009.10

넷째, 이처럼 PRT는 완전 무인운전, 운영자동화 등의 구현으로 운영유지비 절감 극대화가 가능하여 타 교통시스템보다 에너지 절약이 가능한 교통시스템이다.

PRT는 신호제어시스템의 발달로 차량 운전시격을 기존 도시철도의 한계인 2분을 넘어 약 10초 내외로 운영이 가능하고 승객 요구에 따른 배차로 수요에 탄력적 대응이 가능하다. 따라서 비첨두시에는 차량이 정거장에서 승객을 기다리므로 공차운행에 따른 에너지낭비를 최소화할 수 있으며, 차량은 정해진 노선을 운행 하지 않고 목적지까지 최적의 노선을 탐색하여 운행하므로 높은 운행효율을 확보할 수 있다.

〈그림 Ⅱ-5〉 교통시스템별 에너지 사용량



주 : HR : Heavy Rail, LR : Light Rail, TB : Trolley Bus, MB : Motor Bus, VP : Van Pool, DB : Dial-a-Bus, A : Automobile, PR : Personal Rapid Transit
자료 : Viability of Personal Rapid Transit in New Jersey FINAL REPORT, 2007.02

다섯째, 도시미관 개선이 가능한 시스템이다.

도시가 인간의 문화와 문명의 표상이라는 관점에서 볼 때 도시의 다양한 물리적 환경요소들 속에서 생활하고 있는 시민들에게 얼마만큼이나 쾌적하고 살기에 편안한 주거환경을 제공하느냐가 중요한 문제로 대두되고 있다. 특히, 양적 성장을 추구해온 개발연대를 지나 어느 정도 국가 성장을 달성하게 되자 삶의 질이나 품격을 중시하는 등의 변화가 일어나고 있다.

현재 도시미관을 구성하는 유형적 요소에서 주요한 부분을 차지하고 있는 것 중의 하나가 교통시설에 관한 것이다. 고가도로, 철로, 각종 신호등 및 안내판 등 교통시설물 뿐만아니라 교통수단 자체도 도시의 미관에 미치는 영향이 지대하다.

따라서 미래 교통수단을 도입할 경우 시설물 및 교통수단의 형태, 디자인 등 요소들을 감안해야 한다. 이러한 측면에서 볼 때, PRT는 차량형식 및 디자인이 기존 교통수단보다는 보다 미래지향적

인 디자인으로 구상되고 있으며, 차량의 소형화로 인하여 교통시설물도 슬림화가 가능하기 때문에 도시미관 훼손도 최소화 할 수 있다. 그러나 기존 도심의 경우 지상이 아닌 고가형식으로 설치될 경우 도시미관의 훼손이 발생하게 된다.

여섯째, 토지활용도를 최대화 할 수 있는 시스템이다.

경제활동 증가, 승용차 등록대수 증가, 2대 이상 보유가구 증가, 대중교통체계 구축 미흡 등으로 지속적으로 승용차 운행이 증가되고 있으며, 나홀로 차량의 운행이 전국평균 77.7%, 서울의 경우 82.3%를 차지하고 있다. 특히 출근시간대에는 나홀로 차량이 전국 81.4%, 서울의 경우 86.3%를 차지하고 있다. 이에 따라 평균 재차인원이 전국평균 1.26명, 서울의 경우 1.2명에 불과한 실정이다.

〈표 Ⅱ-2〉 나홀로 차량비율 및 평균재차인원

(단위:%,인)

구분	1일		출근시		퇴근시	
	나홀로 차량	재차인원	나홀로 차량	재차인원	나홀로 차량	재차인원
서울	82.3	1.20	86.3	1.15	81.3	1.22
전국	77.7	1.26	81.4	1.21	76.1	1.29

자료 : 국토해양부 보도자료, 2010.03.18

따라서 늘어나는 승용차를 위해 도로를 확충할 경우 대중교통에 비해 토지활용도가 낮게 될 것이며, 지하철을 건설할 경우 공사비가 문제가 될 것이다. <그림 Ⅱ-6>에서 보면 승용차를 이용할 경우와 PRT를 도입할 경우 토지활용도를 보여주고 있다. PRT를 도입할 경우 도로 확충에 들어가는 토지를 줄여서 녹지공간이나 보행자를 위한 공간으로 활용할 수 있을 것이다.

〈그림 Ⅱ-6〉 승용차 및 PRT시스템의 토지활용도



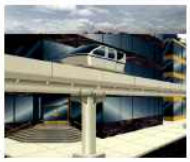
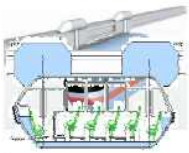
자료 : J.Edward Anderson, 『How to Solve Urban Transportration Problems Through Innovatiion』, 2007

그리고 PRT시스템은 소형·경량화로 공중, 지상 또는 지하 등 어디에서나 설치가 가능하며 건물을 통과하여 설치할 수도 있다. 따라서 도로와 간섭이 없는 전용궤도의 설치가 가능하고 효율적인 도시공간의 활용이 가능한 특징을 가지고 있다.

다. PRT 시스템의 종류

PRT시스템의 연구 초기부터 미국, 영국, 독일, 프랑스, 일본을 비롯하여 우리나라 등 많은 국가들에서 다양한 형태의 PRT시스템을 선보여 왔다. 현재 개발이 진행되었거나 개발 중인 주요 PRT시스템의 종류와 특징은 다음과 같다.

〈그림 Ⅱ-7〉 PRT시스템의 종류와 특징

구 분	특 징	구 분	특 징
Cabintaxi 	· 차량: 여객, 화물 · 속도: 36km/h · 역간거리: 0.3-0.8km · 차두간격: 2.5초 · 수요 대응형 · Non-Stop 운행 · 시스템의 완전자동화 · 낮은 소음	MegaRail 	· 차량: 여객용, 화물용 · 속도: 30~60mph · 무인운전 · 도시내부의 선로를 통해 컨테이너 운송 · 대량화물의 선적, 운송, 하역까지 서비스 가능
PRT 2000 	· 화물운송 가능 · 인간 친화적 · Non-Stop 운행 · 24시간 운행 · 경제적 운영·유지비용 · 환경친화적	Vectus 	· 무인운전형태 · 3~5명의 승객 탑승 · 독립된 궤도와 네트워크에서 운행 · 수요대응형 · Non-Stop 운행
Taxi 2000 	· 속도: 32-80km/h · 역간거리: 약 0.8km · 차두간격: 0.5초 · 노선용량 7,200대/시 · 역용량 2,000대/시 · 구배 15% · 악천후시 운행 가능 · 장애인, 노약자 배려	Korean Skycar PRT 	· 3인승 · 속도: 45~60km/h · 차두간격: 0.5초 · 최대용량: 7,200대/시 · 평균용량: 6,000대/시
ULTra PRT 	· 속도: 40km/h · 차두간격: 0.5초 · 노선용량 1,800대/시 · 구배 15% · Non-Stop 운행 · 낮은 운행비 · 낮은 건설비 · 환경친화적, 최대 4인용	CVS 	· 궤도: I자 빔의 강철형 · 최대구배: 10% · 최소곡선반경: 5m · 여객, 화물 · 공기압축식 고무타이어 · 평균속도: 40km/h · 최대속도: 80km/h · 차두간격: 1초
Frog (CyberCab) 	· 차량속도: 11km/h (관광객 고려) · 차두간격: 24초 · 용량: 양방향 600명/시	SkyCabs 	· 짧은 여행시간 · 대기시간의 축소 · 비피크시 서비스 효율화 · 경량의 다양한 구조 · 낮은 비용

자료 : 소형궤도열차시스템의 적용성 검토 연구, 한국철도기술연구원, 2006

라. 주요 PRT시스템

지금까지 많은 PRT시스템들이 연구 개발되었으며, 일부는 시험단계까지 추진되었다. 그러나 현재 PRT시스템 중에서 가장 선진화된 시스템은 ULTra, Vectus, SkyWeb Express, Frog Cyber Cab으로 볼 수 있다.

그 외에 개발 초기단계에 있는 PRT시스템으로는 MicroRail, SkyTran, JPods 등이 있다.

<그림 Ⅱ-8> PRT시스템의 비교

단위: USD/Mile

시스템명	ULRra	Vectus PRT	SkyWeb Express	Frog Cyber Cab
회사	Advanced Transport System	Vectus	Taxi 2000	2GetThere APMS
위치	브리스톨, 영국	영국, 한국, 스웨덴	미국 미네소타	네덜란드
차량	4인승	4인승	3인승	4인승
노선	지상 또는 고가	고가	고가	지상 또는 고가
운행 속도	25mph	37mph	20-60mph	12-19mph
가이드 웨이	콘크리트	레일	레일	노면
동력	배터리	제3궤조	제3궤조	배터리 또는 가스-전기엔진
개발 단계	시험운영, 히드로공항 운행예정	시험선	시험선	
개발자 견적비용	$9-15 Million	$18 Million	$16-24 Million	$9-15 Million
차량 모습				

자료 : Report on the Feasibility of PRT in Santa Cruz, California, 2007

2. 국내 PRT 개발현황 및 사례

가. 국내 PRT 개발현황

국내 PRT 시스템 개발을 위한 시도로는 1990년대 초반 (주)우보엔지니어링에서 PRT시스템의 타당성 조사 및 벤처 비즈니스 사업화의 추진이 시도되었다. 1992년부터 초경량 대중궤도차 연구를 해온 (주)우보엔지니어링이 부설 교통·도시개발연구원을 설립하여 미국의 Raytheon사와 독점 기술제휴 및 영업계약을 맺고 Raytheon사의 "PRT2000"시스템의 국내도입을 꾸준히 추진해왔다.

1997년 (주)우보엔지니어링은 부설 연구원을 독립시켜 (주)PRT코리아를 설립하고, 미국의 PRT2000시스템의 기술 도입 및 국산화 연구를 위하여 (주)PRT Korea와 포항공대 정보통신연구

소가 공동연구를 진행하였으며, 새로운 구동방식과 분기방식 등을 적용시킨 'Sky Car'시스템을 개발하여 포항공대의 시험 선로에서 기능 시험운전을 하였다. 이 스카이카는 길이 2.8m, 폭 1.6m, 높이 1.6m, 궤도의 크기는 폭 1.15m로 미국의 Taxi 2000시스템과 유사하나 가이드웨이와 분기기 방식에서 중요한 차이를 가지는 궤도 전용 초소형경량전철 시스템이다.

〈그림 Ⅱ-9〉 Sky Car 시험선 차량과 가이드웨이



포항공대에서 PRT알고리즘에 대한 소프트웨어 개발이 상당부분 진행되자 2005년 영국에 PRT연구 및 시스템 개발을 위한 벡터스(Vectus Limited, Ltd)사를 설립하여 시스템 상세설계를 완료하고 2007년 5월부터 스웨덴 웁살라시에 만든 400m 시험 궤도에서 차량 3대로 시험운행을 했다. 그 결과 스웨덴 철도청(SRA, Swedish Rail Agency)으로부터 안전인증을 획득하였다. 벡터스는 포스코건설과 포스콘, 포스코ICT와 포스코플랜텍이 지분 99.6%를 갖고 있고 본사는 영국에 두고 있다.

현재, 차량 및 시스템분야는 벡터스에서 지속적으로 개발하고 있으며, 포스코건설과 대우엔지니어링이 공동으로 설계 정립 및 궤도구조 개선에 대한 연구를 진행하고 있다.

〈그림 Ⅱ-10〉 Vectus의 웁살라 시험선



나. 국내 PRT 도입사례

국내에서도 PRT도입에 대해 많은 검토를 해왔지만 실제로 상용화한 사례는 없으며, 현재 상용화 추진을 하고 있는 PRT사업은 순천만 소형경전철(Sunchon Bay PRT Project) 사업이 유일하다.

순천만 소형경전철 사업은 포스코와 순천시가 2013년 4월부터 6개월간 순천만 일대에서 열리는 국제정원박람회장과 순천만생태공원을 연계하여 관광객의 이동수단으로 활용하기 위한 사업으로 포스코는 2009년 순천시와 순천만 소형경전철 사업에 관한 양해각서(MOU)를 체결하고 사업에 착수하였다.

사업규모는 노선연장이 총 5.3km로 복선으로 운행하며, 정거장은 총 2개소로 중간 정거장이 없이 순천만 자연생태공원과 국제정원박람회장(국제습지센터)을 곧바로 연결한다. 사업 예산은 610~700억원 규모로서 2011년 6월에 기공식을 갖고 공사에 착수하였고, 2013년 4월 순천만 국제정원박람회 개막 이전에 공사를 완료할 예정이다.

이 사업은 궤도운송법으로 추진을 하였으나 궤도운송법 등 기존 법 체계상에는 PRT에 대한 건설 및 안전기준이 없어 국토해양부로부터 시설기준, 안전검사기준 등에 대해 특별건설승인을 받아 공사에 착수하게 되었다.

설치되는 차량시스템은 벡터스에서 제작한 PRT시스템으로 1량 1편성으로 총 40대를 투입할 예정이며, 급전방식은 제3궤조방식으로 무인자동운전으로 운행된다.

이 사업이 상용화에 성공하면 순천만 PRT는 영국 히드로공항에 이어 세계 두 번째로 상용화한 사례가 되기 때문에 포스코는 순천만 경전철 사업이 글로벌 시장에 진출하는 참조사례(reference)가 될 것으로 기대하고 있다. 하지만 순천만 소형경전철사업의 경우 역사 2개로 한 노선만 운행하기 때문에 네트워크에 의한 맞춤노선으로 운행한다는 PRT의 본격적인 수준에는 이르지 못하고 있다.

〈그림 Ⅱ-11〉 순천만 소형경전철사업에 도입할 벡터스PRT 차량



〈표 Ⅱ-3〉 순천만 소형경전철 사업 개요

사업개요	사업구간	- 전남 순천시 오천동 ~ 맑은물 관리센터 ~ 순천만
	노선연장	- 5.3km (복선 4.86km, 단선 0.90km)
	차량시스템	- 소형경전철(PRT) 벡터스 시스템
	가이드웨이	- 고가 교량(Elevated Guideway)
	정 거 장	- 2개소 (4 Berth, 지상 2층)
	운영관리동	- 1개소(지상 2층, 검수고, 주박, 사령실)
차량 및 시스템	차량시스템	- 소형경전철(PRT, 벡터스) 시스템
	급전방식	- 제3궤조 (DC 400V)
	편 성 수	- 1량 1편성, 총 40량
	운행방식	- 무인자동운전
	주행방식	- 주행륜, 안내륜, 분기륜 사용(측방안내방식)
	통신방식	- 단거리 전용통신(DSRC)방식

자료 : 순천만소형경전철사업계획서, 벡터스, 2009

3. 해외 PRT 개발현황 및 사례

가. 해외 PRT 개발현황

1) 미국

PRT에 대한 연구개발은 40년 이상의 역사를 가지고 있는데, PRT에 대한 개념은 더 나은 도시 교통수단의 필요성을 해결하기 위한 많은 발명가와 연구자들의 독자적인 연구로부터 시작되었다.

최초 연구는1953년에 작고 가벼운 차량과 적은 비용으로 도시의 전체 교통시스템의 개선에 대한 해결을 위해 개념을 개발하기 시작한 Donn Fichter로부터 시작되었다. 또한 달라스(Dallas)의 Edward Halton은 Monocab시스템의 개발을 시작했다. Halton은 보다 작은 guideway와 차량의 사용으로 시스템 비용을 낮추어 기존의 모노레일 시스템을 개선하는 것이었다. 이를 위해서는 모노레일 시스템에 사용되는 기술보다 Monocab에는 고급기술의 사용이 필요하였다.

이후 Monocab 기술은 Vero, Rohr 와 Boeing사에 순차적으로 매각되어졌다. 이들 회사들은 1980년대 UMTA(Urban Mass Transit Administration)의 AGRT(Advanced Group Rapid Transit) 프로그램이 중단되어질 때까지 다양한 테스트 트렉의 건설을 포함한 기술개발을 계속하였다.

이 외에도 1950년대에서 1960년대 초에 TTI, Alden staRRcar, Uniflo, JetRail 등의 PRT시스템이 개발되었다. TTI는 GM에서 분사된 회사로 Denver에 테스트 트렉을 설치하고 듀크대 메디컬센터에 시스템을 구현하였으나, 오티스엘리베이트에 매각되었다.

Alden staRRcar는 1960년 William Alden에 의해 발명된 소형전기자동차 시스템으로 본격적인 테스트는 1968년 Massachusetts주의 Bedford에 시험선을 설치하면서부터 시작되어 Morgantown시스템의 차량디자인으로 선정되기도 하였다.

Uniflo 시스템은 1961년 Honeywell의 Lloyd Berggren에 의해 개발되었으나 상업적 판매에 실패하여 취소되었으며, JetRail은 George Adams에 의해 개발된 자동제어 및 경량의 guideway를 가진 시스템이었다.

PRT 시스템의 실현가능성 검토는 1966년 미국의 HUD(House and Urban Development)에서 "내일의 교통수단"이라는 타당성연구보고서를 통하여 검토하기 시작되었다. 또한 1969년 미국 Scientific American지 보고서에서는 PRT 시스템이 미래 교통문제 해결방안으로 제시되었다. 이 보고서들은 1970년대 초기 PRT 시스템에 대한 연구를 촉발시켰고 이 기간 동안 PRT 시스템 해석에 대한 수학적 토대가 마련되었다. PRT시스템은 1970년대의 활발한 연구를 통하여 미국 LA를 포함한 몇 개의 도시들을 대상으로 PRT 네트워크가 설계되었으며 여러 가지 차량디자인 개념이 나왔다.

PRT에 대한 주요한 연구 중의 하나가 1968년부터 1976년 사이에 Aerospace사에 의해 실시되어졌다. 이 회사는 탄도미사일시스템을 개발하기 위해 미국 공군에 의해 설립된 비영리법인으로 1968년 도시문제를 해결하기 위해 항공우주기술을 사용하기로 결정하고 HUD(Housing and Urban Development)보고서를 바탕으로 PRT로 결론지었다. U자 모양의 좁은 guideway 및 전기모터에 의해 추진되는 프로토 타입시스템을 개발하고 PRT네트워크 운영의 가능성을 위해 컴퓨터시뮬레이션을 개발하였으나 Aerospace사가 비영리법인이었기 때문에 PRT 개념 개발 이상의 연구를 진행하지 못했다.

1960년대 후반의 아폴로 프로그램의 출현과 고급 자동차 운송기술에 대한 관심이 커짐에 따라 Morgantown의 West Virginia대학의 Sammy Elias 교수에 의해 PRT시스템에 대한 연구가 시작되었고, 캠퍼스 내의 학생 이동 및 지역사회 교통수단으로 PRT시스템이 결정되어 Alden staRRcar 시스템이 선정되었다.

〈그림 Ⅱ-12〉 Morgantown PRT차량 및 정거장



그러나 Morgantown 시스템은 1972년의 대통령 선거와 맞물리면서 비용 효율적인 건설은 주요 목적이 되지 못하였고, PRT에 대해 전혀 모르고 참여한 기업에 대해 기술을 배울 수 있는 충분한 시간이 주어지지 못하였다. Morgantown 시스템은 1972년에 제한적으로 운행을 하였고 1975년에 현재의 용량으로 확대되어져 지금까지 운영하고 있다.

이처럼 1960년대에 미국에서 시작되어진 PRT에 대한 연구개발은 1960년대 후반부터 1970년대 초반에 걸쳐 다른 많은 국가들에 의해 개발되어졌다. 이 때 개발되어진 PRT시스템에는 프랑스의 Aramis, 일본의 CVS, 영국의 Cabtrack, 독일의 Krauss Maffei와 Cabintaxi 등이 있다. 그러나 이들 시스템들은 여러 가지 기술적, 경제적, 정치적 이유로 인하여 본격적으로 추진되지 못하였고 Cabintaxi 만이 판매된 유일한 시스템이 되었다.

1970년대의 많은 PRT 기술개발의 대부분은 낮은 비용과 향상된 서비스라는 기대이익을 실현 하는데 실패하였다. 당시의 기술수준이 전체 PRT시스템을 구현하는데 있어서 필요한 자동화 기술을 지원할 수 없었기 때문이며, PRT 개발을 위한 각국 정부의 지원은 1970년대 이후 감소하였다.

1970년대부터 2000년 사이에 PRT 관련 기술을 개발하거나 분석하는데 가장 큰 기여를 한 것은 UMTA AGRT 프로그램과 Raytheon/RTA 프로그램이다. 1970년대 이후, 고급 자동운송시스템 개발을 위한 미국 정부 지원의 대부분은 UMTA의 AGRT 프로그램에 집중되었다. AGRT 프로그램의 목적은 좀 더 큰 차량을 개발하는 것이었으며, AGRT 프로그램의 결과 몇 가지 대형차량의 교통시스템이 1980년대에 계획되고 구현되었다.

미네소타 대학에서는 John Edward Anderson 교수를 중심으로 하여 1980년대 초반부터 Taxi2000이라는 PRT 시스템을 개발하기 시작하였다. 1990년대 초반에 Taxi2000 Corporation이 PRT 시스템

의 계획, 설계 및 시뮬레이션에 대한 전문적인 서비스를 제공하는 컨설팅 회사로 설립되어 Taxi2000 시스템 개념을 발전시키면서 관련 정부기관 및 단체에 독자적인 PRT 시스템 계획안을 제공하였다.

수송시스템 시장으로 영업을 확장하려했던 미국의 대표적인 방위산업체인 Raytheon사가 1993년 Taxi2000 시스템기술에 대한 권리를 사들였다. 내부계열사들의 연구와 Taxi2000사의 컨설팅을 기반으로 하여 시스템을 개량하였고, PRT2000 시스템이라 명명하였다.

1970년대 이후 미국에서 실시된 가장 중요한 PRT프로그램의 중의 하나는 Raytheon/RTA 프로그램으로서 1990년대 중반에 RTA(Chicago Regional Transportation Authority)와 Raytheon사가 제휴하여 PRT프로그램 개발에 착수한 것이다. RTA는 Taxi2000을 선택하여 디자인, 시스템 구성 등 설계를 완료하고 1995년에 매사츄세츠주 Marlboro시에 PRT2000 시험노선을 건설하고 3대의 시제차량을 개발하여 시제차 시운전 시험을 통하여 기술적 사항의 입증을 하였다. 그리고 초기 대상지역으로 Rosemont를 선택하여 추진하였으나 Marlboro의 테스트트랙과 연구의 성공에도 불구하고 Rosemont에 시범 시스템이 건설되지는 못하였다.

2000년에 Raytheon/RTA 프로그램은 시스템 구축의 높은 비용, 낮은 운임, RTA의 리더십 변화 및 연방정부의 재정지원 대상 제외 등 기술적, 경제 및 정치적인 이유로 취소되었다. 이후 개발 권한은 Raytheon사에서 다시 Taxi2000사로 양도되었다.

〈그림 II-13〉 Chicago Raytheon PRT Test Track



2001년도에 오하이오의 신시내티 도심의 오하이오 강변 개발과 연계한 교통개선사업인 OKI 보고서에서 도심의 교통 혼잡을 개선하고 신규개발 교통량을 효과적으로 흡수할 수 있는 도심순환을 위한 교통대안으로 TSM 셔틀서비스, 시가전차, PRT를 대안으로 분석함으로서 PRT를 도시교통대안으

로 구체화하기 시작했는데, 목표연도 교통량으로 TSM 셔틀 6,042명, 시가전차 6,994명, PRT 32,152명으로 추계되었다.

PRT가 본래적 장점인 대기시간의 최소, 역간격의 최소화로 인한 접근시간의 최소 등의 이유로 교통량 유인율이 다른 비교 대중교통에 비해 5배나 되는 것으로 분석되었다. 그러나 실제 운행 중인 PRT가 없다는 이유로 기각되었다.

이외에 미국의 유니모달사는 스카이트랜(skytran)이라는 2인승 자기부상열차를 개발하고 있다. 소형 케이블카처럼 생긴 자기부상열차는 시속 240㎞의 속도로 승객들을 운송해준다. 400m마다 정거장이 설치돼 있는데 사용자가 목적지를 입력하면 스스로 최적의 경로를 설정해 움직인다.

현재 미국의 PRT 시스템 도입은 현재 Taxi2000 시스템(“Skyweb Express”으로 명칭 변경)을 중심으로 여러 지역에서 검토 중에 있다. 최근 캘리포니아 주의 산타크루즈시와 산호세시가 PRT 도입여부를 검토 중이다. 산타크루즈 시는 시내와 캘리포니아 주립대학교간의 교통정체를 완화시키는 목적으로, 산호세 시의 경우 기존의 Caltrain이나 BART와 같은 도시철도수단과 연계하여 시내와 공항, 실리콘밸리의 접근성을 향상시킬 목적인 것으로 파악된다.

또한 뉴저지 주도 대규모 PRT 도입을 검토 중인 바, 뉴저지 주 교통국은 건설비용이 1마일당 3천만 달러에서 5천만 달러로 추정하고 있는데 이는 산호세시의 BART건설비용의 1/8 수준이다. 한편 뉴저지 주 교통국은 PRT의 성공적인 운영을 시연하기 위하여 3년 동안 최소 1억 달러의 비용이 소요될 것으로 분석하고 있다.

2) 유럽

미국에서 시작된 PRT의 적용에 대한 연구개발은 유럽의 여러 나라에서 지속적으로 실시되어져 왔다. EU의 EDICT(The Evaluation and Demonstration of Innovative City Transport) 프로그램은 2001년 12월부터 2004년 5월까지 30개월간 지속 가능한 새로운 교통 시스템으로 PRT를 분석하고 개발하기로 하였다. EDICT은 유럽 7개국의 16개 기관의 컨소시엄으로 구성하였으며, EDICT 프로젝트에서는 ULTra PRT시스템이 사용되어졌다.

영국의 ULTra PRT(Urban Light Transport)는 1995년 Bristol 대학의 마틴 로슨(Martin M. Lowson) 교수의 연구팀에 의해 개발이 되었으며, 스핀아웃(in-out)으로 설립한 ATS사(Advanced Transport Systems Ltd)를 중심으로 컨소시엄이 구성되어 있다.

영국 정부에서는 미래 대비 운송수단으로 ULTra 시제 차량의 설계, 제작 및 시험을 위해 5백만 파운드의 정부 연구 보조금을 지원하였으며, 웨일즈 지방의 주도인 Cardiff시에서도 최초의 상용화를 위한 지역 선정 및 건설계획을 위한 연구에 재정 지원을 하고 있다.

EDICT의 첫 번째 PRT 시험선인 Cardiff의 PRT네트워크는 5마일의 노선으로 연간 5백7십만 명의 승객을 수송하도록 설계되었다. 이후 이탈리아의 Ciampino, 네덜란드 Eindhoven과 스웨덴의 Huddinge에서도 EDICT프로그램에 의한 PRT 적용 연구가 이루어졌다.

〈그림 II-14〉 ULTra PRT Cardiff Track



네덜란드의 2getthere사는 2001년에 설립되었다. 처음에는 Frog Navigation Systems 내의 사업부문으로 출발하였으나 2007년 분리하여 독립된 민간기업으로 설립하였다. 2getthere사는 10년마다 열리는 대규모 꽃박람회인 네덜란드 2002플로리에드(Floriade 2002)에 Cybercab 교통시스템을 설치하여 적용시험을 하였다. 이 Cybercab은 2002년4월부터 11월까지 운영되었으며 25대의 차량이 제공되었다. 1세대 Cybercab 으로 불리는 이 차량은 승객이 주변의 경치를 즐길 수 있도록 설계되었으며, 전기를 동력으로 사용하였다. 차량크기는 4인승으로 완전 자동으로 운행되고 최대속도는 20km/h였지만 경치를 잘 볼 수 있도록 11km/h로 운행을 하였다.

〈그림 II-15〉 Floriade 2002의 Cybercab



2getthere社는 이 Cybercab 시스템운영 경험을 기반으로 2 세대 CyberCab을 개발하여 근 세계최초의 탄소제로도시를 목표로 하는 아랍에미레이트의 마스다르시에 PRT네트워크를 구축하여 시험운행을 하고 있다.

또한 2getthere사는 PRT뿐만아니라 PRT와 유사한 20인승의 Rivium GRT 및 암스테르담 Schiphol공항 주차장을 연결하는 GRT를 운영하고 있다.

2getthere사에서 운영하는 Cybercab 차량의 형식은 궤도를 따라 운행하는 것이 아니라 고무타이어로 노면을 운행하는 방식이다.

〈그림 Ⅱ-16〉 Rivium GRT와 Schiphol GRT



그 외 노르웨이, 캐나다, 스위스 등 선진 각국에서 PRT 시스템의 개발을 진행하려는 노력이 점점 구체화되고 있으며 제어방식, 시스템 구성, 기본 요소 기술에서 다양한 양식의 PRT 시스템 개념들의 연구가 진행되고 있다. 이처럼 각국 정부에서는 미래교통수단으로서 PRT 시스템의 개발 가능성 및 적용 타당성을 심도 있게 연구하고 있다.

그러나 PRT 시스템의 본격적인 상업 노선의 성공 사례는 아직 없으며 현재에도 PRT 시스템 사업이 적극적으로 추진되지 못하고 있는 것이 사실인데, 그 이유는 아마도 수요, 비용, 효율, 대중의 반응 등이 눈으로 확인된 바가 없기 때문에 PRT 시스템 사업이 여전히 모험적인 사업이라고 인식되기 때문일 것이다.

나. 해외 PRT 도입사례

1) 영국 Heathrow 공항 PRT

영국의 기존 히드로 공항을 이용하는 대부분의 승객들은 큰 짐을 소유하고 있으며 셔틀버스를

이용하여 이동하고 있었으나 이는 도로의 혼잡을 증가시켜 교통문제를 야기 시켰다.

이에 BAA(British Airports Authority)는 히드로 공항의 교통문제를 해결하고자 PRT시스템 도입을 결정하였으며, PRT시스템은 기다릴 필요 없이 곧바로 탑승하여 승객이 원하는 목적지까지 무정차 운행을 함으로써 기존의 셔틀버스와 비교하여 큰 시간적 효과와 운영비용의 절감효과를 얻을 수 있을 것으로 기대하였다.

영국 ULTra사는 세계 최초의 PRT시스템을 영국 런던 히드로 공항에 도입하여 제5터미널 주차장과 CTA(제1,2,3터미널)를 연결하고 있는데, 공항터미널 5번 구역을 중심으로 3개역을 순환하게 된다.

〈표 II-4〉 ULTra PRT와 기존 셔틀버스 비교

구분	수요(인/일)	셔틀버스 소요시간(분)	PRT 소요시간(분)	절감시간(분)	절감효과(%)
Pink Elephant	3,590	16,000	6.80	9.20	58
제1주차장	532	6.40	4.00	2.40	38
직원용 제1,2주차장	3,014	18.00	6.90	11.10	62
직원용 제4주차장	2,034	15.00	5.00	10.00	67
합계 및 평균	9,170	13.85	5.68	8.17	59

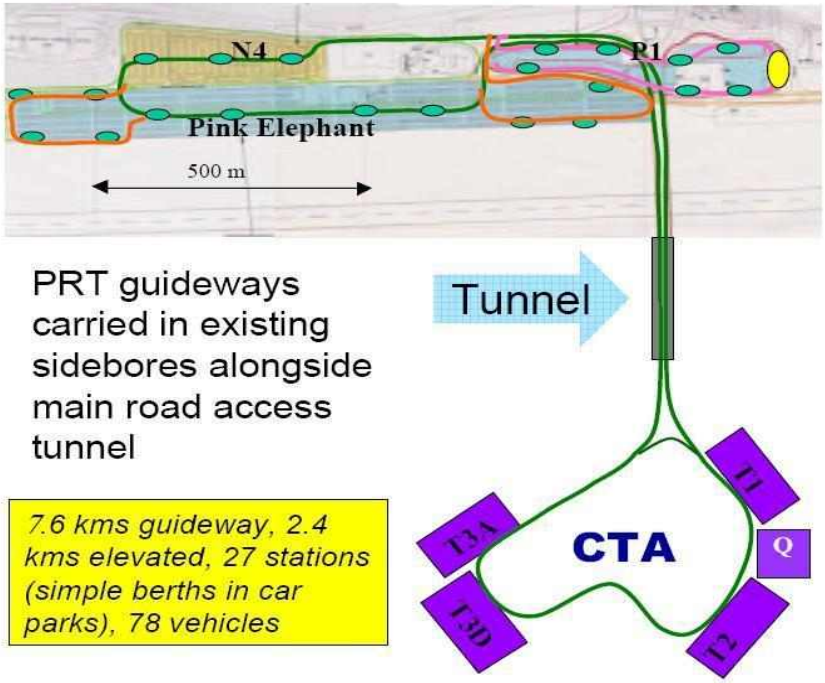
자료 : ULTra PRT 홈페이지 (http://www.ultraprt.com/applications/system-studies/lhr-cta-study/)

영국 히드로공항 PRT는 세계 최초의 상용운행을 진행 중에 있는데, 2011년부터 운영 중이다.

〈그림 II-17〉 ULTra PRT 차량, 정거장 및 노선



〈그림 Ⅱ-18〉 Heathrow ULTra PRT 계획도



자료 : ULTra PRT 홈페이지 (http://www.ultraprt.com/applications/system-studies/lhr-cta-study/)

2) UAE 마스다르(Masdar)

마스다르(Masdar)는 Zero-Carboncity, Zero-Wasre, Car Free City라는 세가지 슬로건을 내걸고 개발 중에 있는 아랍에미리트의 친환경 저에너지 도시이다. 마스다르는 아부다비의 도심에서 30km 거리에 위치하고 있는 도시로서 2008년 공사를 시작하여 2016년 완공을 목표로 개발 중이다. 면적은 서울 여의도의 약 2배 정도인 6㎢, 개발비용은 220억 달러를 예상하고 있고, 주거지역 30%, 비즈니스 및 연구지역 24%, 상업지역 13%, 과학 및 기술재단 6%, 도시 및 문화지역 8%, 서비스지역 19%로 구성되어 있다.

마스다르는 도시 전체가 약 7m 높이의 콘크리트 기단부 위에 세워진다. 사막의 모래와 도시를 분리해 지표면의 열기를 막고, 바람의 소통을 쉽게 하기 위해서이다. 이 콘크리트 기단부는 도시 곳곳을 잇는 거대한 교통 네트워크의 입구로서 도시 위로는 사람과 자전거만 다닐 수 있고, 다른 모든 교통수단은 이 기단부 속에 만들어질 교통망을 통해서만 움직이게 된다.

〈그림 Ⅱ-19〉 Masdar의 개발 개요



마스다르는 도시 내부에서 화석연료를 사용하는 차량의 운행을 할 수 없도록 계획되었으며, 화물차를 포함해 운행되는 차량은 모두 전기자동차이다. 현재 아부다비 시내까지 셔틀버스가 다니지만, 완공 뒤엔 경전철이 아부다비 중심가와 마스다르를 직접 연결할 예정이다. 승용차나 버스를 타고 온 사람들도 모두 도시 주변 주차장에 차를 세우고 마스다르 내부 교통수단을 이용해야 한다.

마스다르의 내부 교통수단은 현재 도시입구와 마스다르 과학기술원 사이를 시험 운행 중인 개인용 운송수단인 PRT가 도입된다. 가로 3.2m, 높이 1.9m 크기의 4인승 규모인 PRT는 네덜란드 2getthere의 CyberCab 모델이다. PRT내부에 리튬이온 전지가 설치돼 태양광 발전으로 생산된 전기를 충전하고 지하의 자기장 장치가 깔린 전용도로를 달리게 된다. 평균속도는 시속 40km로 운전사 없이 중앙통제시스템에 의해 자동으로 움직인다.

〈그림 Ⅱ-20〉 Masdar의 PRT 모습



시공은 Mubadala Development Company의 자회사인 ADFEC(Abu Dhabi Future Energy Company)에서 담당하고 주요자본은 아부다비시당국에서 제공하고 있다.

현재 시험운행 중인 PRT의 개요는 다음과 같다.

〈표 Ⅱ-5〉 Masdar의 PRT 개요

운영시기	2011년 5월
첨두시 용량	500인/시
운영시간	24시간 / 네트워크형 / 무정차운행
차량모델	2getthere사 2Cyber Cab(2세대)
구동방식	리튬이온축전지
운영시스템	TOMS(Total Operation Management System)
노선연장	편도 1.2km

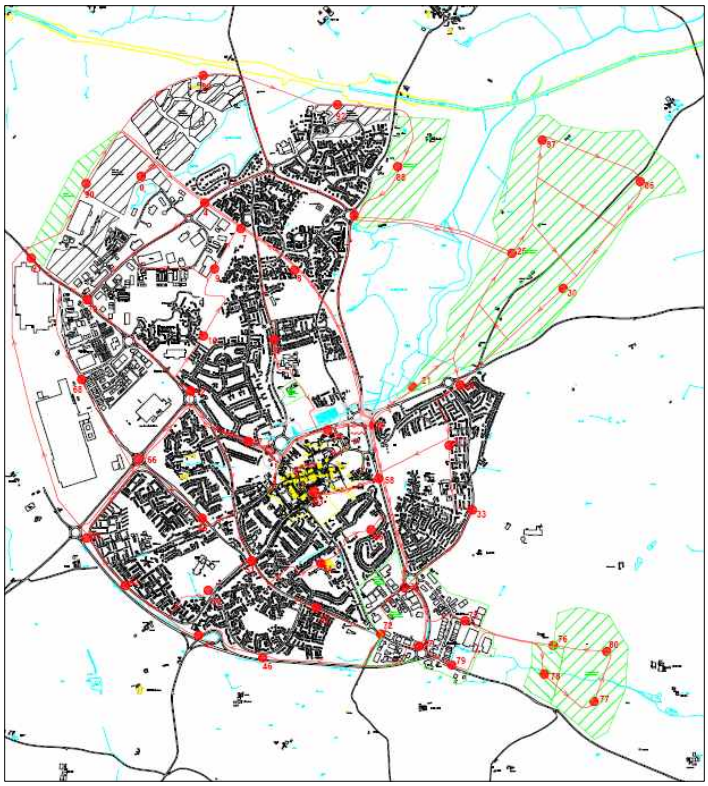
자료 : 2getthere사 홈페이지(www.new.2getthere.eu)

3) 영국 다벤트리(Daventry)

친환경 대중교통시스템을 확충하여 승용차 통행을 억제하고 지역경제 활성화를 도모하기 위해 4.8km 노선에 4개 역사, 차량 25대 투입 계획 중이며 향후 총연장 50km에 48개 역사, 차량 500대로 확충할 예정이다.

현재 타당성 조사가 완료되었으며, PRT 시범사업(Pilot Track) 입찰 준비 중으로 재원은 정부에서 조달할 예정이다.

〈그림 Ⅱ-21〉 Daventry PRT Network



자료 : Daventry and orther UK examples, Richard Crappsley(Colin Buchanan), 2008

4) 미국 West Virginia주 Morgantown

미국에서 PRT는 1960년대부터 언급되고 1970년대에 몇몇 도시에서 건설, 운영되기 시작한 대중교통수단이다. 그러나 미국에서 1970년대와 1990년대 건설된 PRT의 결함 등으로 인해 PRT가 대중에게 신뢰성 있는 교통수단으로 인식되지 못하고 있는 실정이다.

1972년 West Virginia주의 Morgantown에 PRT와 비슷한 운영특성을 가진 GRT(Group Rapid Transit)를 구축하여 현재까지 운영 중에 있다.

당초 이 시스템은 웨스트버지니아 대학 캠퍼스와 인근 주거지역을 연결하는 통학수단으로 PRT를 실현화 하고자 했다. 그러나 당시의 기술수준으로는 구현이 어려웠기 때문에 여러 차례의 설계변경을 거쳐 21인승의 GRT로 실현되었고, 이에 따라 차량과 시설의 규모가 커져 건설비용이 초기 예상의 4배나 소요되어 경제성이 떨어졌다.

모건타운의 GRT사례는 PRT가 이론적인 비용절감과 시스템 효율성을 충족시킬 수 있는지에 대해 의구심을 제공, 이후 PRT사업 반대논리로 빈번히 거론되고 있다.

이 시스템은 양 옆에 8.65마일의 가이드웨이가 있으며, 차량은 8명의 좌석과 12명 내외의 입석으로 되어 있으며, 평균속도는 14mph, 최고속도는 30mph이다.

〈그림 II-22〉 Morgantown GRT시스템 노선과 차량



4. PRT 국내·외 기술개발 현황

가. 국내 PRT관련 기술개발 현황

국내 PRT 기술인프라 현황은 다음과 같다.

첫째, 국내 고속전철 기술개발, 도시철도/경량전철 시스템기술개발, 틸팅 열차 기술개발 등의 대형 철도시스템 연구개발 사업을 통해 경험과 시스템 체계를 수립하고 있다. 다만 세밀한 시스템 개발 프로세스 적용이 필요한 상황이다.

둘째, 시스템간 인터페이스 조정관리 및 통합을 위한 절차는 확립되었으나 많은 연구 경험을 갖고 있는 연구원의 확보는 부족하다.

셋째, 시험평가 기술은 각 개별 장치에 대한 성능평가 뿐만 아니라 각 개별 장치를 종합적으로 비교 분석할 수 있는 종합 계측시스템 구성에 관한 능력으로서 한국형 고속열차, 틸팅 열차, 경량전철 등의 개발을 통하여 상당한 기술력을 축적하고 있다.

넷째, 국가 연구개발 사업의 경량전철 시스템기술개발사업, 도시철도 표준화사업, 고속철도사업 등의 하위과제로 수행한바 있어 시스템의 핵심 및 시스템 통합에 대한 기술은 확보하였으나 시스템의 신뢰성 및 안정성의 측면에서 보완이 필요하다. 즉 운영시나리오 작성으로부터 운영안전에 이르기까지 운영과 관련한 전주기적으로 방법을 정의하고 위험원을 제거하여야 하는 업무에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

다섯째, 네트워크 노선에서의 시스템 제어는 복잡도와 시스템 최적화가 요구되는 바, 현재 단순 루프형태 노선에서 중앙 집중 방식에 따른 분기/병합 개념 구현수준으로 네트워크 운행제어 기술의 실제 구현이 아닌 시뮬레이션 수준이다.

여섯째, 차량시스템기술인 차체, 주행장치, 추진장치, 기기배치 최적화, 추진제어, 경량화 및 안전성 확보측면에서 요소 및 설계기술은 기존 차량경험으로 요구사항에 따라 설계, 제작 및 평가에 필요한 내용 도출 및 적용은 가능한 수준이다.

마지막으로 컴퓨팅을 기반으로 한 IT기술 접목으로 복잡도 및 제어 알고리즘에 대한 핵심기술을 개발함으로써 세계의 선두주자로 개발할 수 있는 잠재력을 보유하고 있다.

〈표 Ⅱ-6〉 분야별 핵심기술 국내수준 분석

핵심기술	현재	'20년 목표	세계 최고수준
무인운전을 위한 안전관련 위험원 도출	자동운전 구현 및 모니터링 수준	무인운전기술 및 체계 확보 - H/W 및 S/W	무인운전기술 및 체계 수립
알고리즘설계/구현	요소기술 정립 및 구현 수준	운영기술 확보	상용화 개발중
주행장치/추진장치/차상분기 장치 기술개발	개념 정의 수준	핵심 메카니즘 및 소형 경량화한 시스템, 장치 개발	상용화 단계
시스템 성능 해석 및 강도, 내구성 평가	일반적인 차량에 대한 경험은 있으나 PRT에 대한 경험 일부 LIM방식에 국한	어떤 환경조건하의 시스템도 성능 및 내구도 평가 가능	핵심요소인자 도출 및 성능확인
급속충전 기술개발	개념 정의 수준	친환경적인 급속충전방식으로 구성하여 효율적인 충전방식 개발	초기 연구 개념정의 수준

자료 : 한국철도기술연구원 내부자료(2011)

〈표 Ⅱ-7〉 국내 기술개발 단계수준

기술명	현재 기술수준			기술개발 완료시 국내 기술수준		
	기술수준(%)	기술격차(년)	비고	기술수준(%)	기술격차(년)	비고
차량보호기술	50	3	성숙단계	100	0	경쟁단계
자동운전기술	50	3	성숙단계	100	0	경쟁단계
루트제어기술	30	4	도입단계	80	2	성숙단계
운행제어기술	30	4	도입단계	80	2	성숙단계

자료 : 한국철도기술연구원 내부자료(2011)

나. 해외 PRT관련 기술개발 현황

PRT는 1960년대부터 유럽과 미국을 중심으로 연구가 진행되어 왔으나, 신회/제어/통신 등 각종 기술의 부족으로 실용화 단계에 진입하지 못했다. 최근의 컴퓨터 등 첨단기술의 개발과 더불어 PRT에 대한 연구가 진행되어 시험선을 운행하고, 상업화프로젝트를 추진하고 있다.

기술적인 측면에서 영국이 PRT프로젝트를 국가 미래 성장동력 중 하나로 개발하여 추진함으로써 시스템 및 가이드웨이 기술에 있어서 앞서가고 있다.

해외의 PRT 시스템별로 살펴 본 현황은 다음과 같다.

〈표 Ⅱ-8〉 해외 PRT시스템별 기술개발 현황

시스템	기술개발 현황
Dashaveyor	- 팔레트를 이용한 화물이송시스템으로 역 사이를 고속으로 이동하면서 수직 상승도 가능(광산에서 이용) - Bendix사에서 인수하여 AGT시스템에 이용 - 유지보수 부족으로 인한 사고로 1994년 시스템 중단
ROMAG	- Rohr,Inc상에 의해 제작된 시스템으로 선형모터를 사용 - 자금부족으로 Boeing Vertol에 매각되었으나 더 이상의 개발은 이루어지지 않음
Alden staRRcar	- 구간별로 유인운전과 무인운전이 이루어지는 Dual mode시스템(소형, 경량화) - Morgantown의 PRT시스템으로 선정되었으나, 작은 회사규모에 대한 염려로 Boing Vertol로 대체
ULTra	- 4개의 좌석으로 500kg까지 적재 가능 - 20% 구배에서 40km/hr로 이동,배터리는 2kw의 전력공급하며 차량 총중량의 8% - 5m의 회전반경과 저소음시스템
Critical Move	- Instituto Pedro Nunes가 Cyber car를 개발, 포르투갈 Critical그룹이 인수 - 전기와 태양에너지를 함께 사용하는 Move는 가이드웨이를 사용하지 않고, 전용도로를 달리면서 레이저와 음파탐지기를 이용하여 충돌 회피
2getthere	- 차량의 병합과 주차과정에서의 동기제어를 허락 - 다수의 승차장을 보유하여 역에서 차량이 동시에 출발하도록 설계 - 차량 폭이 1.45m로 좁은 트랙을 사용할 수 있으며, 최대속도는 40km/hr
Cabin Taxi	- 독일 정부는 PRT시스템 개발을 성공적으로 종료하고 1979년 Hamburg에 적용하려 했으나 예산상의 이유로 무산 - 궤도 하부에 매달려서 주행하며, 승차는 궤도 상부에서 한다는 점이 독특 - 긴급시에는 7m제동이 가능
Cabtrack	- 영국에서 개발되었으나, 1972년 초 Cabtrack프로그램 중단
CVS	- 1968년초 일본에서 개발, 4명의 승객수송 가능한 컴퓨터제어 차량시스템 - 시장 수요부족과 비우호적인 결과들로 인해 자체적 결함을 극복 못하고 중단
PRT2000 (Taxi2000)	- 일반적으로 역은 교차로 사이에 존재, 차량속도는 48km/hr이며, 약107m의 오프라인 가이드웨이를 사용 - 객실과 궤도와의 인터페이스와 차량 추진을 위한 대차의 중요한 2가지 요소로 구성
MISTER	- 폴란드에서 개발된 지상 6m이상에서 작동하는 시스템 - 50km/hr 속도로 이동시 10m의 차량간격을 유지하면서 방향전환 가능 - 가이드웨이는 트르스트구조이며, 공기역학 고려하지 않은 차량설계가 단점
JPods	- 폴을 이용한 와이어에 차량이 매달려 이동하는 PRT시스템 - 차량의 상단부에서 와이어와 연결된 두 개의 drive bogie라는 장치(직류전동기 이용)가 차량의 추진과 방향전환을 담당
SkyCab	- 구역에 따라 비동기방식과 동기방식이 혼합된 point-synchronous 방식을 이용 - 최대 구배는 10%이며, 최소 20m의 회전반경을 가짐. 다른 PRT 시스템에 비교할 경우 SkyCab 은 대형 시스템임

자료 : 승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술 개발 보고서, 한국철도기술연구원, 2011.10.28 자료 편집

제2절 상위연구 및 관련계획

1. 상위연구 개요

가. 연구배경 및 목표

최근 국제적 이슈가 되고 있는 환경변화에 대응하기 위한 '지속 가능한 교통수단'으로서 환경친화적이고 에너지 소비가 적은 궤도수송수단의 역할이 재조명되고 있다. 또한, 도심 공간의 활용 극대화, 택시 수준의 편의성, 환경친화성을 가진 미래형 대중교통 시스템에 대한 필요성이 제기되고 있다.

기존의 철도교통수단은 개인교통수단으로서 입지가 확고한 자동차에 비해 대중교통은 접근성이 떨어지고 주로 대량수송수단인 점에서 야기되는 불편함으로 인해 활성화에 한계가 있다. 그리고 다양한 도시통행 형태 중에서 단위지역 내 많지 않은 수요가 지속적이면서 분산적인 형태를 보이는 경우, 대규모 수송수단인 기존의 도시철도나 버스로 이를 수용하기에는 비효율적이다. 그러므로 다양해진 수송수요의 처리와 친환경성, 경제성 등의 요구조건을 만족하기 위해서는 미래지향적이고 첨단화된 대중교통체계로의 전환이 필요하다.

이러한 여건에 적합하도록 맞춤형 서비스가 가능한 승객여정선택형(Journey on Demand) 대중교통수단이 요구되며, 운영의 핵심인 네트워크 운행제어 기술의 개발이 필요하다.

이에 한국철도기술연구원에서는 환경 및 적용기술들이 복잡해짐에 따라 단순한 제작 및 유지보수를 위한 차량위주의 기술보다는 시스템 측면에서 운영과 관련한 차량운행제어 및 네트워크 운행제어의 핵심 원천기술을 확보하고 운영의 신뢰성을 갖출 수 있는 체계적인 기술력 확보를 위해 '승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술개발' 연구개발과제를 수행하고 있다.

이 연구개발과제는 2009년 말부터 2011년 9월말까지 총 1년 9개월 동안 수행하고 있다.

나. 연구개발 범위 및 내용

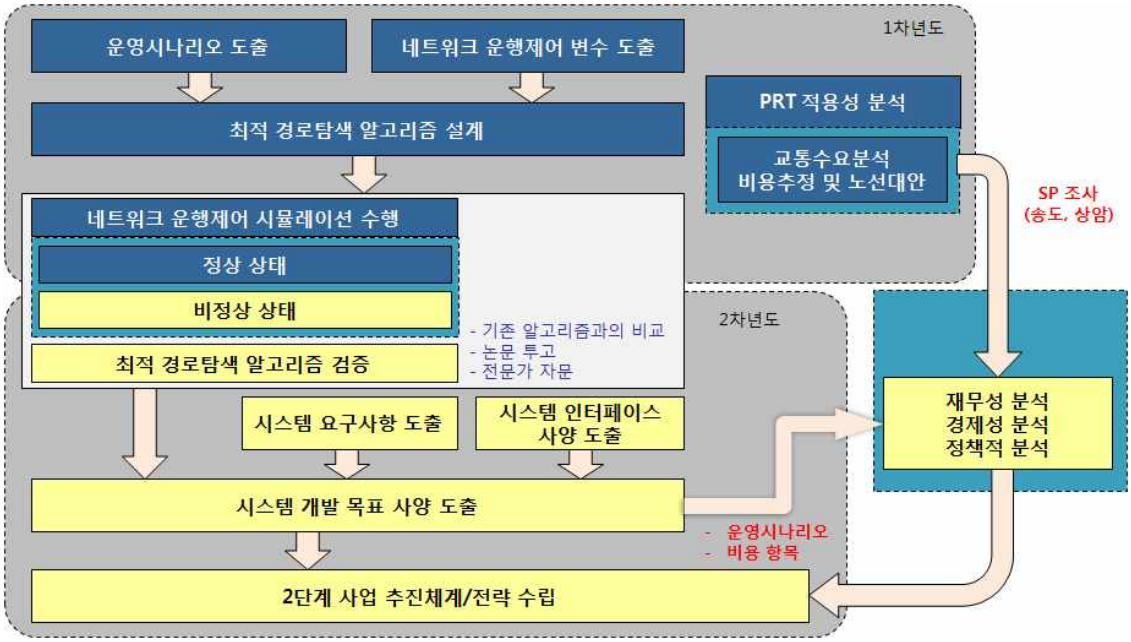
1) 연구개발 범위

한국철도기술연구원에서는 1차년도의 상위과제 연구개발 기간 동안 PRT의 운영시나리오와 네트

워크 운행제어 변수 도출을 통해 최적 경로탐색 알고리즘을 설계를 수행하였다. 또한 PRT에 대한 수요분석 방법론 개발, 비용산정 기준개발 및 도입가능지역에 분석 등 PRT 적용성 분석을 수행하였다.

2차년도에서는 네트워크 운행제어 시뮬레이션 검증, 시스템 요구사항 도출 및 인터페이스 사양(안)을 도출하여 2단계사업(시스템 구축) 기술개발에 대한 전략을 수립하는 것이다.

〈그림 Ⅱ-23〉 한국철도기술연구원의 상위과제 연구범위



자료 : PRT 운영기술개발 과제점검회의 발표자료, 한국철도기술연구원, 2011.05

2) 연구내용

한국철도기술연구원의 상위과제 연구개발 내용은 다음과 같다.

〈표 Ⅱ-9〉 한국철도기술연구원의 상위과제 연구목표 및 내용

연 차	연구 목표	연구 내용
1차년도	– 네트워크 운행제어 알고리즘 설계 및 검증	– 네트워크 운행제어 기초자료 분석 ■ 국내외 PRT 기술현황 조사 ,사업추진현황 자료 분석 ■ PRT 시스템 구성요소(차량, 전력공급, 선로구조물, 운행제어 등)의 기술적 검토 – PRT 운영 시나리오 도출 ■ 정상상태 기본 운영 시나리오 도출 – 네트워크 운행제어 알고리즘 설계 ■ 유사분야(ITS) 최적경로탐색 기술 현황 자료 분석 ■ 네트워크 운행제어레벨 계층 구조 정의 및 기능요구사항 도출
	– PRT 적용성 분석	– PRT 수요분석 방법론 개발 – PRT 비용산정 기준개발 – PRT 도입가능 지역 분석
2차년도	– 네트워크 운행제어 시뮬레이션 검증	– 네트워크 운행제어 시뮬레이터 구현 – 정상 운행 알고리즘 설계 및 구현 – 예외상황처리 알고리즘 설계 및 구현 – 최적 경로탐색 알고리즘 구현 및 검증 – PRT 운영기술 평가척도 도출 – 시뮬레이션 후처리 모듈 설계/구현 – 통계 분석 모듈 설계/구현
	– 시스템 요구사항 도출, 인터페이스 사양(안) 도출	– 차량–지상 통신 요구사항 도출 – 차량–급전 요구사항 도출 – 차량–궤도 인프라 요구사항 도출 – 하부시스템별 최상위 인터페이스 사양(안) 도출 – 차량–지상 통신 인터페이스 사양(안) 도출 – 차량–급전 인터페이스 사양(안) 도출 – 궤도–인프라 인터페이스 사양(안) 도출 – 인프라특성에 의한 정류장 용량산정
	– 2단계 사업(시스템 구축) 기술개발 전략 수립	– 기술개발과제의 최종 목표 및 범위 설정 – 연구목표 달성을 위한 세부과제(핵심 요소기술) 도출 – 중복성 검토 – 연구목표 달성을 위한 추진전략 및 추진체계 수립 – 예산소요 및 인력투입 계획 수립 – 연도별 정량적, 정성적 성과목표, 성과지표, 선정근거 도출 – 본과제 공모를 위한 RFP 도출 – 상용화를 위한 법/제도 제·개정(안) 검토

자료 : PRT 운영기술개발 과제점검회의 발표자료, 한국철도기술연구원, 2011.05

3) PRT 연구개발 시스템 목표사양

〈표 Ⅱ-10〉 한국철도기술연구원의 상위과제 시스템 개발목표사양

항	목	개발 목표사양(안)	비 고
하중 조건	최 대 승객하중	0.8 ton	0.4 ton(승객: 65kg/인 x 6인) 0.4 ton(수하물)
	공차중량	1.2 ton	
	만차중량	2.0 ton	
	최대축중	1.0 ton	
노선 조건	최급구배	15~20%	차량정상조건
	최 소 곡선반경	6m	차량한계, 축간거리, 안내조향방식 등을 종합적으로 고려하여 기본설계 단계에서 확정 예정 (자동차 5m, 속도 10km/h미만, 도로교통 건설규칙)
차량크기	차량크기	3.8 x 2.0 x 1.8m	
	축간거리	2.2m	동적 안전성 고려
	윤간거리	1m	
	운전시격	3초	(60km/h일 때, 차량간격 = 50m)
운행 조건	제어방식	비동기 제어방식	병합부 동기방식 전무
	운영모드	요구모드	
	차량운영	1량 운행 기본, 고장시 구원 운전가능	고장 차량을 견인할 수 있는 기능과 능력을 보유
	승객정원	6명	
차량성능	성능(설계) 최고속도	70 km/h	
	운행 최고속도	60 km/h	분기구간 통과 가능속도를 분석 후 확정 예정
	표정속도	30 km/h이상	
	가속도	2.5~3.0 m/s2	차량중량, 전동기용량, 노선구배, 주행저항 등을 종합적으로 고려하여 기본설계 단계에서 확정
	감속도	상용 : 2.5~3.0 m/s2 비상 : 3.0 m/s2 이상	
차량주요 사양	주행방식	고무타이어 또는 합성수지 차륜 (폴리우레탄 포함)	
	차체재질	섬유보강수지 (Fiberglass Reinforced Plastic)	
	추진방식	영구자석 동기전동기	
	제동방식	회생제동 병용 유압제동	
	분기방식	차상분기방식	

<표 Ⅱ-10>의 계속

급전사양	급전방식	배터리	급속충전
	가선 공칭전압	AC 380V	
네트워크운행제어	차량 제어방식	중앙제어시스템에 의한 집중제어	
	병합적 제어방식	동기식	
	차량제어 통신방식	무선통신방식	●선로변 무선송수신장치 간 : Wi-fi(무선랜) (철도전용주파수 확보 진행에 따라 보완) ●선로변 무선송수신장치-역(사령실) : 유선통신
	차량속도 및 통신방식	차량 속도계에 의한 속도측정 선로의 절대 위치점을 이용한 위치정보 보정방식	
선로 구축물	궤도 지지방식	과좌식(Straddle type)	
	궤도개방	차단형	차량 주행장치, 전력공급장치 구조 등을 종합적으로 고려하여 기본설계 단계에서 확정
	상부구조물 (하부구조물)	강구조물(부분적으로 콘크리트 병용)	
	정거장	강구조물(부분적으로 콘크리트 병용)	

자료 : PRT 운영기술개발 과제점검회의 발표자료, 한국철도기술연구원, 2011.05

2. PRT관련 법규

가. PRT 적용법규

현재 PRT시스템에 적용 가능한 법규로는 도시철도법과 궤도운송법이 있다. 도시철도법은 도시교통의 원활한 소통을 위하여 도시교통권역에서 건설·운영하는 철도·모노레일·노면전차·선형유도전동기·자기부상열차 등 궤도(軌道)에 의한 교통시설 및 교통수단인 도시철도에 대해 적용을 한다. 반면에 궤도운송법은 도시철도 등을 제외한 궤도에 대해 적용을 한다. 여기서 궤도란 사람이나 화물을 운송하는 데에 필요한 궤도시설과 궤도차량 및 이와 관련된 운영·지원 체계가 유기적으로 구성된 운송 체계를 말하며, 삭도(索道)를 포함한다.

그런데 PRT는 차량이나 노반형식, 동력공급 방식 등에서 매우 다양한 형태를 보이고 있고, 아직 우리나라에 도입하여 설치한 적이 없기 때문에 어느 법을 적용할 것인지에 대해 결정된 바가 없다.

또한 PRT 시스템이 일반 차량과 같은 고무바퀴나 유도전류에 의한 충전방식 등 궤도가 없는 시스템일 경우에는 이 법규들을 적용할 수 있는가에 대한 문제가 있다.

다만, 이러한 상황에서 국내 최초로 승인된 순천만 소형경전철사업에서는 도시의 일반대중 승객의 운송이 아니라 관광객의 운송이라는 특성 때문에 궤도운송법으로 추진을 하였다. 그러나 궤도운송법 등 기존 법 체계 상에는 PRT에 대한 건설 및 안전기준이 없어 국토해양부는 시설기준, 안전검사기준 등에 대해 특별건설승인을 하여 공사에 착수하였다.

사업시행방법에 있어서 도시철도법은 국토해양부 장관의 면허를 받아야 하며, 궤도운송법은 시장·군수·구청장의 허가를 받도록 하고 있다. 또한 도시철도법에서는 정부가 도시철도의 건설, 연구를 위하여 필요한 경우 소요자금의 일부 보조나 융자 등 재정적 지원을 할 수 있지만, 궤도운송법에는 이러한 정부의 지원에 대한 조항이 없다.

〈표 Ⅱ-11〉 도시철도법과 궤도운송법 비교

구 분	도시철도법	궤도운송법
적용 범위	·도시철도에 대해 적용 * 도시철도 : 도시교통의 원활한 소통을 위하여 도시교통권역에서 건설·운영하는 철도·모노레일·노면전차·선형유도전동기·자기부상열차 등 궤도에 의한 교통시설 및 교통수단	·도시철도 등을 제외한 궤도에 대해 적용 * 궤도 : 사람이나 화물을 운송하는데 필요한 궤도시설과 궤도차량 및 이와 관련된 운영·지원 체계가 유기적으로 구성된 운송체계, 삭도를 포함

본 연구에서 새로운 친환경교통수단으로서 PRT 도입검토라는 취지를 고려하여 검토를 위한 적용법규는 원칙적으로 도시철도법을 기준으로 하며, PRT에 적합하지 않는 법률적인 사항에 대해서는 보완적으로 PRT에 적합한 조건을 반영하여 검토를 하였다.

제3절 분석대상 설정

1. 분석대상 지역 선정

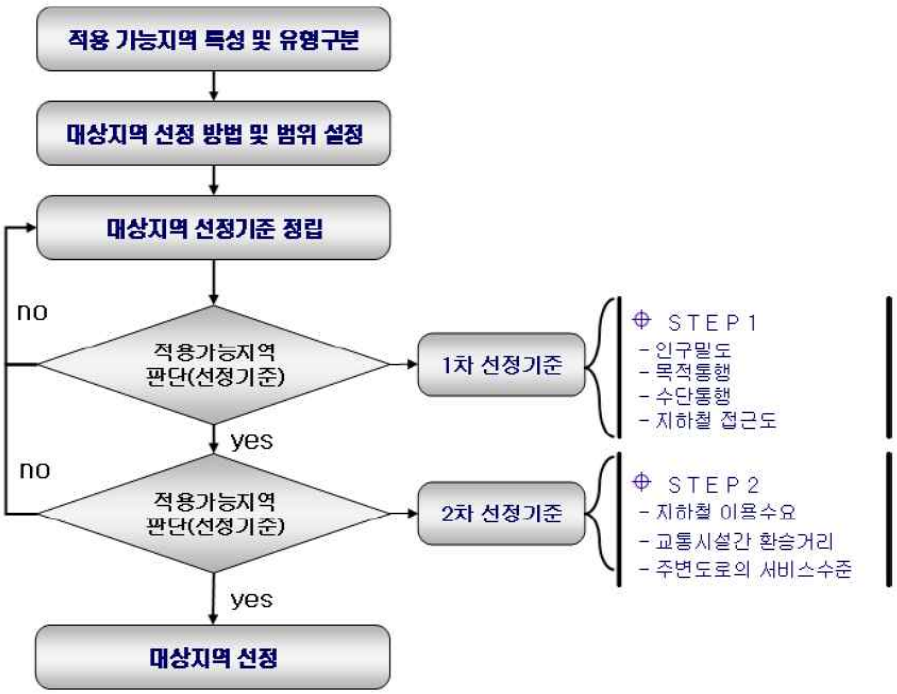
가. 선정기준

본 연구를 수행하기 위하여 선행되어야 할 것은 우선 PRT시스템을 도입하여 적용할 분석대상 지역을 선정하는 것이다.

PRT 도입대상 지역은 우선 지역내 단거리 통행을 처리할 수 있는 친환경 교통수단으로 노선의 기능 및 수단 특성을 감안하여 선정을 하여야 한다. 즉 기존 교통수단의 서비스가 큰 문제 없이 제공되고 있는 지역에서는 PRT를 도입하더라도 수요전환 효과가 상대적으로 미미할 것으로 예상되고, 또한 도로 폭이 좁거나 교통량이 많은 구도심 같은 지역에서도 차로 확보나 도시환경, 보상비 등 민원을 감안할 때 도입에 애로점이 있을 것이기 때문이다.

그러므로 PRT는 우선 버스, 전철과 같은 다른 대중교통수단과의 경쟁수단이 아닌 근접교통수단의 기능을 중심으로 하여 지역 내 접근성을 향상시킬 수 있는 지역을 중심으로 검토되어지는 것이 바람직하다. 또한 PRT 이용수요의 규모, 타 교통수단과의 관계, 노선 및 정거장 설치의 용이성 등도 반영을 하여 도입 가능지역을 선정하여야 하며, 인구밀도, 목적통행, 수단통행량 및 분담률, 버스 및 지하철 접근도에 의한 서비스 수준, 기존 대중교통수단의 활용성 및 연계성 등이 검토기준으로 고려되어져야 한다.

〈그림 II-24〉 PRT 적용가능지역 선정 흐름도



자료 : 소형궤도열차시스템의 국내 적용방안 연구, 한국철도학회 추계학술대회 발표자료, 이준·김경태·문대섭·이진선, 2006

또한, PRT 적용대상 지역 선정은 PRT가 가지고 있는 특성을 기반으로 지역특성과 적용목적에 따라 유형별로 지역을 분류하여 검토될 수 있다. 지금까지 PRT에 대한 국내외의 많은 연구에서 도입 가능 대상지역으로 도시철도 지선 기능 수행지역, 신규 교통수요 발생지역, 빈번한 단거리 통행 발생지역, 특수통행 발생지역 등을 제시하고 있다.

〈표 Ⅱ-12〉 PRT 적용의 유형별 특성

유 형	특 성
A	대규모 교통시설간 연계가 필요한 지역으로 철도역과 버스터미널, 지하철역과 공항터미널 등 교통시설이 밀집지역에서 교통시설간 효율적인 연계가 필요한 유형
B	근거리 지하철 연계를 위한 접근교통수단으로써의 지선교통체계 역할
C	주거지와 쇼핑유발지역 연계 및 대규모 쇼핑유발지역의 단거리 통행하는 승용차 유입이 상대적으로 많은 지역으로 대중교통의 관점에서 차량 밀도를 낮추고 수송력을 증강시킬 수 있는 지역
D	중심업무지역으로서 업무지역내의 일정 범위안에서 출·퇴근 피크시간에 교통수단을 분산시키고 업무지역간 연계가 필요한 지역
E	관광지 등 위락시설의 이용자와 위락시설간 연계가 필요한 지역

자료 : 소형궤도차량(PRT)의 국내 적용시 정책적 검토사항 연구, 한국철도학회논문집 제12권 제4호, 2009

나. 선정 과정

상위연구를 수행하고 있는 한국철도기술연구원은 PRT도입 추진이 검토되었던 23개 지역을 대상으로 분석대상지역을 선정하였다. 23개 지역은 아래 표와 같다.

〈표 Ⅱ-13〉 국내 PRT 도입 검토지역

구분	지역특성	운행형태	추진현황	제안방식
순천만 정원박람회	관광단지	· 단순 Shuttle(초경량전철성격)	진행중	Vectus 제안
여수세계 박람회	관광단지간 연계교통	· 여수박람회장 주요 거점 운행	추진보류 (제반여건 및 시스템 검증 부족)	Skycar 제안
국립과천 과학관	관광단지간 연계교통	· 서울랜드 및 서울대공원 지역 순환교통수단	추진보류 (타당성 및 예산확보 미비)	해당기관 요청
설악산	설악산 매표소 ~ 주차장간 연계교통수단	· 단순 Shuttle	추진보류 (제반여건 및 시스템 검증 부족)	강원도청
인천영종도 운북지구	운북복합 레저단지내 순환교통수단	· 레저단지내 주요 지점 연계 운행	추진보류 (시스템 검증 미비)	Lippo 인천개발(주) 제안
평창동계 올림픽지역	올림픽개최지 순환 및 연계 교통수단	· 지역내 주요지점 연계 운행	추진보류 (개최지 선정 및 시스템 검증 미비)	KRRI 및 강원도청 제안
강릉시	계획도시 (녹색도시)	· 지역내 주요 거점 운행	추진중 (예산 등 해결방안 강구중)	강릉시
남이섬	관광단지	· 선착장-남이섬 이동교통수단 및 남이섬 순환교통수단	추진보류	Vectus 제안
상암DMC	상암동 내 기업단지	· 12개 역사 9km의 격자형 노선으로 6호선 월드컵경기장역 및 수색역, 경의선 수색역과의 연계교통수단	추진보류	
동탄	동탄 2기 신 도 시	· 동탄신도시내 순환교통수단	추진보류	동탄시 (LH공사)
청라	청라지구 경제자유구역	· 청라역-시티타원 연계교통수단	추진보류	청라지구 (LH공사)
성내아산	아산병원	· 성내역-아산병원 연계교통수단	추진보류	아산병원

<표 II-13>의 계속

구분	지역특성	운행형태	추진현황	제안방식
위례	위 례 신도시	· 주거공간, 역, 학교 등을 연결하는 내부 순환노선(10km)	추진보류	LH공사
용산-노들섬 -노량진	한강주변	· 용산-노들섬-노량진 구간 교통수단	추진보류	Vectus 제안
송도	송 도 신도시	· 신도시내 교통수단	추진보류	인천시
화성	화성 유니버셜 스튜디오	· 테마파크 내 관광용 교통수단	추진보류	화성시
인 천 국제공항	인천 비지니스센타	· IBC 단지 내 순환 교통수단	추진보류	인천공항
	공항내 이동교통수단	· 공항철도-출입국터미널	추진중	
제주도(공항 일대)	송 도 신도시	· 제주공항-여객터미널-제주시내	사전타당성 검토중	제주시
동부간선	중랑천주변	· 동부간선도로변 간선 교통수단		KRRI
의왕특구	철도특구	· 의왕철도특구 순환 교통수단	추진중	의왕시
강남	기존도심 (도시철도 연계교통수단)	· 도시철도(2,3,7,9호선)간 연계		
여의도 -용산	여의도-용산간 연계교통수단	· 주요 지점간 교통수단 · 용산복합환승센터의 연계교통수단	검토중	서영 Eng
무 주 기업도시	관광레저형 기업도시	· 기업도시내 신교통수단	추진보류	무주군

자료 : PRT도입 현황분석, 한국철도기술연구원 내부자료, 2011.01.20

한국철도기술연구원은 PRT시스템의 경우 초기 도입단계이기 때문에 기존 이동성 및 혼잡완화를 위한 교통수단의 기능을 가지기 보다는 특수한 목적을 지닌 지역 내 통행 또는 특정 지점간 연계교통수단으로서의 기능을 가지는 것으로 파악하였다. 이러한 PRT의 기능을 감안하여 23개 PRT 도입 검토지역이 첫째, 관광(레저) 단지 또는 소규모 지역내 순환교통, 둘째, 도시개발과정에서의 대중교통중심 또는 녹색도시 등 특수한 목적을 가진 도입계획과정에서 도입, 셋째, 주요 거점지역간 연계교통수단으로서의 기능 등 3가지의 특성을 가지고 있다고 보았다.

이와 같은 사항을 바탕으로 한국철도기술연구원에서는 상기 대상지역을 다음과 같이 분류하였다.

첫째, 관광(레저) 단지 또는 소규모 지역 내 순환교통지역으로 국내에서는 순천만 정원박람회, 여수세계박람회, 국립과천 과학관, 설악산, 평창동계올림픽지역, 남이섬, 서울성내아산, 화성 유니버셜 스튜디오, 인천국제공항 등이 있고, 국외에는 히드로 공항(영국), Kvarnholmen(스웨덴),

Uppsala(스웨덴), 산호세(미국), 가를로스(브라질) 등이다.

둘째, 도시개발과정에서 대중교통중심 또는 녹색도시 등 특수한 목적을 가진 도시계획과정에서 도입지역으로 국내에서는 인천영종도 운북지구, 강릉시, 무주 기업도시, 상암DMC, 동탄, 청라, 위례, 송도 등이 있고, 국외에는 마스다르(UAE)가 대표적이다.

마지막으로 주요 거점지역간 연계교통수단으로서의 기능을 위한 지역으로서, 국내에는 용산-노들섬-노량진, 여의도-용산, 제주도(공항일대), 동부간선 등이 있으며, 국외에서는 아멜로(네덜란드), 이타카(미국) 등이 있다.

한국철도기술연구원에서는 PRT 도입을 위하여 적용가능한 지역의 고유한 특성을 파악하여야 하며, PRT적용 가능지역 선정에 대한 3가지 유형을 다음과 같이 제시하고 있다.

첫째, 신도시에서의 보조교통수단을 담당하는 지역

둘째, 도심재생지역에서의 보조교통수단을 담당하는 지역

셋째, 대중교통의 연계수단을 담당하는 지역

이러한 PRT 적용 가능지역 선정에 대한 유형과 23개 추진검토지역을 감안하여 한국철도기술연구원에서 도심지 유형으로 상암DMC, 관광/유원지 유형으로 과천 서울대공원, 신도시 유형으로 송도신도시를 분석대상 지역으로 선정하였다. 신도시 유형의 경우 교통수요 추정 등 분석을 위한 적합한 자료 확보의 어려움으로 송도신도시를 유사지역으로 하여 선정한 것이다.

이후 협의과정에서 과천 서울대공원은 본 연구의 취지를 감안하여 대중교통적인 성격이 미흡하다고 판단하여 제외하고, 최종적으로 송도신도시와 상암DMC 2곳을 선정하여 SP조사를 수행한 후 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 한국철도기술연구원에서 23개 추진검토지역 중 PRT 도입에 있어서 가장 적합하다고 판단하여 선정, 제시한 송도신도시와 상암DMC를 대상지역으로 하여 경제성 평가를 실시한다.

2. 선정지역 현황

가. 송도신도시(인천경제자유구역)

인천의 공유수면을 매립해 만든 572만㎡ 부지에 개발 중인 송도국제업무단지는 서울에서 약

64km, 인천국제공항에서 9km 거리에 위치하고 있다. 게일 인터내셔널과 포스코건설이 함께 개발하는 송도국제업무지구는 계획도시로서 2020년까지 3단계에 걸쳐 단계적으로 사업이 진행 중이며 현재는 2단계로 경제자유구역 개발 및 운영정착단계로 2014년까지 마무리될 예정이다.

〈그림 Ⅱ-25〉 송도신도시 현황도



1) 송도신도시 주요현황

송도신도시는 9개의 지구단위계획 계획되어 있으며 그 중 주요단위 지구는 6개 지구로 국제업무지구, 시가지조성 어민생활 대책단지, 국제화 복합단지, 첨단산업클러스터, 지식정보산업단지, 바이오단지지구가 계획되어 있다.

또한 주요 지구를 연계하는 도로망은 격자형으로 구축되어 있으며 각 도로는 왕복 4차로 이상으로 계획, 주요 도로는 왕복6~8차로 및 중앙분리대 또는 안전지대를 설치하여 교통량 증가로 인한 도로확장, 신교통 시스템 도입이 가능하도록 구성되어 있다.

〈그림 Ⅱ-26〉 송도신도시 지구단위계획도



○ 국제업무지구

경제자유구역으로 계획되어 동북아트레이드타워(업무시설, 호텔) 및 송도컨벤시아(전시장, 회의실)등 무역활동을 위한 지구로써 송도신도시 좌측에 위치하고 있으며 계획된 개발면적 중 현재 50%가 개발 완료 및 착공 중에 있다. 주변도로는 왕복6차로 이상으로 중앙분리대 및 안전지대가 설치되어 있다.

○ 시가지조성 어민생활 대책단지

주거지역 및 상업시설로 송도신도시 중앙부에 위치하고 있으며, 아파트, 공원, 공공청사(해양경찰청)등이 조성되어 있으며, 상업업무시설은 건축 중이다. 주변도로는 왕복 4차로 이상으로 중앙 안전지대가 설치되어 있다.

○ 국제화 복합단지

교육, 체육 및 복합문화시설로 국제화 복합단지 좌측으로 인천지하철 1호선 연장선이(캠퍼스타

운 정거장) 계획되어 있으며, 연세대학교 국제캠퍼스가 위치하고 있다. 주변도로는 왕복 4차로 이상으로 중앙 안전지대가 설치되어 있다.

○ 첨단산업클러스터

국내대학의 연구기관, 산학연구기관 등이 유치되어질 지구로 송도신도시 우측에 위치하고 있으며, 포스코 글로벌 R&D센터, 송도글로벌대학캠퍼스(일부개교) 등이 건설되어 있다. 또한 부지 중앙으로 인천지하철 1호선 연장선(테크노파크 정거장)이 계획되어 있다. 주변도로는 왕복 6차로 이상으로 중앙 안전지대가 설치되어 있다.

○ 지식정보 산업단지

기업체 및 연구소 부지로 송도신도시 중앙부에 위치하고 있으며, 송도테크노파크, 기업연구소, 산업로봇연구 및 생산, 인천경제자유구역청 등 현재 다수의 기업이 입주하고 있다. 주변도로는 왕복 6~8차로 이상으로 중앙 분리대 또는 안전지대가 설치되어 있다.

○ 바이오단지

바이오단지는 송도신도시 중앙하부에 위치하고 있으며 단지 하부에 인천대학교가 이전되어 위치하고 소수의 기업은 단지외각부에 입주되었다. 또한 바이오 단지와 인접하여 잭니콜라우스 골프장이 위치하고 있으며 주변도로는 왕복 6차로 이며 중앙 안전지대가 설치되어 있다.

2) 주요교차로 현황

각 지구를 연계하는 주요 교차로는 총 5개소로 다음과 같다.

❶ : 달빛공원 교차로 (시가지조성단지 ~ 국제화 복합단지 연계도로)

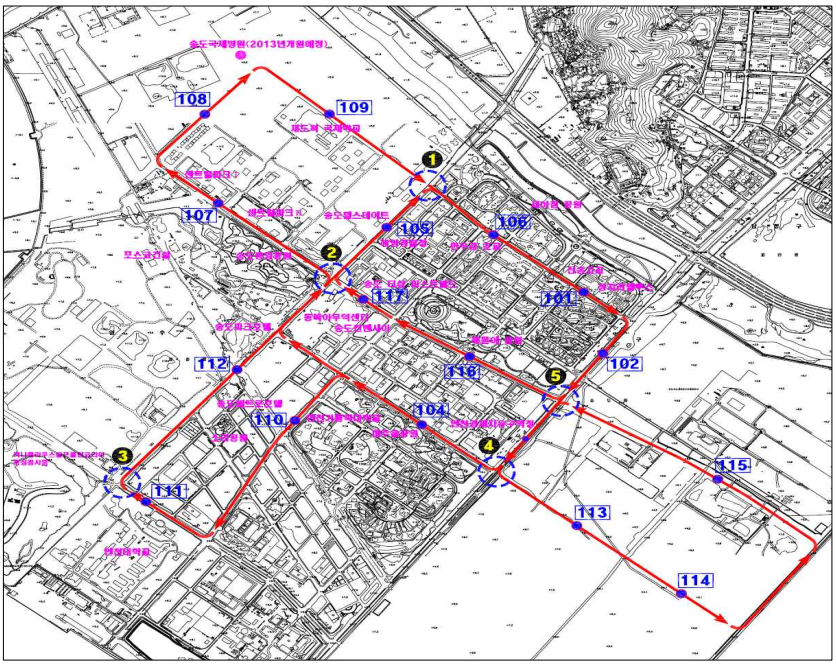
❷ : 송도중앙공원 교차로(바이오단지 ~ 첨단산업단지 연계도로)

❸ : 인천대학교 교차로(골프장 ~ 인천대학교 연계도로)

❹ : 인천자유무역청 교차로(첨단산업단지 내부도로)

❺ : 해돋이공원 교차로(첨단산업단지 내부도로)

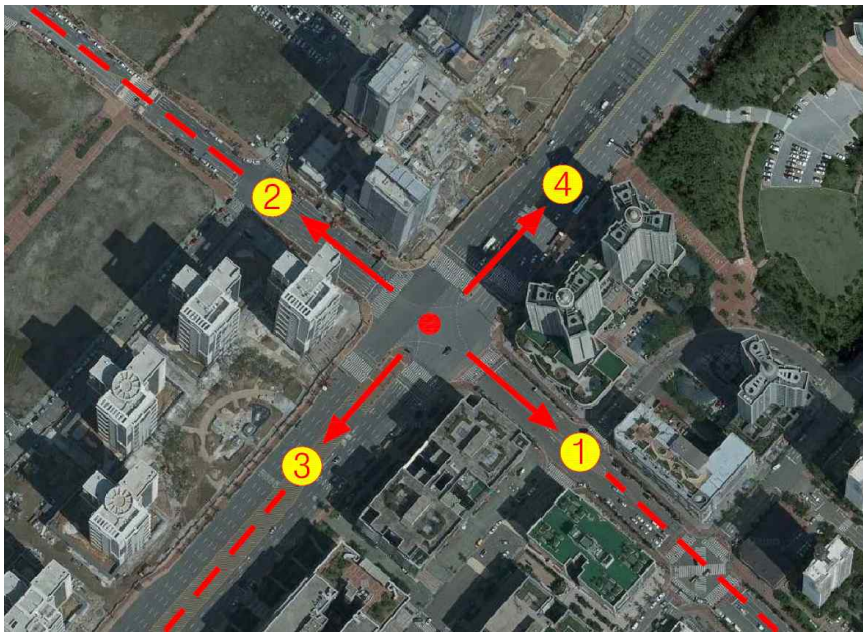
〈그림 Ⅱ-27〉 송도신도시 주요교차로 현황



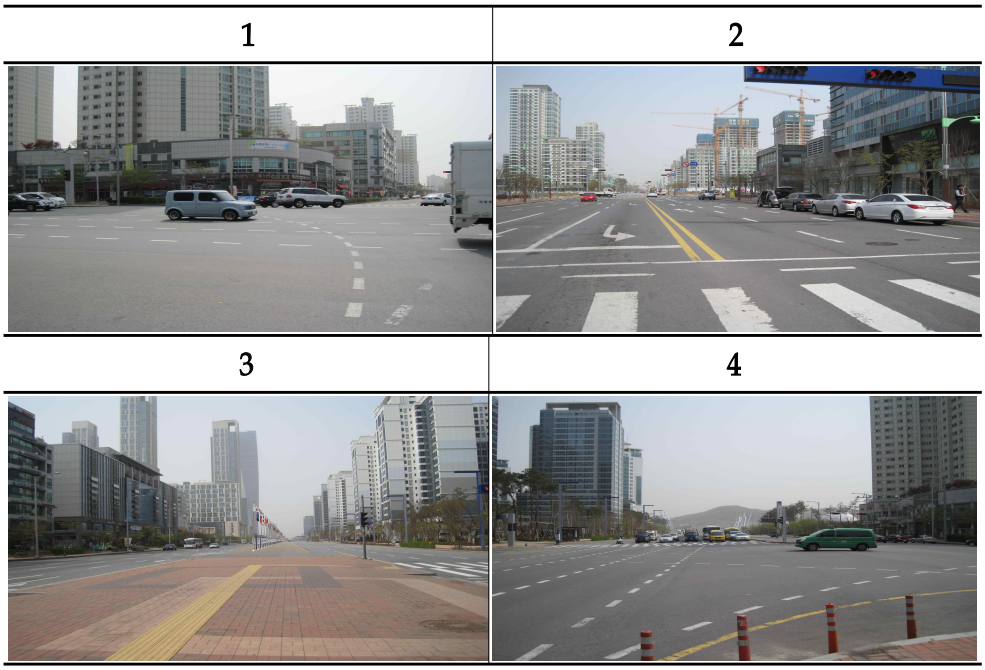
❶ : 달빛공원 교차로

왕복 8차선 도로로써 일부 구간은 중앙분리대가 설치되어 있다. 주요 현황은 달빛공원 및 주거용 아파트 단지에 근접한 교차로로서 도로양측으로 모든 방향 4m가량의 보도가 있으며 교차로 중앙에도 보도가 설치되어있다.

〈그림 Ⅱ-28〉 달빛공원 교차로 현황



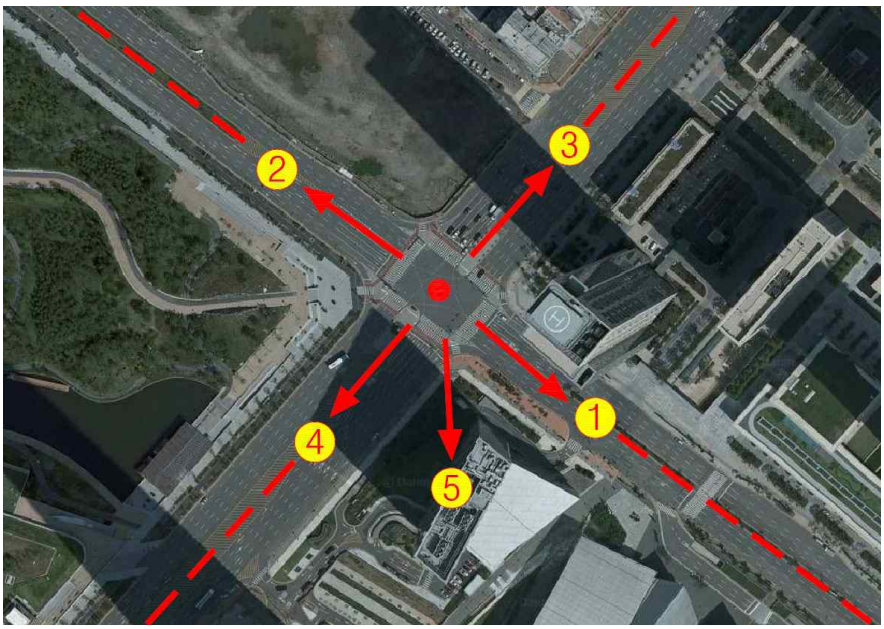
〈그림 Ⅱ-29〉 달빛공원 교차로 전경



❷ : 송도중앙공원 교차로

왕복 8차선 도로로서 일부 중앙분리대 및 안전지대가 설치되어 있다. 주요시설물로 송도 컨벤시아, 동북아 트레이드타워가 위치한 교차로로서 전 방향 모두 도로양측으로 4~20m의 조경시설물과 보도가 설치되어있으며 중앙횡단부에도 보도가 설치되어 있다.

〈그림 Ⅱ-30〉 송도중앙공원 교차로 현황



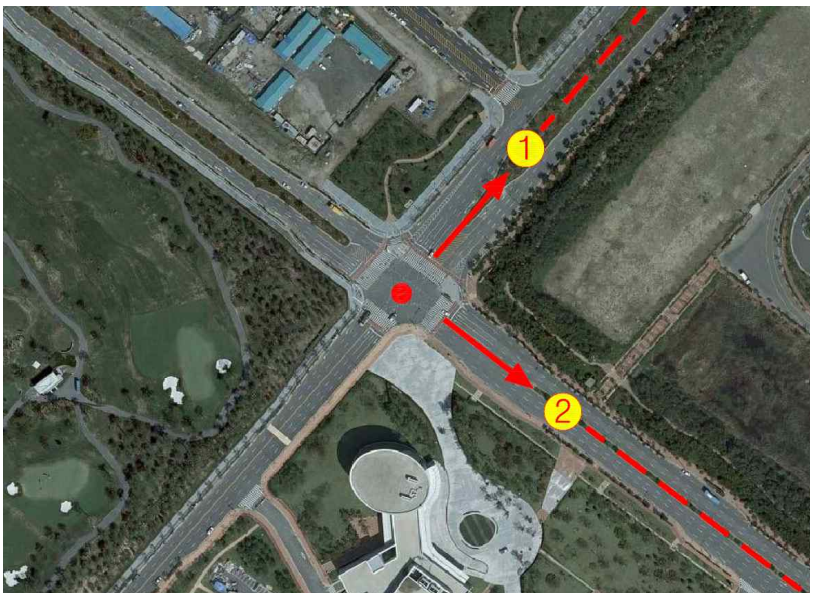
〈그림 Ⅱ-31〉 송도중앙공원 교차로 전경



❸ : 인천대학교 교차로

왕복 6, 7차선 도로로서 일부 중앙분리대 및 안전지대 설치되어 있다. 주요시설물로 인천대학교가 있으며, 현재 공공용지 및 상업용지로 개발 중인 지역에 위치한 교차로이다. PRT 노선방향(1, 2번) 도로양측으로 10미터 가량의 보도와 조경식재가 설치되어 있다.

〈그림 Ⅱ-32〉 인천대학교 교차로 현황



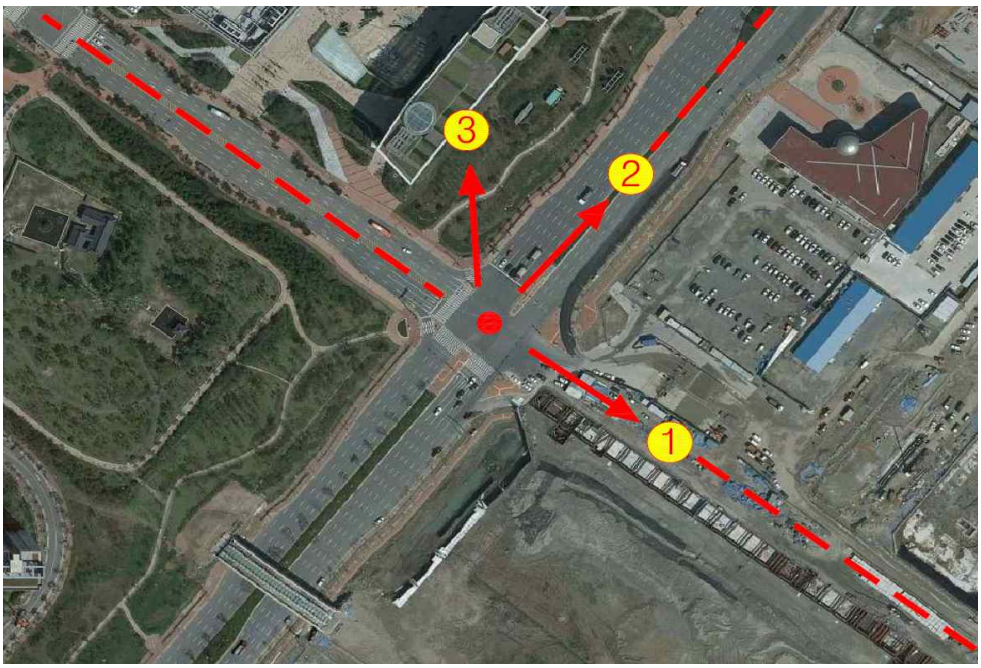
〈그림 Ⅱ-33〉 인천대학교 교차로 전경

1	2
	

❹ : 인천자유무역청 교차로

왕복 8차선 도로. 일부 중앙분리대 및 안전지대 설치되어 있다. 주요시설물로 송도테크노파크가 있으며, 인천1호선 테크노파크가 위치한 교차로로서 노선방향 도로 양측으로 4~15m가량의 보도가 설치되어 있다.

〈그림 Ⅱ-34〉 인천경제자유구역청 교차로 현황



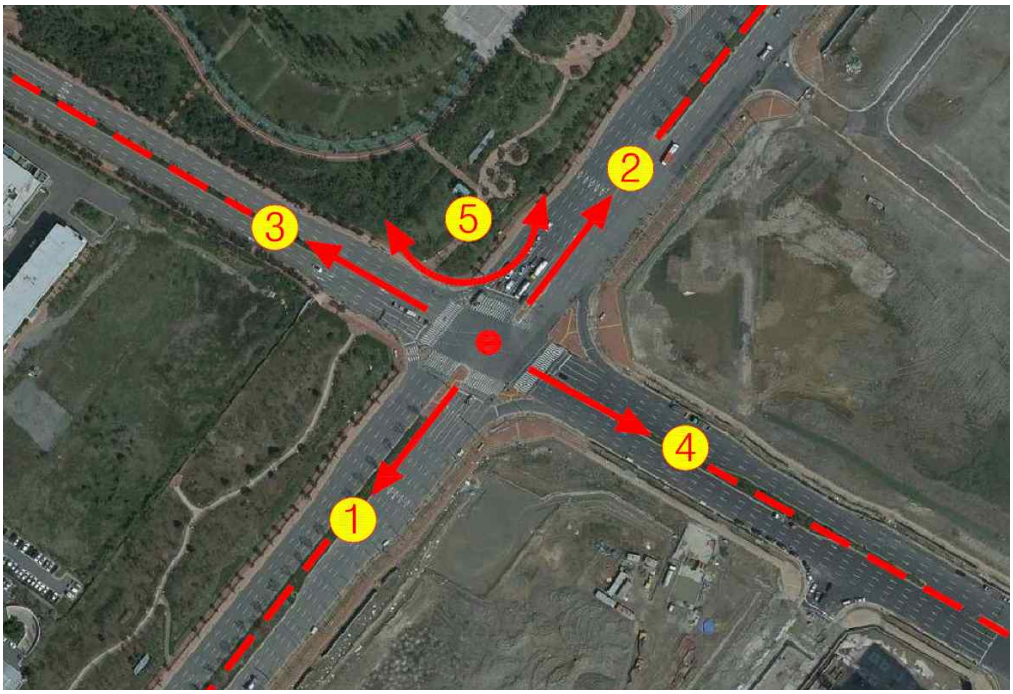
〈그림 Ⅱ-35〉 인천경제자유구역청 교차로 전경

1	2	3
		

❺ : 해돋이공원 교차로

왕복 8차선 도로. 중앙분리대 및 안전지대 설치되어 있으며 주요시설물로 해돋이공원과 연세대학교 국제캠퍼스가 근접하여 있다. 또한 인천1호선 테크노파크역과 캠퍼스타운역 사이에 위치하며 전 방향 모두 도로양측으로 4~20m 가량의 보도와 조경시설물이 설치되어 있고 일부 자전거도로가 있다.

〈그림 Ⅱ-36〉 해돋이공원 교차로 현황



〈그림 Ⅱ-37〉 해돋이공원 교차로 전경

1



2



3



4



5



나. 상암DMC

서울시 서북쪽에 위치하고 있는 상암동에 서울시가 2015년 완공을 목표로 디지털미디어시티(DMC)를 상암지구와 디지털미디어정거장(구 수색정거장) 사이의 택지에 약 17만2천평 규모로 개발하는 지역으로 현재 공사 중이다.

또한 상암택지개발지구는 개발이 완료된 대규모 아파트단지로 현재 거주민의 생활공간으로 이용되고 있으며 월드컵 경기장은 축구경기, 문화공연장 등으로 이용 중이다.

〈그림 Ⅱ-38〉 상암DMC 현황도



1) 상암DMC 주요현황

상암DMC 지역은 DMC지구, 상암택지개발지구(주거지구), 월드컵경기장지구로 총3개의 지구로 구분되어진다.(현재 상암택지개발지구(주거지구) 및 월드컵경기장지구는 개발이 완료되었으며, DMC지구는 공사 중임.)

또한 택지개발지구, 상암DMC 및 월드컵경기장 외곽을 순환하는 도로는 왕복 6~10차로이며, 난지하늘공원과 인접한 도로는 중앙안전지대가 설치되어 있다.

<그림 Ⅱ-39> 상암DMC 지구단위계획도



○ 상암DMC지구

문화 엔터테인먼트 산업분야의 육성을 위한 지구로 MBC, KBS, SBS 공중파 3개사의 미디어센터가 건립 및 운영(KBS)중에 있으며 수색역(경의선), 디지털미디어시티(공항철도), 디지털미디어시티(6호선)이 근접해 있다.

주변도로는 대부분 6~10차로 도로로 구성되어져 있으며 보도는 4~7m로 장래 교통량 증가에 따른 도로확장이 용이하도록 설치되어있다.

또한 도로인근 상업건물은 10층 이상의 고층으로 이루어져 있으며, DMC지구 건너편은 주거밀집 지역으로 15층 이상의 고층아파트가 건설되어 있다.

○ 상암택지개발지구

주거밀집지역으로 크게 상암월드컵파크단지 및 연립주택단지로 구별되어 있으며 상암월드컵단지는 8단지로 건설되어 있다.

단지별 아파트는 6~17개동으로 구성되어 있으며 15층~26층의 고층구조물로 건설되어 약5,000세대가 상주하는 대단위 주택단지이다.

상암월드컵파크단지 건너편에는 대규모의 노을공원, 월드컵공원 및 하늘공원이 있어 공원을 이용하는 지역주민 및 타지역의 유동인구가 많은 곳이다.

단지주변도로는 왕복 8차로 도로, 중앙안전지대가 및 5m이상의 보도로 설치되어 있다.

○ 월드컵경기장지구

대형 마트 및 마포농수산물시장과 같이 편의시설을 이루고 있는 지역으로 지하철6호선 월드컵경기장과 인접하고 있다. 인근에 지방2급 하천인 불광천이 흐르고 있으며, 천변으로는 자전거도로 및 산책로로 구성되어 있다.

상암월드컵경기장과 월드컵기념광장의 연결로는 보행인의 편의 및 조형미를 위한 대규모 육교가 도로를 횡단하고 있다.

월드컵경기장 앞 도로는 왕복10차로 건설되어 있으며 보도 및 자전거도로는 6m폭으로 구성되어 있다.

2) 주요교차로 현황

상암DMC지구 내부를 연계하는 주요교차로는 총 6개소로 다음과 같다.

❶ : 서울월트컵 경기장앞 도로

❷ : 상암월드컵파크 3단지 교차로(난지 하늘공원 앞)

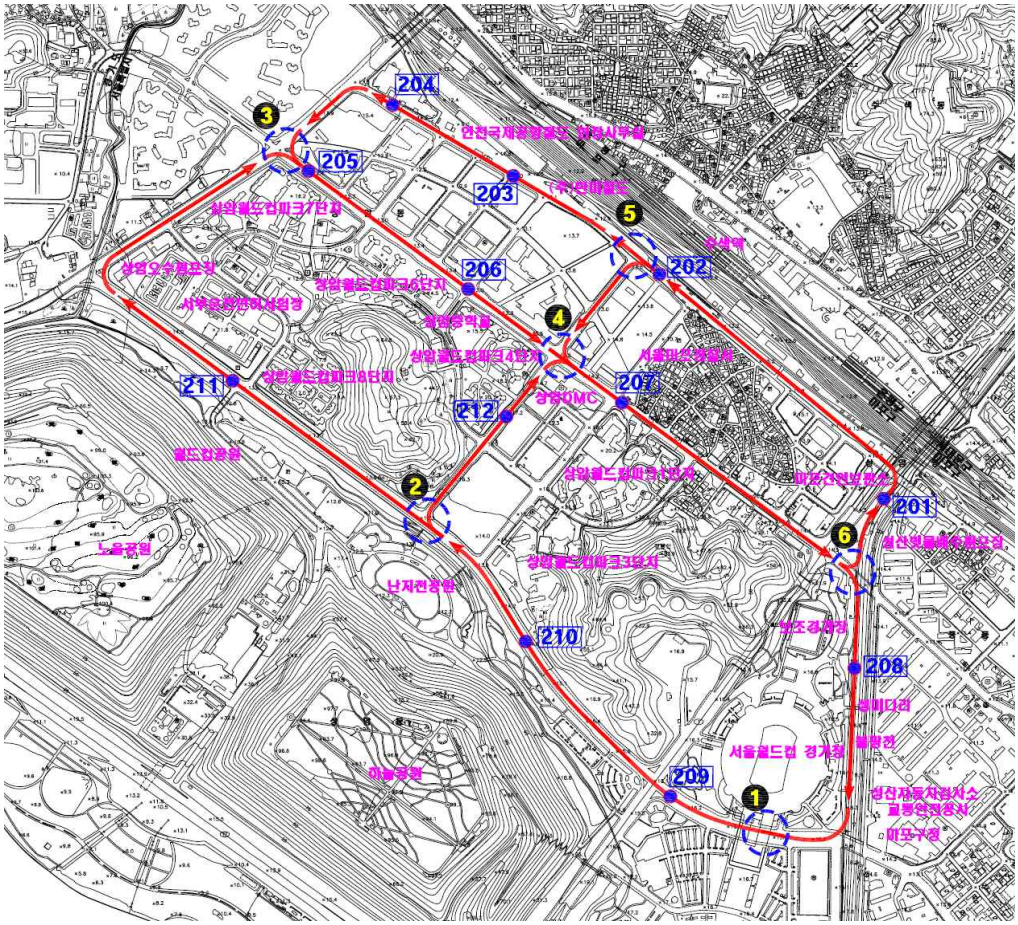
❸ : 상암월드컵파크 7단지 교차로(7단지 ~ 서울일본인학교 연계도로)

❹ : 디지털 미디어시티 교차로(미디어시티 ~ 4단지 연계도로)

❺ : 수색정거장 앞 교차로(수색역 ~ 미디어시티 연계도로)

❻ : 중암교 교차로(서울월드컵 보조경기장 ~중동교 연계도로)

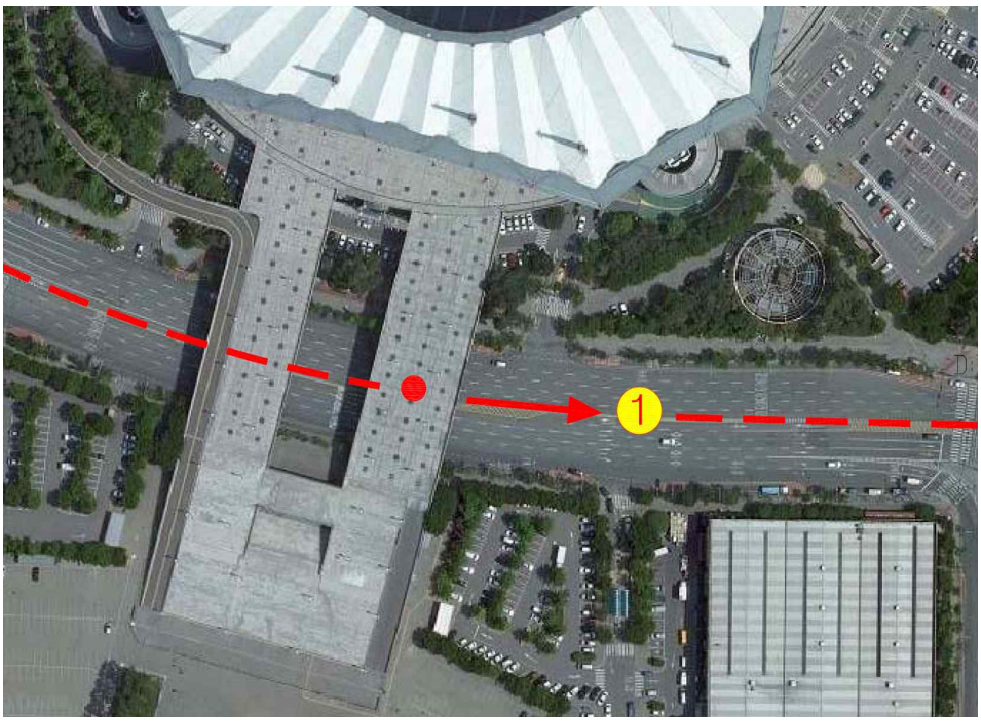
〈그림 Ⅱ-40〉 상암DMC 주요교차로 위치도



❶ : 서울월드컵 경기장앞 도로

왕복 10차선 도로, 중앙분리대 없으며 주요시설물로 상암월드컵 경기장이 있다. 월드컵 기념광장과 연결된 보도육교가 도로를 횡단하며 도로양측으로 4~5m가량의 보도와 조경식재가 설치되어 있다.

〈그림 Ⅱ-41〉 서울월드컵 경기장 앞 교차로 현황



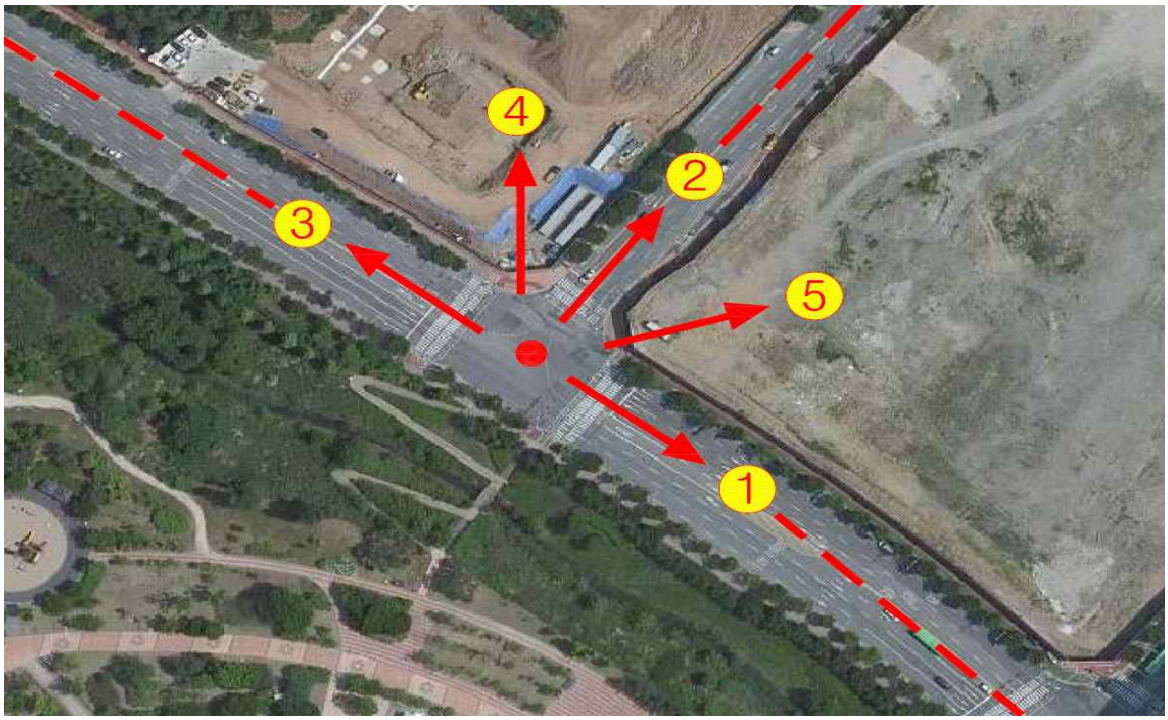
〈그림 Ⅱ-42〉 서울월드컵경기장 앞 교차로 전경

1


❷ : 상암월드컵파크 3단지 교차로(난지 하늘공원 앞)

왕복 4, 6차선으로 이루어졌고. 중앙분리대 및 안전지대 없다. 주요시설물로 하늘공원과 상암월드컵파크 3단지가 근접해 있으며 노선방향 모두 도로양측으로 4~5m 가량의 보도 및 조경식재가 설치되어 있다.

〈그림 Ⅱ-43〉 상암월드컵파크 3단지 교차로 현황



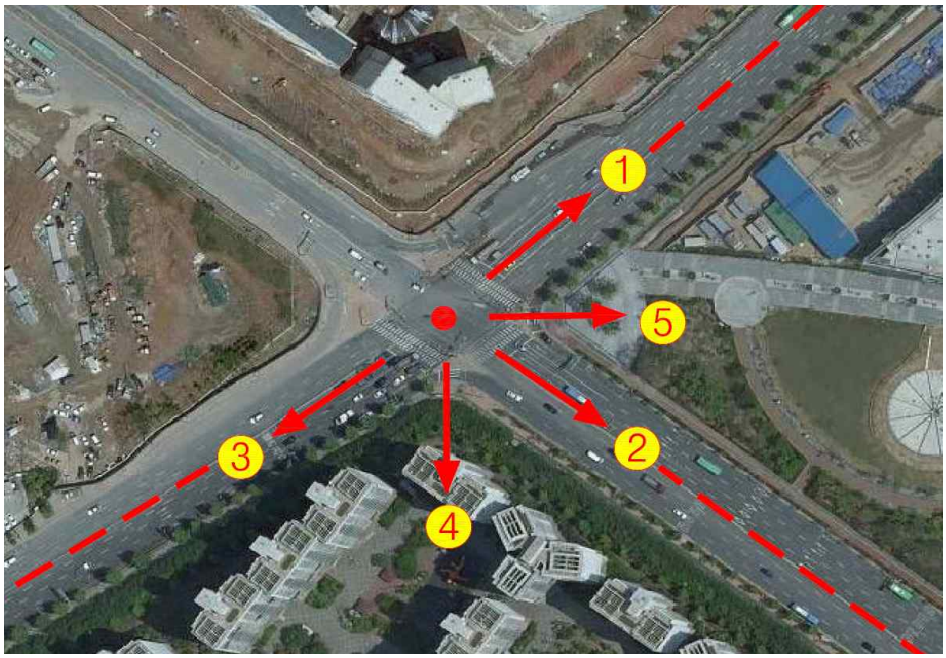
〈그림 Ⅱ-44〉 상암월드컵파크 3단지 전경

1	2	3
		
4	**5**	
		

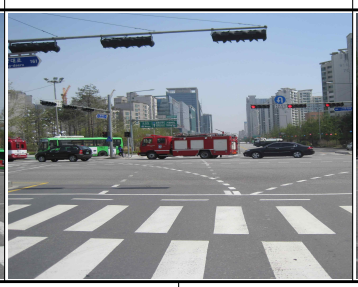
❸ : 월드컵파크 7단지 교차로(7단지 ~ 서울일본인학교 연계도로)

왕복 8차선으로 이루어졌고. 중앙분리대 및 안전지대 없다. 주요시설물로 월드컵파크 7단지와 서울일본인학교가 근접해있으며 노선방향 모두 도로양측으로 4~10m 가량의 보도와 조경시설물이 설치되어 있다.

〈그림 Ⅱ-45〉 월드컵파크 7단지 교차로 현황



〈그림 Ⅱ-46〉 월드컵파크 7단지 교차로 전경

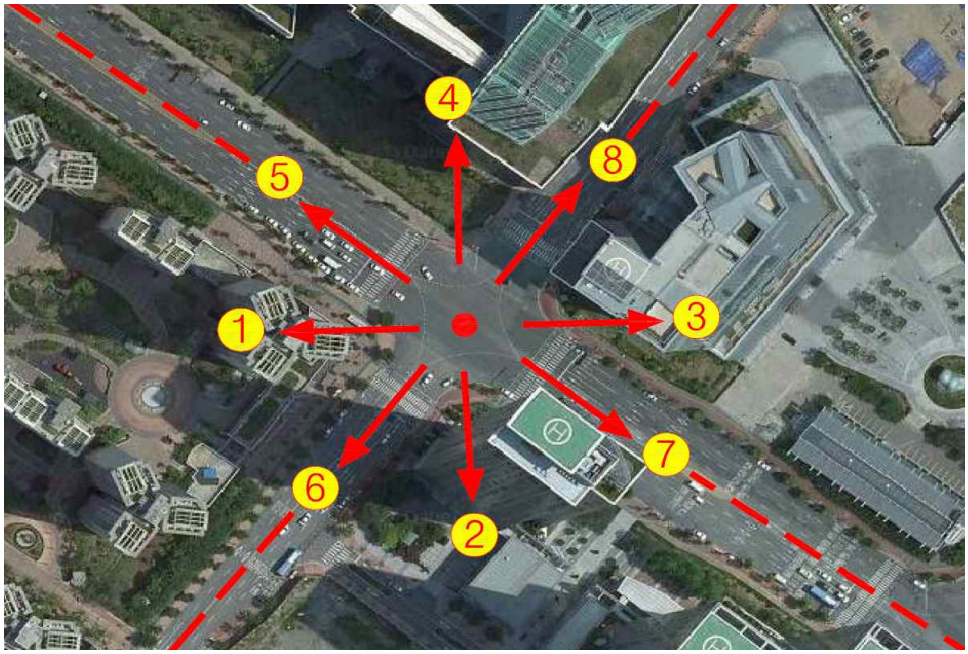
1	2	3
		
4	5	
		

❹ : 디지털 미디어시티 교차로(미디어시티 ~ 4단지 연계도로)

디지털 미디어시티 교차로. 왕복 8차선으로 이루어졌고. 중앙분리대 및 안전지대 없으며 주요시설물로 수색역과 상암월드컵파크 4단지가 근접하고 있다.

노선 4방향 모두 도로양측으로 4~5m 가량의 보도와 조경식재가 설치되어 있다.

〈그림 Ⅱ-47〉 디지털 미디어시티 교차로 현황



〈그림 Ⅱ-48〉 디지털 미디어시티 교차로 전경

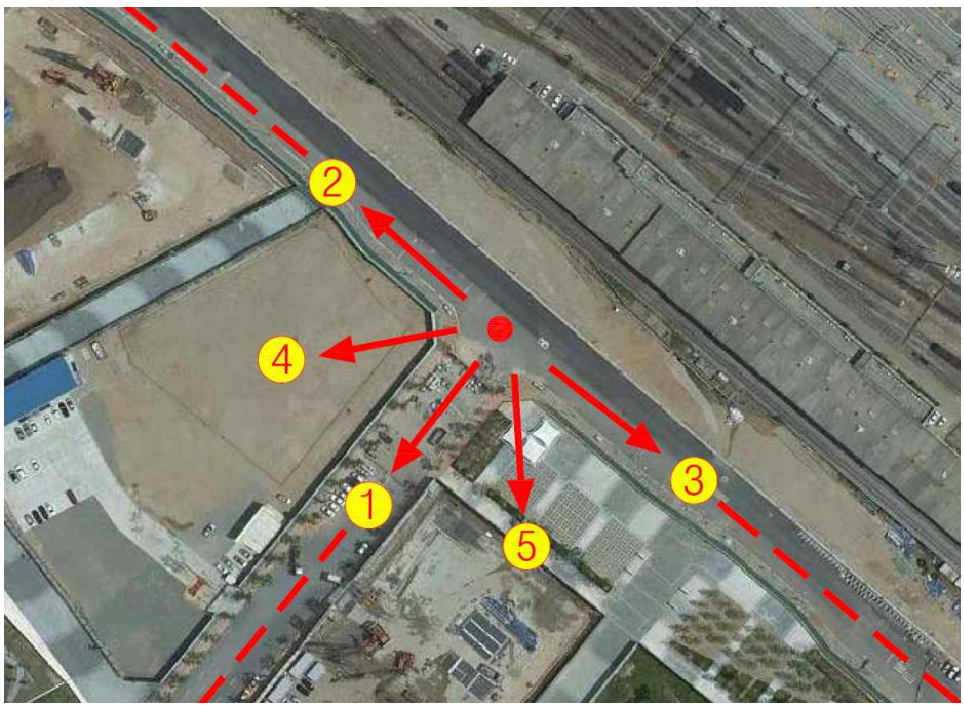
1	2
	
3	4
	

5	6
	
7	8
	

❺ : 수색정거장 앞 교차로(수색역 ~ 미디어시티 연계도로)

현재 수색역 앞 도로확장 공사 중이며 중앙분리대 및 안전지대가 없다. 주요시설물로 공항철도 디지털미디어시티역이 근접해있으며 MBC, SBS 방송국 공사 중에 있으며 도로공사중인 구간을 제외하고 도로 양측으로 모두 4~5m가량의 보도가 설치되어 있다.

〈그림 Ⅱ-49〉 수색정거장 앞 교차로 현황



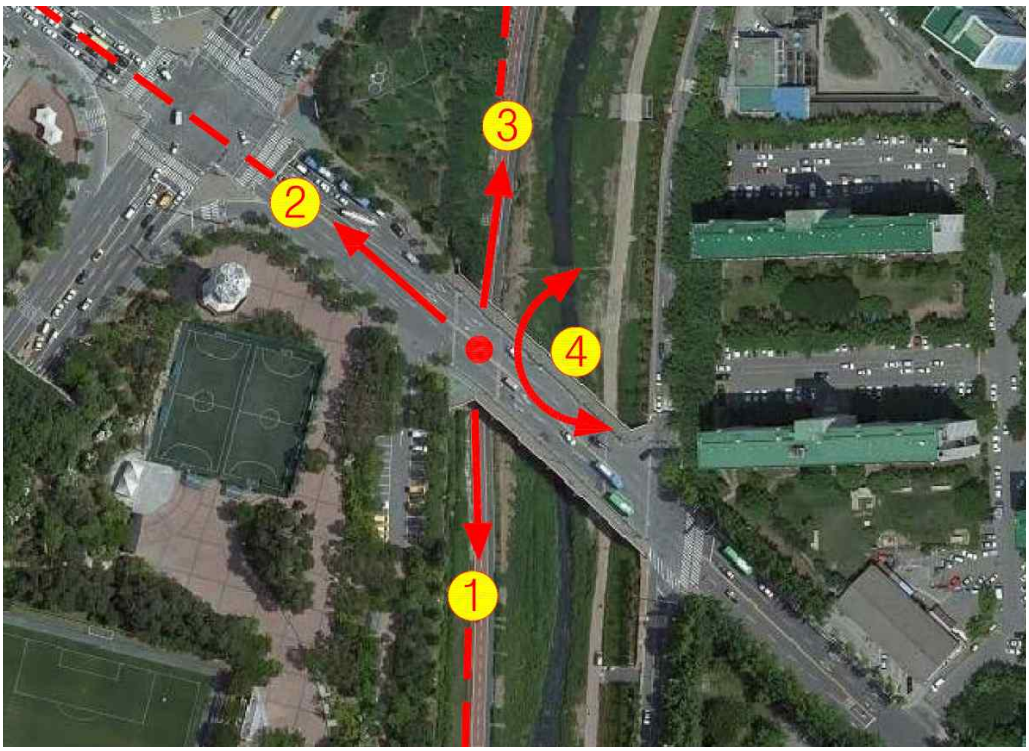
〈그림 Ⅱ-50〉 수색정거장 앞 교차로 전경

1	2	3
		
4	**5**	
		

❻ : 중암교 교차로(서울월드컵 보조경기장 ~중동교 연계도로)

왕복4차선으로 이루어졌고. 중앙분리대 및 안전지대 없다. 주요시설물로는 중암교와 월드컵 보조경기장, 불광천 체육시설물 등이 위치하며 노선구간인 중암교 양측으로는 보도가 있고 노선이 불광천 하천변 사면을 경유한다.

〈그림 Ⅱ-51〉 중암교 교차로 현황



〈그림 Ⅱ-52〉 중암교 교차로 현황

1	2
	
3	**4**
	

3. 적용 PRT 시스템

본 연구에서는 한국철도기술연구원에서 수행하고 있는 PRT 과제연구를 바탕으로 경제성 평가를 함으로서 선정지역에 설치하는 PRT시스템은 한국철도기술연구원에서 개발/제시하는 시스템을 적용하며, 적용 차량 및 시스템의 개요는 다음과 같다.

〈표 Ⅱ-14〉 적용 차량 및 시스템 개요

항 목	한국철도기술연구원
차량중량(ton)	만차: 2.0ton, 공차: 1.2ton
승차인원(명)	(MAX: 6명), (NORMAL: 4명)
차량길이(mm)	3,800
궤간(mm)	1,000
최소궤도 중심간격(mm)	2,200
급전방식	배터리
최대속도(km/h)	운행 : 60
축간거리(mm)	2,100~2,200
축수	2축
가속도/감속도	2.5~3.0m/s2
등판능력(‰)	150~200‰ (차량정상조건)
최소곡선반경(m)	6
주행방식	주행륜

4. PRT 운영방식

PRT 검토대상지역으로 분석된 송도신도시와 상암DMC는 도심지역으로 대중교통 또는 준대중교통으로의 운영이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 운영의 기본 성격은 현재 운영 중인 도시철도와 같은 운영방식이 필요할 것이다.

본 연구의 PRT시스템과 기존 도시철도 운영의 가장 큰 차이점은 무인운영에 있다. PRT시스템은 완전무인자동운전(Driverless)이며, 역사운영 역시 무인으로 운영하는 것을 전제로 하였다. 즉, 역사 및 차량은 승차를 위한 자동개찰을 제외하고는 완전개방형으로 운영하는 것으로 하였다.

운영시간은 무인운영에 따라 24시간 가능하나 시설물 점검과 유지보수를 위해 일정시간 비영업 시간이 필요할 수도 있다. 이는 시설이 복선일 경우 해외사례와 같이 승객이 적은 야간에는 단선운영을 하면서 나머지 1개 선로에 대해 선로차단과 점검과 유지보수를 시행할 수 있지만 단선의 경우는 이를 위한 공간확보가 불가능하기 때문이다. 본 연구에서는 단선 일방향운전을 기준으로 계획된 한국철도연구원의 네트워크 구성에 따라 운영시간을 19시간으로 제한하였다.

제4절 연구의 주요쟁점

1. 비용 측면

가. 적용 법규

PRT 시스템의 도입과 연구를 위해서는 그 특성에 알맞은 제도와 법규가 만들어지고 기준이 설정되어져야 한다.

그런데 PRT는 차량이나 노반형식, 동력공급 방식 등에서 매우 다양한 형태를 보이고 있고, 아직 우리나라에 도입하여 설치한 적이 없기 때문에 설계기준 및 비용산정 시 어느 법을 적용할 것인지에 대해 결정된 바가 없다. 또한 PRT 시스템이 일반 차량과 같은 고무바퀴나 유도전류에 의한 충전방식 등 궤도가 없는 시스템일 경우에는 이 법규들을 적용할 수 있는가에 대한 문제가 있다.

본 연구에서 새로운 친환경교통수단으로서 PRT 도입검토라는 취지를 고려하여 검토를 위한 적용법규는 원칙적으로 도시철도법을 기준으로 하며, PRT에 적합하지 않는 법률적인 사항에 대해서는 보완적으로 PRT에 적합한 조건을 반영하여 검토를 수행한다.

나. 배터리의 대체주기 및 적정가격

본 연구 대상의 PRT 차량은 배터리 방식으로 동력을 공급받는데 배터리는 수명에 한계가 있다. 배터리의 대체주기는 쉐보레 볼트에 장착되는 배터리는 5년간 보증을 하나 그 기간에 대해서는 편차가 있을 수 있으며, 경우에 따라 3~10년 사이로 변동이 가능한 것으로 파악되었다. 본 연구에서는 향후 PRT 차량이 10년간 사용이 가능한 배터리를 장착한다는 전제 하에 배터리 교체주기를 10

년으로 설정하였다.

배터리 가격에 대해서 표준화 되어 있는 배터리에 대한 자료가 없는 상태이며, 소비자의 주문에 따른 생산형태로서 생산업체는 본 사업의 주문단위인 200~300대 규모로는 견적검토가 어렵다는 의견을 제시하였다. 개략적으로는 3~4만대 주문 시에 1kwh 용량당 1,000USD(1.05백만 원)로, PRT 배터리 용량이 5kwh (0.24kwh/량-km)라면 약 5.25백만 원이 적정하나 생산량이 적을 경우 1대당 20~30백만 원으로 비용이 상승할 수 있다는 의견을 제시하였다.

한편, 한국철도연구원의 시뮬레이션 결과는 30분 운행용량으로 3.96kwh에 1kwh당 60만원으로 산정하여 1대당 배터리 가격을 238만원으로 제시하였다. 또한 배터리 가격은 현재 기술개발추세를 고려하면 10년 후 배터리 비용은 현재 가격의 50% 이하가 될 것으로 판단된다는 의견도 제시하였다.

본 연구에서는 이러한 제반 사항을 감안하여 2시간 용량이 적절하다고 판단하고 대당 배터리 가격으로 10백만 원을 적용하였다.

2. 수요 및 편익 측면

가. 교통수단분담모형의 구축

새로이 도입되는 교통수단의 경우 수단분담모형 구축을 통해 기존 수단으로부터의 전환율을 계산하여 이용수요를 산출해야 한다. 그러나 현재 PRT수단에 대한 수단분담모형이 부재하기 때문에, PRT에 대한 수요분석을 위해서는 PRT를 이용하는 수단O/D 구축이 반드시 필요하며, 이는 PRT 수단분담모형 개발을 통해 가능하다.

본 연구에서는 통행자 개개인의 통행 행태 특성을 파악하여 수단 분담률을 예측하는 개별 통행행태모형 중 로짓 모형을 적용하였다. 철도기술연구원의 PRT 수단분담모형개발 용역의 결과값을 참고하여 분석하였으며, 분석지역의 정산 과정 수행 후 실제 모형1과 모형2의 적용 후 비교 분석을 통하여 적용가능 모형을 선정하였다.

PRT 시스템의 운행방식과 최소시격의 특성을 고려하여 균형상태의 수단별 O/D 구축이 필요할 것으로 판단하여, 수단분담 수행 후 도로 및 PRT 수단의 통행시간/비용이 변화하므로 통행배정단계와 수단선택단계를 지속적으로 반복 수행하는 방안을 적용하였다. 특히 사업 시행 시 달라진 공로 혼잡이 반영된 통행시간을 수단분담 모형에 다시 적용하여 수단별 O/D를 재산출하는 과정을 통해 균형상태(Equilibrium)의 수단별 O/D를 산출하였다.

나. SP조사의 적정성

PRT 수단분담모형 구축을 위해서는 SP조사를 통한 이용자 통행패턴의 모형화가 이루어져야 한다. 이러한 설문을 위해서는 PRT수단에 대한 속성, 즉 도입지역, 표정속도, 대기시간, 재차인원 등의 물리적 속성이 명확하게 정립되어 있어야 하나, 현 연구단계에서는 다소 불확실한 부분이 많이 존재한다. 또한 응답자들은 자신이 선택한 수단이외에는 통행시간/비용에 대한 인지도 부족한 상황이다.

그럼에도 불구하고 본 연구에서는 전환률을 계산하기 위해 SP연구를 토대로 제시된 전환률을 이용하여 기존 이용자들의 전환규모를 파악하였다.

다. PRT 노선

PRT 시스템의 노선의 경우 계획한 노선을 토대로 수요분석을 위한 기초 노선 데이터를 구축한다. 제시된 PRT 노선은 복선이 아닌 단선 노선으로 한 방향 통행만이 가능한 것이 특징이다.

따라서, 수요분석 시 방향별로 수요가 크게 상이함을 야기할 수 있으며, 이는 PRT 노선이 단선으로 설계되고 계획되어 one-way적인 특성을 보이면서 나타나는 결과이다.

라. 추가편익 산정항목

PRT 시스템의 특성상 정시성과 온실가스 감소가 강조되는 것을 고려할 때 정시성과 관련된 항목으로 통행시간 신뢰성 편익과 온실가스 저감효과를 편익항목으로 추가하는 것에 대한 검토가 필요하다.

통행시간 신뢰성 향상편익의 경우 운행실적 자료등을 통하여 통행시간 신뢰성 지표 및 통행시간 신뢰성 가치에 대한 연구가 필요하나 PRT시스템이 신교통수단이므로 이러한 연구자료의 부재로 인하여 추가편익 산정에 포함하지 않는다.

또한 온실가스 저감효과의 경우 차량통행감소 당 배출량에 대한 데이터가 확보되지 않았고 환경비용 절감편익 중 대기오염 감소편익에 일부 포함되어 중복계상의 우려가 있는 점 등을 감안하여 산정에서 제외하고 사업특수항목으로 평가한다.

제Ⅲ장 기술성 검토 및 비용 추정

제1절 기술성 검토

1. PRT시스템 설계 기준

가. PRT시스템 설계기준의 기본방향

본 연구는 한국철도기술연구원에서 개발하고 있는『승객여정선택형 대중교통(PRT)시스템』을 대상으로 시스템 도입의 적정성을 분석하는 연구이므로 설계기준의 기준방향은 한국철도기술연구원에서 구상하고 있는 시스템에 대한 설계기준을 정립하는 것이다.

설계기준은 차량에 의해 결정됨으로 한국철도기술연구원이 제시하는 최소한의 차량 및 선로기준을 기초로 본 연구에 필요한 설계기준으로 검토, 보완, 추가함으로써 노선계획과 비용산출의 적정성을 확보하는 것으로 방향을 설정하였으나 한국철도기술연구원에서 제공되는 자료와 타 사업 자료 입수의 한계로 차량운영에 따른 배선계획과 신호, 통신 등의 관련 분야 설계기준은 제시할 수 없는 한계를 가지고 있다.

한편 검토대상지역의 노선은 한국철도기술연구원이 구상한 노선망을 기초로 현장여건과 설계기준에 의한 기하구조 기준을 적용하여 PRT시스템 선형을 결정하였으며, 종단적용성에서 노면의 경우 무인운전이라는 점을 고려한 현장 적용성을 검토하였다.

나. PRT시스템의 차량 관련 기준 검토

한국철도기술연구원에서 연구 중인 PRT시스템은 아직 구상 중인 단계로 세부적 사양과 성능이 결정되지 않고 있으나 「차세대 도시철도시스템 기술개발사업(소형궤도열차시스템)」(2006.7, 한국건설교통평가원)에서 연구한 결과를 기준으로 <표 Ⅲ-1>과 같이 한국철도기술연구원에서 본 연구진에 제시하였으며 <그림 Ⅲ-1>은 한국철도기술연구원에서 추진하고 있는 PRT시스템과 유사한 차

량으로 영국 히드로공항에 시험운영 중이며 사진에서의 차량은 정거장 도착 후 본선으로 출발하는 장면으로써 차량우측의 차로는 정거장을 통과하는 추월선이다.

〈그림 Ⅲ-1〉 유사 PRT 시스템의 차량



자료 : http://www.ultraprt.com 홈페이지(Heathrow 공항 정거장 및 차량)

한국철도기술연구원에서 제시한 PRT시스템 차량은 고무타이어의 경량차량으로 1량 당 2축의 단일 차량으로 최대정원은 6명이다. 차량 중량은 최대 2톤으로 1축 당 1톤, 차륜 당 0.5톤의 비교적 가벼운 축중으로 주행면 하부 구조물의 영향을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 수요응답형의 PRT시스템 특성상 타 신교통시스템에 비해 차량정원이 작아 수요가 많을 경우 소요차량수가 급증하는 단점이 있을 것으로 판단된다. 전력공급방식은 충전식 배터리 방식으로 정거장에서 공차상태로 정차 중 충전하는 방식으로 추진되고 있다.

선로의 기하구조 조건은 최소곡선반경 6m, 최급기울기 15~20%로 도로기하구조 이상의 성능을 확보할 수 있을 것으로 판단되는데 이는 PRT시스템 노선이 도심지의 도로와 병행하거나 타 교통류 또는 시설물과의 교차 과정에서 최소한의 길이로 장애물을 극복해야 한다는 점에서 시스템 적용성에는 유리한 측면으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 K-AGT와 같은 유사 경량전철의 최소곡선반경이 본선구간의 정상조건에서 100m, 부득이한 경우 40m인 것과 비교해 보면 노선의 적용성이 우수하다는 것을 파악할 수 있다.

설계속도 70km/h, 운행최고속도 60km/h로서 타 신교통수단에 비하여 유사한 수준이나 최종목적지로 운행하는 과정에 중간역은 <그림 Ⅲ-1>과 같이 바이패스(Bypass) 방식으로 운영됨으로 표정속도는 유사 신교통 보다 높을 것으로 판단된다. 복선구간에서 주행로의 최소 중심간격은 차량 폭

1,350mm와 차량한계 여유, 비상대피로 공간을 포함한 차량 간 안전거리 650mm를 고려하여 2,200mm로 제시되었다.

〈표 Ⅲ-1〉 PRT 차량제원 및 선로기준(한국철도기술연구원)

구 분	기 준	비 고
차 량 중 량	만차: 2.0ton /공차: 1.2ton	승객:0.4톤[65kg,6인],수하물: 0.4톤
차 량 길 이	3,800mm	
축 간 거 리	2,100~2,200mm	동적안전성 고려
축 수	2축	
주 행 방 식	주행륜	
급 전 방 식	배터리	
승 차 인 원	MAX: 6명/ NORMAL: 4명	
운 행 방 식	무인	
최소시격 (Head way)	3초	60km/h일 때, 차량간격 50m
수 송 능 력	6,000인/방향·시간 (최대)	
궤 간	1,000mm	
최소궤도 중심간격	2,200mm	일부 복선형태의 경우
설계속도	70 km/h	
운행 최고속도	60 km/h	
가속도/감속도	2.5~3.0m/s2	APM 표준
등 판 능 력	15~20% (차량정상조건)	PU(폴리우레탄)
최소곡선반경	6 m1)	
표준 역간거리	500 m	

주 : 1) 자동차의 경우 10km/h미만의 속도에서 최소곡선반경은 5m임 [도로교통 건설규칙]
2) 최소중심간격 : 1,350mm(내부 : 3인) + 200mm(외부) + 650mm (인명대피를 포함한 차간 공간)

다. 관련법규 및 시방서 규정

본 연구의 검토 대상인 PRT시스템은 현재 국내에 도입단계 또는 개발단계에 있음으로 관련기준상 명확한 적용근거를 갖고 있지 않다. 전술한 바와 같이 도심지의 원활한 교통을 위해 설치되는 목적이고 사업을 관련기관에서 도시철도로 승인할 경우 도시철도 관련법규 및 규정을 준수해야 한다. 한편 사적 소유지 지역 즉, 공원이나 위락지내에 설치하고 이용자가 그 시설에 방문하는 사람으로 특정할 경우 도시철도에서 규정하는 각종 안전시설에 대한 적용은 강제적이지 않는 것으로 판단해야 할 것이다.

한편 도시철도건설규칙에서는 도시철도시스템을 중량철도와 경량철도로 구분하고 있는데 “경량전철”이란 차량 설계축중이 13.5톤 이하의 전기철도로서 모노레일형식, 철제차륜형식, 노면전차형식, 고무차륜형식, 선형유도전동기형식으로 구분되는 열차로 정의하고 있다. 본 연구의 대상인 한국철도기술연구원의 PRT는 고무차륜형식이지만 차량의 규모와 축중 등을 고려할 때 기존의 경전철과는 또 다른 교통시스템으로 판단하는 것이 합리적일 것이다. 또한 도시철도건설규칙 제5조의2항에서는 국토해양부장관이 정하지 않은 경량전철에 대한 세부기준은 특별시장·광역시장·도지사·특별자치도지사 및 시장·군수가 국토해양부장관과 협의하여 정하도록 되어 있음으로 본 연구 대상의 PRT가 상용화 될 경우에는 해당 지자체와 별도의 협의로 세부적 설계기준을 확정해야 할 것이다.

본 연구의 검토대상지역은 송도신도시와 상암DMC로 해당지역의 대중교통을 위한 것이며 향후 PRT의 주목적이 도심지의 원활한 교통을 위해 도입된다는 전제로 검토한다.
본 연구에서는 관련법규 중 PRT시스템의 특성과 대중교통으로서 안전성을 확보할 수 있는 기준을 적용하거나 유사사례 선정을 하는 것으로 하였다. 구조물 설계기준은 고무차륜인 점과 차량구조가 도로차량과 유사하는 점, 차량 축중이 매우 적다는 점 및 철도와 같이 편성단위가 아닌 단독차량으로 운영한다는 점을 고려하여 도로교설계기준을 적용하는 것으로 하였으나, 차량 축중과 노선의 기하구조는 PRT 특성을 반영한다.

○ 구조물 설계기준 : 도로교 설계기준 (국토해양부, 2010)

○ 운영 및 안전 관련 설계기준 : 도시철도법, 도시철도 건설규칙, 도시철도차량 관리에 관한 규칙, 철도안전법

○ 시설규모 선정기준 : 신교통시스템 등의 유사사례 적용

2. 설계기준 선정 및 기술적 적정성 검토

비용산출을 위한 차량제원, 기하성능, 운영방식을 <표 Ⅲ-2>와 같이 설정한다. 가감속 성능은 AGT, 자기부상열차(HSST 100S) 등의 기준과 승차감을 고려하여 가속도 1.0m/s^2 감속도 1.1m/s^{2}으로 설정하며, 비상시 감속도는 한국철도기술연구원에서 제시한 3.0m/s^{2}로 설정하였다. 비상시 감속도는 LIM방식의 MK-Ⅱ는 2.4m/s^2 고무차륜 AGT인 VAL은 2.3m/s^{2}이며 이외의 경량전철은 대부분 1.3m/s^{2}으로 비상시 감속도가 클 수 있으나 한국철도기술연구원에서 제시한 차량간격

50m 최소운전시격(headway) 3초를 고려하여 설계기준에 반영하는 것으로 하였다.

$$S = \frac{V_2^2 - V_1^2}{7.2\beta} = 46.3m$$

여기서, S : 제동거리(m) β : 감속도 (km/h/s)

V_1 : 최종속도(km/h) V_2 : 초기속도(km/h)

최소운전시격 3초는 비상시 제동거리를 확보하는 것을 기준으로 차간 최소간격으로 50m를 60km/h로 주행했을 경우에 해당된다. 수송능력은 본선의 최소운전시격을 기준으로 시간당 1,200회가 가능함으로 수송능력은 차량최대 수용력 6인을 기준으로 하였을 경우 7,200명/시간이 산출된다. 그러나 일반 도시철도와 같이 승객이 대기시간을 단축하기 위해 차량정원에 준하는 탑승을 선택한다는 것은 개인의 프라이버시 확보를 장점으로 하는 PRT 특성에 일치하지 않는다. 또한 PRT 시스템은 승객이 출발지에서 목적지를 선택하여 중간정차 없이 직행하는 방식으로 타 승객들이 동승하기에는 제약조건이 크다. 따라서 평균탑승인원을 택시와 같이 1.55명으로 하였을 경우 수송능력, 즉 적정수송능력은 시간당 방향별로 약 1,900명이 된다.

한편 「차세대 도시철도 기술개발사업(소형궤도열차시스템)」(1차년도 보고서 P536)에서 4인승과 8인승 차량에 대한 시뮬레이션 결과 승차정원과 관계없이 평균 승차인원이 1.8명 전후로 분석되었다. 따라서 PRT의 수송력은 한국철도기술연구원에서 제시한 6,000명을 기준으로 택시 평균승차인원 1.55명 적용할 경우 1,900명, 시뮬레이션 평균승차인원 1.8명을 적용할 경우 2,200명 정도로서, 이는 시간당 수요가 1,900~2,200명을 상회할 경우 서비스 저하가 발생한다는 것을 의미한다.

기하구조 기준으로 완화곡선은 도로와 병행하는 노선의 특징을 고려하여 클로소이드를 적용한다. 철도에서 일반적으로 사용하는 3차포물선은 곡선반경이 클 경우 클로소이드와 동일한 효과를 나타내나 PRT시스템과 같이 작은 곡선반경을 사용하는 시스템의 경우 짧은 거리에서 곡률변화가 큰 클로소이드가 효과적이기 때문이다. 최소곡선반경은 도로기하구조기준과 벡터스시스템 등을 참조하여 15m로 정하였으며 차량기지, 정거장 진출입, 지형상 부득이한 경우 한국철도기술연구원에서 제시한 최소곡선반경 6m까지 축소할 수 있도록 하였다.

표준역간거리는 한국철도기술연구원에서 제시한 거리로 버스의 평균 정류장간 거리 500m와 유

사함으로 동일하게 적용한다.

〈표 Ⅲ-2〉 설계기준

구 분	기 준	비 고
차 량 중 량	만차: 2.0ton / 공차: 1.2ton	
차 량 길 이	3,800 mm	
축 간 거 리	2,150 mm	
축 수	2 축	
주행륜 형식	고무타이어	
급 전 방 식	배터리	
승 차 인 원	MAX: 6명	
운 행 방 식	완전자동무인	Driverless
최소시격 (Head way)	3초	60km/h일 때, 차량간격 50m
수 송 능 력	7,200인/방향·시간 (최대)	본선기준
궤 간	1,000 mm	
최소궤도 중심간격	2,200 mm	복선기준
설계속도	70 km/h	
운행 최고속도	60 km/h	
가속도/감속도(상용)	1.0/1.1 m/s^2	승차감 고려, 비상제동 3.0m/s^2
등 판 능 력	10% (부득이한 경우 15%)	
최소곡선반경	15m (부득이한 경우 6 m)	
완 화 곡 선	클로소이드	
표준 역간거리	500 m	

3. PRT시스템 본선 공법 및 공사비 검토

가. 공법 비교검토 및 최적공법 선정

교통사업의 경우 동일한 수요에서는 사업비 및 유지관리비가 가장 저렴한 공법이 경제성 및 재무성에서 가장 유리한 것은 명확하다. 수요가 고가(교량), 지상(토공), 지하(BOX/터널)과 같은 노반형식에 의해 영향을 받지 않는다는 가정에서는 지상(토공)이 가장 저렴할 것이나 지역 여건에 따라서는 노반형식을 조합하여 사용할 수 있을 것이다.

<표 Ⅲ-3>은 AGT사업에서 고가와 지하, 지하와 고가를 병행하는 방법의 노반 형식별 사업비를

검토한 것이다. 전 구간 고가(교량) 적용을 기준으로 지하를 주로 적용하되 노선연장의 약 17%를 고가로 설치하는 방법은 전 구간 고가 대비 사업비가 194%, 전 구간 지하화는 213% 높은 것으로 분석되었다. 이는 지하공법 적용이 매우 고가(高價)라는 것을 보여주는 것이며 지하공법은 도로하부를 굴착하기 위한 가시설 비용과 방재 및 환기시설 비용, 지하의 지장물 처리 비용이 증가되기 때문인데 이는 차량의 크기에 크게 영향을 받지 않는다. 이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 PRT 시스템의 BOX 또는 터널 등에 의한 지하공법은 배제하는 것으로 하였다.

〈표 Ⅲ-3〉 노반 형식별 AGT 사업비 비교

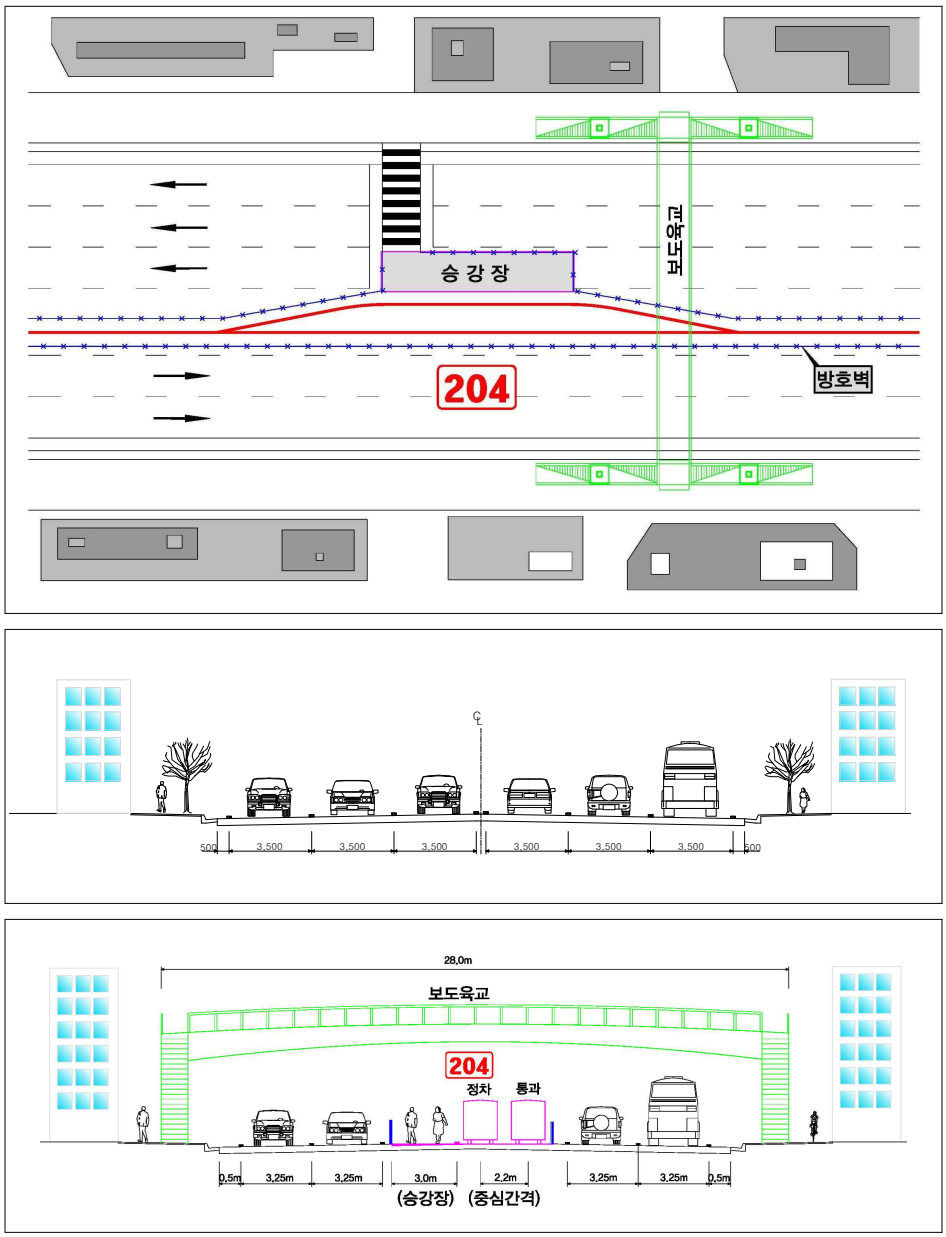
구 분	고 가	지하+고가	지 하	비 고
토 목 (억원/km)	233.2	474.3	580.5	
시스템 (억원/km)	137.4	303.9	276.6	
부대비 (억원/km)	55.6	116.7	128.6	
계 (억원/km)	462.2	895.0	985.6	
	100%	194%	213%	
차 량	18억원/량	18억원/량	18억원/량	

주) 서부경전철, 우이~신설 경전철, 고대~신내 경전철의 한국형 K-AGT 차량 공사비 비교자료

다음으로 공사비 저감방안에 대해 검토할 수 있는 것이 고가와 지상의 조합인데 이는 도로 중앙을 이용하여 노면으로 주행하되 도로교차로는 교량으로 횡단함으로서 타 교통류와의 상충을 방지하는 방법이다. 그러나 경제적 효과를 얻기 위해서는 상당 연장을 노면으로 계획해야 하며 이럴 경우 <그림 Ⅲ-2>와 같이 무인운전의 안전성 확보를 위해 본선구간에 휀스를 설치하고 횡단보도를 모두 철거한 후 육교와 같은 보행자용 횡단시설을 설치해야 하는 단점이 발생한다. 특히 차로수가 많을수록 지하횡단보도 설치에 따른 비용 증가로 노면주행에 따른 공사비 절감효과가 상당히 저하될 것으로 판단된다. 이는 보행자의 서비스를 저하시키는 것으로 교통시설 설치의 편익을 반감시키는 것이다.

따라서 공사비 저감 및 교통시설의 효율적 운영을 위해서는 도입지역의 제반 여건 분석 등을 통하여 노반형식을 결정하는 것이 필요하다.

〈그림 Ⅲ-2〉 노면 공법 평면 및 횡단면도



<표 Ⅲ-4>는 각 조합별 장단점을 분석한 것으로 공사비와 적용성 등을 고려하여 도심지에서는 전 구간 고가로 계획하는 것을 위락지에서는 지상(토공) 또는 고가와 지상(노면) 조합 노반형식이 바림직한 것으로 판단된다.

〈표 Ⅲ-4〉 노반형식 조합별 개요 및 장단점

구 분	개요 및 장단점	적용성	공사비
고가(교량)	- 전 구간 고가로 기존 교통류 상충 방지 - 도심지구간에서는 민원발생 가능성 상존	도심지	3
고가+지상	- 교차로 구간은 입체화 적용 및 기타 구간 노면운행 - 도심지 구간 적용시 지역단절 또는 보행자를 위한 지하 횡단시설 필요 - 횡단시설 미고려시 공사비 비교적 저렴	도심지위락지	5
지상(토공)	- 도심지 구간 적용시 지역단절 또는 보행자를 위한 지하 횡단시설 필요 - 횡단시설 미고려시 공사비 가장 저렴	위락지	6
지상+지하	- 민원구간 지하 적용 - 지상구간의 단점은 고가+지상안과 같음	도심지 위락지	4
지하(BOX)	- 전 구간 지하로 구조물 설치에 따른 민원 최소화 - 공사비 가장 고가(高價)	도심지	1
지하+고가	- 민원구간 지하 적용 및 기타구간 고가 - 지하안에 비해 저렴하나 전반적으로 비용이 높음	도심지	2

주 : 공사비는 1이 가장 고가(高價)이며 6에 가까울수록 낮아짐.

나. 본선 표준 교량 설정 및 공사비 산출

1) 본선 표준 교량 설정의 목적 및 기본방향

PRT 사업비 중 차량비를 제외한 총사업비의 약 40% 이상이 본선교량 비용일 것으로 예측되므로 본선교량 비용이 본 연구의 결과에 주요영향으로 작용할 수 있음으로 이에 대한 적정성 확보가 필요할 것으로 판단된다. 이를 위해 본 연구에서는 PRT차량과 설계기준을 바탕으로 교량형식을 설정하고 구조해석을 통해 물량산출, 내역분석에 의한 본선교량 표준단가를 설정하여 비용산출에 적용하였다. 또한 비용 산출시 유사 교통시스템의 본선교량 비용과 비교하여 적정성 검토를 시행하였으며 이에 대한 내용은 총사업비 추정 부분에 수록하였다.

교량형식 설정에 있어 기본방향으로 아래와 같이 설정하였으며 유사사례는 아래 그림과 같다.

○ 도시경관과 조화가 되어야 하며 점유공간 최소화

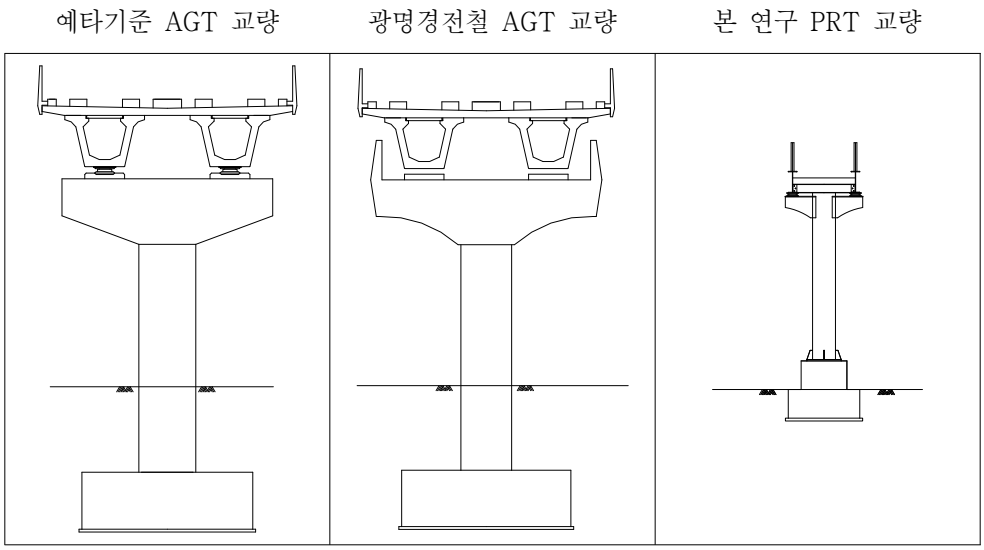
○ 차량하중이 매우 작음으로 경제성 확보를 위해 경량재료 사용

○ 현장시공이 용이하도록 대블럭 가설 적용 및 시공기간 최소화

〈그림 Ⅲ-3〉 PRT시스템의 교량(ULTra)



〈그림 Ⅲ-4〉 고가구조물 교량단면 비교



2) 구조계산

ULTra PRT 교량을 모델로 <그림 Ⅲ-4>와 같이 20m 3경간 연속형식의 강하로교로 계획하여 교량받침과 단면을 최소화 하도록 하였으며 구조물 설계기준은 설계기준에서 서술한 것과 같이 도로교 설계기준(2010, 국토해양부)을 적용하되 하중은 PRT시스템의 차량하중을 적용하였다. 축거는 한국철도기술연구원에서 제시한 값이 2,100 ~ 2,200mm이므로 두 축거로 모두 해석하여 큰 결과 값을 적용하였으며 교각 측면의 도로에서 트럭과의 충돌을 고려하여 도로교설계기준에서 규정하고 있는 충돌하중을 적용하였다.

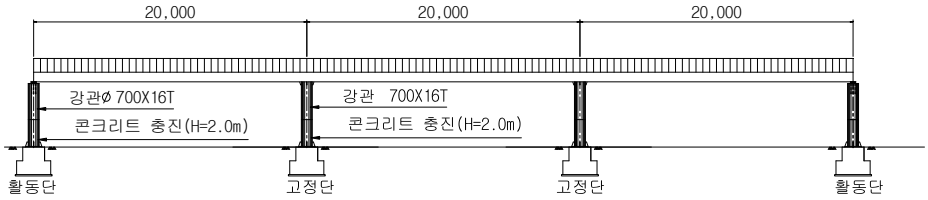
○ 차량 중량 (1륜당) : 5kN(만차기준) , 등분포하중 : 5.17kN/m

○ 충돌하중

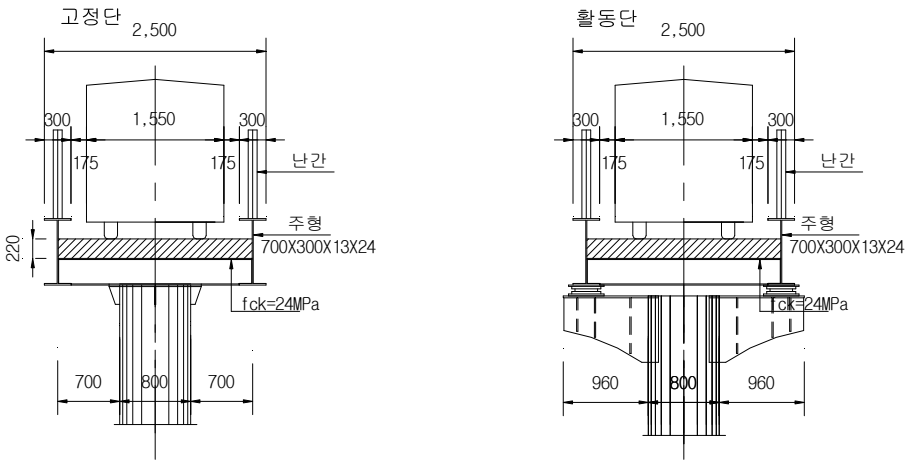
- 차도방향 : 1,000 kN
- 차도직각방향 : 500 kN
- 적용위치 : 노면 위 1.8m

〈그림 Ⅲ-5〉 구조물 제원

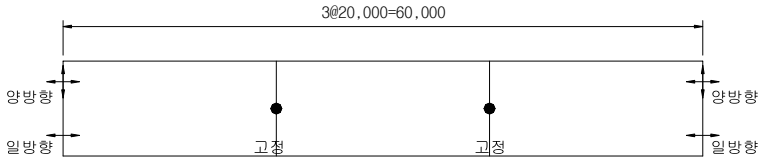
- 종단면도



- 단면도

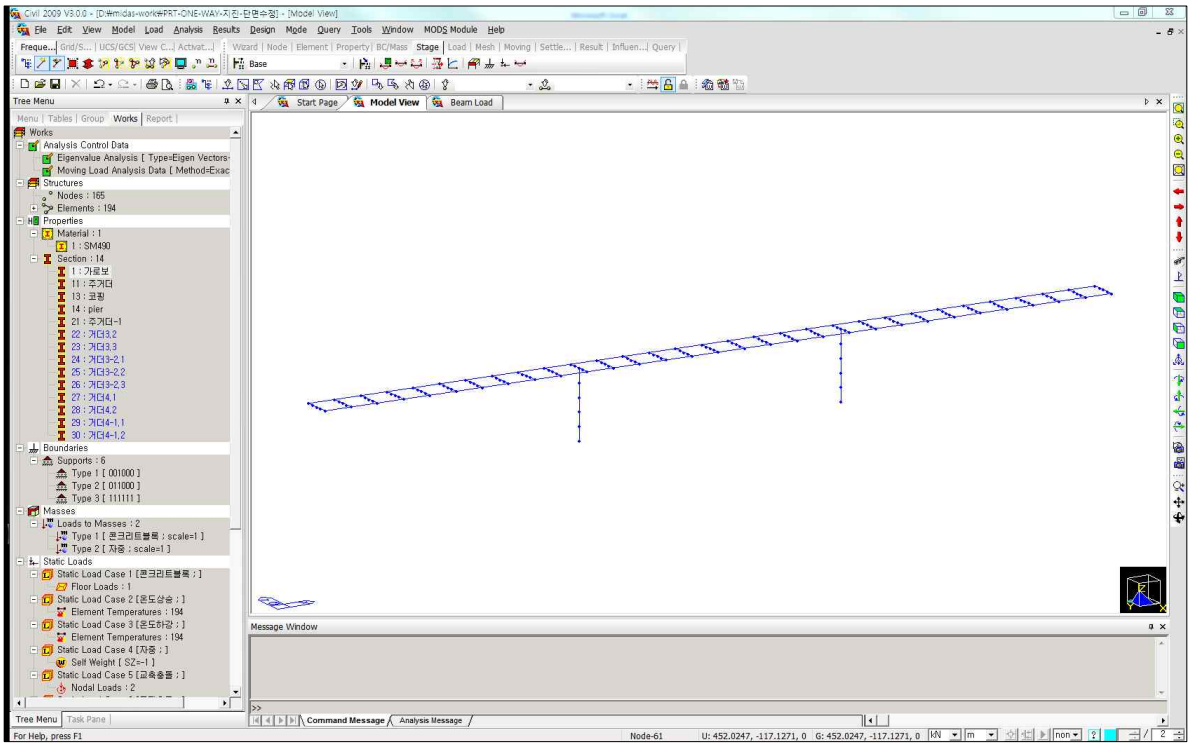


- 받침(Shoe) 배치도

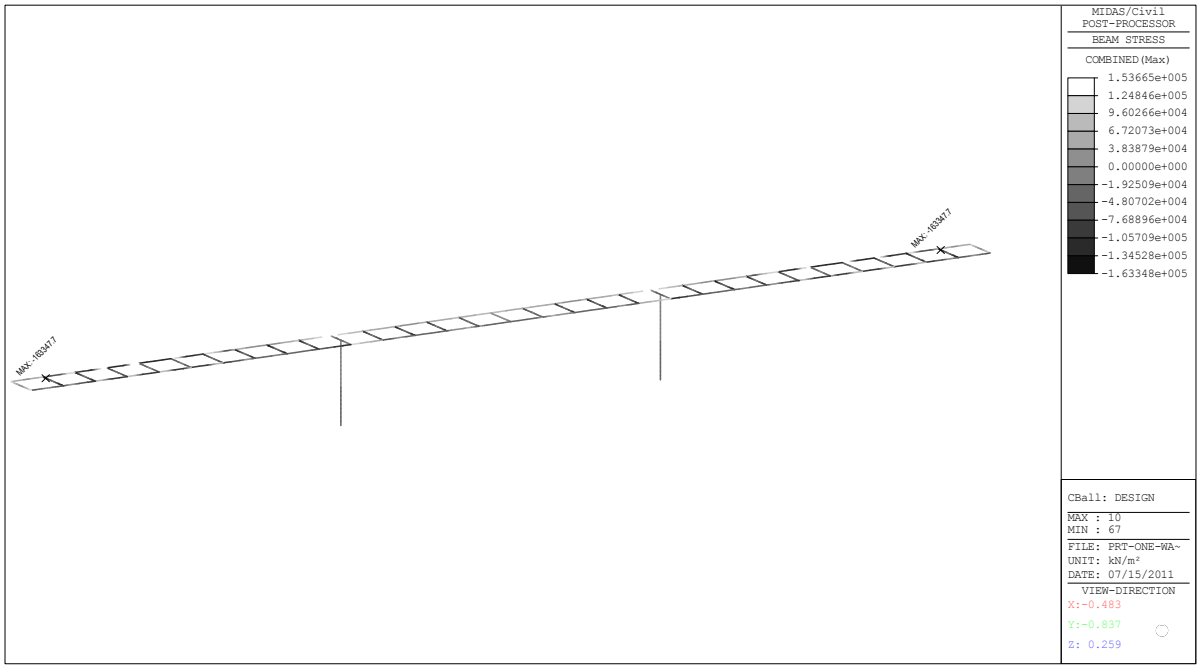


범례	←→	↕
	일방향	양방향
용량	250KN/64.7KN	250KN

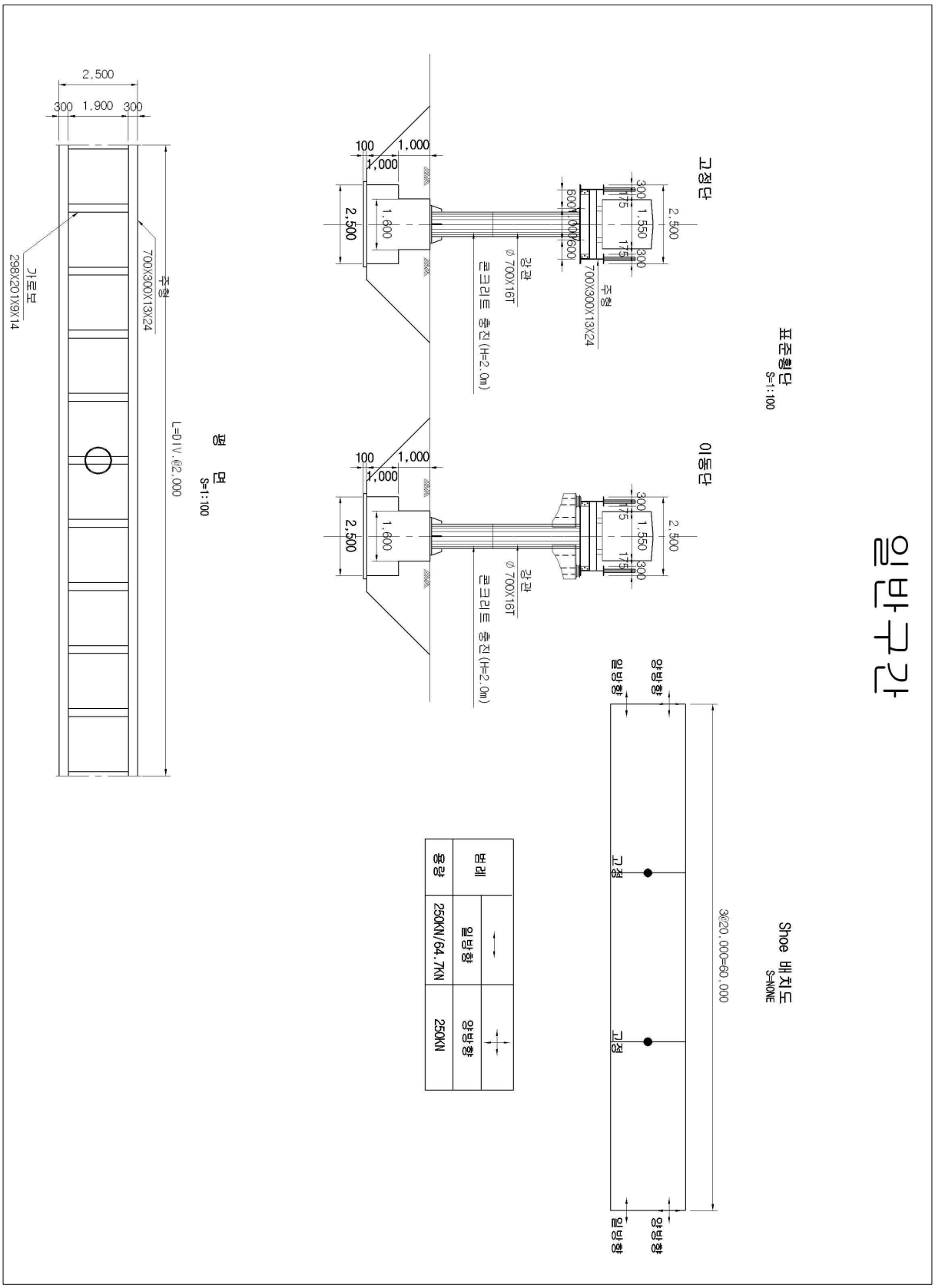
〈그림 Ⅲ-6〉 모델링(Modeling)



〈그림 Ⅲ-7〉 해석결과



〈그림 Ⅲ-8〉 표준교량 도면


일반구간
표준횡단
S=1:100
고정단
이동단
강관
Ø 700X16T
콘크리트 충진(H=2.0m)
주형
700X300X13X24
가로보
298X201X9X14
평 면
S=1:100
L=D1V.@2.000
Shoe 배치도
S=NONE
3@20.000=60.000
교축방향
양방향
고정
이동
형 태
용 량
250KN/64.7KN
250KN

3) 공사비 산출

구조계산에 의한 물량산출을 기준으로 내역산출에 의한 직접공사비를 산출한 후 부대공사비, 제잡비 적용 결과를 정리한 것이 <표 Ⅲ-5>이다. 표준교량에서 부대공사비는 제작장, 가설사무소, 운반 등을 고려한 비용이며 일반적으로 주공사비의 20~30% 정도임으로 평균인 25%를 적용하였으며 간접비용인 제잡비는 과거 통계를 기준으로 30%를 적용하였다.

부가가치세를 제외한 PRT 본선교량의 개략공사비는 1km당 38.22억원으로 예비타당성조사지침의 AGT 본선교량 175.94억원(2010년 환산가격)의 22% 수준으로 검토되었다.

〈표 Ⅲ-5〉 PRT 교량 개략 공사비

(단위 : 백만원)

구 분	규격	공사비	단위미터공사비	1km당 공사비
직접공사비				
- 상부공사비	3@20=60m	99.328	1.655	1,655.5
- 하부공사비		41.797	0.697	696.6
고정단	2개소	24.474		
가동단	1개소	17.323		
A. 소 계		141.125	2.352	2,352.1
B. 부대공	A의 25%	35.281	0.588	588.0
C. 계	A+B	176.406	2.940	2,940.1
D. 제잡비	C의 30%	52.922		882.0
E. 합 계		229.328		3,822.1
F. 부가가치세				382.2
G. 총 계				4,204.3

주 : 단가기준년도 2010년

4. PRT노선계획

가. 개 요

대상부지별 노선은 한국철도기술연구원 제공 자료를 기준으로 도로현황 등을 고려하여 기하구조를 조정하여 최적화하였으며 타 교통류와의 상충을 방지하기 위해 전 구간 교량으로 계획하였다. 차량운행은 단선으로 일방향 운행을 하는 것으로 한국철도기술연구원에서 제시하여 이를 적용하였으며, 정거장위치 역시 한국철도기술연구원의 제시안을 수용하였다. 차량기지 위치는 노선인근 공터 및 대지를 조사하여 선정하였다.

나. 송도신도시

1) 노선계획

(가) 노선 검토 결과

송도신도시 노선은 <그림 Ⅲ-9> 송도신도시 노선도와 같이 17개의 정거장을 구성되어 있으며 총 연장은 17.080km이다. 선형검토 결과 최소곡선반경은 50m이며 고가안은 최급기울기는 3.6%, 최대 교각높이 8.0m, 최소 교각높이 4.4m이고, 고가와 노면 조합안은 최급기울기 8.2%, 노면 13.596km로 80%, 고가 3.484km로 20%로 검토되었다. 평균역간거리는 1,007m로 도시철도 평균역간거리와 유사함으로 승객의 접근성 향상을 위해 정거장을 추가 설치하여 PRT 시스템의 장점을 도입하는 것도 필요할 것으로 판단된다.

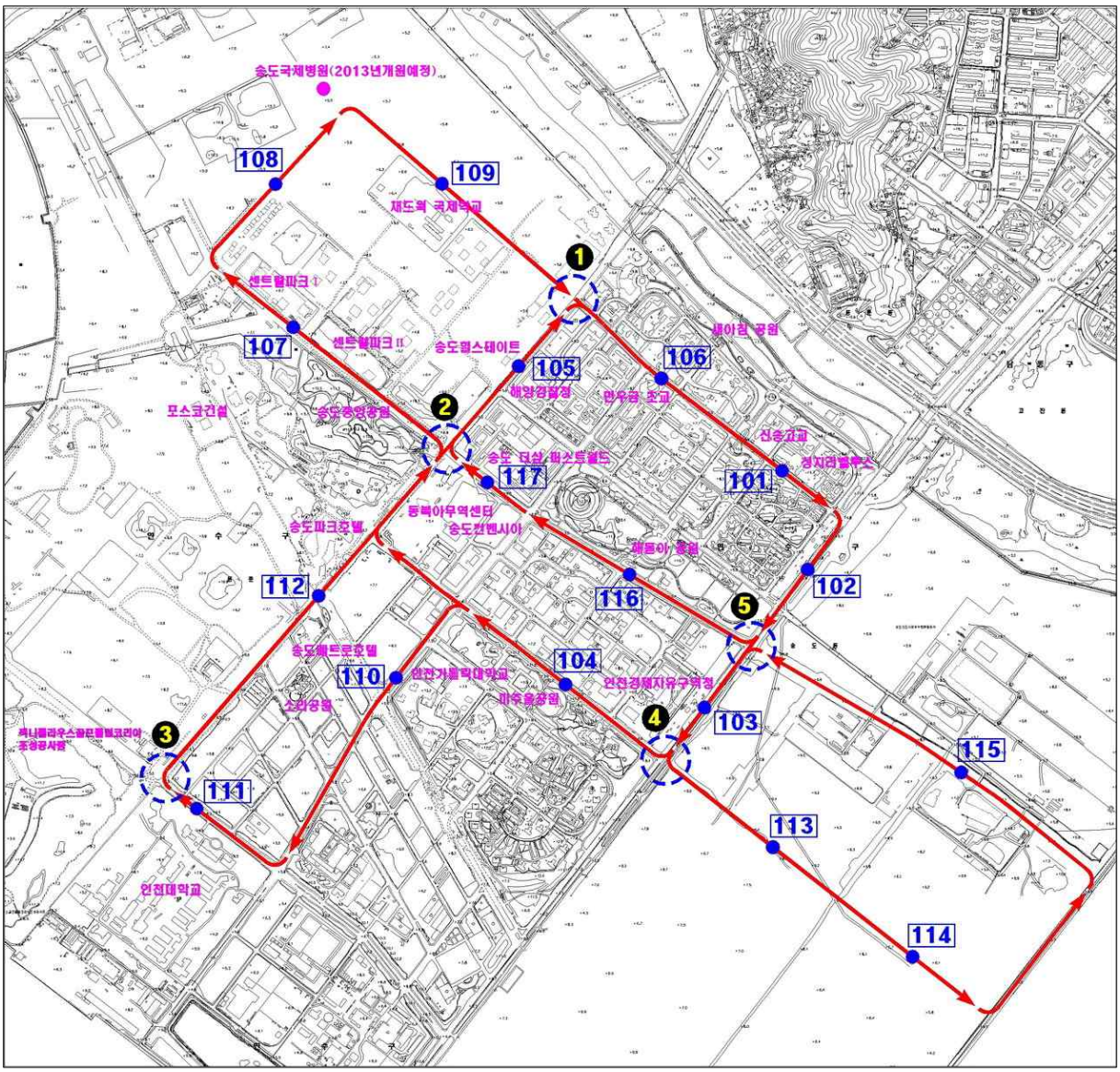
〈표 Ⅲ-6〉 송도신도시 노선계획 검토

구 분		1안 : 고가(100%)	2안 : 고가(20%)+지상노면(80%)	비고
연장 (km)	노면(토공)	-	13.596	
	고가(교량)	17.080	3.484	
계		17.080	17.080	
정거장(개소)		17	17	
육교(개소)		-	54	횡단보도 대체시설
최급기울기		3.6%	8.2%	
최소곡선반경		50m	50m	
사업비(억원)		1,920.79 (100%)	1,828.44 (95.2%)	불변가격 (육교설치비 포함)
적 용		◉		

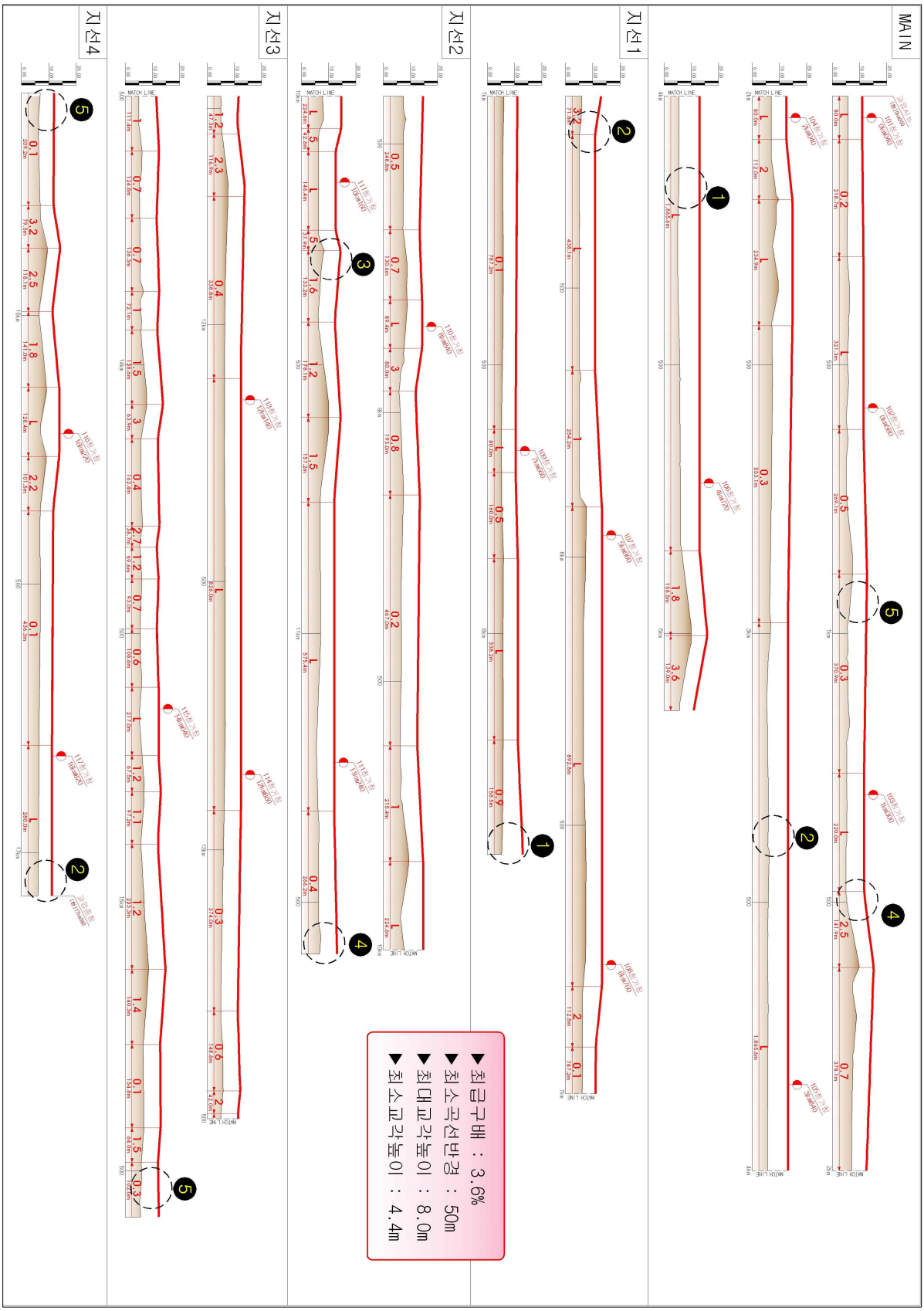
노선계획의 검토(안)을 비교해 보면 고가(100%)인 1(안)의 사업비가 1,920.79억 원, 지상노면이 80%인 2(안)은 1,828.44억 원으로 2(안)의 사업비가 1(안)의 95.2% 수준으로 사업비 측면에서 큰 차이를 보이지 않는다. 이것은 노면비율이 증가하더라도 사업비 차이가 크지 않은 것은 횡단보도의 대체시설로 육교를 설치해야함으로 추가비용이 발생하기 때문이다.

따라서 2(안)의 경우 사업비가 1(안)의 95.2%에 달하여 비용절감의 효과가 적고, 육교설치로 인한 보행자의 통행권을 악화시킬 수 있기 때문에 보다 현실적인 측면에서 송도신도시의 노선계획은 1(안)을 선택하여 분석한다.(1(안)의 사업비 도출과정은 제2절 참조, 2(안)의 사업비 추정은 제Ⅲ장 마지막의 [참고]부분 참조)

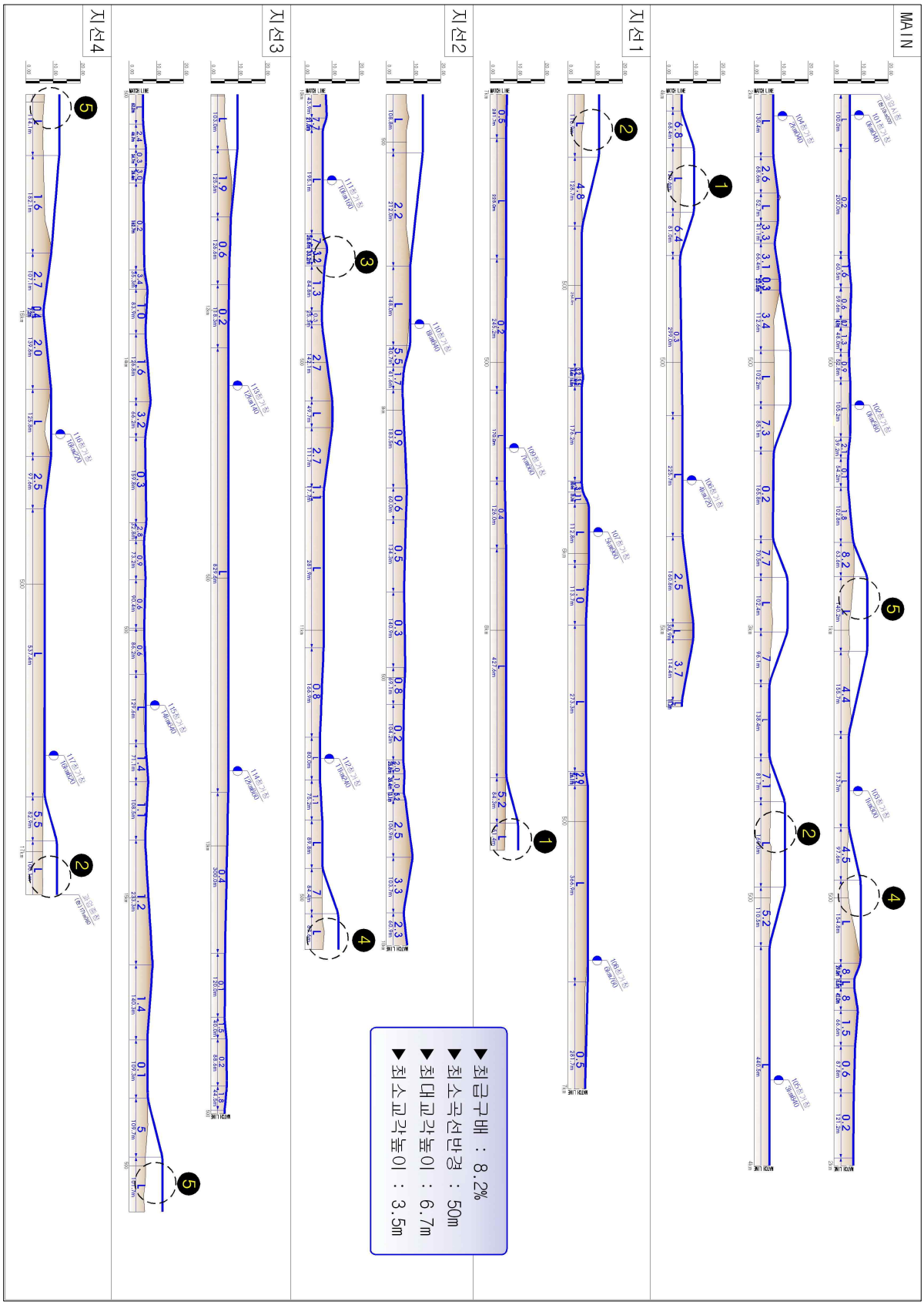
〈그림 Ⅲ-9〉 송도신도시 노선도



〈그림 Ⅲ-10〉 송도신도시 노선도종단면도(고가)



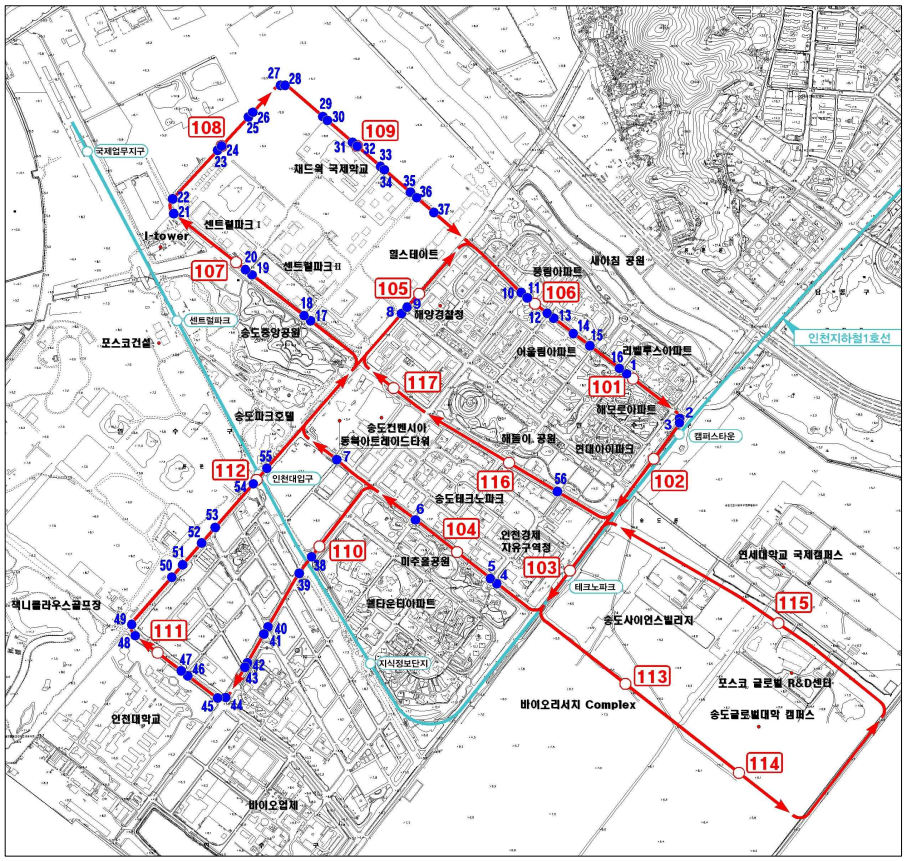
〈그림 Ⅲ-11〉 송도신도시 종단면도(고가+지상)



(나) 노면공법 설치 적정성

노면과 고가 병행안의 경우 토공비율은 전체연장의 약 80%로 PRT 시스템 공사비 절감효과는 있을 것이다. 그러나, 일부 구간의 차로 축소 및 노선상에 위치하는 횡단보도 54개소를 모두 폐지하고 육교를 설치해야함으로 이로 인한 공사비 추가 발생에 따른 비용절감효과 상쇄와 지역주민의 통행권 악화 가능성 등을 종합적으로 고려하여 노면과 고가병행안을 검토대상에서 제외하였다.

〈그림 Ⅲ-12〉 송도신도시 횡단보도 설치 현황



〈표 Ⅲ-7〉 송도신도시 횡단보도 상세현황

구분	위치	도로폭(m)	보도폭(m)	차선수	비 고	대체시설
1	0km020	22	좌:4,우:4	7		보도육교
2	0km360	28	좌:4,우:4	7		보도육교
3	0km380	51	좌:4,우:4	12		보도육교
4	1km760	28	좌:5,우:5	7		보도육교
5	1km800	28	좌:5,우:5	8		보도육교
6	2km260	28	좌:5,우:5	7		보도육교
7	2km740	28	좌:5,우:5	6	안전지대4m	보도육교
8	3km700	50	좌:5,우:5	10	안전지대10m	보도육교
9	3km740	50	좌:5,우:5	10	안전지대10m	보도육교

구분	위치	도로폭(m)	보도폭(m)	차선수	비 고	대체시설
10	4km520	20	좌:5,우:5	6		보도육교
11	4km560	20	좌:5,우:5	6		보도육교
12	4km680	20	좌:5,우:5	6		보도육교
13	4km720	20	좌:5,우:5	5		보도육교
14	4km840	17	좌:5,우:5	5		보도육교
15	4km940	23	좌:5,우:5	7		보도육교
16	5km120	18	좌:4,우:4	5		보도육교
17	5km500	30	좌:4,우:4	6	안전지대6m	보도육교
18	5km540	32	좌:4,우:4	7	안전지대3m	보도육교
19	5km860	34	좌:4,우:5	7	안전지대6m	보도육교
20	5km900	34	좌:4,우:5	9		보도육교
21	6km340	30	좌:5,우:5	8		보도육교
22	6km420	28	좌:5,우:5	7		보도육교
23	6km740	28	좌:4,우:4	7		보도육교
24	6km770	28	좌:4,우:4	7		보도육교
25	6km960	24	좌:4,우:4	6		보도육교
26	6km990	24	좌:4,우:4	7		보도육교
27	7km180	24	좌:4,우:4	6		보도육교
28	7km200	16	좌:5,우:5	5		보도육교
29	7km440	16	좌:6,우:6	5		보도육교
30	7km470	16	좌:4,우:4	5		보도육교
31	7km630	18	좌:5,우:5	5		보도육교
32	7km660	18	좌:5,우:5	5		보도육교
33	7km810	16	좌:4,우:4	5		보도육교
34	7km830	16	좌:4,우:4	5		보도육교
35	8km000	17	좌:4,우:4	5		보도육교
36	8km040	17	좌:5,우:5	5		보도육교
37	8km150	17	좌:4,우:4	5		보도육교
38	8km900	28	좌:7,우:7	8		보도육교
39	9km000	28	좌:7,우:7	8		보도육교
40	9km300	28	좌:7,우:7	8		보도육교
41	9km340	28	좌:7,우:7	8		보도육교
42	9km500	28	좌:7,우:7	8		보도육교
43	9km540	28	좌:7,우:7	8		보도육교
44	9km700	28	좌:6,우:6	8		보도육교
45	9km740	31	좌:7,우:4	9		보도육교
46	9km920	24	좌:5,우:5	6	안전지대3m	보도육교
47	9km960	24	좌:5,우:5	6	안전지대3m	보도육교
48	10km240	23	좌:5,우:7	6	안전지대3m	보도육교
49	10km300	26	좌:7,우:7	6	안전지대7m	보도육교
50	10km600	38	좌:7,우:5	7	안전지대13m	보도육교
51	10km680	38	좌:7,우:5	7	안전지대13m	보도육교
52	10km820	38	좌:7,우:5	7	안전지대13m	보도육교
53	10km920	38	좌:7,우:5	7	안전지대13m	보도육교
54	11km200	41	좌:5,우:5	10	안전지대8m	보도육교
평균 도로폭		27				
총 도로폭		1,451				

(다) 송도신도시 주요도로 단면현황 및 공법 적용성

주요도로를 연계하는 도로단면 검토는 총 10개소로 다음과 같다.

○ 도로 횡단면 A-A : 캠퍼스타운역 교차로 ~ 인천자유무역청 교차로

○ 도로 횡단면 B-B : 인천자유무역청 교차로 ~ 송도파크호텔 교차로

○ 도로 횡단면 C-C : 게일인터내셔날교차로 ~ 인천대학교 교차로

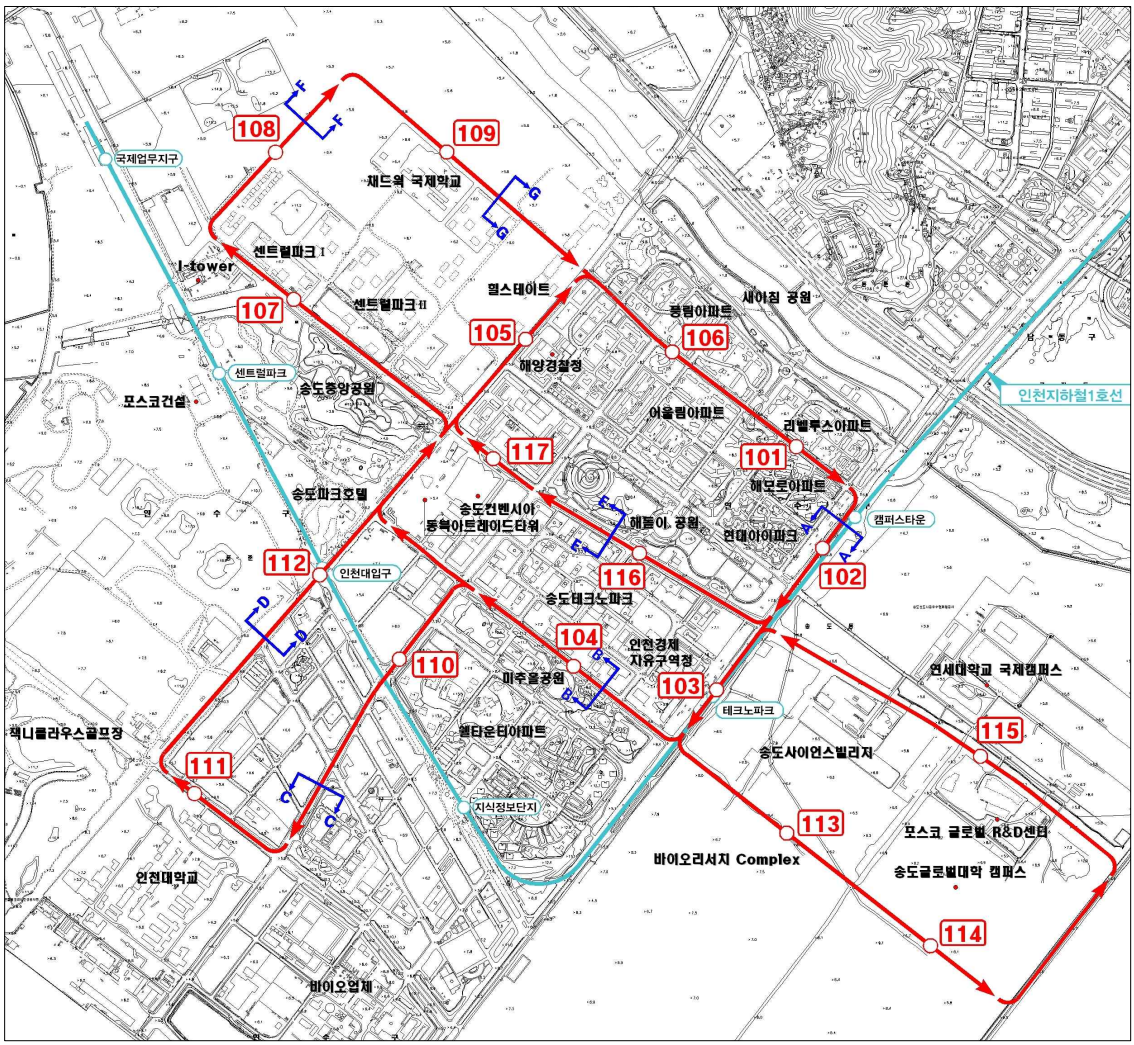
○ 도로 횡단면 D-D : 인천대학교 교차로 ~ 달빛공원 교차로

○ 도로 횡단면 E-E : 송도글로벌대학캠퍼스 교차로 ~ I-TOWER 교차로

○ 도로 횡단면 F-F : I-TOWER 교차로 ~ 송도국제병원 교차로

○ 도로 횡단면 G-G : 송도국제병원 교차로 ~ 캠퍼스타운역 교차로

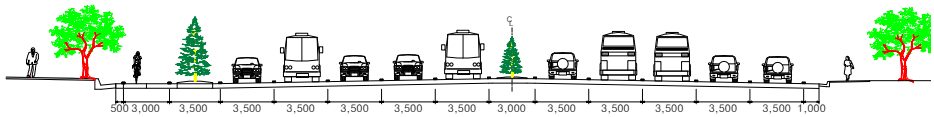
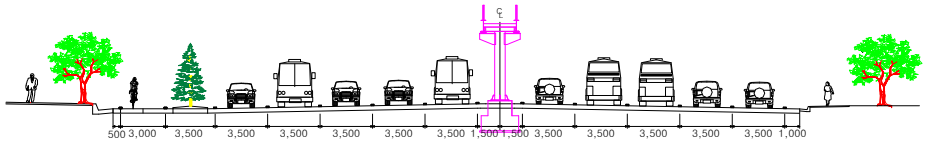
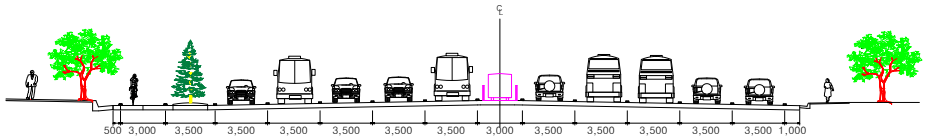
〈그림 Ⅲ-13〉 송도신도시 주요도로 단면위치 현황



○ 도로 횡단면 A-A : 캠퍼스타운역 교차로 ~ 인천자유무역청 교차로

(도로 안전지대부지 활용 : 차선 및 차로폭 유지)

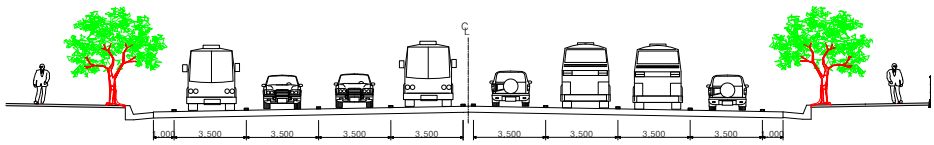
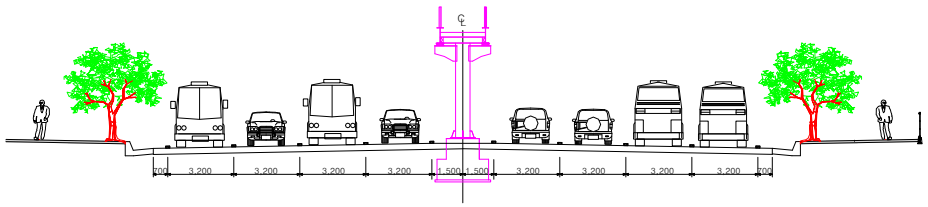
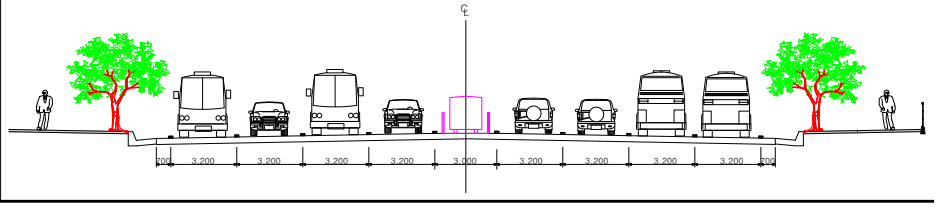
〈그림 Ⅲ-14〉 송도신도시 도로 횡단면 A-A

현재	
고가	
노면	

○ 도로 횡단면 B-B : 인천자유무역청 교차로 ~ 송도파크호텔 교차로

(차로 폭 : 3.5m→3.2m, 길어깨 : 1.0m→0.7m)

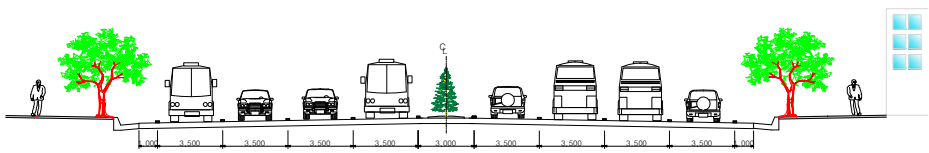
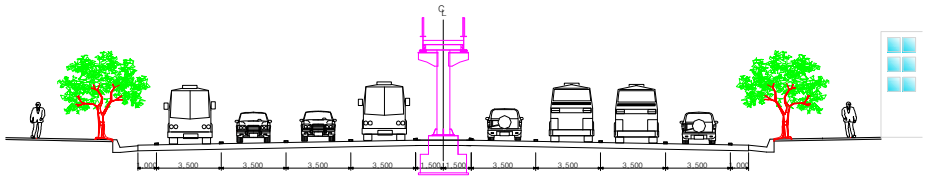
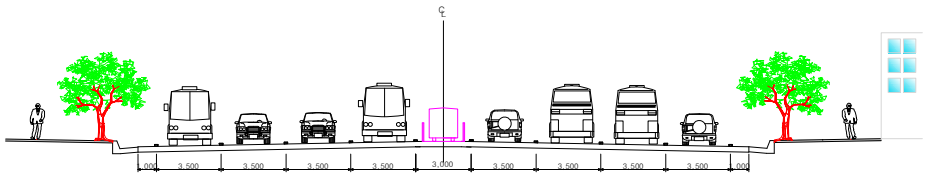
〈그림 Ⅲ-15〉 송도신도시 도로 횡단면 B-B

현재	
고가	
노면	

○ 도로 횡단면 C-C : 게일인터내셔날교차로 ~ 인천대학교 교차로

(도로 안전지대부지 활용 : 차선 및 차로폭 유지)

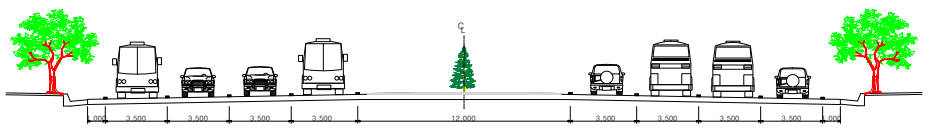
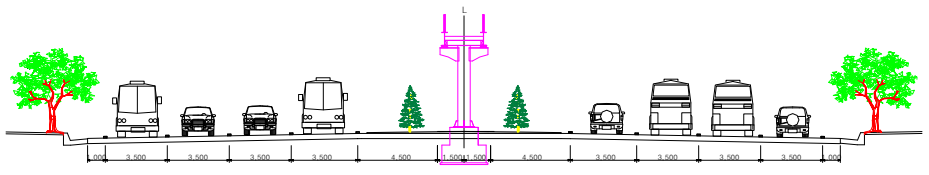
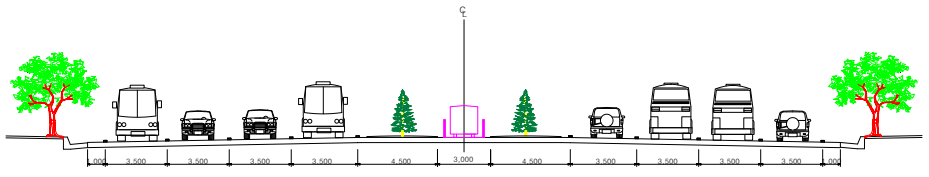
<그림 Ⅲ-16> 송도신도시 도로 횡단면 C-C

현재	
고가	
노면	

○ 도로 횡단면 D-D : 인천대학교 교차로 ~ 달빛공원 교차로

(도로 안전지대부지 활용 : 차선 및 차로폭 유지)

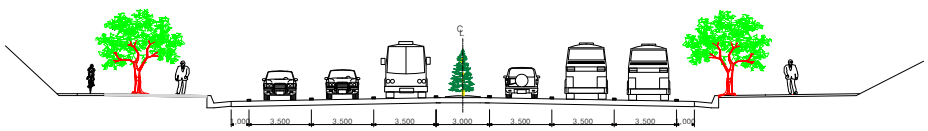
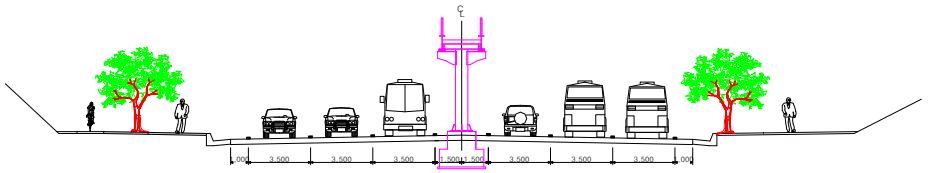
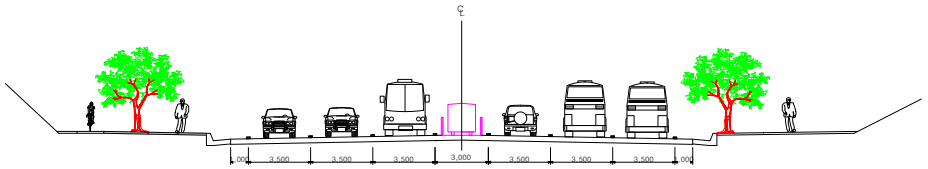
<그림 Ⅲ-17> 송도신도시 도로 횡단면 D-D

현재	
고가	
노면	

○ 도로 횡단면 E-E : 송도글로벌대학캠퍼스 교차로 ~ I-TOWER 교차로

(도로 안전지대부지 활용 : 차선 및 차로폭 유지)

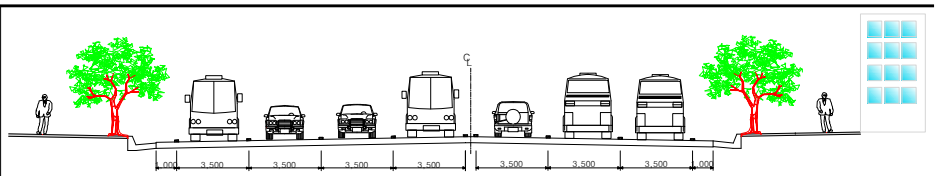
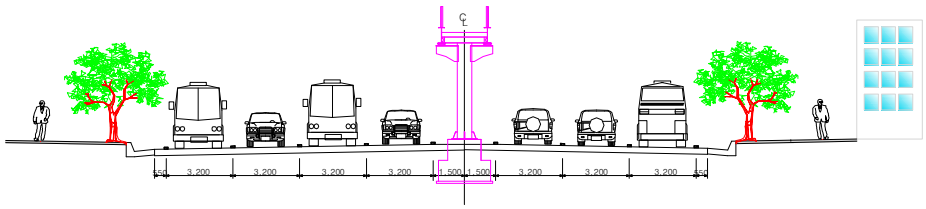
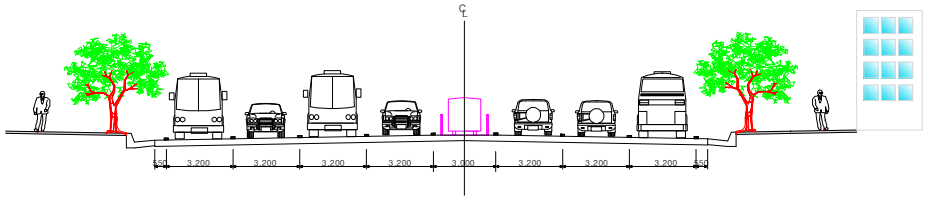
〈그림 Ⅲ-18〉 송도신도시 도로 횡단면 E-E

현재	
고가	
노면	

○ 도로 횡단면 F-F : I-TOWER 교차로 ~ 송도국제병원 교차로

(차로 폭 : 3.5m→3.2m, 길어깨 : 1.0m→0.55m)

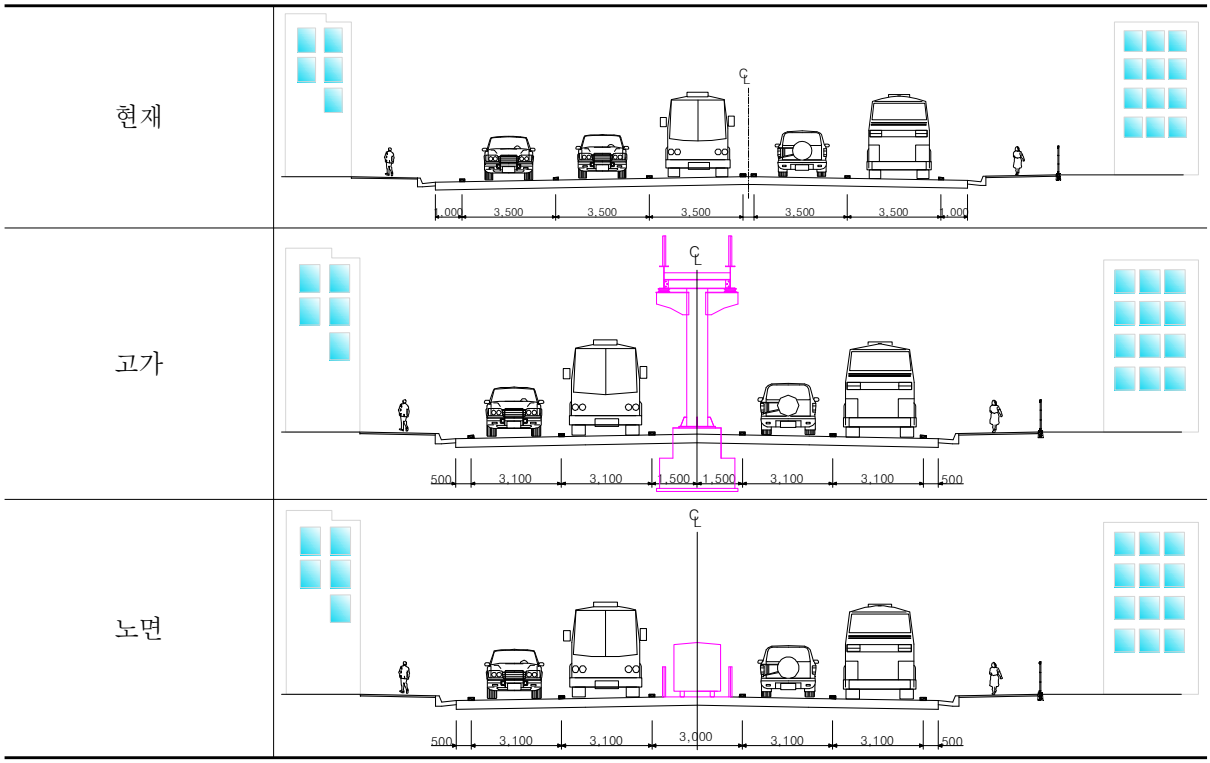
〈그림 Ⅲ-19〉 송도신도시 도로 횡단면 F-F

현재	
고가	
노면	

○ 도로 횡단면 G-G : 송도국제병원 교차로 ~ 캠퍼스타운역 교차로

(차로수 : 5→4, 차로폭 : 3.5m→3.1m, 길어깨 : 1.0m→0.5m)

<그림 Ⅲ-20> 송도신도시 도로 횡단면 G-G



다. 상암DMC

1) 노선 검토 결과

상암DMC 노선은 <그림 Ⅲ-21> 과 같이 12개의 정거장으로 구성되어 있으며 총연장은 9.388km이다. 선형검토 결과 최소곡선반경은 30m, 최급기울기는 10.0%, 최대 교각높이 9.9m, 최소 교각높이 4.8m로 계획되었다. 노선의 일부 구간은 불광천과 병행하도록 하였음으로 향후 사업시행 시에는 수리검토를 시행할 필요가 있을 것이다. 또한 중앙분리대 설치지역이 적어 대부분 구간에서 교각설치에 따른 도로점용으로 기존 차로의 폭원 축소가 불가피할 것으로 판단된다.

평균 역간거리는 782m로 500m 정도의 버스와 1,000m 정도의 도시철도 중간 정도의 거리를 나타내고 있다.

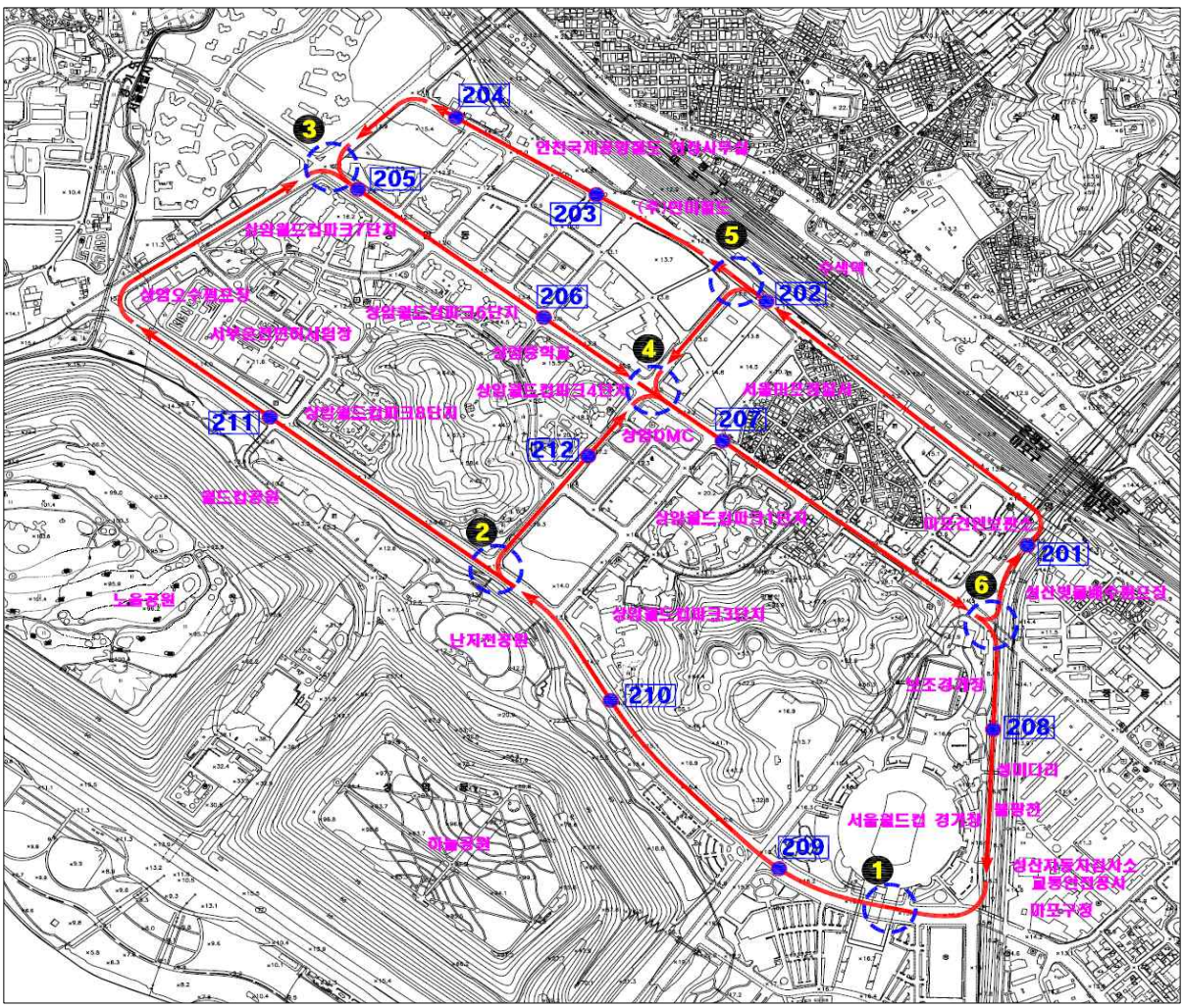
비교안으로 고가와 지상(노면)을 병행하는 종단을 검토하였으며 이때 노면구간 연장이 4.113km

로 전체 연장의 44%를 차지하는 것으로 분석되었다.

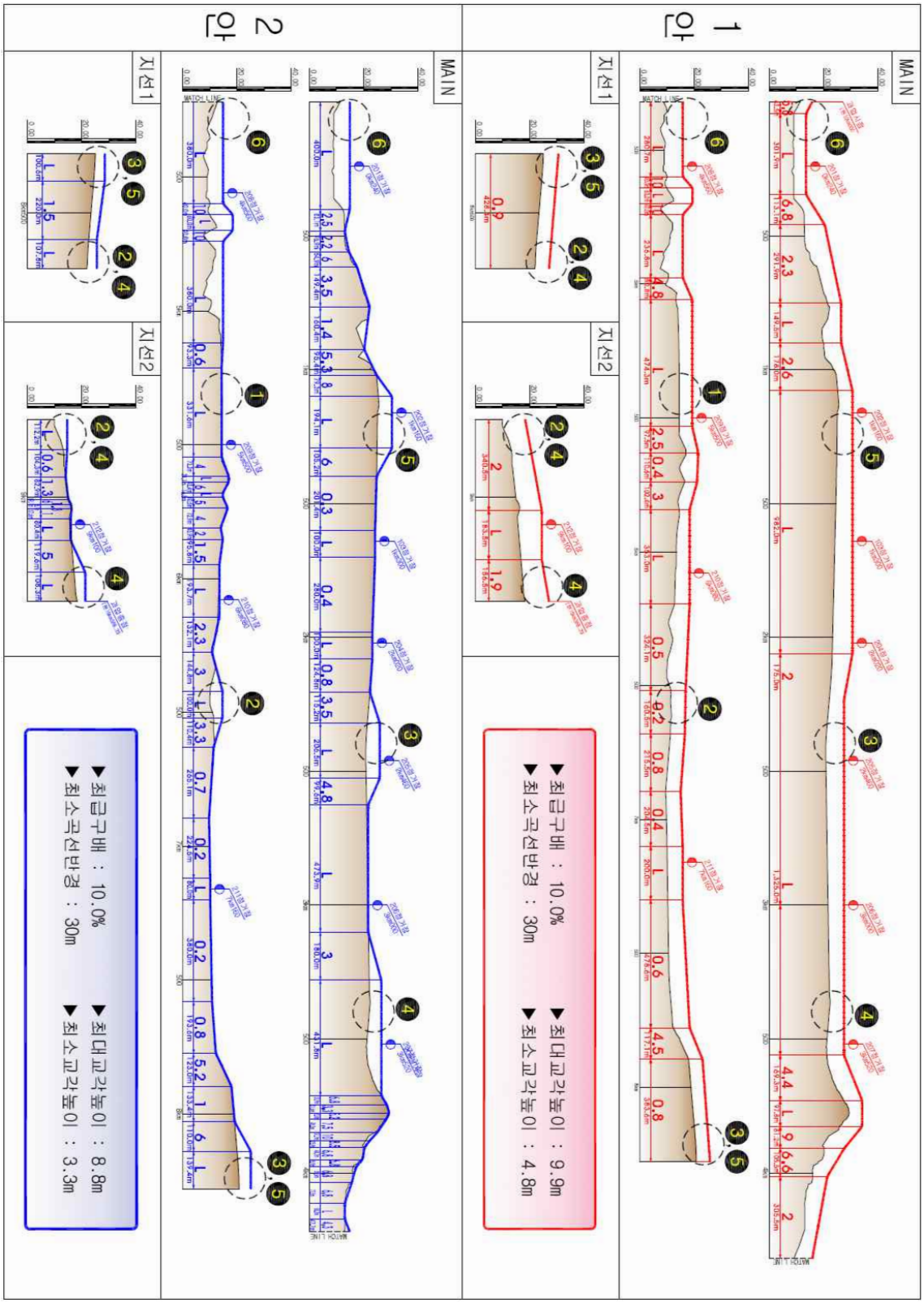
〈표 Ⅲ-8〉 상암DMC 노선계획 검토

구 분	1안 : 고가	2안 : 고가 + 지상(노면)	비고
노 면 (토공)	-	4.113km	
고 가 (교량)	9.388km	5.275km	
계	9.388km	9.388km	
정거장	12 개소	12 개소	
최급기울기	10.0%	10.0%	
최소곡선반경	30m	30m	
적 용	◉		

〈그림 Ⅲ-21〉 상암DMC 노선도



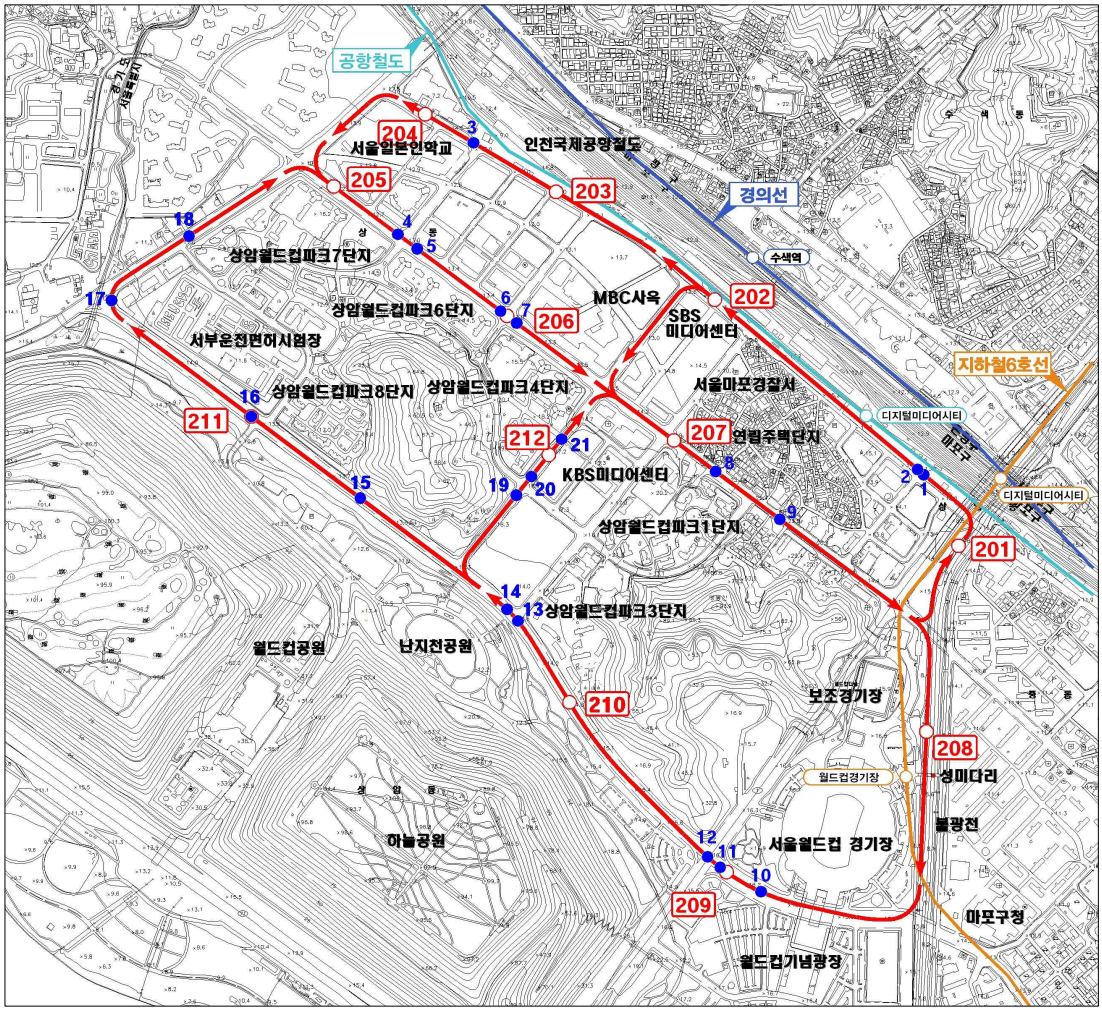
<그림 Ⅲ-22> 상암DMC 종단면도(고가/고가+지상)



(가) 노면공법 설치 적정성

노면과 고가 병행안의 경우 토공비율은 전체연장의 약 44%로 송도신도시와 같이 PRT 시스템 공사비 절감효과는 있을 것이다. 그러나, 대부분 구간에서 교각설치에 따른 도로점용으로 기존 차로의 폭원을 축소하여야 하며, 노선상에 위치하는 횡단보도 21개소를 모두 폐지하고 육교를 설치해야함으로 이로 인한 공사비 추가 발생에 따른 비용절감효과 상쇄와 지역주민의 통행권 악화 가능성 등을 종합적으로 고려하여 노면과 고가 병행안을 검토대상에서 제외하였다.

〈그림 III-23〉 상암DMC 횡단보도 설치 현황



〈표 Ⅲ-9〉 상암DMC 횡단보도 상세현황

No.	위치	도로폭(m)	보도폭(m)	차선수	대체시설
1	0km480	19	좌:4,우:0	5	보도육교
2	0km500	16	좌:4,우:0	4	보도육교
3	1km880	21	좌:4,우:4	6	보도육교
4	2km660	31	좌:4.5,우:4.5	9	보도육교
5	2km720	31	좌:4.5,우:4.5	9	보도육교
6	2km980	31	좌:4.5,우:4.5	9	보도육교
7	3km030	31	좌:4.5,우:4.5	9	보도육교
8	3km650	24	좌:3,우:6	7	보도육교
9	3km850	24	좌:3,우:6	7	보도육교
10	5km400	41	좌:5,우:5	10	보도육교
11	5km520	28	좌:6,우:6	8	보도육교
12	5km560	28	좌:6,우:6	8	보도육교
13	6km320	28	좌:5,우:5	8	보도육교
14	6km360	28	좌:5,우:5	8	보도육교
15	6km820	25	좌:6,우:6	6	보도육교
16	7km160	31	좌:6,우:6	9	보도육교
17	7km620	22	좌:7,우:7	5	보도육교
18	7km880	26	좌:3,우:4.5	7	보도육교
19	9km000	24	좌:5,우:5	7	보도육교
20	9km060	24	좌:5,우:5	7	보도육교
21	9km180	16	좌:5,우:5	4	보도육교
평균 도로폭		26			
총 도로폭		549			

(나) 상암DMC 주요도로 단면현황 및 공법 적용성

주요도로를 연계하는 도로단면 검토는 총 8개소로 다음과 같다.

○ 도로 횡단면 A-A : 중동교삼거리 ~ SBS미디어센터 교차로

○ 도로 횡단면 B-B : SBS미디어센터 교차로 ~ DMC첨단산업센터 교차로

○ 도로 횡단면 C-C : SBS미디어센터 교차로 ~ DMC사거리

○ 도로 횡단면 D-D : 중동교삼거리 ~ 서울상암월드컵경기장 교차로

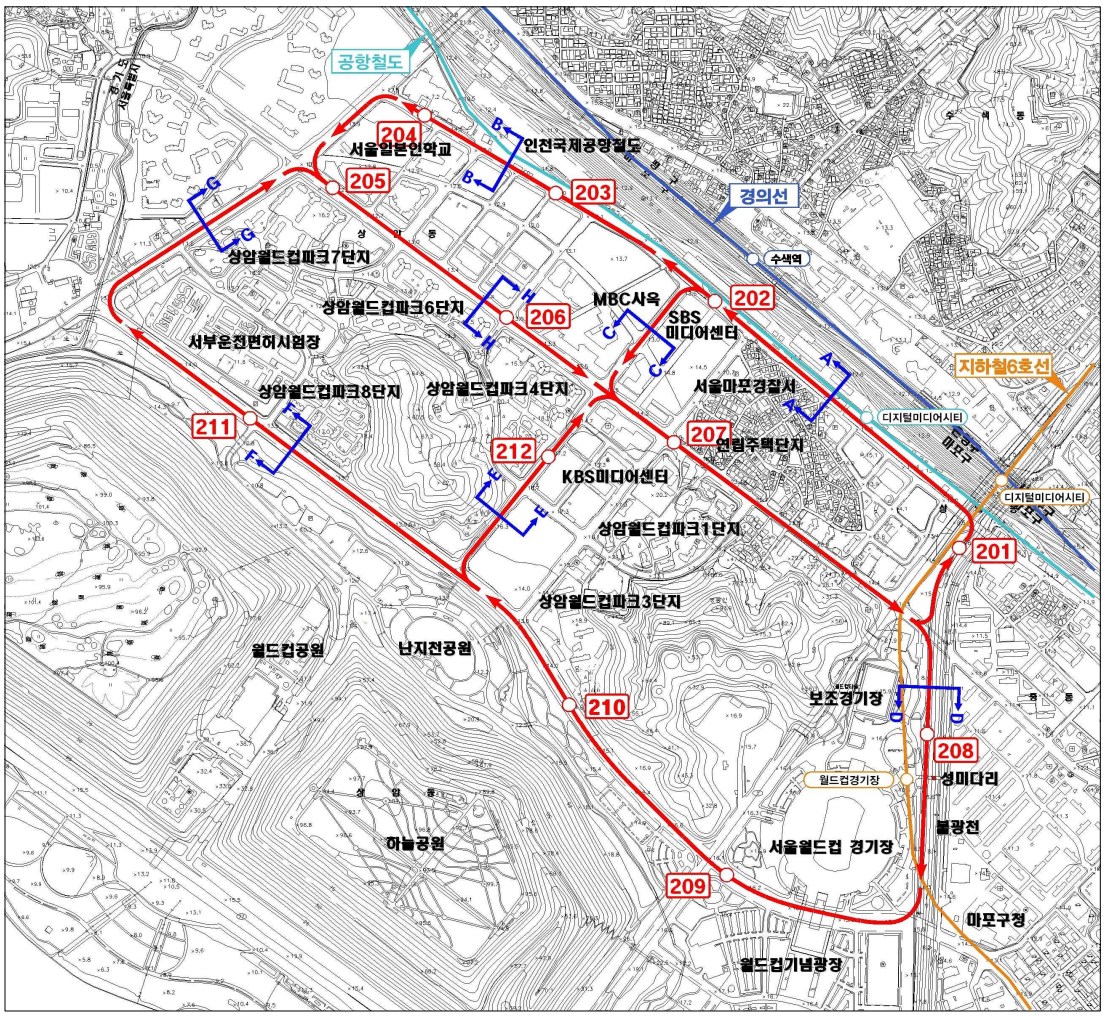
○ 도로 횡단면 E-E : DMC입구 교차로 ~ DMC 교차로

○ 도로 횡단면 F-F : 서울상암월드컵경기장 교차로 ~ 구룡교차로

○ 도로 횡단면 G-G : 구룡교차로 ~ 서울일본인학교앞 교차로

○ 도로 횡단면 H-H : 서울일본인학교앞 교차로 ~ 상암교차로

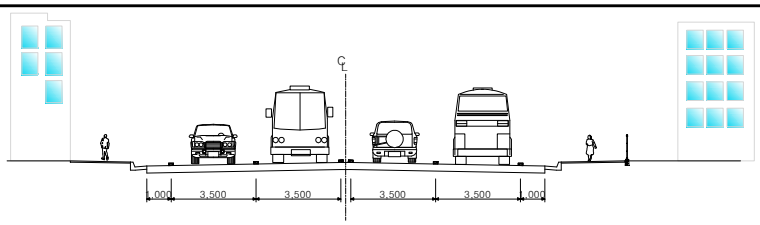
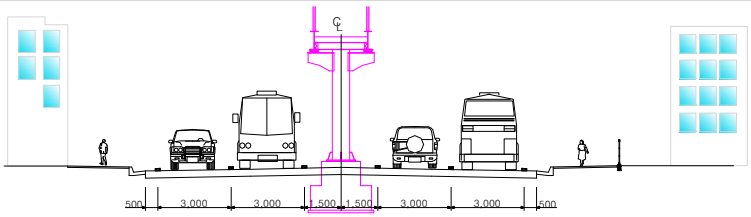
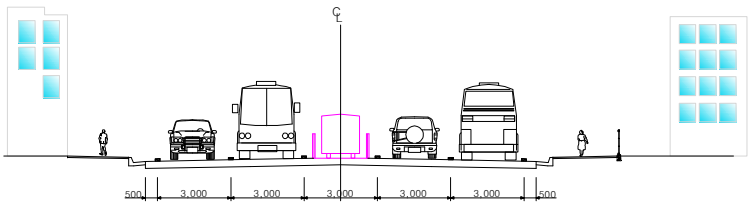
〈그림 Ⅲ-24〉 상암DMC 주요도로 단면위치 현황



○ 도로 횡단면 A-A : 중동교삼거리 ~ SBS미디어센터 교차로

(차로 폭 : 3.5m→3.0m, 길어깨 : 1.0m→0.5m)

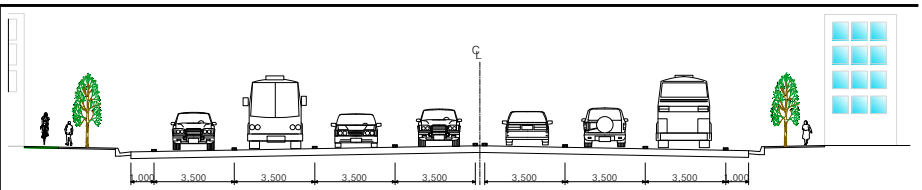
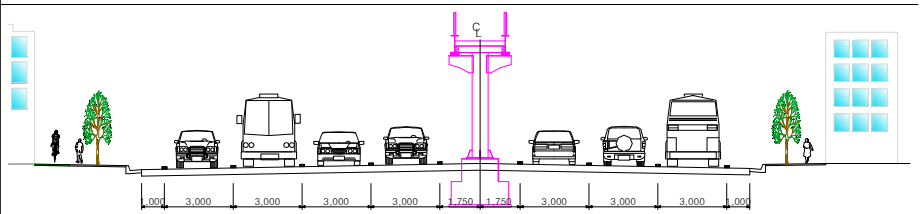
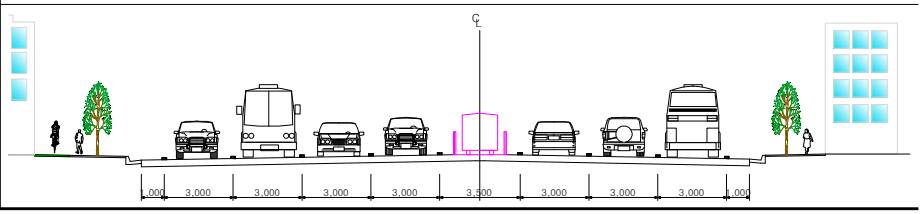
<그림 Ⅲ-25> 상암DMC 도로 횡단면 A-A

현재	
고가	
노면	

○ 도로 횡단면 B-B : SBS미디어센터 교차로 ~ DMC첨단산업센터 교차로

(차로 폭 : 3.5m→3.0m)

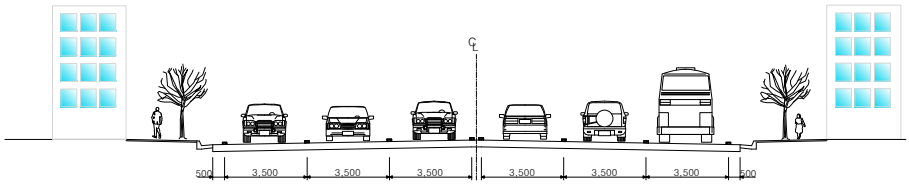
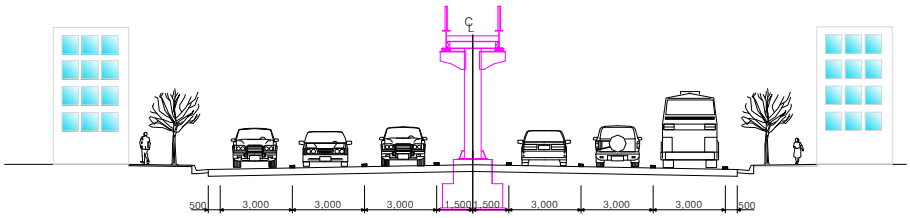
<그림 Ⅲ-26> 상암DMC 도로 횡단면 B-B

현재	
고가	
노면	

○ 도로 횡단면 C-C : SBS미디어센터 교차로 ~ DMC사거리

(차로 폭 : 3.5m→3.0m)

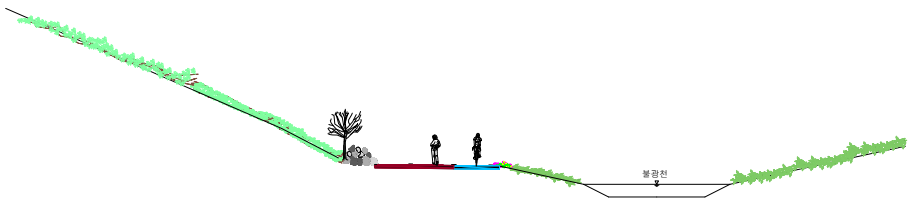
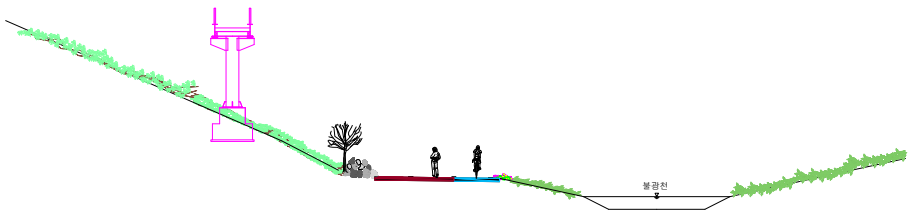
〈그림 Ⅲ-27〉 상암DMC 도로 횡단면 C-C

현재	
고가1	

※ 대안2는 대안1과 동일한 고가구조물 계획노선임

○ 도로 횡단면 D-D : 중동교삼거리 ~ 서울상암월드컵경기장 교차로

〈그림 Ⅲ-28〉 상암DMC 도로 횡단면 D-D

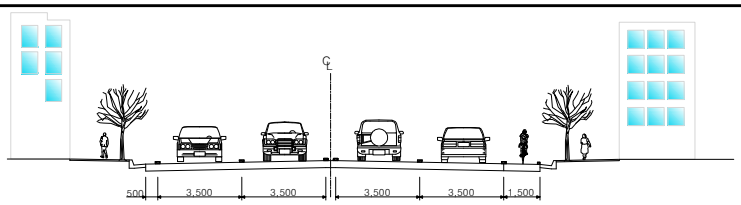
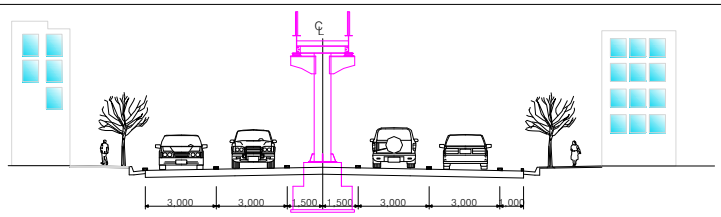
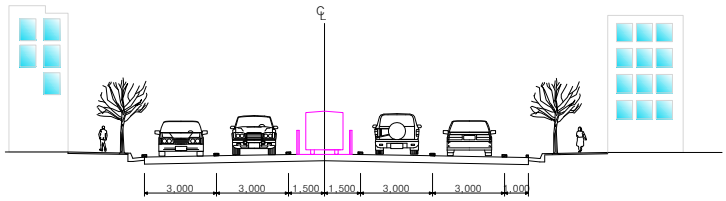
현재	
고가1	

※ 대안2는 대안1과 동일한 고가구조물 계획노선임

○ 도로 횡단면 E-E : DMC입구 교차로 ~ DMC 교차로

(차로 폭 : 3.5m→3.0m, 길어깨 : 0.5/1.5m→0.0/1.0m)

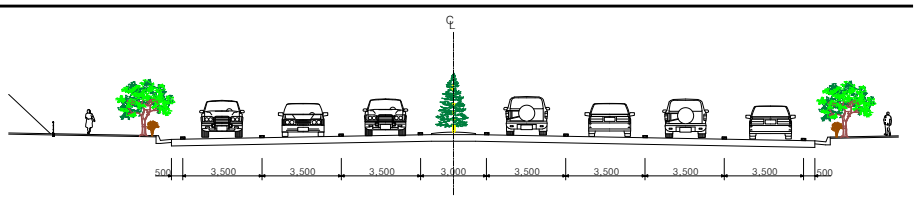
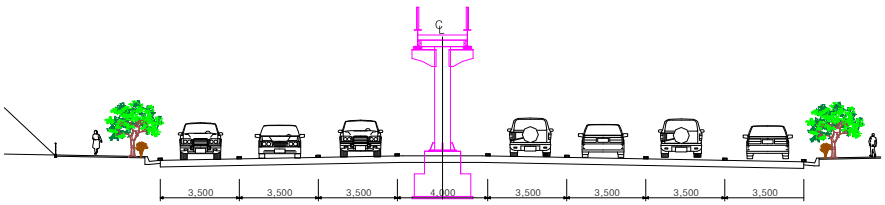
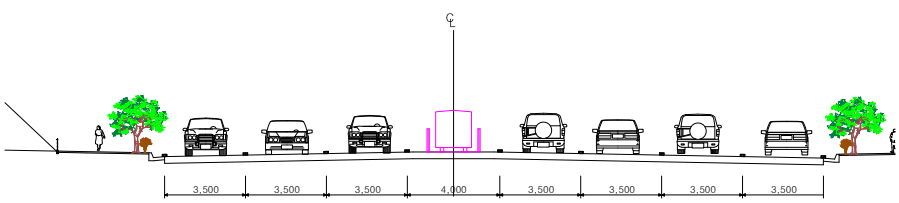
<그림 Ⅲ-29> 상암DMC 도로 횡단면 E-E

현재	
고가	
노면	

○ 도로 횡단면 F-F : 서울상암월드컵경기장 교차로 ~ 구룡교차로

(길어깨 : 0.5m → 0.0m)

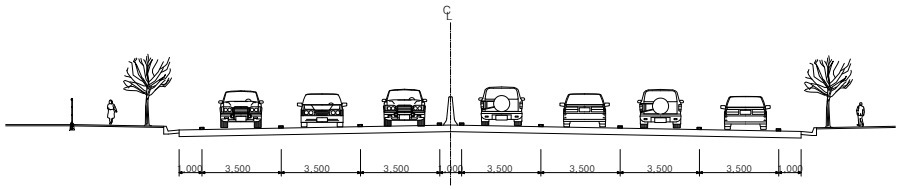
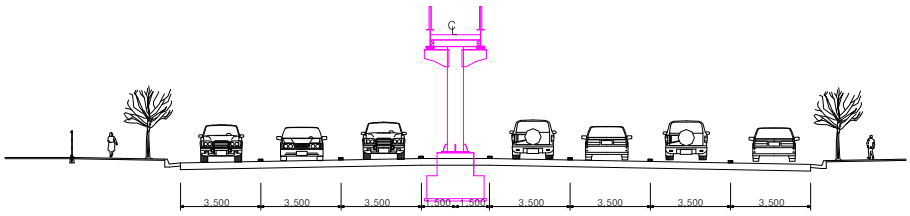
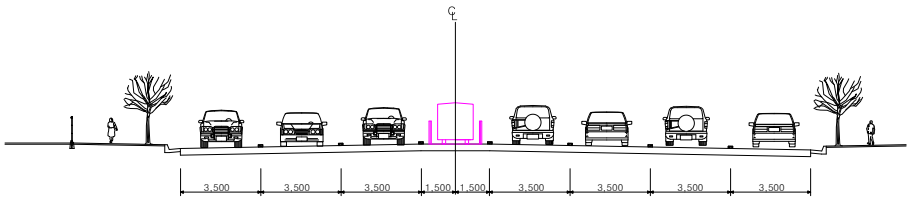
<그림 Ⅲ-30> 상암DMC 도로 횡단면 F-F

현재	
고가	
노면	

○ 도로 횡단면 G-G : 구룡교차로 ~ 서울일본인학교앞 교차로

(길어깨 : 1.0m → 0.0m)

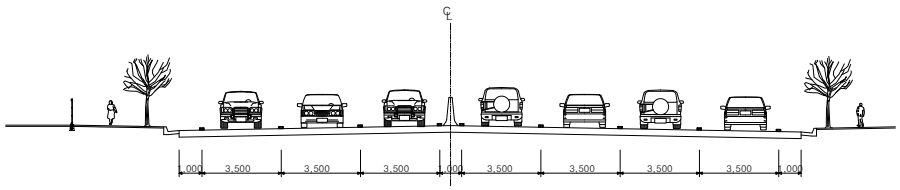
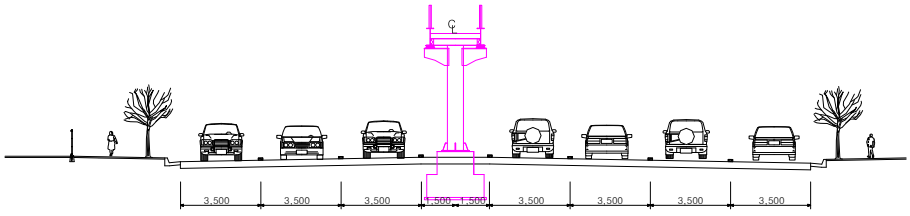
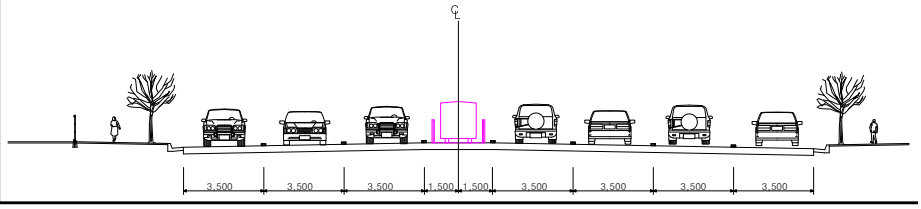
〈그림 Ⅲ-31〉 상암DMC 도로 횡단면 G-G

현재	
고가	
노면	

○ 도로 횡단면 H-H : 서울일본인학교앞 교차로 ~ 상암교차로

(차로폭 : 3.5m → 3.25m, 길어깨 : 0.5m → 0.0m)

〈그림 Ⅲ-32〉 상암DMC 도로 횡단면 H-H

현재	
고가	
노면	

라. 대상부지별 노선계획 검토 결과

송도신도시와 상암DMC 노선검토 결과 노면 또는 고가설치에 따라 상하행 차선간 3.0m의 도로 중앙 공간 점유가 필요하다. 계획도시인 송도신도시의 경우 일부 구간에서 차로 축소가 필요하며 대부분의 구간에서 기존 도로의 폭원 축소가 불가피할 것으로 판단된다. 노선적용성에서는 최소곡선반경, 최급기울기 측면에서 모두 송도신도시가 상암DMC 보다 유리할 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 연구의 한계로 지하지장물에 대한 조사가 시행되지 않았음으로 향후 사업시행 시 지장물에 의한 선형의 영향을 배제할 수 없을 것으로 판단된다. 한편 도로중앙의 여유 공간이 없는 상암DMC의 경우 본 연구에서 검토한 표준교량의 교각 직경이 70cm에 불과한 점을 고려하여 일부 구간에 대해 보도에 설치하는 것을 가정할 수 있으나 이는 기존 건물과 근접함으로써 민원의 가능성이 큰 반면 전체 사업비에 영향은 작을 것으로 판단하여 분석에서는 제외하였다.

〈표 Ⅲ-10〉 노선구성

구 분		송도신도시		상암DMC		비고
		고가	고가+노면	고가	고가+노면	
연 장		17,080m	17,080m	9,388m	9,388m	
곡선개소	R = 30	-	-	1개소	1개소	
	R = 50	16개소	16개소	5개소	5개소	
	R = 60	-	-	4개소	4개소	
	R = 80	-	-	1개소	1개소	
	R = 100	-	-	1개소	1개소	
	R = 200	-	-	1개소	1개소	
	R = 300	-	-	1개소	1개소	
	R = 500	1개소	1개소	1개소	1개소	
	R = 800	-	-	1개소	1개소	
	R = 1,000	8개소	8개소	1개소	1개소	
	계	25개소	25개소	17개소	17개소	
곡 선 연 장		1,849m	1,849m	1,455m	1,455m	
직 선 연 장		15,231m	15,231m	7,933m	7,933m	

<표 Ⅲ-10>의 계속

구 분		송도신도시		상암DMC		비고
		고가	고가+노면	고가	고가+노면	
기울기	10.0%	-	1개소	2개소	3개소	
	9.0%	-	-	1개소	-	
	8.5%	-	-	-	1개소	
	8.0%	-	3개소	-	1개소	
	7.5%	-	3개소	-	1개소	
	7.0%	-	5개소	1개소	5개소	
	6.5%	-	1개소	1개소	-	
	6.0%	-	-	1개소	5개소	
	5.5%	-	2개소	-	1개소	
	5.0%	2개소	5개소	1개소	5개소	
	4.5%	-	2개소	2개소	1개소	
	4.0%	-	-	-	2개소	
	3.5%	1개소	6개소	-	4개소	
	3.0%	4개소	7개소	1개소	2개소	
	2.5%	4개소	9개소	3개소	2개소	
	2.0%	6개소	7개소	4개소	2개소	
	1.5%	5개소	11개소	-	5개소	
	1.0%	12개소	13개소	3개소	4개소	
	0.5%	17개소	18개소	4개소	5개소	
	L	25개소	53개소	13개소	25개소	
	계	76개소	146개소	37개소	74개소	

제2절 총사업비 추정

1. 총사업비 추정의 개요

가. 비용추정의 기본방향

본 연구의 대상인 PRT시스템은 현재 적용되어 시공 또는 운영되고 있는 사례가 극히 제한적이며 자료에 대한 정보가 부족한 관계로 정확한 사업비 산출이 현실적으로 한계가 있다.

본 연구의 비용 산정은 주요 항목인 본선교량의 경우 표준모델 선정에 의한 해석과 물량산출로 비용을 산출하고 기타 분야는 AGT, 노면전차와 같은 유사 시스템 자료와 해외문헌을 참조하여 원단위를 추정하였다.

분석 대상지인 송도신도시와 상암DMC의 총사업비분석은 공사비, 부대비, 용지보상비, 예비비 등과 같은 초기투자비와 차량구입비로 구분하여 산출하였으며 운영비는 PRT시스템의 특징을 고려하여 산출하였다. 각 사업지는 수요예측 결과를 반영하였다.

나. 비용보정 및 기준년도

비용산출을 위한 각종 자료들의 기준연도가 상이함으로 각 비용자료의 기준연도 통일을 위해 2005년도와 2007년도 기준의 디플레이터를 적용하여 보정하였다. 디플레이터는 총공사비산출을 위해 교통시설의 건설공사지수를 적용하였으며 유지관리비 산출에는 소비자물가지수를 적용하였다. 교통시설건설 분야의 경우 2005년 100을 기준으로 한 건설업디플레이터는 2010년 138.4로 2005년에서 2010년까지 연평균 6.72%가 상승하였으나 소비자물가지수는 2010년 116.1로 연평균 2.22%의 상승률이 분석되어 소비자물가 상승보다 교통시설 건설공사지수의 상승이 더욱 높게 나타났다. 비용분석의 기준년도는 2010년 12월 31일을 기준으로 하였다.

<표 Ⅲ-11> 디플레이터

구 분	총공사비(건설업 디플레이터)		유지관리비(소비자물가지수)		비 고
	2005년 기준	2007년 기준	2005년 기준	2007년 기준	
2000년	75.4	71.5	-	-	
2001년	77.8	73.8	-	-	
2002년	82.6	78.4	-	-	
2003년	90.6	85.9	-	-	
2004년	97.5	92.5	97.3	92.8	
2005년	100.0	94.9	100.0	95.4	
2006년	102.5	97.2	102.2	97.5	
2007년	105.4	100.0	104.8	100.0	
2008년	126.5	120.1	109.7	104.7	
2009년	131.4	124.6	112.8	107.6	
2010년	138.4	131.3	116.1	110.8	

자료 : 1) 건설업 디플레이터는 한국건설기술연구원의 2011년 3월 건설공사비지수 동향 자료
2) 소비자물가지수는 한국은행통계시스템의 2010년 소비자물가지수 자료

다. 부가가치세 적용

PRT사업을 시행할 경우 도시철도법 또는 궤도운송법에 의해 시행될 수 있다. 도시철도법에 의해 시행될 경우 조세특례제한법 제105조 3항에 따라 영세율 적용으로 부가가치세가 면제되나 궤도운송법에 의해 시행될 경우에는 일반 사업과 같이 부가가치세를 적용 받게 된다.

도시철도법에 “도시철도”란 도시교통의 원활한 소통을 위하여 도시교통권역에서 건설·운영하는 철도·모노레일·노면전차·선형유도전동기·자기부상열차 등 궤도(軌道)에 의한 교통시설 및 교통수단으로 정의되어 있음으로 궤도에 의해 운영되는 PRT 역시 도시철도의 정의에 포함된다고 할 수 있다. 한편 도시철도법에 의한 사업은 국가가 도시철도법에 따라 건설·운영하는 도시철도, 도시철도사업 면허를 받은 지방자치단체, 도시철도사업을 위하여 「지방공기업법」에 따라 설립된 지방공사(이하 “도시철도공사”라 한다) 또는 다른 법인이 이 법에 따라 건설·운영하는 도시철도, 국가나 지방자치단체로부터 도시철도의 건설과 운영을 위탁받은 법인이 건설·운영하는 도시철도로 정의되어 있다.

따라서 검토대상지인 송도신도시와 상암DMC는 모두 도심지이며 이들을 대상으로 원활한 교통을 위해 PRT시스템 사업을 도입하는 것으로 가정하였음으로 도시철도법으로 시행될 가능성은 충

분하나 본 연구에서는 보수적으로 조세특례제한법에 의한 영세율 적용을 하지 않는 것으로 하였다.

따라서 부가가치세의 적용은 경제성분석에서는 제외하고 재무분석에서는 적용하여 분석하는 것으로 하여 비용을 산출하였다.

라. 환율

해외자료 활용시 기준연도에 따라 금액이 변동하는 단점이 있다. 동일한 지역에서의 공사비는 자국 내 물가변동에 의해 변화되지만 이를 타 국가에 적용할 경우 환율에 의한 영향을 받는데 이는 물가상승과의 직접적 영향 보다는 국가 또는 세계의 경제적 여건에 영향을 받는다.

본 연구에서 시스템공사비의 유사사례의 원단위로 활용한 Daventry PRT Scoping Study(PHASE 2 REPORT, February 2008)은 영국의 PRT사업이다. 2007년 12월 31일 종가 기준 환율은 1파운드(GBP) 당 1,874원이었으며 2010년 12월 31일 종가 기준 환율은 1,757원으로서 3년간 환율이 6.2% 하락하였으나 동 기간 국내 건설디플레이터는 38.4%가 증가 하였다. 따라서 환율적용 시점에 따라 약 45%의 변동이 발생할 수 있는 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 환율 변동을 특정시점으로 고정하는 것은 오차율이 클 것으로 판단하여 2007년 12월 31일 종가 환율과 2010년 12월31일 종가 환율의 평균값 1,815원을 적용하여 분석하였다.

2. 총사업비 추정

총사업비는 예비타당성조사지침을 참조하여 공사비, 부대비, 용지비, 차량구입비로 분류하였으며 공사비는 토목, 건축, 시스템, 차량기지로 세분하여 표준 원단위 공사비를 추정하여 적용하였다.

비용의 추정 및 검증을 위해 해외사례에서의 사업비, 송산그린시티신교통(BRT)시스템, 벡터스(Vectus)에서 제안한 「순천만소형경전철사업」의 공사비 단가, 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)에서 제시된 경량전철 km당 철도건설단가를 활용하였다.

가. 공사비

1) 토목 공사비 개요

토목 표준공사비는 크게 본선, 정거장, 궤도로 구분하였으며, 세부적으로는 노면, 고가로 세분하

여 추정하였다.

(가) 토공 공사비

토공공사비는 PRT시스템의 노반이 토공으로 구성되는 것으로 노반면이 지면과 거의 동일한 개념으로 가정하였다. 본 연구에서는 PRT시스템의 본선 노면구간의 형태가 유사한 BRT사업 중 기본계획이 완료된“시화II단계(송산그린시티) 신교통시스템”의 원단위 기준으로 활용하였으며“시화II단계(송산그린시티) 신교통시스템”이 복선임으로 본 연구에서의 단선 공사비 환산비율로“시화II단계(송산그린시티) 신교통시스템”공사비에 70%를 적용하여 7.63억원/km을 원단위로 추정하였다.

(나) 교량 공사비

교량공사비는 PRT시스템 특성상 총사업비 중 가장 높은 비중을 차지함으로 이에 대한 비교검토가 필요하다. 본 연구에서는 전술한 것과 같이 표준 교량형식을 선정한 후 구조계산과 수량산출을 통해 교량 원단위 공사비를 산출하였음으로 이에 대한 적정성 분석을 위해 공사비 비교 검토하였다.

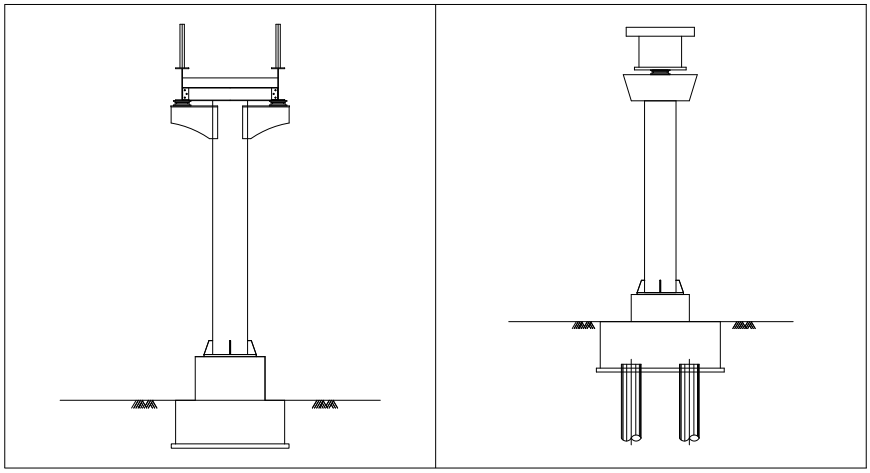
고무바퀴 차량으로 운행되는 PRT시스템의 특성과 가장 유사한 고무차륜 AGT의 경우 등분포 하중이 19.7~20.8kN/m로 평균 20.25kN/m이나 본 연구의 PRT는 5.17kN/m로써 AGT의 25.5%이다. 교량공사비는 여러 요소에 의해 결정되나 하중차이에 의한 공사비 추정도 어느 정도의 신뢰성이 있기 때문에 이를 예비타당성평가지침의 AGT 교량단가에 적용하면 42.61억원으로 본 연구에서 추정한 38.22억 기준 111.4%, 광명경전철 AGT 고가구조물 원단위 180.7억원/km로 하중비율을 적용하였을 경우 46.08억원/km로써 본 연구 추정가격의 대비 120.6%로 약 10~20% 정도 본 연구에서 추정한 비용이 적은 것으로 판단된다.

동일한 PRT 시스템인 순천만소형경전철사업의 고가구조물을 비교해 보면 교량공사비는 단선교량 45.37억원/km(직접기초)으로 분석되었다. 이는 본 연구 결과 38.22억원의 118.7%로 본 연구 결과가 약 17.2% 정도 낮게 나타났다. 한편 2006년 한국철도기술연구원에서 수행한 「소형궤도시스템 Pilot Plant(시험선로) 계획수립용역」 에서는 본선 교량공사비(단선)을 25.9억원/km으로 추정하였으며 2010년 디플레이터를 적용하면 34.97억원/km으로 본 연구의 91% 수준이다.

상기 비교분석 결과의 차이는 지반조건과 현장여건을 고려한 시공방법, 교량 형식설정 등에서 발생할 수 있으며, 본선 교량비용 +20%는 차량구입비를 제외한 전체 사업비의 약 +8%로 사업성 검토에 유의해야 할 항목으로 판단된다.

〈그림 Ⅲ-33〉 고가구조물 교량단면 비교

PRT 제안 교량단면 순천만소형경전철(PRT)-단선구간



(다) 정거장 및 건축 공사비

① 지상(토공) 정거장

정거장 원단위 중 노면구간은 송산그린시티(BRT) 기본계획에서 제시된 한국철도기술연구원 바이모달수송시스템 연구단 내부 자료인 모듈화정류장(밀폐형)의 비용을 인용하여 원단위를 추정한다. 밀폐형태 모듈화정류장의 비용은 5.3억원/개소이며 건축, 시스템비용이 모두 포함된 금액이다. 모듈화정거장의 크기는 2량용 기본형 연장이 32m로 본 연구대상인 PRT시스템의 제안정거장 연장 15m의 200% 수준이다. PRT의 경우 착발선이 추가됨으로 정거장 공사비를 BRT 공사비의 50%인 2.65억원/개소에 연장 25m(15m+5m×2개소)의 노면공사비 0.19억원을 추가하여 2.84억원으로 추정하였다.

② 고가(교량) 정거장

고가구간의 정거장 원단위 중 순천만소형경전철사업에서 제시한 고가정거장 원단위는 200㎡ 1개소 당 11.6억원이다. 광명경전철의 차량은 미츠비시의 크리스탈무버로 2량1편성 길이가 23.68m로 승강장 길이 30m이고 본 연구의 승강장 길이가 15m로 광명경전철의 50%이다. 이를 광명경전철(AGT) 고가정거장 비용 1개소 당 44.0억원을 적용하면 환산금액은 22.0억원으로서 순천만소형경전철 대비 광명경전철의 44%이다. 본 연구에서는 길이 20m, 폭 10m의 순천만정거장을 기준으로 길이 15m, 폭 11.1m의 본 연구 승강장 규모로 조정하여 공사비를 산출하여 1개소당 9.66억원으로 산정하

였다.

본 연구에서 순천만소형경전철 비용을 정거장 비용을 본 연구의 정거장 단위 비용으로 정하였는데 이는 시간당 승객이 처리능력이 AGT의 45% (PRT 최대 시간당 10,000인 : 0.5초당 1.5인, AGT 최대 시간당 15,000인 : 1분당 245인) 정도인 것과 순천만소형경전철의 정거장 시스템이 도시철도 수준 보다 낮을 것이라는 가정에서 판단한 것이다.

(라) 지장물

본선 고가 및 노면통과에 따른 지장물 처리비용으로 교량(고가)와 토공(노면)에 각각 해당 공사비의 10%, 30%를 차등하여 별도의 부대공사비를 추정하였다

(마) 토목 표준공사비 비교 검토

토목분야 표준공사비 분석결과를 정리한 것이 <표 Ⅲ-12>이다. 노면방식의 정거장을 제외하고 본선 및 정거장 공종에서 비교 대상 AGT 및 타 PRT사업 보다 낮게 나타났다. 그러나 이는 현장의 지반여건을 고려하지 않은 결과로 지반조건에 따라 비용이 증가 할 수 있을 것으로 판단된다.

<표 Ⅲ-12> 토목공사비 표준공사비 비교

구분		예타지침(5판)(경량전철)		광명경전철(AGT)		송산그린시티(BRT)	
		단가	기준	단가	기준	단가	기준
본선	노면(억원/km)	11.6	노면전차	-		10.9	전용차로
	교량(억원/km)	167.1	복선	157.6	복선	-	
정거장 및 건축	노면(억원/개소)	2.2	L=20m 기준	-		5.3	건축,시스템 포함
	고가(억원/개소)	13.5	L=20m 기준	44.0		-	

<표 Ⅲ-12>의 계속

구분		순천만(PRT)		본 연구 분석(PRT)		적용 원단위	
		단가	기준	단가	기준	단가	비고
본선	노면(억원/km)	-		-		7.63	BRT70%
	교량(억원/km)	45.4	단선, 직접기초	38.22	단선, 직접기초	38.22	
정거장 및 건축	노면(억원/개소)	-		-		2.84	BRT55%
	고가(억원/개소)	11.6	건축,시스템 포함	-		9.66	순천만 100%

주 : 1) 부가가치세 제외
2) 순천만 본선교량 비용은 단선 54.6억원/km에서 말뚝공사비를 제외한 금액임

2) 시스템 공사비

시스템 공사비는 전기, 신호, 통신으로 구분하여 추정하였으며, 각 공정별 원단위는 광명경전철(AGT)를 기준 비율로 추정하였다. PRT시스템은 기존 AGT시스템과의 구별되는 부분이 전기분야로서 AGT시스템의 제3궤조급전방식과 달리 배터리방식을 채택함으로서 경제적인 시설로 계획하여 전차선 비용을 축소할 수 있다. 그러나 배터리 방식은 충전이 필요함으로 이에 대한 시설로 충전시스템을 고려해야 한다.

충전시스템은 다벤트리 PRT에서 1개 시설 당 2,000파운드로 정하였는데 이를 환율 1,815원으로 적용하면 1개 시설 당 3.63백만 원이 된다. 정거장에서 차량이 대기하는 동안 충전하는 방식을 적용하여 정거장 1개소 당 충전시설 3개를 설치비용인 10.89백만원을 적용하였다. 나머지 총 차량 중 정거장에서 유치할 수 있는 차량 이외는 모두 차량기지로 회송 후 충전하거나 정거장에서 충전된 차량을 본선 유치차량과 교환하여 충전하는 방식으로 적용하였다.

다벤트리(Daventy) PRT의 신호통신 비용은 Control System 비용으로 총 2,500,000 파운드(GBP)와 CCTV로 314,318 파운드(GBP)를 적용하였으며 이를 원화로 환산하면 51.39억원이다. 다벤트리 PRT 노선 4.881km를 기준으로 신호통신 비용을 1km로 환산하면 비용은 10.53억원/km로 추정하였다. 또한 전기공사비는 1,000,000파운드(GBP)로 동일한 방법에 의해 3.72억원/km로 추정되었다.

원칙적으로 차량 경량화로 인해 노반공사비와 차량비용이 감소하더라도 열차를 제어하고 전력을 공급하는 시스템 비용은 동일한 시스템이라면 같은 비용으로 산출되어야 한다. 그러나 현재 개발되어 국내에서 유일하게 건설이 확정된 PRT 시스템으로 벡터스(Vectus)의 순천만소형경전철사업 시스템 공사비 원단위가 부가가치세 제외 23.6억원/km으로 광명경전철(AGT)의 약 27%의 매우 낮은 수준으로 제안되었다. 본 연구에서는 향후 경제적인 무인시스템이 적용되어 시스템비용이 낮아질 것이라는 가정과 다벤트리 시스템비용은 테스트베드 성격이 강하기 때문에 상업운영으로 추진 중인 순천만소형경전철사업의 비용수준으로 시스템비용을 산정하는 것으로 하였다.

〈표 Ⅲ-13〉 시스템공사비 원단위 비교 및 표준공사비

(단위 : 억원/km)

구분	예타지침(5판)		광명경전철(AGT)		송산그린시티(BRT)	
	단가	비고	단가	비고	단가	비고
전기	52.1	복선	40.5	복선	3.3	복선
신호	36.1		45.3			
통신	18.4		13.8			
소계	106.6	-	99.6	-	3.3	-

(단위 : 억원/km)

구분	순천만 (PRT)		Daventry (PRT)		적용 원단위	
	단가	비고	단가	비고	단가	비고
전기	23.6	단선	3.7	단선	8.10	광명 20%
신호			10.5		13.59	광명 30%
통신					4.14	광명 30%
소계	23.6	-	14.2	-	25.83	단선

주 : 1) 부가가치세 제외, 충전시스템 비용 별도
2) Daventrty PRT P 83

〈표 Ⅲ-14〉 충전시스템 비용

구분	단가(억원)	정거장수	금액(억원)	비고
송도신도시	0.1089	17	1.85	
상암DMC	0.1089	12	1.31	

주 : 부가가치세 별도

3) 차량기지 공사비

차량기지 표준공사비는 토목, 건축, 시스템 등을 포함한 비용으로 원단위를 추정하였으며 광명경전철의 차량기지 규모는 PRT시스템과는 시설규모에서 많은 차이가 있는 것으로 판단하여 원단위 비교에서 제외하였다.

벡터스(Vectus)의 순천만소형경전철사업 차량기지의 원단위가 27.27억원/개소(부가가치세 제외)으로 정비건물면적 840/㎡를 적용하면 1㎡당 비용은 3.25백만원/㎡이며 차량 40량 기준으로 1량 당 소요면적은 21㎡이다. 다벤트리(Daventry)PRT에서는 차량기지 1개소 비용이 839,000파운드(GBP)로 환율 1,815원 적용 시 15.23억원이었다. 차량기지면적당 비용은 4.70백만원/㎡으로 다벤트리

(Daventry) PRT가 순천만경전철사업 보다 45% 높은 것으로 나타났으며 1량당 소요면적은 13㎡로 순천만경전철사업보다 낮게 나왔다.

1량당 차량기지 소요면적은 순천만PRT와 다벤트리(Daventry)PRT의 평균값을 적용하였으며, 1㎡ 차량기지 비용은 국가 간 물가 및 인건비 차이를 고려하여 순천만 PRT 단가를 적용하되 정거장에서 충전하는 차량이외는 차량기지에서 충전하는 것으로 가정하여 충전시스템 비용 3.63백만원/량(정거장 유치물량 제외)를 적용하였다.

〈표 Ⅲ-15〉 차량기지 공사비 원단위 비교

구분		순천만 (PRT)	Daventry (PRT)	적용 공사비	
				송도신도시	상암DMC
차량수 (량)		40	25	178	40
1량당 소요면적(㎡)		21	13	17	17
차량기지 면적(㎡)		840	324	3,026	680
충전시스템(억원)		-	-	4.61	0.15
단위당 공사비	억원/개소	27.27	15.23	102.96	22.25
	억원/㎡	0.0325	0.0470	0.0340	0.0327

주: 1) 부가가치세 제외, 예비차량 포함
2) 단위공사비는 토목, 건축, 시스템비용을 포함
자료: 순천만소형경전철사업 사업계획서, Vectus, 2009,
SKM(Sinclair Knight Merz), 『Daventry PRT Scoping Study』, Daventry District Council, 2008.02

4) 공사비 산정 결과

공사비 산정결과 송도신도시의 경우 각각 1,428.29억, 상암DMC는 776.66억원으로 산정되었다. 송도신도시의 경우 차량대수가 총 178량(초기 118량, 60량 추가구입)으로 상암DMC 40량에 비해 매우 높게 나타났고, 차량기지 비용 역시 차량 포용량 증가에 따른 차량기지 규모 증가로 공사비의 7.2~28.6%를 차지하는 것으로 분석되었다. 이는 차량의 1량 당 평균승차 인원이 작고 PRT 특성상 수요에 따라 소요대수가 급격히 증가할 수 있다는 것을 의미하는 것으로 판단되며, 향후 차량기지 소요면적과 비용에 대해 충분한 검토가 요구된다.

〈표 Ⅲ-16〉 공사비 산정결과

(단위:억원)

공사종류	단위	단가	송도신도시		상암DMC	
			수량	금액	수량	금액
A. 공사비				1,428.29		776.66
A-1. 토목				882.30		510.61
A-1-1. 본선	km		17.080	718.08	9.388	394.69
A-1-1-1. 고 가	km	38.22	17.080	652.80	9.388	358.81
A-1-1-2. 노 면	km	7.64	0.000	-	0.000	-
A-1-1-3. 부대공				65.28		35.88
A-1-2. 정거장	개소		17	164.22	12	115.92
A-1-2-1. 고 가	개소	9.66	17	164.22	12	115.92
A-1-2-2. 노 면	개소	2.84	0	-	0	-
A-2. 시스템				443.03		243.80
A-2-1. 전 기	km	8.10	17.080	138.35	9.388	76.04
A-2-2. 신 호	km	13.59	17.080	232.12	9.388	127.58
A-2-3. 통 신	km	4.14	17.080	70.71	9.388	38.87
A-2-4. 충전시스템	개소	0.1089	17	1.85	12	1.31
A-3. 차량기지				102.96		22.25
A-3-1. 차량기지	㎡			102.96	680	22.25
A-4. 부가가치세			-	-	-	-

주 : 부가가치세 제외

나. 부대비 산정

부대비는 기본설계, 실시설계 등의 설계비, 공사감리비, 측량비 및 조사비 등을 포함하는 비용을 말하며, 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판) 및 총사업비 관리지침(기획재정부)』 을 적용하여 산정하였다.

1) 조사비

조사비는 사업의 시행을 위한 측량조사, 지질조사 및 기타 조사비 등으로 구성되며, 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』에서 제시한 공사비의 1%를 적용하여 산정하였다.

2) 설계비 및 감리비

설계비는'엔지니어링 사업대가 기준'의 공사비 비율에 의한 방식을 적용하고 공사감리비는 기획예산처의 총사업비 관리지침을 기준으로 공사감리 비용을 산출 적용하였다.

<표 Ⅲ-17> 엔지니어링 사업대가기준(공사비 비율에 의한 설계용역비)

구 분	건설부문의 요율(%)				통신부문의 요율(%)			
	기본설계	실시설계	공사감리	계	기본설계	실시설계	공사감리	계
500억원 이하	1.41	2.84	1.33	5.58	1.80	5.37	1.18	8.35
1,000억원 이하	1.40	2.79	1.30	5.49	1.76	5.30	1.16	8.22
2,000억원 이하	1.38	2.76	1.28	5.42	1.74	5.20	1.14	8.08
3,000억원 이하	1.37	2.72	1.25	5.34	1.72	5.11	1.13	7.96
5,000억원 이하	1.34	2.70	1.23	5.27	1.70	5.05	1.11	7.86

자료 : 지식경제부 고시 제2011 - 77호(2011. 4. 27)

<표 Ⅲ-18> 전면책임감리 요율

구 분	요 율(%)			비 고
	단순한 공종	보통의 공종	복잡한 공종	
500억원까지	3.44	3.82	4.18	
700억원까지	3.17	3.51	3.85	
1,000억원까지	2.90	3.21	3.52	
1,500억원까지	2.63	2.91	3.19	
2,000억원까지	2.45	2.72	2.98	

자료 : 2010년 총사업비관리지침(기획재정부)

3) SE(System Engineering) 비용

SE(System Engineering)은 서로 다른 분야의 기술을 가진 20여 종의 하부시스템들이 복잡하게 결합되어 구성되는 E&M 시스템(기계, 전기, 신호, 통신, 검수) 각 분야의 기술을 통합하고 부문간 기

술적 인터페이스를 관리하여, 시스템성능과 기능을 확보함은 물론 시스템의 안전과 보증을 위한 제반 기술 업무를 총괄 관리한다. 정확하고 안전한 시스템을 구축하여 설치하고 운영하기 위한 것으로 예비타당성조사지침과 같이 시스템공사비의 5%를 적용하였다.

<표 Ⅲ-19> SE비용

(단위:억원)

구 분	요율	송도신도시	상암DMC	비 고
시스템 공사비		443.03	243.80	
SE 비용	시스템공사비의 5%	22.15	12.19	

주 : 부가가치세 제외

4) 시운전비

건설 후 제반 시스템의 안정성 및 운영요원들의 시스템에 대한 운행점검을 위한 시운전 기간은 개통 전 모든 시설 점검과 시스템간의 작동을 확인하는 것으로 예비타당성 조사지침과 같이 영업시운전과 기술시운전을 포함하여 6개월간 운영하는 것으로 가정하여 개통 초기년도 유지관리비의 50%를 적용하였다.

<표 Ⅲ-20> 시운전비

(단위:억원)

구 분	요율	송도신도시	상암DMC	비 고
시운전비	초기년도 유지관리비의 50%	43.55	25.72	

5) 부대비 산정결과

부대비 산정결과는 다음과 같다.

〈표 Ⅲ-21〉 부대비 산정결과

(단위: 억원)

공사종류	규 격	단위	송도신도시		상암DMC	
			수량	금액	수량	금액
B. 부대비				157.87		88.76
B-1. 조사비	공사비 요율	%	1	14.28	1	7.77
B-2. 기본설계비	공사비 요율	%	1.385	19.79	1.408	10.94
B-3. 실시설계비	공사비 요율	%	2.777	39.66	2.816	21.87
B-4. 공사감리비	공사비 요율	%	1.291	18.44	1.322	10.27
B-5. SE비용	(A-2)×5%	%	5	22.15	5	12.19
B-6. 시운전비	6개월	식	1	43.55	1	25.72
B-7. 부가가치세	(B1~B5)×10%	%	0	0	0	0

다. 용지보상비

송도신도시 및 상암신도시의 PRT 노선은 도로 중앙을 통과하고 정거장도 도로 또는 보도 상에 설치함으로써 사유지 저촉은 피하는 것으로 계획하였다. 도로용지를 점유할 경우 도로점용비를 지방자치단체에 납부하여야 하는데 본 사업은 공공성격의 사업으로 도로점용비는 사업자가 지방자치자체와 협의하여 면제하는 것으로 하였다. 다만 차량기지의 경우 적절한 공공부지 확보가 어려워 사유지에 설치하는 것으로 하였으며 이때의 용지비는 최근 공시지가 현실화율이 91%까지 상승한 점을 고려하여 <표 Ⅲ-22>와 같이 『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』에서 제시한 표준지의 보상기준을 적용하여 산정하였다.

〈표 Ⅲ-22〉 지역별 지목별 보상배율

지 역		전	답	대지	임야
수도권	시부	1.50	1.50	1.40	2.00
	군부	1.75	1.75	1.50	2.50

〈표 Ⅲ-23〉 용지보상비(차량기지)

(단위: 억원)

구분	행정구역 및 지목	보상 배율	공시지가 (원/㎡)	편입면적 (㎡)	용지보상비 (억원)
송도신도시	송도동 13-8번지, 전	1.5	290,000	3,026	13.16
상암DMC	덕은동 360-2,3번지, 전	1.5	2,420,000	680	24.68

주) 한국감정평가협회 표준공시지가참조 www.kapanet.co.kr (2010.12.31. 기준)

라. 예비비

사업비산출에서 발생할 수 있는 오차 및 이에 따른 영향을 최소화하기 위하여 『도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제5판)』와 같이 산출된 사업비(공사비+부대비+용지보상비)의 10%를 예비비로 산정하였다.

〈표 Ⅲ-24〉 예비비

(단위 : 억원)

구분	요율	송도신도시	상암DMC	비고
예비비	사업비의 10%	159.93	89.01	

마. 차량구입비

차량구입비는 크게 초기 차량구입과 수요증가에 따른 추가구입비 및 내구연한 경과에 따른 대체투자비로 구분되는데, 차량노후에 따른 대체투자비는 내구연한 25년 기준으로 적용하였다. 차량구입비의 산정을 위해 먼저 수요에 따른 소요 차량 수를 산정하되, 차량이 필요한 1년 전에 구입하는 것으로 산정하였다. 예비타당성조사지침에서는 준공 3년 전에 균등하게 차량구입비를 지출하도록 되어 있으나 본 연구에서는 PRT 차량이 소형이라는 점과 공사기간이 3년으로 차량을 구입하여도 유치할 장소가 없다는 점을 고려하여 개통 전년도에 일괄구매로 하였으며 수요증가에 의한 추가구입은 초기구입 후 5년 후에 하는 것으로 검토하였다.

「Daventry PRT Scoping Study」(2008.02.06.)에서 차량가격은 50,000파운드(GBP) 로 "고가로 추

정하였고 비용이 감소할 것"라고 명시되어 있다. 이에 한국철도기술연구원에서는 상기 내용을 근거로 우리 현실과 영국을 비교해보았을 때 차량가격은 80백만이 타당할 것으로 의견을 제시하였으나 본 연구에서는 전술한 것과 같이 환율 1,815원을 적용하여 대당 가격을 90.75백만 원으로 추정하였다.

차량 소요대수는 승강장에서 승객의 대기시간과 1량당 평균탑승인원에 의해 결정되며 <표 III-25> ~ <표 III-28>은 대기시간 및 평균탑승인원에 따른 소요차량대수 산정 결과이다. 평균탑승거리가 2~4km로 탑승시간이 짧음으로 서비스저하를 방지하기 위해 승객대기시간을 2분으로 적용하였으며 평균승차인원은 택시와 동일한 1.55명을 적용하였으며 이에 따른 대안별 소요차량대수는 <표-30>과 같다.

〈표 Ⅲ-25〉 송도 소요차량 분석(2016년)

구분	최대대기시간(분)	평균승차인원(인)	소요차량(대)	차량출발(대/h)	평균주행거리(m/량/day)	평균속도(km/h)	에너지소모(kwh/량/day)
Case-1	2	1.55	107	928	643,634	55.6	101.11
		1.80	105	813	576,350	55.7	90.54
		2.00	92	724	583,120	55.8	91.61
		2.20	86	655	565,263	55.9	88.80
		2.5명	79	574	541,007	55.9	84.99
		2.7명	72	523	549,585	56.1	86.34
		3.00	62	464	556,332	56.0	87.40
Case-2	3	1.50	106	894	620,806	55.6	97.53
		1.80	92	776	620,690	55.7	97.51
		2.00	84	724	638,655	55.8	100.33
		2.20	79	624	579,563	55.8	91.05
		2.55	67	542	597,622	55.9	93.89
		2.70	63	495	589,186	56.1	92.56
		3.00	54	442	603,863	56.1	94.87
Case-3	5	1.55	85	799	678,876	55.7	106.65
		1.80	74	690	665,049	55.7	104.48
		2.00	66	622	677,225	55.8	106.39
		2.20	62	556	640,349	55.9	100.60
		2.50	53	488	668,826	56.0	105.07
		2.70	45	425	668,018	55.9	104.95
		3.00	46	399	631,497	56.1	99.21
Case-4	7	1.55	72	722	716,461	55.7	112.56
		1.80	63	626	710,355	55.7	111.60
		2.00	55	560	726,286	55.9	114.10
		2.20	53	500	668,208	55.9	104.98
		2.50	45	445	711,385	56.0	111.76
		2.70	41	394	701,420	56.1	110.19
		3.00	37	361	702,028	56.1	110.29

주: 분석 및 자료 제공 한국철도기술연구원(2011.8.18.)

〈표 Ⅲ-26〉 송도 소요차량 분석(2026년)

구분	최대대기시간(분)	평균승차인원(인)	소요차량(대)	차량출발(대/h)	평균주행거리(m/량/day)	평균속도(km/h)	에너지소모(kwh/량/day)
Case-1	2	1.55	162	1384	640,665	55.0	100.65
		1.80	157	1192	572,244	55.4	89.90
		2.00	141	1069	570,163	55.6	89.57
		2.20	132	975	556,297	55.6	87.39
		2.50	118	862	549,982	55.7	86.40
		2.70	106	787	559,073	55.8	87.83
		3.00	97	701	544,019	55.9	85.47
Case-2	3	1.55	163	1322	604,265	55.9	55.20
		1.80	141	1140	606,142	55.4	95.22
		2.00	124	1025	617,860	55.6	97.07
		2.20	111	936	629,121	55.7	98.83
		2.50	106	824	582,270	55.7	91.47
		2.70	98	749	573,146	55.8	90.04
		3.00	84	671	592,980	55.9	93.16
Case-3	5	1.55	127	1195	685,387	55.3	107.67
		1.80	109	1037	696,799	55.5	109.47
		2.00	101	925	669,172	55.6	105.13
		2.20	95	837	641,912	55.6	100.84
		2.50	85	747	641,891	55.7	100.84
		2.70	80	685	627,193	55.8	98.53
		3.00	68	603	641,525	55.9	100.78
Case-4	7	1.55	106	1073	724,123	55.3	113.76
		1.80	91	932	737,451	55.6	115.85
		2.00	84	840	713,754	55.6	112.13
		2.20	77	745	694,073	55.7	109.04
		2.50	67	666	706,376	55.8	110.97
		2.70	64	611	680,578	55.8	106.92
		3.00	56	554	701,520	55.9	110.21

주: 분석 및 자료 제공 한국철도기술연구원(2011.8.18.)

<표 Ⅲ-27> 상암 소요차량 분석(2016년)

구분	최대대기시간(분)	평균승차인원(인)	소요차량(대)	차량출발(대/h)	평균주행거리(m/량/day)	평균속도(km/h)	에너지소모(kwh/량/day)
Case-1	2	1.55	31	578	539,004	48.1	84.68
		1.80	27	501	538,529	48.3	84.60
		2.00	25	694	850,022	48.9	133.54
		2.20	25	398	455,807	48.3	71.61
		2.50	21	343	467,145	48.4	73.39
		2.70	20	320	452,838	48.3	71.14
		3.00	18	289	455,997	48.3	71.64
Case-2	3	1.55	28	553	572,519	48.3	89.94
		1.80	25	483	558,512	48.3	87.74
		2.00	23	435	539,705	48.3	84.79
		2.20	22	389	502,722	48.4	78.98
		2.50	19	338	508,758	48.5	79.93
		2.70	18	310	485,401	48.3	76.26
		3.00	16	276	490,150	48.4	77.00
Case-3	5	1.55	24	519	625,270	48.3	98.23
		1.80	20	440	635,903	48.4	99.90
		2.00	18	391	625,027	48.4	98.19
		2.20	18	362	574,772	48.4	90.30
		2.50	16	310	553,623	48.6	86.97
		2.70	14	287	575,330	48.5	90.38
		3.00	13	254	556,846	48.6	87.48
Case-4	7	1.55	19	453	691,097	48.4	108.57
		1.80	16	380	690,548	48.6	108.49
		2.00	15	344	659,047	48.6	103.54
		2.20	15	320	615,053	48.6	96.62
		2.50	12	277	651,516	48.6	102.35
		2.70	11	254	648,000	48.6	101.80
		3.00	10	224	631,463	48.7	99.20

주: 분석 및 자료 제공 한국철도기술연구원(2011.8.18.)

<표 Ⅲ-28> 상암 소요차량 분석(2026년)

구분	최대대기시간(분)	평균승차인원(인)	소요차량(대)	차량출발(대/h)	평균주행거리(m/량/day)	평균속도(km/h)	에너지소모(kwh/량/day)
Case-1	2	1.55	36	632	505,970	48.1	79.49
		1.80	29	542	542,882	48.2	85.29
		2.00	29	496	496,547	48.4	78.01
		2.20	25	438	503,914	48.3	79.16
		2.50	24	378	449,773	48.4	70.66
		2.70	21	344	461,161	48.4	72.45
		3.00	18	314	494,880	48.4	77.75
Case-2	3	1.55	30	609	584,760	48.3	91.87
		1.80	25	526	609,754	48.3	95.79
		2.00	24	474	570,830	48.4	89.68
		2.20	22	423	549,950	48.4	86.40
		2.50	21	366	493,502	48.4	77.53
		2.70	19	334	498,328	48.4	78.29
		3.00	17	310	515,514	48.4	80.99
Case-3	5	1.55	26	567	631,215	48.3	99.16
		1.80	21	475	654,484	48.4	102.82
		2.00	20	427	614,600	48.3	96.55
		2.20	18	384	606,784	48.4	95.33
		2.50	16	336	598,380	48.5	94.01
		2.70	14	301	602,823	48.4	94.70
		3.00	13	277	598,403	48.5	94.01
Case-4	7	1.55	22	500	663,705	48.6	104.27
		1.80	18	418	678,247	48.6	106.55
		2.00	16	382	694,228	48.6	109.06
		2.20	15	347	667,475	48.6	104.86
		2.50	13	295	643,713	48.5	101.13
		2.70	11	256	667,208	48.7	104.82
		3.00	11	246	630,225	48.6	99.01

주: 분석 및 자료 제공 한국철도기술연구원(2011.8.18.)

〈표 Ⅲ-29〉 차량가격

(단위:백만원/량)

구분	요율	환율(원)	가격(백만원)	비고
환율적용	2007년12월31일	1,874	93.70	
	2010년12월31일	1,757	87.85	
한국철도기술연구원		-	80.00	
적 용	평균	1,815	90.75	

〈표 Ⅲ-30〉 차량 소요량 및 구입가격

구 분			2016	2021	2026	2031	2036	2045	계
송도	소요량수 (량)	운행	107	162	162	162	162	162	-
		예비(10%)	11	16	16	16	16	16	-
		계	118	178	178	178	178	178	-
	구입량수 (량)		118	60	-	-	-	-	-
	차량 비용 (억원)		107.09	54.45	-	-	-	-	161.54
상암	소요량수 (량)	운행	31	36	36	36	36	36	-
		예비(10%)	3	4	4	4	4	4	-
		계	34	40	40	40	40	40	-
	구입량수(량)		34	6	-	-	-	-	-
	차량 비용(억원)		30.86	5.45	-	-	-	-	36.31

주 : 1) 부가가치세 제외
2) 내구연한 경과에 따른 대체구입은 별도

바. 총사업비 추정

1) 대상부지별 구조물 현황

송도신도시와 상암DMC의 부지별 주요 구조물 현황은 다음 <표 Ⅲ-31> 과 같다.

〈표 Ⅲ-31〉 대상부지별 주요 구조물 현황

공사종류	단위	송도신도시	상암DMC	비고
총연장	km	17.080	9.388	단선
교 량	km	17.080	9.388	
노 면	km	0.000	0.000	
정거장	개소	17	12	
차량기지	㎡	3,026	680	

2) 총사업비 산정 결과

(가) 송도신도시 총사업비

본 연구에서 총사업비는 차량구입비 161.54억원을 포함하여 1,920.79억원(부가가치세 제외)으로 산정되었으며 차량구입비를 제외한 1km 당 사업비는 각각 103.00억원이다.

(나) 상암DMC 총사업비

본 연구에서 총사업비는 차량구입비 36.31억원을 포함하여 1,015.41억원(부가가치세 제외)으로 산정되었으며 차량구입비를 제외한 1km 당 사업비는 104.29억원으로 송도신도시와 유사한 수준으로 분석되었다.

〈표 Ⅲ-32〉 송도신도시 총사업비 - 부가가치세 제외

(단위 : 억원)

공사종류	규 격	단위	단가	수량	금액	비고
A. 공사비					1,428.29	
A-1. 토목					882.30	
A-1-1. 본선		km		17.080	718.08	
A-1-1-1. 고 가		km	38.22	17.080	652.80	
A-1-1-2. 노 면		km	7.64	0.000	-	
A-1-1-3. 부대공	지장물				65.28	
A-1-2. 정거장		개소		17	164.22	
A-1-2-1. 고 가		개소	9.66	17	164.22	
A-1-2-2. 노 면		개소	2.84	0	-	
A-2. 시스템					443.03	
A-2-1. 전 기		km	8.10	17.080	138.35	
A-2-2. 신 호		km	13.59	17.080	232.12	
A-2-3. 통 신		km	4.14	17.080	70.71	
A-2-4. 충전시스템		개소	0.1089	17	1.85	
A-3. 차량기지					102.96	
A-3-1. 차량기지		㎡		3,026	102.96	
A-4. 부가가치세				0%	-	
B. 부대비					157.87	
B-1. 조사비	공사비 요율	%		1	14.28	
B-2. 기본설계비	공사비 요율	%		1.385	19.79	
B-3. 실시설계비	공사비 요율	%		2.777	39.66	
B-4. 공사감리비	공사비 요율	%		1.291	18.44	
B-5. SE비용	(A-2)×5%	%		5	22.15	
B-6. 시운전비	6개월	식		1	43.55	
B-7. 부가가치세	(B1~B5)×10%	%		0%	-	
C. 용지보상비	공시지가×보상배율	㎡	0.00435	3,026	13.16	
D. 예비비	(A+B+C)×10%	%		10	159.93	
E. 총사업비	A+B+C+D				1,759.25	
F. 차량구입비					161.54	
F-1. 초기구입비	2016년	량	0.9075	118	107.09	
F-2. 추가구입비	2021년	량	0.9075	60	54.45	
총계(E+F)					1,920.79	

〈표 Ⅲ-33〉 송도신도시 총사업비-부가가치세 포함

(단위 : 억원)

공사종류	규 격	단위	단가	수량	금액	비고
A. 공사비					1,571.12	
A-1. 토목					882.30	
A-1-1. 본선		km		17.080	718.08	
A-1-1-1. 고 가		km	38.22	17.080	652.80	
A-1-1-2. 노 면		km	7.64	0.000	-	
A-1-1-3. 부대공	지장물				65.28	
A-1-2. 정거장		개소		17	164.22	
A-1-2-1. 고 가		개소	9.66	17	164.22	
A-1-2-2. 노 면		개소	2.84	0	-	
A-2. 시스템					443.03	
A-2-1. 전 기		km	8.10	17.080	138.35	
A-2-2. 신 호		km	13.59	17.080	232.12	
A-2-3. 통 신		km	4.14	17.080	70.71	
A-2-4. 충전시스템		개소	0.1089	17	1.85	
A-3. 차량기지					102.96	
A-3-1. 차량기지		㎡		3,026	102.96	
A-4. 부가가치세				10%	142.83	
B.부대비					181.05	
B-1.조사비	공사비 요율	%		1	15.71	
B-2.기본설계비	공사비 요율	%		1.382	21.71	
B-3.실시설계비	공사비 요율	%		2.771	43.53	
B-4.공사감리비	공사비 요율	%		1.286	20.21	
B-5.SE비용	(A-2)×5%	%		5	22.15	
B-6.시운전비	6개월	식		1	45.41	
B-7.부가가치세	(B1~B5)×10%	%		10%	12.33	
C.용지보상비	공시지가×보상배율	㎡	0.00435	3,026	13.16	
D.예비비	(A+B+C)×10%	%		10	176.53	
E.총사업비	A+B+C+D				1,941.86	
F.차량구입비					177.69	
F-1.초기구입비	2016년	량	0.9983	118	117.79	
F-2.추가구입비	2021년	량	0.9983	60	59.90	
총계(E+F)					2,119.55	

〈표 Ⅲ-34〉 상암DMC 총사업비-부가가치세 제외

(단위:억원)

공사종류	규 격	단위	단가	수량	금액	비고
A. 공사비					776.66	
A-1. 토목					510.61	
A-1-1. 본선		km		9.388	394.69	
A-1-1-1. 고 가		km	38.22	9.388	358.81	
A-1-1-2. 노 면		km	7.64	0.000	-	
A-1-1-3. 부대공	지장물				35.88	
A-1-2. 정거장		개소		12	115.92	
A-1-2-1. 고 가		개소	9.66	12	115.92	
A-1-2-2. 노 면		개소	2.84	0	-	
A-2. 시스템					243.80	
A-2-1. 전 기		km	8.10	9.388	76.04	
A-2-2. 신 호		km	13.59	9.388	127.58	
A-2-3. 통 신		km	4.14	9.388	38.87	
A-2-4. 충전시스템		개소	0.1089	12	1.31	
A-3. 차량기지					22.25	
A-3-1. 차량기지		㎡		680	22.25	
A-4. 부가가치세				0%	-	
B.부대비					88.76	
B-1.조사비	공사비 요율	%		1	7.77	
B-2.기본설계비	공사비 요율	%		1.408	10.94	
B-3.실시설계비	공사비 요율	%		2.816	21.87	
B-4.공사감리비	공사비 요율	%		1.322	10.27	
B-5.SE비용	(A-2)×5%	%		5	12.19	
B-6.시운전비	6개월	식		1	25.72	
B-7.부가가치세	(B1~B5)×10%	%		0%	-	
C.용지보상비	공시지가×보상배율	㎡	0.03630	680	24.68	
D.예비비	(A+B+C)×10%	%			89.01	
E.총사업비	A+B+C+D				979.11	
F.차량구입비					36.31	
F-1.초기구입비	2016년	량	0.9075	34	30.86	
F-2.추가구입비	2021년	량	0.9075	6	5.45	
총계(E+F)					1,015.42	

〈표 Ⅲ-35〉 상암DMC 총사업비-부가가치세 포함

(단위:억원)

공사종류	규 격	단위	단가	수량	금액	비고
A. 공사비					854.33	
A-1. 토목					510.61	
A-1-1. 본선		km		9.388	394.69	
A-1-1-1. 고 가		km	38.22	9.388	358.81	
A-1-1-2. 노 면		km	7.64	0.000	-	
A-1-1-3. 부대공	지장물				35.88	
A-1-2. 정거장		개소		12	115.92	
A-1-2-1. 고 가		개소	9.66	12	115.92	
A-1-2-2. 노 면		개소	2.84	0	-	
A-2. 시스템					243.80	
A-2-1. 전 기		km	8.10	9.388	76.04	
A-2-2. 신 호		km	13.59	9.388	127.58	
A-2-3. 통 신		km	4.14	9.388	38.87	
A-2-4. 충전시스템		개소	0.1089	12	1.31	
A-3. 차량기지					22.25	
A-3-1. 차량기지		㎡		680	22.25	
A-4. 부가가치세				10%	77.67	
B.부대비					101.32	
B-1.조사비	공사비 요율	%		1	8.54	
B-2.기본설계비	공사비 요율	%		1.405	12.00	
B-3.실시설계비	공사비 요율	%		2.810	24.00	
B-4.공사감리비	공사비 요율	%		1.317	11.25	
B-5.SE비용	(A-2)×5%	%		5	12.19	
B-6.시운전비	6개월	식		1	26.54	
B-7.부가가치세	(B1~B5)×10%	%		10%	6.80	
C.용지보상비	공시지가×보상배율	㎡	0.03630	680	24.68	
D.예비비	(A+B+C)×10%	%			98.03	
E.총사업비	A+B+C+D				1,078.36	
F.차량구입비					39.93	
F-1.초기구입비	2016년	량	0.9983	34	33.94	
F-2.추가구입비	2021년	량	0.9983	6	5.99	
총계(E+F)					1,118.29	

3. 운영비 추정

가. 운영비 추정의 기본방향

영업시간은『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』에서 제시하고 있는 도시철도 운영시간과 동일한 총 19시간을 적용하였다.

〈표 Ⅲ-36〉 영업시간

구 분		영 업 시 간		
첨 두 시	오 전	07:00 ~ 09:00	2시간	5시간
	오 후	17:00 ~ 20:00	3시간	
준첨두시	오 전	06:00~07:00, 09:00~10:00	6시간	6시간
	오 후	14:00~17:00, 20:00~21:00		
비첨두시	주 간	05:00~06:00, 10:00~12:00	3시간	8시간
	야 간	12:00~14:00, 21:00~24:00	5시간	

나. 인건비

운영요원계획은『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』을 근거로 하되 유지보수인원, 차량보수인원, 운영사령인원, 관리인원만 산정하였고 승무인원 및 역무인원은 무인운전 및 무인 역사로 운영되는 PRT의 시스템 특성상 고려하지 않았다.

『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』에서 근무시간을 고려한 운영요원의 산출식은 다음과 같다.

운영요원수 = [격무출근인원 × 교대수 / 출근율] + 일근자

여기서, 출근율 = 0.7(21일 근무기준)

1) 유지보수인원

유지보수인원은『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』을 기초로 산정하였다. 선로보수인원과 전로보수인원으로 구분하였으며, 노선연장 10km마다 한 팀의 분소를 설치하는 것을 기준으로 적용하는 것이 보편적이나 PRT시스템 특성상 지역의 순환적 교통인 특징을 가지는 시스템적 특성을 감안하여 최대 20km마다 1개 분소 설치하는 것으로 적용한다.

본 연구의 PRT시스템은 배터리방식으로 운행을 함으로 본선구간에 전차선 시스템이 없는 것을 고려하여 전로보수인원을 팀장 1인, 보수인원 1인 3교대를 기준으로 전체적인 시스템 유지보수 인원을 산정하였다.

기술지원팀은 운영, 유지관리 및 하자보수를 총괄하고 자재수급 및 관리, 공사 발주 및 감독, 외주용역 관리, 소관 분소에 대한 업무지도 감독 등의 업무를 수행하며 예비타당성조사지침을 기준으로 소장1인, 선로 및 시스템 팀장 각 1인, 운영요원의 15%로 산정하였다.

○ 선로유지보수인원 : 토목, 차량기지 건물, 역설비 등의 유지보수

○ 전로유지보수인원 : 전력, 신호, 통신 등 시스템 관련설비의 유지보수

○ 기술지원 인원 : 유지보수관련 기술지원 및 기술관리 업무

〈표 Ⅲ-37〉 유지보수인원(송도신도시,상암DMC)

구 분	노선연장 (km)	근무인원(인)		교대수 (조)	운영요원 (인)	비 고
		일근	격무			
선로보수	20km 미만	2	1	3	6	출근율 0.7
전로보수		1	1	3	5	
소계		3	2	6	11	
기술지원		5	-	-	5	일근
계		8	2	6	16	

2) 차량보수인원

경량전철의 차량의 검사, 보수 및 차량기지내의 작업업무 등을 진행하는 요원으로『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』의 경전철 기준으로 경정비, 중정비를 포함하여 0.31인/량이나, PRT는 시스템 특성상 경량전철 비율로 산정할 경우 과다인원이 산정될 것으로 예상된다. 따라서 PRT의 중량이 유사 경량전철 중량대비 26%로 정비인원도 그에 상응하는 배율로 조정하여 예비타당성지침의 경량전철 인원에 25%를 적용하여 1량당 0.08인으로 산정하였다.

정비인원의 적정성을 판단하기 위하여 타 운송수단의 차량보유수 대비 정비인원을 비교할 수 있는데 일정구간을 운행하면서 자체 정비인력을 보유한 교통수단 중 버스를 비교하여 검토하였다. 전국버스운송사업조합의 시도별 차량대수와 정비관련인원 보유현황을 2007년 1월부터 2011년 4월까

지 조사한 결과 전국 평균 1대당 0.11인이었으며 서울특별시 및 광역시는 울산을 제외하고 0.11~0.22인이었다. 운행구간별로는 고속버스가 0.21인으로 가장 높았으며 시내버스 0.12인, 시외버스 0.09, 농어촌 버스 0.08인이었다. 본 연구에서 적용한 0.08인은 전국 버스의 평균보다는 낮고 농어촌버스 수준으로 분석되어 PRT차량에 비하여 규모가 큰 버스와 유사한 수준은 과다하다고 판단할 수 있으나 PRT 차량의 경우 무인운전을 위한 신호 및 통신장비 등의 정비도 포함되고 안전검사도 버스 보다 높은 수준임으로 본 연구에서 선정한 0.08인은 적정한 수치로 판단한다.

본 연구에서의 차량보수분야의 조직을 소장, 경정비, 중정비로 구분하여 경정비 인원은 3인 3교대를 기준으로 하고, 소장과 중정비 인원은 일근을 기준으로 산정하였다.

〈표 Ⅲ-38〉 차량보수인원 비율

(단위:인/량)

구 분	중량전철	경량전철	본 연구	근무형태	비고
경정비	0.50	0.25	0.06	3교대	
중정비	0.06	0.06	0.02	일근	
계	0.56	0.31	0.08		

자료 : 도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판), 한국개발연구원 2008.12

〈표 Ⅲ-39〉 차량보수인원(송도신도시)

구 분	근무인원(인)		교대수 (조)	운영요원 (인)	비 고
	일근	격무			
2016년	2	7	3	32	출근율 0.7
2021년	4	11	3	51	

주 : 차량대수 2016년 118량, 2021년 178량

〈표 Ⅲ-40〉 차량보수인원(상암DMC)

구 분	근무인원(인)		교대수 (조)	운영요원 (인)	비 고
	일근	격무			
2016년	1	2	3	10	출근율 0.7
2021년	1	2	3	10	

주 : 차량대수 2016년 34량, 2021년 40량

3) 운전사령인원

중앙사령실에서 운전, 차량, 신호, 전력, 설비, 통신관재를 주업무로 하며 비상시 운전관리, 복구수리, 대피유도작업 등을 수행하는 운전사령인원을 산정하였다. 본 연구에서 운전사령인원은 운전과 차량관재를 통합, 신호와 통신관재를 통합, 전력과 설비관재를 통합하여 3개의 관제조직으로 구성하였다.

운전사령분야 조직은 사령장은 일근, 각 분야 관재는 1인 3교대, 사령원은 2인 3교대를 기준으로 산정하였으며 검토대상지역인 송도신도시와 상암DMC 운전사령인원은 동일한 것으로 산정하였다.

〈표 Ⅲ-41〉 운전사령인원(송도신도시, 상암DMC)

구 분	근무인원(인)		교대수 (조)	운영요원 (인)	비 고
	일근	격무			
운전사령인원	1	3	3	14	출근율 0.7
계	1	3	3	14	

4) 승무인원

본 연구의 차량인 승객여정선택형대중교통(PRT)시스템은 무인운전 기준임으로 승무인원은 산정하지 않았다.

5) 역무인원

본 연구에서 정거장은 무인운영을 기준으로 하여 별도의 정거장 상주인원은 산정하지 않으나, 모든 역의 원활한 운영과 고객의 불편사항이나 일상적인 점검을 위하여 순회하며 점검 관리하는 인원을 산정하였다. 역무분야 조직 및 인원은 팀장 일근, 순회요원 2인 2교대 기준으로 산정하였으며, 20개소의 정거장마다 1개의 분소를 기준으로 산정하였다.

〈표 Ⅲ-42〉 역무인원(송도신도시, 상암DMC)

구 분	근무인원(인)		교대수 (조)	분소개수	운영요원 (인)	비 고
	일근	격무				
역무인원	1	2	3	1	7	출근율 0.7
계	1	2	3	1	7	

6) 관리인원(업무지원분야)

관리인원은『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』을 기초로 하여 산정하였다. 본사 및 현업의 인사, 회계, 기획 및 서무 등의 관리업무를 수행하며 산정한 총 소요 인원의 6.3%를 적용하여 산출하였다.

〈표 Ⅲ-43〉 총운영요원(송도신도시)

(단위 : 인)

구 분	유지보수	차량보수	운전사령	역무인원	소계	관리요원	합계
2016년	16	32	14	7	69	4	73
2021년	16	51	14	7	88	6	94
2026년	16	51	14	7	88	6	94
2031년	16	51	14	7	88	6	94
2036년	16	51	14	7	88	6	94
2045년	16	51	14	7	88	6	94

〈표 Ⅲ-44〉 총운영요원(상암DMC)

(단위 : 인)

구 분	유지보수	차량보수	운전사령	역무인원	소계	관리요원	합계
2016년	16	10	14	7	47	3	50
2021년	16	10	14	7	47	3	50
2026년	16	10	14	7	47	3	50
2031년	16	10	14	7	47	3	50
2036년	16	10	14	7	47	3	50
2045년	16	10	14	7	47	3	50

7) 인건비 산정

인건비는 연도별 소요 인원에 대해 1인당 연간 평균임금을 적용하여 산출하며, 연간평균임금은 기존 도시철도 운영기관인 서울도시철도공사, 부산교통공사, 대구도시철도공사 등의 2007년 기준 평균임금(제수당, 잡금, 퇴직급여, 복리후생비 등 포함) 57,715천원/년을 2010년까지의 소비자물가상승률 10.8%를 반영하여 63,948천원/년으로 적용하였다.

〈표 Ⅲ-45〉 인건비

(단위 : 억원/년)

구 분	송도신도시		상암DMC		비고
	인원	인건비	인원	인건비	
2016년	73	46.68	50	31.97	
2021년	94	60.11	50	31.97	
2026년	94	60.11	50	31.97	
2031년	94	60.11	50	31.97	
2036년	94	60.11	50	31.97	
2045년	94	60.11	50	31.97	

다. 동력비

1) 동력비 산출개요

동력비는 차량동력비와 정거장, 차량기지에 필요한 동력비로 구분하여 산출하였다. 전력요금은 한전의 요금산정 기준인 한전 산업용전력(병) 고압A 선택II(2010.12.31 적용요금)의 한전 전기요금중 간부하 요금단가를 적용하였으며 기본요금 이외의 1kWh당 전력비는 중간부하를 기준으로 적용하였으며, 하계와 타계의 전력요금의 가중 평균치를 적용하였다.

〈표 Ⅲ-46〉 산업용 전력(병) 요금표

(단위 : 원)

구분	기본요금 (원/kW)	전기요금 중간부하 전력량 요금(원/kWh)			
		가중평균	여름철 (7~8월)	봄,가을철 (3~6,9~10월)	겨울철 (11~2월)
고압A,선택II	7,000	78.9	84.6	61.1	79.3

자료 : 한국전력 요금산정 기준인 한전 산업용전력(병) 고압A 선택II(2010.12.31 적용요금)

2) 정거장 동력비

정거장 동력비는 서울시메트로 9호선 실시설계의 정거장을 기준으로 617kwh/년·㎡로 산정하였으며 각 정거장의 건축 면적은 관련 자료를 참고해 230㎡로 적용하였다.

〈표 Ⅲ-47〉 정거장 동력비

(단위 : 억원)

구분		송도신도시	상암DMC	비고
역사면적(㎡/개소)		230	230	
정거장 수량(개소)		17	12	
계(㎡)		3,910	2,760	
소모에너지	kwh/년	2,412,470	1,702,920	
동력비	억원/년	5.35	3.77	기본요금 19시간 운영 적용
	부가가치세	0.54	0.38	
	계	5.89	4.15	

3) 차량기지 동력비

차량기지 전력소모량은 차량기지 시설계획에 따라 전력소모량을 산정하였다. 서울메트로 9호선 실시설계의 경우, 개략적 차량기지 전력소모량은 경수선 약 16,800kwh/일, 중수선 약 8,800kwh/일 수준으로 조사되었다.

차량기지 동력비는 서울메트로 9호선 차량기지 면적 42,352㎡과 경수선, 중수선을 합한 1일 동력 소모량 25,600kwh을 기준으로 대안별 차량기지 면적에 비례하여 차량기지 동력비를 산정하였다.

〈표 Ⅲ-48〉 차량기지 동력비

구분		송도신도시	상암DMC	비고
차량기지면적		3,026	680	
기준비율		0.0714	0.0161	
소모 에너지	kwh/일	1,828	412	
	kwh/년	667,220	150,380	
동력비	억원/년	1.39	0.31	기본요금 24시간 운영 적용
	부가가치세	0.14	0.03	
	계	1.53	0.34	

주 : 기준비율 서울메트로 9호선 42,352㎡ 대비 본 연구 차량기지면적 비율

4) 차량동력비

본 연구에서의 차량동력비는 <표 Ⅲ-25>~<표 Ⅲ-28>까지의 한국철도기술연구원의 차량시뮬레이션 결과를 기준으로 1일 차량당 소모에너지로 연간 차량동력비를 산출하였으며 공차회송 등을 고려하여 운행차량의 10%를 가산하였다. 차량당 평균소모에너지는 0.1571kwh/km이다.

- 차량동력비(억원/년) = 전기소모량(kwh/일·량) × 차량대수(량)
× 전기단가(억원/kwh) × 365(일)

〈표 Ⅲ-49〉 차량 동력비

구분	송도신도시			상암DMC		
	소모량 (kwh/일)	동력비 (억원/년)		소모량 (kwh/일)	동력비 (억원/년)	
		부가가치세 제외	부가가치세 포함		부가가치세 제외	부가가치세 포함
2016년	11,900	9.63	10.59	2,888	2.34	2.57
2021년	17,936	14.51	15.96	3,148	2.55	2.81
2026년	17,936	14.51	15.96	3,148	2.55	2.81
2031년	17,936	14.51	15.96	3,148	2.55	2.81
2036년	17,936	14.51	15.96	3,148	2.55	2.81
2045년	17,936	14.51	15.96	3,148	2.55	2.81

주 : 연간동력비는 1일 동력비의 365배 적용

〈표 Ⅲ-50〉 동력비(송도신도시)-부가가치세 제외

(단위 : 억원/년)

구 분	차량	정거장	차량기지	계	비고
2016년	9.63	5.35	1.39	16.37	
2021년	14.51	5.35	1.39	21.25	
2026년	14.51	5.35	1.39	21.25	
2031년	14.51	5.35	1.39	21.25	
2036년	14.51	5.35	1.39	21.25	
2045년	14.51	5.35	1.39	21.25	

〈표 Ⅲ-51〉 동력비(송도신도시)-부가가치세 포함

(단위 : 억원/년)

구 분	차량	정거장	차량기지	계	비고
2016년	10.59	5.89	1.53	18.01	
2021년	15.96	5.89	1.53	23.38	
2026년	15.96	5.89	1.53	23.38	
2031년	15.96	5.89	1.53	23.38	
2036년	15.96	5.89	1.53	23.38	
2045년	15.96	5.89	1.53	23.38	

〈표 Ⅲ-52〉 동력비(상암DMC)-부가가치세 제외

(단위 : 억원/년)

구 분	차량	정거장	차량기지	계	비고
2016년	2.34	3.77	0.31	6.42	
2021년	2.55	3.77	0.31	6.63	
2026년	2.55	3.77	0.31	6.63	
2031년	2.55	3.77	0.31	6.63	
2036년	2.55	3.77	0.31	6.63	
2045년	2.55	3.77	0.31	6.63	

<표 Ⅲ-53>

〈표 Ⅲ-53〉 동력비(상암DMC)-부가가치세 포함

(단위 : 억원/년)

구 분	차량	정거장	차량기지	계	비고
2016년	2.57	4.15	0.34	7.06	
2021년	2.81	4.15	0.34	7.30	
2026년	2.81	4.15	0.34	7.30	
2031년	2.81	4.15	0.34	7.30	
2036년	2.81	4.15	0.34	7.30	
2045년	2.81	4.15	0.34	7.30	

라. 유지관리비

유지관리비는 차량 유지보수비, 정거장 유지보수비, 본선 유지보수비, 시스템 유지보수비 등으로 구분할 수 있는데 유지보수의 특성상 초기 개통년도에서의 유지보수비는 적고 시설물 등의 경과연수가 증가하면서 보수, 개량 등으로 인하여 점차 증가하는 특성을 가진다. 또한, 유지관리비는 시스템별로 편차가 크며 동일 시스템의 경우도 연장 및 개통연도에 따라 차이가 있으므로 원단위의 비용을 도출하기 현재 운영 중인 기관의 자료를 기준으로 적정한 유지관리비를 산정 적용할 수 있다.

『도로·철도 부문사업의 예비타당성 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』에 제시되어있는 도시철도 운영기관의 2007년 기준 평균 유지관리비용은 약 479,437천원/년·km(복선)을 2010년 소비자물가상승률 10.8%와 단선 환산요율을 0.7을 반영하여 371,851천원/년·km(단선)으로 분석된다. 그러나 예비타당성지침은 도시철도 경영실적자료를 인용한 금액으로 PRT시스템 유지관리비에 적용하는 것은 불합리한 것으로 판단하였다.

다른 유지보수비 산출방식에는 모든 시설물의 부속품 교체주기와 점검내용을 검토하는 방안과 공사비 또는 시설규모에 따른 통계적 방법이 있다.

본 연구에서는 일반적으로 사용하는 통계적 방법을 사용하며 세부방법은 공사비 요율에 의한 방식에 따르되 유사 운영기관의 회계통계를 기준으로 하지 않고 초기 공사비의 비율에 의한 방식을 채택하였다. 초기공사비 요율방식은 투자된 목적구조물의 비용만큼 향후 유지관리비가 발생한다는 가정에서 통계적 분석에 의해 공종별 공사비요율을 정하는 방식으로 본 연구에서는 부산모노레일 사업 검토에서 적용한 유지보수비를 공사비요율에 적용하였다.

공사비요율에 의한 유지보수비 분석결과 본 사업의 유지관리비는 송도신도시의 경우 1.096억원/년·km, 상암DMC는 1.034억원/년·km으로 산정되었다. 이는 도시철도 유지관리비 기준으로 산정한 3.719억원/년·km의 27.8~29.5% 수준이다.

〈표 Ⅲ-54〉 유지관리비 비교 검토

구분	유지관리비(억원/년/km)		비율(%)	비고
	도시철도 조정금액 (단선)	본 연구		
송도신도시	3.719	1.096	29.5	
상암DMC		1.034	27.8	

〈표 Ⅲ-55〉 송도신도시 유지관리비

구분	공사비(억원)		연간 요율(%)	유지관리비(억원/년)		비고
	부가세제외	부가세포함		부가세제외	부가세포함	
토 목	882.30	970.53	1.2	10.59	11.65	
전 기	140.20	154.22	0.4	0.56	0.62	충전시스템포함
신 호	232.12	255.33	1.6	3.71	4.09	
통 신	70.71	77.78	0.8	0.57	0.62	
차량기지	102.96	113.26	2.1	2.16	2.38	
차량초기	107.09	117.80	0.7	0.75	0.82	2016년
소계				18.34	20.18	
차량추가	54.45	59.90	0.7	0.38	0.42	2021년
계				18.72	20.60	

〈표 Ⅲ-56〉 상암 유지관리비

구분	공사비(억원)		연간 요율(%)	유지관리비(억원/년)		비고
	부가세제외	부가세포함		부가세제외	부가세포함	
토 목	510.61	561.67	1.2	6.13	6.74	
전 기	77.35	85.09	0.4	0.31	0.34	충전시스템포함
신 호	127.58	140.34	1.6	2.04	2.25	
통 신	38.87	42.76	0.8	0.31	0.34	
차량기지	28.83	31.71	2.1	0.61	0.67	
차량초기	39.93	43.92	0.7	0.28	0.31	
소계				9.68	10.65	
차량추가	4.54	4.99	0.7	0.03	0.03	
계				9.71	10.68	

마. 일반관리비

일반관리비는 예비타당성조사지침을 참조하여 인건비, 동력비, 유지관리비 합계의 7%를 적용하였다.

바. 운영비 산정결과

1) 송도신도시 운영비

본 연구에서 운영비는 개통년도인 2016년 기준 일반관리비 5.70억원 포함 87.09억원(부가가치세 제외)으로 산정되었다.

〈표 Ⅲ-57〉 운영비 집계(송도신도시)-부가세 미포함

(단위 : 억원)

구 분	인건비	동력비	유지관리비	소계	일반관리비	합계
2016년	46.68	16.37	18.34	81.39	5.70	87.09
2021년	60.11	21.25	18.72	100.08	7.01	107.09
2026년	60.11	21.25	18.72	100.08	7.01	107.09
2031년	60.11	21.25	18.72	100.08	7.01	107.09
2036년	60.11	21.25	18.72	100.08	7.01	107.09
2045년	60.11	21.25	18.72	100.08	7.01	107.09

〈표 Ⅲ-58〉 운영비 집계(송도신도시)-부가세 포함

(단위 : 억원)

구분	인건비	동력비	유지관리비	소계	일반관리비	합계
2016년	46.68	18.01	20.18	84.87	5.94	90.81
2021년	60.11	23.38	20.60	104.09	7.29	111.38
2026년	60.11	23.38	20.60	104.09	7.29	111.38
2031년	60.11	23.38	20.60	104.09	7.29	111.38
2036년	60.11	23.38	20.60	104.09	7.29	111.38
2045년	60.11	23.38	20.60	104.09	7.29	111.38

2) 상암 DMC 운영비

본 연구에서 운영비는 개통년도인 2016년 기준 일반관리비 3.36억원을 포함 51.43억원(부가가치세 제외)으로 산정되었다. 송도신도시 대비 운영비 규모가 작은 이유는 노선연장 및 수요의 차이의 기인하기 때문이다.

〈표 Ⅲ-59〉 운영비 집계(상암DMC)-부가가치세 미포함

(단위 : 억원)

구분	인건비	동력비	유지관리비	소계	일반관리비	합계
2016년	31.97	6.42	9.68	48.07	3.36	51.43
2021년	31.97	6.63	9.71	48.31	3.38	51.69
2026년	31.97	6.63	9.71	48.31	3.38	51.69
2031년	31.97	6.63	9.71	48.31	3.38	51.69
2036년	31.97	6.63	9.71	48.31	3.38	51.69
2045년	31.97	6.63	9.71	48.31	3.38	51.69

〈표 Ⅲ-60〉 운영비 집계(상암DMC)-부가가치세 포함

(단위 : 억원)

구분	인건비	동력비	유지관리비	소계	일반관리비	합계
2016년	31.97	7.06	10.58	49.61	3.47	53.08
2021년	31.97	7.30	10.62	49.89	3.49	53.38
2026년	31.97	7.30	10.62	49.89	3.49	53.38
2031년	31.97	7.30	10.62	49.89	3.49	53.38
2036년	31.97	7.30	10.62	49.89	3.49	53.38
2045년	31.97	7.30	10.62	49.89	3.49	53.38

4. 사업비 분석

송도신도와 상암DMC에 대한 비용분석 결과 차량구입비 별도 기준으로 부가가치세 제외의 경우 1km 평균 사업비는 103.66억원, 부가가치세를 포함할 경우 114.29억원으로 분석되었다. 유사 경전

철 사업과 본 연구결과를 비교하면 부가가치세 제외 비용을 기준으로 본 연구결과는 복선 AGT의 19%, 단선 AGT의 26%, 도심지 관광용으로 계획된 월미도 전차사업의 단선모노레일 비용의 49%, 순천만소형경전철사업의 복선 비용을 단선으로 조정한 비용의 74% 수준으로 분석되었다.

본 연구와 해외 PRT 사업과의 비용분석은 제외하였는데 해외 PRT 사업은 대부분 테스트베드 성격이 강해 본 연구와 같이 상업용 운전을 기준으로 산출한 비용과는 차이가 있다고 판단하였기 때문이다.

토목공사비에서 큰 비중을 차지하는 본선교량의 경우 본 연구에서는 38.22억원/km이며 벡터스「순천만소형경전철사업」은 45.4억원/km, 한국철도기술연구원「소형궤도시스템 Pilot Plant(시험선로) 계획수립용역」은 34.97억원/km으로 본 연구의 산정비용이 적정한 수준으로 판단된다.

토목공사비는 지질조건에 따라 말뚝공사비에 의한 비용차이가 발생하는데 송도신도시의 경우 연약지반을 개량한 구간으로 토목구조물이 설치될 경우 말뚝공사가 수반될 것이나 본 연구에서는 자료의 한계와 일반적인 비용의 적용이라는 관점에서 송도신도시와 상암DMC 모두 말뚝공사비를 포함하지 않았다.

송도신도시의 경우 신규계획 신도시를 감안하여 노면형식을 고려해 볼 수 있을 것이나, 본 연구에서는 노면과 고가공법의 적용에 관해 기술한 것과 같이 무인운전에 의한 통행로 차단의 대책이 구체적으로 제시되지 않았고 이에 대한 사회적 합의도 없었음으로 이를 적용하지 않았다. 이는 최근 보행자 중심의 교통을 구축하는 시대적 상황에 부합되지 않으며 도심지에서 전용공간의 확보 없이 지상 노면 무인운전을 시행하는 사례를 찾지 못했기 때문이다.

전력, 신호, 통신부분의 비용은 현재 이 부분에 대한 한국철도기술연구원 PRT 시스템의 사양이 구체적으로 제시되지 않아 오차 범위가 타 부분 보다 클 수 있을 것이라 판단되며 만약 좀 더 저비용의 시스템 구성이 확정된다면 비용절감효과가 있을 것이다. 이는 전력, 신호, 통신 부분의 비용은 노면이나 고가 등의 토목구조물 형식과 관계없이 노선 전 연장에 영향을 미치는 요소임으로 낮은 비용으로 시스템을 구축할 수 있다면 지역적 특성과 관계없이 PRT의 경제성을 향상시킬 것이다. 본 연구에서 참조한 전력, 신호, 통신비용은 타 시스템의 가격을 참조하여 어느 정도의 가격일 것이라는 관점에서 결정한 것임으로 전력공급방식 등의 세부적 내용에 의해 비용을 조정하지는 않았다.

무인운영시스템에서 30년간 운영비가 차량구입비를 제외한 총공사비의 70~90% 수준이 적절하나 본 연구결과는 총공사비의 평균 194%로 매우 과대한 것으로 분석되었다. 이는 운영비 중 인건비 비중이 높은데 특히 차량보수인원에 의한 비용이 증가되었기 때문으로 향후 차량유지관리인원의 정

확한 자료 산출 또는 차량대수의 최적화가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 비용 추정에 있어 과다하거나 과소하지 않도록 노력하였다. 그러나 본 연구는 존재하지 않는 차량과 시스템을 기준으로 비용을 추정하였음으로 비용추정에는 어느 정도 한계를 가지도 있는 것이 사실이다. 이는 본 연구의 비용추정내용은 전체적으로 적정성을 확보했지만 부분적으로 개선할 여지는 있을 것으로 판단되기 때문이며 향후 본 연구의 결과를 기초로 비용 항목별로 구체적 비용개선 방향, 또는 PRT 시스템의 경제성 확보 방향을 선정하여 조정할 필요가 있을 것이다.

<표 Ⅲ-61> 총 비용 분석-부가가치세 제외

(단위 : 억원)

구 분	송도신도시		상암DMC		평균
	비용	비율(%)	비용	비율(%)	비율(%)
공 사 비	1,759.26	32.9	979.11	36.3	34.6
차 량 비	161.54	3.0	36.31	1.3	2.15
운 영 비	3,152.66	58.9	1,549.93	57.4	58.2
대체투자비	276.66	5.2	135.92	5.0	5.1
계	5,350.11	100	2,701.27	100	100

<표 Ⅲ-62> 총 비용 분석-부가가치세 포함

(단위 : 억원)

구 분	송도신도시		상암DMC		평균
	비용	비율(%)	비용	비율(%)	비율(%)
공 사 비	1,941.87	33.9	1,078.34	37.4	35.7
차 량 비	177.69	3.1	39.93	1.4	2.3
운 영 비	3,279.45	57.3	1,602.17	55.5	56.4
대체투자비	328.36	5.7	162.85	5.7	5.7
계	5,727.36	100	2,883.29	100	100

<표 Ⅲ-63> 본 연구 PRT 사업비 평균단가 분석-부가가치세 제외

(단위 : 억원/km)

구 분	송도신도시	상암DMC	평균	비고
A. 토 목	57.69	56.76	57.23	
B. 시 스 템	25.94	25.97	25.96	
C. 부 대 비	9.24	9.45	9.35	
소 계	92.87	92.18	92.54	
D. 용지보상비	0.77	2.63	1.70	
E. 예 비 비	9.36	9.48	9.42	
계	103.00	104.29	103.66	

<표 Ⅲ-64> 본 연구 PRT 사업비 평균단가 분석-부가가치세 포함

(단위 : 억원/km)

구 분	송도신도시	상암DMC	평균	비고
A. 토 목	63.45	62.44	62.95	
B. 시 스 템	28.53	28.57	28.55	
C. 부 대 비	10.60	10.79	10.70	
소 계	102.58	101.80	102.20	
D. 용지보상비	0.77	2.63	1.70	
E. 예 비 비	10.34	10.44	10.39	
계	113.69	114.87	114.29	

<표 Ⅲ-65> 타 경전철 사업과 본 연구 PRT 사업비 평균단가 분석(1)

(단위 : 억원/km)

구 분	속초경전철	속초경전철	대구도시철도3호선	비고
차량시스템	AGT	AGT	모노레일	
선로 규모	복선	단선	복선	
구조물 구성	교량 100%	교량 100%	교량81%,터널19%	
A. 토 목	278.22	186.87	438.71	
B. 시스템	191.14	143.29	122.02	
C. 부대비	30.44	22.03	42.51	
소계	500.10	352.19	603.24	
	100%	70% (100%)	121%	
D. 용지보상비	0.26	0.24	24.12	
E. 예 비 비	50.01	37.85	60.32	
계	550.37	390.28	687.68	

주 : 1) 부가가치세 제외, 2010년 기준
2) 토목비용에는 궤도/건축/차량기지포함

<표 Ⅲ-65>의 계속

(단위 : 억원/km)

구 분	월미도전차사업	순천만소형경전철		본 연구	비고
차량시스템	모노레일	PRT	PRT	PRT	
선로 규모	단선	복선	단선	단선	
구조물 구성	교량 100%	교량 100%	교량 100%	교량 100%	
A. 토 목	113.05	123.18	86.23	57.23	
B. 시 스 템	68.17	30.00	23.55	25.96	
C. 부 대 비	8.84	20.10	14.41	9.35	
소계	190.06	173.28	124.46	92.54	
	38% (54%)	35%	25% (35%)	19% (26%)	
D. 용지보상비	-	-	-	1.70	
E. 예 비 비	-	-	-	9.42	
계	190.06	173.28	124.46	103.66	

주 : 1) 월미도 전차사업은 일부 복선을 단선연장으로 환산하여 분석
2) 순천만소형경전철사업의 단선비용은 복선비용을 기준으로 조정

<표 Ⅲ-66> 본 연구 PRT 차량가격 분석

구 분	비용 (백만원/인)		비율 (%)		비 고
	차량정원	정원150%	차량정원	정원150%	
K-AGT	15.8	11.5	100	73	고무타이어
로템 AGT	8.7	6.1	55	39	철제차륜
VAL 208	22.7	16.1	143.7	101.9	고무타이어
본 연구 PRT	15.2	58.5	96	370	고무타이어

<표 Ⅲ-67> 차량대수와 수요·노선연장 분석

구 분		송도신도시	상암DMC
총수요 (인/일)		44,928	20,445
노선연장 (km)		17.080	9.388
차량대수 (량)		178	40
1량/km		10.4	4.3
총수요 대비	인/km	2,630	2,178
	인/량·일	252	511
	인/km/량·일	14.8	54.5

5. 대체투자비 및 잔존가치

철도는 도로와 달리 재투자되는 비용이 많이 발생한다. 즉, 수요 증가에 따라 차량이 추가적으로 투입되어야 하며, 내구연한이 경과한 차량 및 시설에 대하여도 재투자가 이루어지게 된다. 따라서 개통 후 30년이 경과한 시점에서 잔존가치로 고려할 수 있는 항목으로 용지보상비 이외에 재투자된 차량 및 시설장비 등이 있다. 예비타당성조사에서는 용지보상비와 재투자된 항목에 대한 잔존가치를 모두 고려하도록 하고 있다.

차량의 내구연한에 관한 기준으로 일반철도는「철도안전법 시행규칙」, 도시철도는「도시철도 차량 관리에 관한 규칙」에 제시된 내구연한을 기준으로 하고, 법령에서 내구연한이 제시되어 있지 않은 시설에 대해서는 교통시설 투자평가지침(건설교통부, 2007)에서 제시된 내구연한을 기준으로 하여 재투자 비용 및 잔존가치를 산정하였다.

가. 차량 및 시설물 재투자비용과 잔존가치

본 연구에서의 시설물 재투자는 신호, 통신, 전기분야에 대해 20년 기준을 적용하고 차량은 「도시철도차량 관리에 관한 규칙」의 규정을 준용하여 구입 후 25년 기준을 적용하여 재투자하는 것으로 하였다.

잔존가치는 용지비의 100%를 적용하고 차량은 구입가격에서 기본 잔존가치로 10%를 적용한 후 나머지 90%에 대한 가격을 경과년수 비율에 의해 감가상각함으로서 잔존가치를 산출하였다.

〈표 Ⅲ-68〉 차량 및 시설별 수명

구 분	차 량					
	디젤기관차	전기기관차		디젤동차	수도권전동차	고속전기차
		구형	신형			
내용년도	30	40	30	20	25	25

구 분	시 설										
	노 반				궤도	건물	신호	통신	전차선	전력	기계
	토공	교량	터널	역							
내용년도	80	60	60	60	25	60	20	20	20	20	20

자료 : 철도공사 내부자료(2006)

나. 차량배터리 대체투자비

본 연구 대상의 PRT 차량은 배터리 방식으로 동력을 공급받는데 배터리는 수명에 한계가 있다. 전기자동차인 볼트의 배터리를 공급하는 LG화학에 문의한 결과 대체주기에 대해 쉐보레 볼트에 장착되는 배터리는 5년간 보증을 하나 그 기간에 대해서는 편차가 있을 수 있으며, 경우에 따라 3~10년 사이로 변동이 가능한 것으로 파악되었다. 본 연구에서는 향후 PRT 차량이 10년간 사용이 가능한 배터리를 장착한다는 가정하에 배터리 교체주기를 10년으로 설정하였다.

배터리 가격에 대해서 LG화학에서는 표준화 되어 있는 배터리에 대한 자료가 없는 상태이면 상황에 따라 소비자의 주문형태에 맞게 생산하나 자동차 업체와 계약할 경우 5만대 이상으로 주문을 하기 때문에 PRT에서 제안하게 될 200~300대 규모로는 견적검토가 어렵다는 의견을 제시하였으며 개략적으로는 3~4만대 주문시에 1kwh 용량당 1,000USD(1.05백만원)로, PRT 배터리 용량이 5kwh(0.24kwh/량-km)라면 약 5.25백만원이 적정하나 생산량이 적을 경우 1대당 20~30백만원으로 비용이 상승할 수 있다는 의견을 제시하였다.

한국철도기술연구원의 시뮬레이션 결과는 1시간 평균소요에너지가 7.92kwh로서 분석되었으며 30분 운행용량으로 3.96kwh에 1kwh당 60만원으로 산정하여 1대당 배터리 가격을 238만원으로 제시하였다. 또한 배터리 가격은 유지보수비용에 반영되어야 할 사항이라는 의견과 별도로 재투자 비용으로 산정된다면 유지보수비용이 감소되어야 할 것이며 기술개발추세를 고려하면 10년 후 배터리 비용은 현재 가격의 50% 이하가 될 것으로 판단된다는 의견도 제시하였다.

연구진은 차량유지관리비용을 연간 0.7%로 보고 차량가격(90백만원)을 기준으로 25년 총 차량유지관리비용을 약 16백만원으로 책정하였다. 이는 차량유지관리 인건비를 제외한 금액으로 타이어 마모 등의 소모품 교체 비용이 필요한 상황에서 2.8~11.0백만원의 배터리 가격이 포함되지 않은 것으로 보는 것이 타당하므로 추가적으로 배터리 대체투자비로 산정하였다.

차량은 첨두 2시간 동안 연속적으로 운행하고 비첨두 또는 준첨두 시간에 여유차량으로 배터리 충전하는 것으로 가정하였다. 한국철도기술연구원에서 제시한 30분 용량은 2006년 차세대 도시철도시스템 기술개발 사업에서의 시뮬레이션 결과 공차비율이 30~80%에 이르고 있음으로 대기시간 동안 충전한다고 가정할 수도 있다. 그러나 본 연구에서 정거장은 사업별 전체 차량을 수용하지 못함으로 상당량의 차량이 충전하기 위해 차량기지로 입고되거나 충전을 위해 공차가 교대로 정거장을 진출입해야 하는 불합리한 가정이 수반된다. 따라서 배터리는 2시간 용량이 적절하다고 판단하였다.

다만, 본 연구 노선의 차량대수를 최적화하여 차량대수를 축소하거나 정거장 수를 증가시키거나 정거장 마다 유치선을 설치하여 모든 차량을 정거장에서 유치할 수 있는 용량을 확보한다면 이에 대한 추가적인 검토가 필요할 것이며 이때에도 비상시 및 하절기 냉방을 고려한 충분한 용량을 확보해야 할 것이다.

〈표 Ⅲ-69〉 배터리 용량과 가격

구 분		한국철도기술연구원 제시	본 연구 검토	적용
30분	용량(kwh)/가격	3.96 / 2.38백만원	2.50 / 2.75백만원	-
1시간	용량(kwh)/가격	-	5.00 / 5.25백만원	-
2시간	용량(kwh)/가격	-	10.0 / 11.00백만원	10.00 / 11.00백만원

6. 연차별 투자비 추정

가. 공사기간 검토

공사기간은 설계기간 포함 4년으로 가정하였으며 이에 따른 연차별 투자비율은 <표 Ⅲ-71>의 공사기간 3년에 해당하는 비율로 선정하였다.

〈표 Ⅲ-70〉 공사기간별 연차별 투자비율

(단위 : %)

공사기간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	합계
2	50	50												100
3	30	40	30											100
4	10	35	35	20										100
5	10	20	30	30	10									100
6	5	20	25	25	20	5								100
7	5	15	20	20	20	15	5							100
8	5	8	16	16	17	17	16	5						100
9	5	5	10	10	15	16	16	16	7					100
10	4	5	5	8	10	12	16	16	16	8				100
11	3	5	5	6	8	10	10	15	15	15	8			100
12	3	5	5	5	5	6	8	10	15	15	15	8		100
13	3	5	5	5	5	6	8	8	10	10	12	15	8	100
용지보상비	30	70												100

주 : 기본 및 실시설계비는 사업의 추진계획에 따라 투입률을 설정함
자료 : INRET & INTRAPLAN, Traffic & Profitability for Western European High Speed Train Network, 1993

나. 연차별 투자비

공사비, 조사비 및 설계비, 감리비, 예비비, 차량구입비, 운영비에 대한 각 노선의 연차별 투자비는 다음 <표 Ⅲ-72>와 같이 산정하였다.

〈표 Ⅲ-71〉 연차별 투자비율

(단위 : %)

구 분	2012년	2013년	2014년	2015년	비고
A. 조사비	100	-	-	-	
B. 설계비	100	-	-	-	
C. 용지비	-	100	-	-	
D. 공사비	-	30	40	30	
E. 감리비	-	30	40	30	
F. 예비비	-	-	-	-	연도별 (A~F)의 10%

〈표 Ⅲ-72〉 송도신도시 : 부가가치세 미포함

(단위 : 억원)

구분	공사비	차량비	운영비	대체투자비	계
2012년	81.10	0.00	0.00	0.00	81.10
2013년	499.21	0.00	0.00	0.00	499.21
2014년	646.32	0.00	0.00	0.00	646.32
2015년	532.63	107.09	0.00	0.00	639.72
2016년	0.00	0.00	87.09	0.00	87.09
2017년	0.00	0.00	91.09	0.00	91.09
2018년	0.00	0.00	95.08	0.00	95.08
2019년	0.00	0.00	99.08	0.00	99.08
2020년	0.00	0.00	103.07	0.00	103.07
2021년	0.00	54.45	107.09	0.00	161.54
2022년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2023년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2024년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2025년	0.00	0.00	107.09	12.98	120.07
2026년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2027년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2028년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2029년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2030년	0.00	0.00	107.09	6.60	113.69
2031년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2032년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2033년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2034년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2035년	0.00	0.00	107.09	456.01	563.10
2036년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2037년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2038년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2039년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2040년	0.00	0.00	107.09	113.69	220.78
2041년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2042년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2043년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2044년	0.00	0.00	107.09	0.00	107.09
2045년	0.00	0.00	107.09	-312.63	-205.54
계	1,759.26	161.54	3,152.66	276.66	5,350.11

〈표 Ⅲ-73〉 송도신도시 : 부가가치세 포함

(단위 : 억원)

구분	공사비	차량비	운영비	대체투자비	계
2012년	97.94	0.00	0.00	0.00	97.94
2013년	548.33	0.00	0.00	0.00	548.33
2014년	711.80	0.00	0.00	0.00	711.80
2015년	583.80	117.79	0.00	0.00	701.59
2016년	0.00	0.00	90.81	0.00	90.81
2017년	0.00	0.00	94.92	0.00	94.92
2018년	0.00	0.00	99.03	0.00	99.03
2019년	0.00	0.00	103.15	0.00	103.15
2020년	0.00	0.00	107.24	0.00	107.24
2021년	0.00	59.90	111.38	0.00	171.28
2022년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2023년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2024년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2025년	0.00	0.00	111.37	14.16	125.53
2026년	0.00	0.00	111.38	0.00	111.38
2027년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2028년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2029년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2030년	0.00	0.00	111.37	7.20	118.57
2031년	0.00	0.00	111.38	0.00	111.38
2032년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2033년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2034년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2035년	0.00	0.00	111.37	550.23	661.60
2036년	0.00	0.00	111.38	0.00	111.38
2037년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2038년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2039년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2040년	0.00	0.00	111.37	124.99	236.36
2041년	0.00	0.00	111.38	0.00	111.38
2042년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2043년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2044년	0.00	0.00	111.37	0.00	111.37
2045년	0.00	0.00	111.37	-368.23	-256.86
계	1,941.87	177.69	3,279.45	328.36	5,727.36

〈표 Ⅲ-74〉 상암DMC : 부가가치세 미포함

(단위 : 억원)

구 분	공사비	차량비	운영비	대체투자비	계
2012년	44.64	0.00	0.00	0.00	44.64
2013년	290.86	0.00	0.00	0.00	290.86
2014년	351.61	0.00	0.00	0.00	351.61
2015년	292.00	30.86	0.00	0.00	322.86
2016년	0.00	0.00	51.43	0.00	51.43
2017년	0.00	0.00	51.49	0.00	51.49
2018년	0.00	0.00	51.53	0.00	51.53
2019년	0.00	0.00	51.60	0.00	51.60
2020년	0.00	0.00	51.63	0.00	51.63
2021년	0.00	5.45	51.69	0.00	57.14
2022년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2023년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2024년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2025년	0.00	0.00	51.69	3.74	55.43
2026년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2027년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2028년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2029년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2030년	0.00	0.00	51.69	0.66	52.35
2031년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2032년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2033년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2034년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2035년	0.00	0.00	51.69	247.54	299.23
2036년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2037년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2038년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2039년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2040년	0.00	0.00	51.69	31.52	83.21
2041년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2042년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2043년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2044년	0.00	0.00	51.69	0.00	51.69
2045년	0.00	0.00	51.69	-147.54	-95.85
계	979.11	36.31	1,549.93	135.92	2,701.27

〈표 Ⅲ-75〉 상암DMC : 부가가치세 포함

(단위 : 억원)

구분	공사비	차량비	운영비	대체투자비	계
2012년	53.89	0.00	0.00	0.00	53.89
2013년	317.58	0.00	0.00	0.00	317.58
2014년	387.24	0.00	0.00	0.00	387.24
2015년	319.63	33.94	0.00	0.00	353.57
2016년	0.00	0.00	53.08	0.00	53.08
2017년	0.00	0.00	53.22	0.00	53.22
2018년	0.00	0.00	53.26	0.00	53.26
2019년	0.00	0.00	53.34	0.00	53.34
2020년	0.00	0.00	53.37	0.00	53.37
2021년	0.00	5.99	53.38	0.00	59.37
2022년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2023년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2024년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2025년	0.00	0.00	53.45	4.08	57.53
2026년	0.00	0.00	53.38	0.00	53.38
2027년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2028년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2029년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2030년	0.00	0.00	53.45	0.72	54.17
2031년	0.00	0.00	53.38	0.00	53.38
2032년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2033년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2034년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2035년	0.00	0.00	53.45	299.08	352.53
2036년	0.00	0.00	53.38	0.00	53.38
2037년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2038년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2039년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2040년	0.00	0.00	53.45	34.66	88.11
2041년	0.00	0.00	53.38	0.00	53.38
2042년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2043년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2044년	0.00	0.00	53.45	0.00	53.45
2045년	0.00	0.00	53.45	-175.69	-122.24
계	1,078.34	39.93	1,602.17	162.85	2,883.29

[참고] 송도신도시 본선 구조물 비율에 따른 비용 분석

1. 2안(고가 20%+노면 80%) 사업비 추정

○ 보도육교(평균 72㎡(폭3.6m×길이20m)의 보도육교 가정) 54개소의 공사비는 308.88억원으로 산정
- 한국토지공사 2009년 조성원가추정자료 보도육교 STEEL BOX 구조의 단위공사비인 7,507천원/㎡을 적용, 2010기준 건설공사비지수 105.4를 계상한 단위공사비 7,912천원/㎡로 한 원단위 공사비는 5.72억원

○ 기타부대공인 방호벽은 50억원 산정(일반도로공사 m당 약 1.84억원, 노면구간인 13.596km의 양쪽에 설치)

〈표 Ⅲ-76〉 송도신도시 총사업비(대안2) - 부가가치세 제외

(단위 : 억원)

공사종류	규 격	단위	단가	수량	금액	비고
A. 공사비					1,350.48	
A-1. 토목					804.56	
A-1-1. 본선		km		17.080	640.34	
A-1-1-1. 고 가		km	38.22	3.484	133.16	
A-1-1-2. 노 면		km	7.64	13.596	103.83	
A-1-1-3. 부대공	지장물	식			44.47	
	보도육교	개소	5.72	54	308.88	
	기타(방호벽 등)	km	1.84	27.192	50.00	
A-1-2. 정거장		개소		17	164.22	
A-1-2-1. 고 가		개소	9.66	17	164.22	
A-1-2-2. 노 면		개소	2.84	0	-	
A-2. 시스템					443.03	
A-2-1. 전 기		km	8.10	17.080	138.35	
A-2-2. 신 호		km	13.59	17.080	232.12	
A-2-3. 통 신		km	4.14	17.080	70.71	
A-2-4. 충전시스템		개소	0.1089	17	1.85	
A-3. 차량기지					102.96	
A-3-1. 차량기지		㎡		3,026	102.96	
A-4. 부가가치세				0%	-	
B. 부대비					151.65	
B-1. 조사비	공사비 요율	%		1	13.51	
B-2. 기본설계비	공사비 요율	%		1.365	18.44	
B-3. 실시설계비	공사비 요율	%		2.712	36.62	
B-4. 공사감리비	공사비 요율	%		1.287	17.38	
B-5. SE비용	(A-2)×5%	%		5	22.15	
B-6. 시운전비	6개월	식		1	43.55	
B-7. 부가가치세	(B1~B5)×10%	%		0%	-	
C. 용지보상비	공시지가×보상배율	㎡	0.00435	3,026	13.16	
D. 예비비	(A+B+C)×10%	%		10	151.54	
E. 총사업비	A+B+C+D				1.666.90	
F. 차량구입비					161.54	
F-1. 초기구입비	2016년	량	0.9075	118	107.09	
F-2. 추가구입비	2021년	량	0.9075	60	54.45	
총계(E+F)					1,828.44	

2. 본선 구조물 비율에 따른 분석 결과

○ 송도신도시의 경우 보행자의 통행권을 제한하고 육교로 통행을 한다고 하였을 경우, 교차로만 고가로 입체화하고 나머지 구간을 노면으로 하는 방안(고가 20%+노면 80%)과 차로구간을 포함한 모든 구간에 노면을 적용(노면100%)하였을 경우의 사업비와 운영비, 대체투자비 등 총할인비용을 추가로 검토하여 분석

○ 전 구간 고가로 적용한 (안)의 총할인비용을 100으로 하였을 경우 고가20%+노면80%는 97, 노면100%는 92로 분석되어 큰 차이가 나지 않음

- 노면비율이 증가함에도 총할인비용 차이가 크지 않은 것은 횡단보도 대체 시설로 육교를 설치해야함으로 추가비용이 발생하는 점과 총할인비용 중 운영비 비중이 상대적으로 높다는 점이 주요 원인이기 때문

○다만, 본 연구는 개발되지 않은 시스템에 대한 비용분석을 시행한 것임으로 향후 추가적인 기술개발을 바탕으로 비용절감 연구가 있을 경우 총비용은 감소할 수도 있을 것으로 판단됨

〈표 Ⅲ-77〉 송도신도시 본선 구조물 비율에 따른 비용 분석

구 분		고가	고가+노면	노면	비고
연장 (km)	고가	17.080	3.484	-	
	노면	-	13.596	17.080	
	계	17.080	17.080	17.080	
비율 (%)	고가	100	20	-	
	노면	-	80	100	
	계	100	100	100	
육교(개소)		-	54	54	308.88억원
사업비	금액(억원)	1,920.79	1,828.44	1,696.77	불변가격
	비율(%)	100	95	88	
총할인비용 (30년)	금액(억원)	2,646.56	2,561.46	2,444.95	운영비, 대체투자비 포함
	비율(%)	100	97	92	

주 : 1) 총할인비용 할인율 5.5%
2) 부가가치세 제외

제Ⅳ장 수요 및 편익 산정

제1절 교통수요추정

1. 교통수요 추정과정

교통시설투자 사업에 대한 타당성 분석은 교통시설을 건설하는데 소요되는 비용과 이로 인해 발생하는 편익의 비교를 통해 분석이 가능하며, 교통수요는 이러한 타당성 평가 시 비용과 편익 추정에 가장 큰 영향을 미치는 요소 중 하나이다. 교통수요의 추정을 통해 대상사업의 추진 여부 및 투자 우선순위 등을 평가하며 교통시설에 대한 적정 공급규모 산출, 교통시설 건설로 인한 주변 지역의 영향 분석에도 활용된다. 민간투자사업인 경우 교통 수요 예측 결과는 전반적인 민간투자사업의 타당성뿐만 아니라 사용료, 건설보조금, 최소운영수입보장금 등을 결정하는 중요한 기초자료가 된다.

일반적으로 장래 교통수요 예측은 기준연도의 통행패턴에 대한 신뢰성을 전제로 교통 영향권을 설정한 후 장래 교통체계에 대한 교통수요를 추정하는 과정이다. 이렇게 예측된 수요는 교통시설의 개선과 확장 등 교통투자사업의 정책 입안 및 대안평가의 주요 자료로 활용된다.

본 장에서는 송도신도시와 상암 DMC의 PRT 사업의 교통수요를 추정하고자 한다. 따라서 본 연구의 교통수요 예측은 기존에 축적된 연구 자료를 최대한 활용하고 연구의 특성에 맞게 보완하는 과정을 거쳐 장래 교통수요를 예측한다.

교통수요 추정 방법 중 전통적으로 가장 많이 사용되어 오는 대표적인 수요추정 방법은 4단계 추정방법이다. 이 방법은 통행발생, 통행분포, 수단선택, 통행배정의 4단계로 나누어 순차적으로 교통존(traffic zone)을 중심으로 교통수요를 추정하는 방법이다.

첫째, 통행발생은 각 교통존에서 발생하는 통행량(production)과 도착하는 통행량(attraction)을 추정하는 단계로써 증감율법, 원단위법 또는 교차분류법, 회귀분석법 등이 사용된다. 그 결과 각 교통존별로 여객 및 화물의 발생과 도착량이 생성된다.

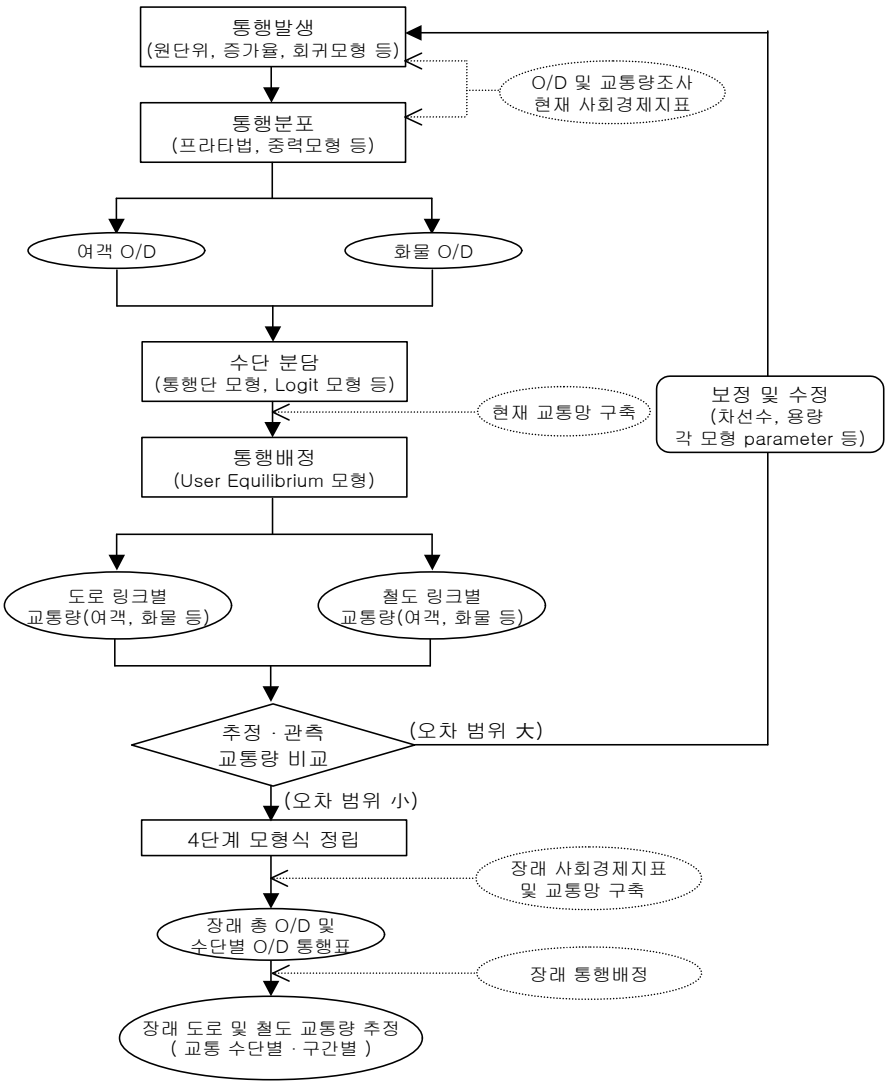
둘째, 통행분포는 앞 단계에서 추정된 발생·도착통행량을 교통존 간에 배분하는 단계로써 성장인자모형, 중력모형, 엔트로피극대화모형, 간섭기회모형 등이 많이 사용된다. 그 결과 교통존간 여객 O/D 및 화물 O/D가 생성된다.

셋째, 수단선택은 앞 단계에서 생성된 교통존간 O/D 자료를 이용자가 선택 가능한 교통수단별로 세분화하는 단계로써, 통행단모형, 통행교차모형, 개별행태모형 등이 많이 사용된다. 그 결과 여객의 경우 승용차, 버스, 철도 각각에 대한 O/D가 생성되며, 화물의 경우 트럭 화물과 철도 화물 O/D가 생성된다.

넷째, 마지막 단계인 통행배정은 각 교통수단별 O/D 자료를 대상지역 내 교통망에 배정하는 단계로써, 전량 통행배정방법, 용량제약 통행배정방법, 확률적 통행배정방법, 평형 통행배정방법 등이 많이 사용된다. 특히 이들 통행배정 방법은 정적 통행기법인데 비하여, 최근에는 ITS(Intelligent Transportation System)와 연관된 실시간 동적 통행배정기법이 개발되고 있다. 통행배정의 결과로써 모든 도로의 각 구간에 대하여 차량 통행량이 추정되고, 철도도 각 구간에 대하여 승객 통행량이 추정된다.

전통적인 4단계 모형의 교통수요 추정과정은 <그림Ⅳ-1]에 제시한다. 여기서 교통시설 사업의 시행으로 인한 유발교통량(induced traffic)은 특별한 사유가 없는 한, 고려하지 않는 것을 원칙으로 한다. 따라서 사업 시행 전후의 총 통행 O/D는 원칙적으로 동일하다. 영향권 내의 특정 존을 세분할 경우에는 본 지침에서 제시된 방법에 의해 O/D를 수정할 수 있다. 장래 O/D를 수정하는 과정에서 교통량에 큰 영향을 미치는 개발계획이 누락된 경우 이를 추가할 수 있다.

〈그림 Ⅳ-1〉 전통적인 4단계모형의 교통수요 추정 과정



2. 수요 추정방법론

가. 통행수요 예측

1) 통행발생 모형 정립

통행발생량을 산출하기 위하여 「수도권 장래교통 수요예측 및 대응방안 연구」에서 제시된 함수식을 적용하여 회귀분석법을 사용하였다. 회귀모형에서 독립변수는 종속변수에 대해 가장 설명

력이 높으며 의미있는 변수를 선택하여야 하는데 각 통행목적에 사용된 독립변수의 경우 「인천경제자유구역 송도지구 개발계획(변경), 2010.5」와 디지털 미디어시티 홈페이지(http://dmc.seoul.go.kr)에 의거하여 산출하였으며, 이를 통하여 회귀모형을 구축하였다. 「수도권 장래교통 수요예측 및 대응방안 연구」에서는 통행발생시 선형회귀모형을 사용하였기 때문에 본 분석에서도 선형 회귀모형식을 사용하여 통행발생모형을 구축하였다.

〈표 Ⅳ-1〉 통행목적별 회귀모형식

통행목적		모형식	R^2
가정기반 출·퇴근통행	생성	1.59175 × 취업자수	0.9066
	유인	1.94029 × 1,2차산업 종사자수 2.60308 × 3차산업 종사자수	0.9004
가정기반 등·하교통행	생성	1.65753 × 6~17세 인구 1.66580 × 18~21세 인구	0.9803
	유인	1.85501 × 초중고 수용학생수 2.08154 × 대학교 수용학생수	0.9901
가정기반 학원통행	생성	0.62953 × 6~21세 인구(학령인구)	0.8656
	유인	15.33172 × 학원관련 종사자수	0.7055
가정기반 쇼핑통행	생성	0.10323 × 15세이상 인구 1.43871 × 천가구당 자동차보유대수	0.7825
	유인	0.53730 × 3차산업 종사자수	0.5817
가정기반 기타통행	생성	0.31766 × 15세이상 인구 6.58399 × 천가구당 자동차보유대수	0.8356
	유인	1.47240 × 3차산업 종사자수 0.12227 × 총수용학생수	0.8684
비가정기반 업무통행	생성	0.34712 × 2차산업 종사자수 0.59412 × 3차산업 종사자수	0.8731
	유인	0.45184 × 2차사업 종사자수 0.53597 × 3차산업 종사자수	0.8364
비가정기반 쇼핑통행	생성	0.03961 × 2,3차산업 종사자수 0.05107 × 총수용학생수	0.6023
	유인	0.13436 × 3차산업 종사자수	0.7078
비가정기반 업무통행	생성	0.18456 × 2,3차산업 종사자수 0.32991 × 총수용학생수	0.7152
	유인	0.47788 × 3차산업 종사자수 0.17060 × 총수용학생수	0.7764

자료: 시정개발연구원,『수도권 장래교통 수요예측 및 대응방안 연구(3장)』, 2009

지구별 인구계획과 용지 배분계획에 따라 회귀식의 교통발생변수를 산출하고 회귀식에 적용하여 통행발생량 및 도착량을 산출하였다.

2) 용지배분계획

「인천경제자유구역 송도지구 개발계획(변경), 2010.5」 보고서의 용지배분계획을 이용하였으며 그 계획은 다음과 같다.

〈표 Ⅳ-2〉 송도 신도시 용지배분 계획

(단위: m²)

구분		1공구	2공구	3공구	4공구	5공구	6공구
주택 건설용지	단독주택	-	-	-	-	-	70,238.0
	공동주택	461,088.9	471,779.4	307,458.1	263,967.5	330,746.0	654,032.0
	근린생활	44,821.4	7,958.8	69,485.1	116,781.6	26,134.0	-
	소계	505,910.3	479,738.2	376,943.2	380,749.1	356,880.0	724,270.0
상업업무 시설용지	일반상업	3,063.8	-	43,819.2	25,136.7	-	55,336.0
	국제업무	456,023.7	155,959.6	88,647.9	65,016.3	-	-
	주상복합	416,411.4	150,352.4	104,061.3	12,958.0	191,830.0	70,931.0
	복합지원	-	-	-	-	-	-
	소계	875,498.9	306,312.0	236,528.4	103,111.0	191,830.0	126,267.0
산업유통 시설용지	산업	-	-	-	778,391.2	903,629.0	-
	연구시설	-	359,010.7	-	-	-	-
	교육연구	-	-	-	474,082.2	485,601.0	-
	유통시설	-	-	-	-	-	-
	소계	-	359,010.7	-	1,252,473.4	1,389,230.0	-
공공 시설용지	도로	817,170.1	457,592.0	423,294.8	684,079.7	735,974.0	220,946.0
	도로	806,399.6	447,693.0	423,294.8	675,325.0	734,473.0	220,946.0
	보행자도로	10,770.5	9,899.0	-	8,754.7	1,501.0	-
	공원	1,660,479.0	717,867.9	277,460.6	295,179.4	470,465.0	1,070,512.0
	육지부	921,744.0	363,808.1	277,460.6	295,179.4	470,465.0	339,999.0
	수로부	738,735.0	354,059.8	-	-	-	730,513.0
	녹지	63,325.4	53,931.1	57,531.3	183,960.5	117,911.0	27,704.0
	광장	5,299.0	2,199.2	-	39,599.2	-	-
	유수지	-	-	-	109,640.3	53,866.0	-
	항만	-	-	-	-	-	-
	복합환승센터	-	-	31,697.5	-	-	-
	주차장	35,152.6	2,721.3	16,138.7	43,046.8	35,693.0	7,241.0
	학교	158,922.1	53,004.7	152,306.9	40,501.1	51,574.0	49,572.0
	공공청사	45,542.0	38,989.4	2,399.7	4,000.1	3,999.0	-
	문화시설	36,733.0	-	9,427.4	-	-	51,108.0
	주유소, 충전소	-	-	-	-	2,500.0	-
	종교시설	-	-	-	-	7,875.0	-
	복지시설	-	-	12,008.3	-	10,000.0	-
	의료시설	80,719.3	-	-	-	-	-
	체육시설	-	-	946,875.0	-	-	282,256.0
	공급처리시설	15,422.1	4,928.1	-	160,057.2	9,541.0	59,170.0
	기타용지	-	-	10,291.5	-	-	-
	소계	2,918,764.6	1,331,233.7	1,939,431.7	1,560,064.3	1,499,398.0	1,768,509.0
합계		4,300,173.8	2,476,294.6	2,552,903.3	3,296,397.8	3,437,338.0	2,619,064.0

<표 Ⅳ-2>의 계속

(단위: m²)

구분		7공구	8공구	9공구	10공구	11공구	총계
주택 건설용지	단독주택	-	50,045.0	-	-	-	120,283.0
	공동주택	160,400.0	697,626.0	-	-	1,323,133.0	4,670,230.9
	근린생활	-	-	82,498.0	118,089.0	112,029.0	577,796.9
	소계	160,400.0	747,671.0	82,498.0	118,089.0	1,435,162.0	5,368,310.8
상업업무 시설용지	일반상업	119,780.0	278,811.0	50,999.0	179,302.0	42,495.0	798,742.7
	국제업무	-	51,461.0	-	-	-	817,108.5
	주상복합	110,778.0	348,938.0	39,403.0	-	-	1,445,663.1
	복합지원	82,413.0	-	-	-	58,481.0	140,894.0
	소계	312,971.0	679,210.0	90,402.0	179,302.0	100,976.0	3,202,408.3
산업유통 시설용지	산업	-	-	-	-	2,052,085.0	3,734,105.2
	연구시설	264,304.0	-	211,363.0	71,624.0	489,073.0	1,395,374.7
	교육연구	909,670.0	-	-	-	658,662.0	2,528,015.2
	유통시설	-	-	1,058,022.0	3,373,930.0	-	4,431,952.0
	소계	1,173,974.0	-	1,269,385.0	3,445,554.0	3,199,820.0	12,089,447.1
공공 시설용지	도로	523,597.0	421,709.0	560,126.0	1,464,480.0	1,451,399.8	7,760,368.4
	도로	520,457.0	421,709.0	560,126.0	1,464,480.0	1,340,742.8	7,615,646.2
	보행자도로	3,140.0	-	-	-	110,657.0	144,722.2
	공원	633,184.0	1,166,625.0	1,454,396.0	3,137,943.0	3,095,049.0	13,979,160.9
	육지부	173,494.0	710,468.0	372,641.0	565,533.0	2,364,205.0	6,854,997.1
	수로부	459,690.0	456,157.0	1,081,755.0	2,572,410.0	730,844.0	7,124,163.8
	녹지	140,416.0	83,123.0	278,293.0	648,239.0	337,108.0	1,991,542.3
	광장	-	-	-	-	16,163.0	63,260.4
	유수지	-	-	-	-	90,000.0	253,506.3
	항만	-	-	1,263,207.0	3,213,680.0	292,457.0	4,769,344.0
	복합환승센터	-	-	-	-	-	31,697.5
	주차장	20,793.0	27,889.0	-	-	144,754.0	333,429.4
	학교	41,000.0	104,690.0	-	-	127,103.0	778,673.8
	공공청사	5,047.0	16,900.0	-	-	14,795.0	131,672.2
	문화시설	-	-	-	-	63,927.0	161,195.4
	주유소, 충전소	1,796.0	1,600.0	-	-	-	5,896.0
	종교시설	-	2,903.0	-	-	10,004.0	20,782.0
	복지시설	-	-	-	-	-	22,008.3
	의료시설	-	-	-	-	-	80,719.3
	체육시설	-	448,364.0	-	-	-	1,677,495.0
	공급처리시설	3,000.0	4,200.0	-	344,225.0	69,860.0	670,403.4
	기타용지	-	-	-	-	-	10,291.5
	소계	1,368,833.0	2,278,003.0	3,556,022.0	8,808,567.0	5,712,619.8	32,741,446.1
합계		3,016,178.0	3,704,884.0	4,998,307.0	12,551,512.0	10,448,577.8	53,401,630.3

〈표 Ⅳ-3〉 상암 DMC 용지배분 계획

(단위: ㎡)

구분		1공구	2공구	3공구	4공구	5공구	총계
주택건설용지	공동주택용지	-	72,336.70	179,646.00	-	-	251,982.70
	주상복합용지	-	-	-	30,004.00	-	30,004.00
	단독주택용지	-	20.5	-	-	-	20.5
	근린생활시설	1,076.00	-	3,682.00	-	-	4,758.00
	소계	1,076.00	72,357.20	183,328.00	30,004.00	-	286,765.20
공공시설용지	도 로	168,778.00	15,921.70	50,025.00	210,108.00	17,884.60	462,717.30
	상업시설용지	20,693.00	-	-	5,381.00	-	26,074.00
	숙박업무용지	-	-	-	27,378.00	-	27,378.00
	업무시설용지	12,239.00	-	-	149,102.00	-	161,341.00
	교육연구시설용지	-	-	-	23,116.00	-	23,116.00
	방송시설용지	-	-	-	34,204.00	-	34,204.00
	주 차 장	2,350.00	-	3,808.00	5,603.00	-	11,761.00
	광 장	2,920.00	-	-	5,796.00	-	8,716.00
	공 원	2,902.00	1,511.30	163,444.00	14,402.00	-	182,259.30
	녹 지	20,102.00	18,697.20	16,067.00	35,868.00	1,174.00	91,908.20
	공공청사	-	-	1,810.00	1,158.00	7,114.00	10,082.00
	학 교	-	12,484.70	33,193.00	-	-	45,677.70
	사회복지시설	-	17,907.20	998	-	3,167.00	22,072.20
	종교시설	1,280.00	1,228.10	5,294.00	660	611	9,073.10
	도시형공장	-	-	-	17,070.00	-	17,070.00
	자동차정류장	-	-	-	-	9,430.00	9,430.00
	전기공급설비	-	-	324	-	3,601.00	3,925.00
	운동장 및 시장	213,661.00	-	-	-	-	213,661.00
	철도시설	1,455.00	-	-	-	-	1,455.00
	유 보 지	347	-	-	275	1,244.00	1,866.00
	하수도시설	-	-	-	92	3,123.00	3,215.00
	차 고 지	-	-	-	-	6,787.00	6,787.00
	가스충전소	-	-	-	-	1,674.00	1,674.00
	문화 및 업무시설	35,160.00	-	-	-	-	35,160.00
	공 동 구	500	-	-	-	-	500
	소계	482,387.00	67,750.20	274,963.00	530,213.00	55,809.60	1,411,122.80
합계		483,463.00	140,107.40	458,291.00	560,217.00	55,809.60	1,697,888.00

3) 교육수요

인천도시기본계획의 2011년 지표를 적용한 취학률 및 학교시설계획을 고려하여 교육 초,중,고 학생수를 산정하였다. 송도신도시의 학교시설은 총 면적 440,242㎡으로 계획되었다.

〈표 Ⅳ-4〉 송도 신도시 공구별 학교시설계획

구분	면적	초등학교		중학교		고등학교		합계	
		학교수	학생수	학교수	학생수	학교수	학생수	학교수	학생수
1공구	106,000	8	4,229	5	1,831	4	1,875	16	7,935
2공구	53,000	4	2,726	2	1,180	2	1,208	8	5,114
3공구	79,242	6	2,386	3	1,033	3	1,058	12	4,477
4공구	58,000	4	1,183	3	512	2	525	9	2,220
5공구	78,500	6	2,619	3	1,134	3	1,161	12	4,914
6공구	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7공구	65,500	5	2,415	3	1,046	3	1,071	10	4,532
8공구	0	0	1,921	0	832	0	851	0	3,604
9공구	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10공구	0	0	2,755	0	1,193	0	1,221	0	5,169
11공구	0	0	4,258	0	1,844	0	1,888	0	7,990
합계	440,242	32	24,493	19	10,605	17	10,858	68	45,955

대학교의 경우 이전계획이 명시된 4공구의 인천대학교와 5,7 공구에 계획중인 연세대학교의 학생수를 반영하였으며, 이때 사용된 연세대학교 학생수의 경우 인천대학교 계획 학생수 원단위를 적용하여 예측하였다.

〈표 Ⅳ-5〉 인천대학교 이전계획

인천대학교 이전계획	면적(m2)	학생수(인)
1단계(2008년이전)	165,290	8,500
2단계(2008~2021년)	92,562	4,500
3단계(2021년이후)	257,852	6,500
합계	515,704	19,500
원단위산정(인/m2)	0.037812	

자료 : 한국개발연구원, 「인천 경제자유구역 지원시설 건설사업」, 2004

연세대학교의 학생수 산정의 경우 앞서 산정된 인천대학교 이전계획상의 원단위를 이용하여 산출하였다.

〈표 Ⅳ-6〉 연세대학교 학생수 예측

인천대학교 이전계획	계
연세대학교 학생 계획수(인)	35,000
면적(m2)	925,624

○ 교통발생변수 산출

「인천경제자유구역 송도지구 개발계획(변경), 2010.5」 보고서의 용지배분계획 및 토지개발계획 등을 이용하였으며 산출방법은 다음표와 같다.

〈표 Ⅳ-7〉 통행발생 독립변수 산정과정

독립변수	모형식
인구수	- 지구별 인구계획에 제시된 자료를 근거로 제시하였으며, 상주인구를 의미함
취업자수	- 연령별 인구수 × 연령별 취업률 - 여기서, 송도지구의 연령별 인구비율과 취업률은 인천광역시와 유사할 것이라는 가정하에 시정개발연구원의(2009)『수도권 장래교통 수요예측 및 대응방안 연구(4장)』 자료를 참고하여 연령별 인구비율과 취업률 산출
1,2차 산업 종사자수	- 제조업용지/(산업용지+상업용지)×인구 - 농·임·수산업 및 생산·제조업에 종사하는 자
3차산업 종사자수	- (지식기반서비스+연구시설+테크노파크+상업용지)/(주거용지+산업용지 +상업용지+물류용지+교육용지)×인구 - 상업, 운수, 통신, 서비스업에 종사하는 자
연령별 인구수	- 송도지구의 연령별 인구비율은 인천광역시와 유사할것이라는 가정하에 인천광역시의 연령별 인구비율을 이용하여 각 공구별 인구수에 연령별 인구비율에 따라 배분하여 도출 - 인천광역시 연령별 인구비율의 경우 시정개발연구원의『수도권 장래교통 수요예측 및 대응방안 연구(2009)』 자료를 이용함
자동차 보유대수	- 송도지구의 승용차보유비율은 인천시와 유사할 것이라는 가정하에 산정함. 즉 인천광역시 전체인구 중 승용차 등록대수의 비율을 구하여 이 비율에 송도지구의 존별 인구수를 곱하여 산출
대학생이상 학생수	- 송도지구의 교육수요 수용계획에 제시된 대학교 설립계획에 따라 해당 대학의 정원수를 기준으로 산출 - 대학교이상학생수=인천대학교(4공구),연세대학교 학생계획수(5공구)

자료 : 한국개발연구원, 「인천 경제자유구역 진입도로 건설사업(송도지구~경인고속도로) 예비타당성조사, 2006」 참조

나. 장래 수단별 O/D 예측

1) 수단통행/목적통행 비

본 연구에서는 목적통행을 수단통행으로 전환하기 위하여 시정개발연구원의『수도권 장래교통 수요예측 및 대응방안 연구』에 제시된 연도별 수단통행과 목적통행의 비율을 적용하였으며, 각 년도별로 수단통행/목적통행 비율을 산정하여 분석에 적용하였다.

〈표 Ⅳ-8〉 수도권 수단통행/목적통행 비율

(단위 : 통행/일, 인)

구분	2006년	2011년	2016년	2021년	2026년	2031년	2036년
목적통행	51,056,006	52,979,847	54,175,302	54,191,558	53,654,325	52,956,855	51,658,426
수단통행	51,476,035	54,303,276	57,005,456	58,487,173	58,116,491	57,271,993	55,936,405
인구	23,711,590	24,779,373	25,622,623	25,996,667	26,180,995	26,120,532	25,729,395
1인당목적통행	2.15	2.14	2.11	2.08	2.05	2.03	2.01
1인당수단통행	2.17	2.19	2.22	2.25	2.22	2.19	2.17
수단/목적	1.01	1.02	1.05	1.08	1.08	1.08	1.08

주 : 수단통행은 도보 및 자전거 통행 제외

2) 내·외부 통행분포

「수도권 장래교통 수요예측 경신연구 (2010. 5.)」 의 내용을 토대로 내·외부통행분포를 산출하였다.

〈표 Ⅳ-9〉 송도 신도시 장래 내 · 외부 통행분포

연도	2011년	2016년	2021년	2026년	2031년
내부통행비	39.78%	48.56%	48.56%	48.56%	48.56%
외부통행비	60.22%	51.36%	51.36%	51.36%	51.36%

주 : 2036년의 경우 2031년과 동일한 통행분포를 따를것으로 가정함

〈표 Ⅳ-10〉 상암 DMC 장래 내 · 외부 통행분포

연도	2011년	2016년	2021년	2026년	2031년
내부통행비	28.8%	29.1%	28.9%	28.7%	28.7%
외부통행비	71.20%	70.90%	71.10%	71.30%	71.30%

주 : 2036년의 경우 2031년과 동일한 통행분포를 따를 것으로 가정함

3. 수요 추정

가. 기본자료 설정

1) 교통존 체계

선택된 기초 자료에 따라 교통분석에 필요한 주요 파라미터는 분석의 일관성을 유지하기 위해 채택한 O/D와 NETWORK에 상응하는 자료를 사용하는 것을 원칙으로 하여야한다.

본 연구는『도로·철도부문 표준지침(제5판)』에 의거하여 시행하므로, 공신력 있는 자료를 채택하였다. 본 조사에서 사용가능한 자료는 수도권교통본부의 수도권 자료와 한국교통연구원의 전국지역간 자료이다.

이 중 본 연구 대상지역의 행정적 위치와 노선의 기능 등으로 판단하여 수도권교통본부의 수도권 5차 자료를 기본자료로 사용하여 분석을 수행하였다.

본 연구에서는 수도권 5차 자료의 존 체계인 1,522개의 존 체계로 구성하여 분석을 수행하였다. 1,522개의 소존은 서울특별시 522개, 인천광역시 136개, 경기도 529개, 외부존 2차 영향권 178개, 외부존 기타 157개로 구성되어 있으며, 존 구성표는 <표 Ⅳ-13>과 같다.

〈표 Ⅳ-11〉 수도권 5차 자료의 교통존 체계

구분		일련번호	대존코드	포함된 행정구역	구분		일련번호	대존코드	포함된 행정구역
내부존	서울시	1	1101	종로구	내부존	경기도	44	3122	안양시만안구
		2	1102	중구			45	3123	안양시동안구
		3	1103	용산구			46	3126	부천시원미구
		4	1104	성동구			47	3127	부천시소사구
		5	1105	광진구			48	3128	부천시오정구
		6	1106	동대문구			49	3130	광명시
		7	1107	중랑구			50	3132	평택시
		8	1108	성북구			51	3134	동두천시
		9	1109	강북구			52	3136	안산시상록구
		10	1110	도봉구			53	3138	안산시단원구
		11	1111	노원구			54	3141	고양시덕양구
		12	1112	은평구			55	3142	고양시일산동구
		13	1113	서대문구			56	3143	고양시일산서구
		14	1114	마포구			57	3146	과천시
		15	1115	양천구			58	3148	구리시
		16	1116	강서구			59	3150	남양주시
		17	1117	구로구			60	3152	오산시
		18	1118	금천구			61	3154	시흥시
		19	1119	영등포구			62	3156	군포시
		20	1120	동작구			63	3160	의왕시
		21	1121	관악구			64	3162	하남시
		22	1122	서초구			65	3163	용인시기흥구
		23	1123	강남구			66	3164	용인시처인구
		24	1124	송파구			67	3165	용인시수지구
		25	1125	강동구			68	3166	파주시
	인천시	26	2301	중구			69	3168	이천시
		27	2302	동구			70	3170	양주시
		28	2303	남구			71	3172	여주군
		29	2304	연수구			72	3174	화성시
		30	2305	남동구			73	3176	광주시
		31	2306	부평구			74	3178	연천군
		32	2307	계양구			75	3180	포천시
		33	2308	서구			76	3182	가평군
		34	2309	강화군			77	3184	양평군
		35	2310	옹진군			78	3186	안성시
	경기도	36	3111	수원시장안구			79	3188	김포시
		37	3112	수원시권선구	2차 영향권	충청북도	80	1039	충주시
		38	3113	수원시팔달구			81	1046	진천군
		39	3114	수원시영통구			82	1048	음성군
		40	3116	성남시수정구		충청남도	83	1750	천안시
		41	3117	성남시중원구			84	1753	아산시
		42	3118	성남시분당구			85	1765	당진군
		43	3120	의정부시		강원도	86	9919	춘천시

<표 Ⅳ-11>의 계속

구분		일련번호	대존코드	포함된 행정구역	구분	일련번호	대존코드	포함된 행정구역
2차 영향권	강원도	87	9920	원주시	외부존	96	1300	전남
		88	9926	홍천군		97	1400	경북
		89	9927	횡성군		98	1500	경남
		90	9931	철원군		99	1600	제주
		91	9932	화천군		100	9200	부산
		92	1000	충북(2차 영향권 지역 제외)		101	9300	대구
외부존		93	1700	충남(2차 영향권 지역 제외)		102	9500	광주시
		94	9900	강원(2차 영향권 지역 제외)		103	9600	대전
		95	1200	전북				

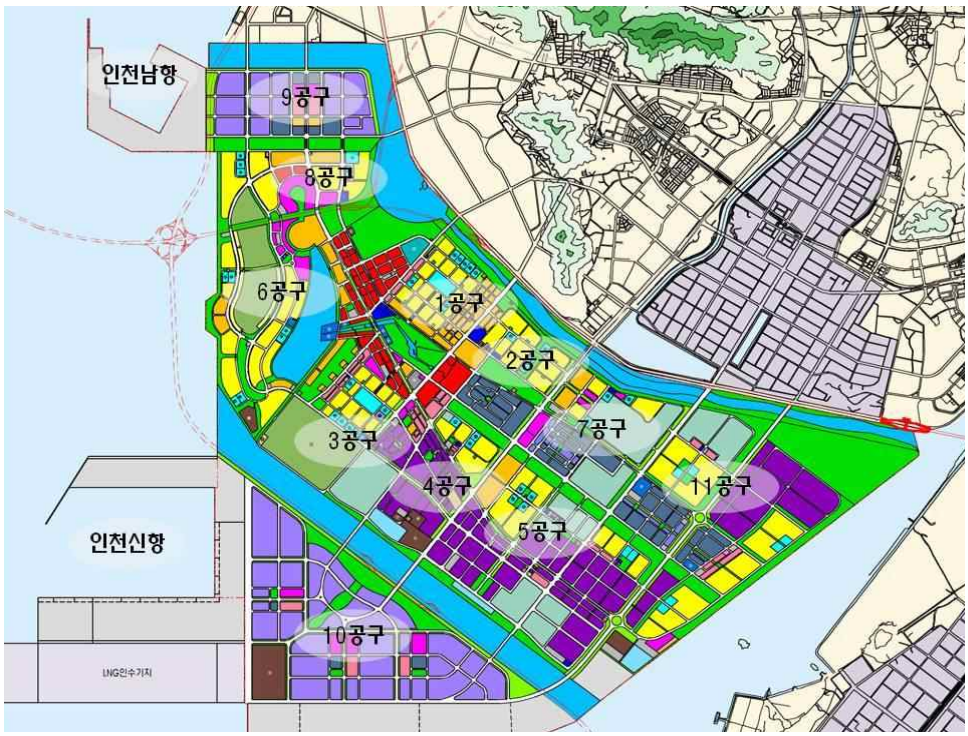
○ 존 세분화

PRT시스템의 대상지역인 송도신도시와 상암DMC의 경우 PRT시스템의 특성상 교통존을 세분화하여 분석을 수행해야 한다.

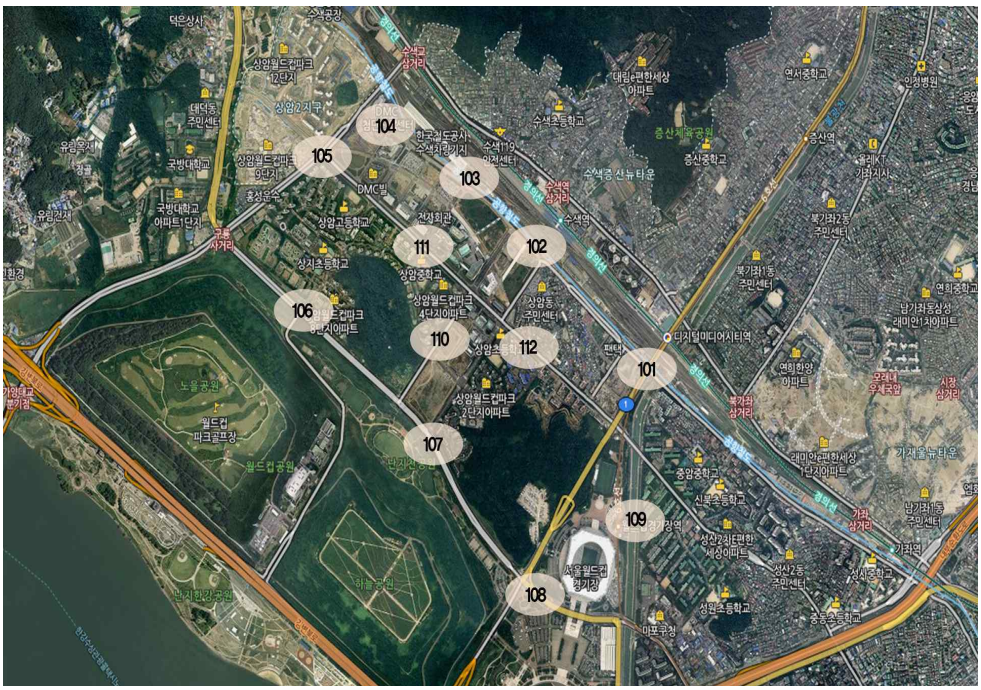
송도신도시의 경우 수도권교통본부의 5차 배포자료에 의하면 동춘2동에 이미 반영되어 있으나 통행량의 규모와 송도신도시의 인구규모를 고려할 때 크게 미치지 못하는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 제공된 O/D 자료에서 동춘2동과 기 반영된 송도신도시의 통행량을 분류하기 위하여 장래의 동춘2동과 송도신도시가 포함되어 있는 230458존의 O/D를 분석하여 동춘2동의 O/D를 분류하여 230458존에 재입력하였으며, 송도신도시의 경우 「인천경제자유구역 송도지구 개발계획(변경), 2010.5」 보고서를 기초로 하여 본 연구에 반영하였다.

상암DMC의 경우 수도권 교통본부 5차배포자료의 111,474존의 마포구 상암동에 이미 반영되어 있어 기존 반영량과 상암DMC규모를 고려하여 DMC의 O/D를 마찬가지의 방법으로 분류하여 본 연구에 반영하였다.

〈그림 Ⅳ-2〉 송도 신도시 존 세분화 내역



〈그림 Ⅳ-3〉 상암 DMC 존 세분화 내역



2) O/D 자료

기준연도 여객통행 O/D는 수도권교통본부에서 제공한 2006년 수도권 수단 O/D(전일)를 기준으로 『도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』(이하 「도로·철도 부문 표준지침(제5판)」)에서 제시한 보간법을 이용하여2008년 O/D를 구축하였고, 장래 여객통행 O/D는 동일한 기관에서 제공하는 2011년~2036년의 O/D를 이용한다.

교통 분석에 사용되는 주요 파라미터는 분석의 일관성을 유지하기 위해 채택한 O/D 및 Network에 상응하는 자료를 사용하는 것을 원칙으로 하며, 여기서 교통시설 사업의 시행으로 인한 유발교통량(induced traffic)은 특별한 사유가 없는 한 고려하지 않는 것을 원칙으로 하므로 사업 시행 전후의 총통행 O/D는 원칙적으로 동일하다는 전제로 분석하였다.

나. 분석의 범위 설정

1) 시간적 범위 설정

본 연구의 시간적 범위는 교통수요 분석의 경우 최신 통계자료를 확보할 수 있는 2009년을 기준연도로 설정하고, 경제성 분석의 경우 2009년을 기준연도로 설정하였다. 교통 분석 기준 시점은 사업구간 개통년도인 2016년도와 분석 최종년도를 포함하며 중간년도는 수도권교통본부에서 제시하는 2021년, 2026년, 2031년, 2036년으로 설정하였다.

운영 시작연도는 2016년이며 수도권 5차 자료의 수도권 O/D 및 Network가 2036년까지 예측되어 있으나 화물O/D의 경우 KTDB의 2003년 기준 수도권 화물 O/D가 2031년까지 예측되어 있어, 2036년의 화물O/D는 2031년과 같다고 가정하여 교통수요추정의 최종분석년도를 2036년으로 설정하였다. 단, 경제성 분석은 개통 후 30년을 분석기간으로 설정하였다. 이때 2036년 이후의 수요는 2036년과 동일하다는 전제로 분석을 수행하였다.

<표 Ⅳ-12> 시간적 범위

구 분		본연구
기준연도	교통수요 분석	2009년
	경제성 분석	2010년
편익발생년도(운영 시작)		2019년
최종목표년도		2036년
중간분석년도		2021년, 2026년, 2031년

2) 공간적 범위 설정

원칙적으로 경제성분석결과는 영향권에 따라 큰 차이가 발생하지 않아야 한다. 영향권에 포함된 모든 링크에 대한 모형 및 네트워크 정산이 합리적으로 이루어졌다면 편익의 포함범위에 따라 총 편익의 크기가 큰 폭으로 변화하지 않아야 한다. 하지만 개별 사업에서 분석자료 전체에 대해 모형 및 네트워크 수정 등의 절차를 거치는 것은 교통분석의 효율성을 저하시킬 수 있다. 따라서 분석대상 사업의 시행으로 인하여 교통패턴의 변화가 현저하게 발생할 것으로 예상되는 지역을 설정하여 분석하는 것이 분석의 효율성을 제고할 수 있을 것이다.

교통분석 단계에서 설정한 영향권은 경제성 분석단계에서 편익의 범위를 설정하는 기준이 된다. 경제성 분석의 편익산정은 직접영향권과 간접영향권으로 포함된 공간적 범위 내에서 사업시행으로 발생한 교통패턴의 변화를 금전적 가치로 환산하는 과정이다. 이때 편익의 크기에 영향을 미치는 것은 링크별 교통량의 변화와 통행속도이다. 따라서 교통분석 단계에서 영향권을 설정할 때 고려하여야할 가장 중요한 기준의 하나는 교통량의 변화이다. 교통량의 변화는 교통량의 변화량과 교통량의 변화비율로 측정할 수 있다.

교통량 변화지표는 교통분석이 일정 부분 완료된 이후에 얻어질 수 있다는 측면에서 사후적인 영향권 설정기준이라고 할 수 있으므로, 사전적으로 영향권을 설정하는 기준이 필요하다.

사전적인 영향권 설정 기준으로는 사업대상 지역의 교통권을 고려할 수 있다. 즉, 해당사업이 포함된 교통존과 O/D비율을 기준으로 교통패턴상 연계가 가장 많은 지역을 사전적으로 영향권을 설정할 수 있다. 교통패턴상의 연계를 판단하는 기준으로는 O/D상 사업지역의 총발생통행량 또는 도착통행량을 고려할 수 있다. 예를 들어 해당사업지역 통행발생량 가운데 도착통행량의 비율이 특정 수치 이상인 지역을 교통권으로 간주하여 사업시행의 영향권으로 설정할 수 있다.

종합하면, 영향권 설정에는 O/D기준 통행량비율(PV), 사업시행으로 인한 교통량 변화량(DV), 사업시행으로 인한 교통량 변화율(RV)를 고려한다. 각각의 기준을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$PV_{ij} = \frac{V_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} V_{ij}} \times 100$$

$$DV^{k} = V^{k}_{\text{시행}} - V^{k}_{\text{미시행}}$$

$$RV^{k} = \frac{V^{k}_{\text{시행}} - V^{k}_{\text{미시행}}}{V^{k}_{\text{미시행}}} \times 100$$

PVij = 존 i의 발생교통량 가운데 존 j지역 도착 교통량이 차지하는 비율(%)

DVk = 사업시행시 링크 k의 교통량 변화량

RVk = 사업시행시 링크 k의 교통량 변화율(%)

$V^{k}_{\text{시행}}$ =사업시행시 링크 k의 교통량

$V^{k}_{\text{미시행}}$ =사업미시행시 링크 k의 교통량

○ 직접영향권

본 연구진은 사업의 직접영향권을 사업지구가 존재하는 송도신도시와 상암 DMC로 설정하는 것이 가장 합리적이라고 판단하였다.

○ 간접영향권

간접영향권은 직접영향권과 함께 편익산출의 대상이 되는 지역으로 직접영향권을 포함한다. 간접영향권은 예비타당성조사 지침에 따라 O/D기준 통행량비율(PV), 사업시행으로 인한 교통량 변화량(DV), 사업시행으로 인한 교통량 변화율(RV)를 분석하여 고려해야한다. 하지만 본 사업과 같은 독립적인 O/D가 존재하지 않고 현재 Network 구축이 이루어지지 않은 지구 내의 간선도로 설치 시 해당지구만의 O/D를 이용하여 PV, RV를 수행하기에는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 송도신도시가 속한 인천광역시 연수구와 서울특별시 마포구의 O/D기준 통행량비율을 고려하여 중존단위의 간접영향권을 설정하고자 한다.

1) O/D 기준 통행량 비율을 이용한 영향권 설정

인천광역시의 연수구와 서울특별시 마포구의 발생 통행량을 중죤 단위로 분석하였다. 분석 시 전체 수단 O/D의 총합을 사용하였다. 본 노선이 경유하는 지역(zone)과 발생 통행량 분포는 다음과 같다.

〈표 Ⅳ-13〉 사업노선이 경유하는 지역의 발생통행량

중죤	발생량(pcu/일)
인천광역시 연수구	216,839
서울특별시 마포구	284,209

주 : 중죤단위로 분석을 수행하였으며, 분석시 중죤 내부통행량은 제외함

각 직접영향권에서 발생하는 통행량들의 도착지 분포를 살펴보면 <표 Ⅳ-17>에 나타난 지역의 도착통행량이 2% 이상인 것으로 나타났다.

〈표 Ⅳ-14〉 송도 신도시 사업노선 경유 지역의 발생 통행량 분포

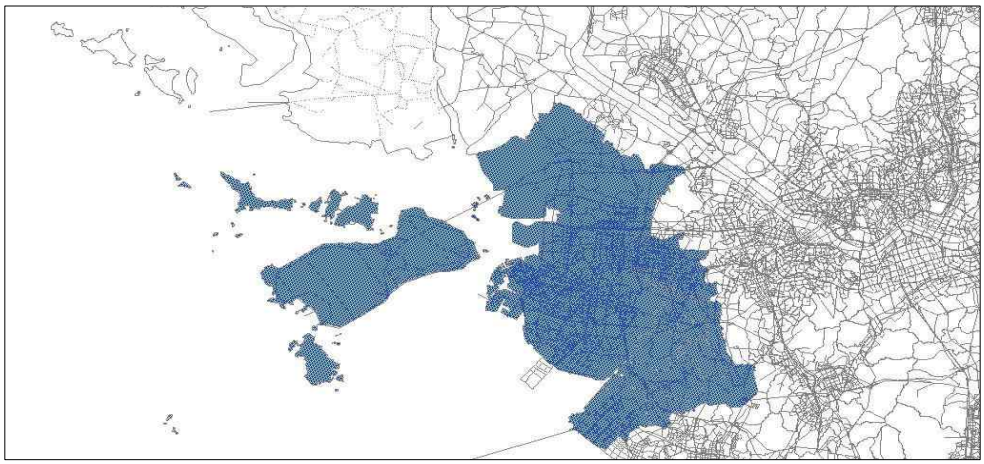
도착지	남동구	남구	중구	부평구	서구	부천시	시흥시	동구	계양구
인천시 연수구	33,484	31,751	8,626	7,733	7,090	6,583	4,520	3,396	3,070
비율(%)	25.46%	24.14%	6.56%	5.88%	5.39%	5.01%	3.44%	2.58%	2.33%

〈표 Ⅳ-15〉 상암 DMC 사업노선 경유 지역의 발생 통행량 분포

도착지	서대문구	중구	영등포구	용산구	종로구	은평구	강서구	강남구
서울시 마포구	23,478	15,273	14,758	11,749	11,264	8,665	8,048	7,849
비율(%)	8.26%	5.37%	5.19%	4.13%	3.96%	3.05%	2.83%	2.76%

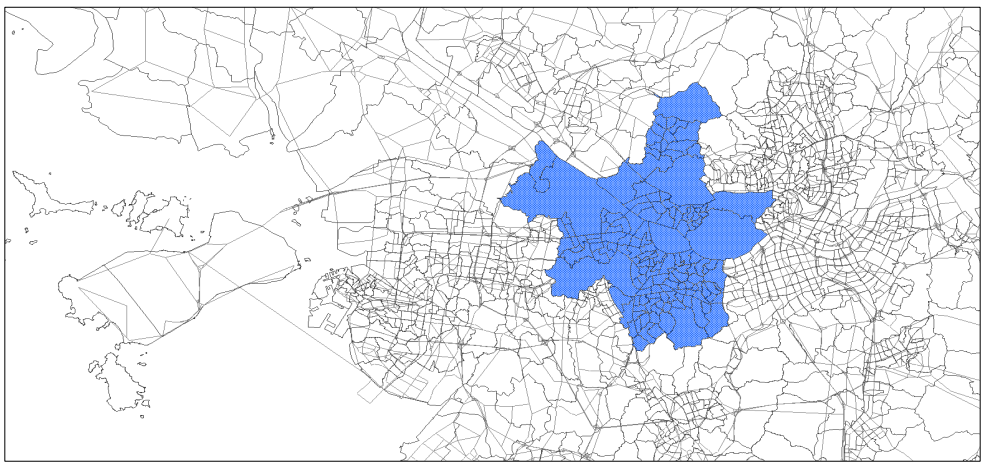
죤의 발생 통행량을 추정하여 O/D기준 통행량 비율(PV)을 2%이상으로 구분하여 영향권의 통행 분포 비율을 그림으로 나타내면 다음과 같다.

<그림 Ⅳ-4> 송도 신도시 O/D기준 통행량 비율(PV) 결과



PV가 2% 이상이 되는 지역은 사전적인 영향권의 설정의 범위에 포함할 수 있다. 이는 인천광역시 남동구, 남구, 중구, 부평구, 서구, 부천시, 시흥시, 동구, 계양구 등이다.

<그림 Ⅳ-5> 상암 DMC O/D기준 통행량 비율(PV) 결과

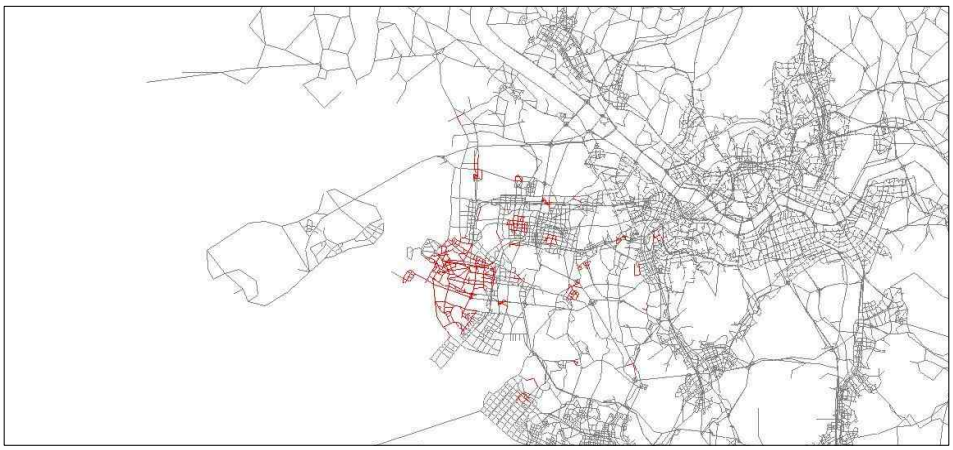


PV가 2% 이상이 되는 지역은 사전적인 영향권의 설정의 범위에 포함할 수 있다. 이는 서대문구, 중구, 영등포구, 용산구, 종로구, 은평구, 강서구, 강남구 등이다.

2) 교통량 변화량에 따른 영향권 설정

사업의 개통년도인 2016년도를 기준으로 사업 시행 전·후의 교통량을 비교하였고, 교통량 변화량에 따른 영향권 설정 기준으로는 사업 시행 전·후의 교통량이 2% 이상 차이가 나는 링크로 설정했으며, 분석 결과 송도신도시와 상암 DMC PRT사업의 영향권은 아래 그림과 같이 분석되었다.

〈그림 Ⅳ-6〉 교통량 변화량에 따른 영향권 설정(RV) 결과(송도 신도시)

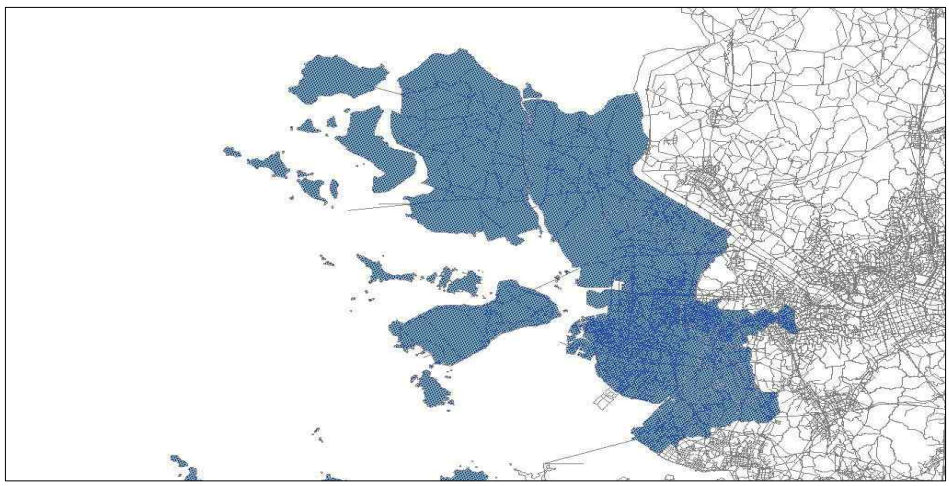


〈그림 Ⅳ-7〉 교통량 변화량에 따른 영향권 설정(RV) 결과(상암 DMC)

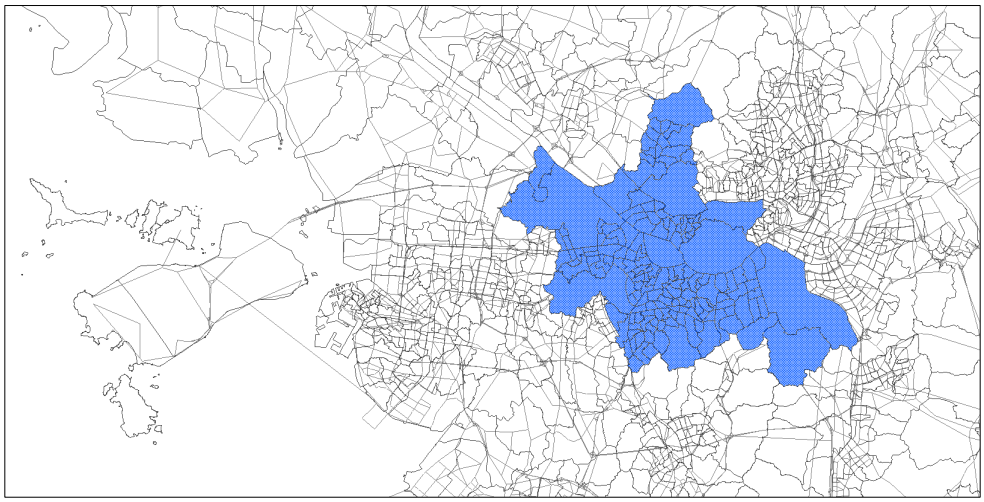


최종적으로 O/D 통행량에 대한 분석과 링크교통량 변화를 통한 분석을 동시에 고려하였으며, 그 밖에 대상지역의 주변 주요도로를 포함하여 영향권을 설정하였고, 설정된 영향권은 다음과 같다.

〈그림 Ⅳ-8〉 최종영향권 설정(송도 신도시)



〈그림 Ⅳ-9〉 최종영향권 설정(상암 DMC)



〈표 Ⅳ-16〉 최종 영향권 설정결과(송도 신도시)

구 분		대상 지역
본 연구	직접 영향권(1차 영향권)	인천광역시 연수구
	간접 영향권(2차 영향권)	인천광역시 및 부천시, 시흥시, 구로구, 김포시 양촌면 일대

〈표 Ⅳ-17〉 최종 영향권 설정결과(상암 DMC)

구 분		대상 지역
본 연구	직접 영향권(1차 영향권)	서울특별시 마포구
	간접 영향권(2차 영향권)	서대문구, 중구, 영등포구, 용산구, 종로구, 은평구, 강서구, 강남구 일대

다. 기준연도 O/D

본 분석에 이용된 수도권 5차자료 2009년 기준의 수단별 총 통행량은 다음과 같다. 2008년의 택시를 포함한 승용차의 총 수단 통행량은 21,994,416 통행/일이고 버스의 경우는 14,989,118 통행/일, 지하철은 7,212,999통행/일로 각각 49.77%, 33.91%, 16.32%를 차지하고 있다.

〈표 Ⅳ-18〉 분석에 이용된 총 통행량(2009년)

(단위: 통행/일, %)

구 분	통행량	
	통행량	비율
승용차(택시포함)	21,994,416	49.77
버 스	14,989,118	33.91
지하철	7,212,999	16.32
소계	44,196,532	100.00

라. 장래연도 O/D 및 Network 수정

1) 기본O/D 자료

기준 도로 및 철도 수요 분석시 승용차, 버스, 택시, 지하철 O/D외에도 PRT를 이용가능할 것으로 예상되는 자전거, 도보, 기타 O/D를 분석에 추가하였다.

기준연도의 여객통행 O/D는 수도권 교통본부에서 2009년에 배포한 2006년 수도권 수단 O/D(전일)를 기준으로 구축하였고, 장래 여객통행 O/D는 동일한 기관에서 제공하는 2011년~2036년의 O/D를 이용하였다. 2006년, 2011년, 2016년, 2021년, 2031년의 장래 여객통행 O/D를 제공하고 있으므로 기준연도 2009년은 KDI의 「도로·철도부문 표준지침(제5판)」에 따라 보간법으로 도출하였다. 연도별, 수단별 장래 총 통행량은 다음과 같다.

〈표 Ⅳ-19〉 사업시행 전 장래 수단 O/D의 총통행량

(단위: 통행/일, %)

구 분	2016년		2021년		2026년		2031년	
	통행량	비율	통행량	비율	통행량	비율	통행량	비율
승용차, 택시	23,610,482	49.49	24,287,531	49.75	24,481,396	50.44	24,330,973	50.84
버 스	15,968,942	33.47	15,883,672	32.54	15,567,236	32.08	15,259,244	31.88
지하철	8,128,749	17.04	8,648,090	17.71	8,482,466	17.48	8,269,278	17.28
소 계	47,708,173	100	48,819,293	100	48,531,098	100	47,859,495	100

2) 장래 O/D 수정

장래 O/D의 경우 수도권교통본부에서 2009년 배포한 O/D 작성시 반영되지 않은 관련계획을 추가적으로 반영하는 하여야 한다. 이때 관련계획 반영에 관한 지침에 따라 국가계획으로 확정된 계획과 지방정부 또는 민간이 추진하는 대규모 개발계획 가운데에서도 계획의 확정성이 높아 교통수요의 증가로 실현될 가능성이 매우 높은 사업에 대해서만 교통수요에 반영하여야 한다.

수도권교통본부에서 배포한 자료의 장래 개발계획 반영내역은 다음과 같다.

〈표 Ⅳ-20〉 수도권교통본부(5차배포자료)의 개발계획 반영목록

사업구분	번호	지역구분	행정동	행정동코드	수용인구(인)	수용세대수	준공년도
택지개발/신도시 개발사업	1	발산	발산1동	111667	16,812	5,604	2008
	2	상암2	상암동	111474	8,022	2,865	2010
	3	세곡	세곡동	112376	6,896	2,121	2010
	4	신정3	신정3동	111566	5,155	1,841	2011
			신월7동	111563	3,438	1,228	
			합계	223129	8,593	3,069	
	5	신내2	신내1동	110769	3,712	1,326	2009
	6	강일2	강일동	112551	9,867	3,524	2010
	7	장지	장지동	112478	17,031	5,677	2008
	8	천왕2	오류2동	111768	4,195	1,589	2012
	9	신내3	신내1동	110769	14,741	5,134	2011
	10	우면2	양재1동	112266	9,268	3,310	2011
	11	마천	마천1동	112455	3,213	1,147	2011
			마천2동	112456	1,550	554	
			합계	224911	4,763	1,701	
	12	천왕	오류2동	111768	9,779	3,582	2010
	13	문정	문정2동	112469	26,500	10,000	2008
	14	상계, 장암	상계1동	111164	1,605		2011
			장암동	312056	792		
			합계		2,397		
	15	강일	강일동	112551	18,225	6,509	2009
	16	용산	한강로3동	110362	8,000		2016
	17	위례	거여1동	112453	9,321	3,728	2013
			거여2동	112454	27,965	11,186	
			장지동	112478	9,321	3,728	
			복정동	311663	50,195	20,078	
			감북동	316258	25,698	10,279	
			합계		122,500	49,000	
도시재정비 촉지사업 /뉴타운	1	마곡지구	발산1동	111667	3,402	34	2015
			가양1동	111664	27,216	275	
			공항동	111669	3,402	11,841	
			합계		34,020	12,150	
	2	은평	진관내동	111269	20,376	7,277	2008
			집관외동	111270	24,905	8,895	
			합계		45,281	16,172	
	3	길음	길음1동	110866	17,232	5,859	2015
			길음2동	110867	17,232	5,859	
			길음3동	110868	22,976	7,812	
			합계		57,440	19,530	
	4	왕십리	왕십리1동	110451	14,000	5,000	2011
	5	돈의문	교남동	110158	6,048	2,240	2012
	6	한남	보광동	110370	19,230	7,424	2013
			한남1동	110367	8,547	3,300	
			이태원1동	110365	10,683	4,124	
			서빙고동	110369	4,275	1,652	
			합계		42,735	165,00	
	7	전농답십리	전농1동	110656	8,484	3,028	2012
			전농4동	110659	5,302	1,380	
			답십리1동	110660	493	109	
			답십리3동	110662	8,473	3,258	
			답십리5동	110664	3,052	1,038	
			합계		25,804	8,813	

사업구분	번호	지역구분	행정동	행정동코드	수용인구(인)	수용세대수	준공년도
도시재정비촉지 사업/뉴타운	8	중화	중화2동	110762	3,609	1,336	2012
			중화3동	110763	12,632	4,678	
			묵2동	110765	1,806	670	
			합계		18,047	6,684	
			미아5동	110955	6,443	2,137	
			미아6동	110956	3,425	1,136	
			합계		9,868	3,273	
	9	아현	아현2동	111452	4,500	1,287	2018
			아현3동	111453	9,000	2,575	
			공덕2동	111455	11,250	3,219	
			염리동	111461	15,750	4,507	
			대흥동	111460	4,500	1,291	
			합계		45,000	12,879	
	10	방화	방화1동	111670	5,805	2,259	2014
			방화2동	111671	7,740	3,012	
			공항동	111669	5,805	2,259	
			합계		19,350	7,530	
	11	노량진	노량진1동	112051	9,300	3,750	2020
			노량진2동	112052	12,400	5,000	
			대방동	112068	7,750	3,125	
			상도2동	112054	1,550	625	
			합계		31,000	12,500	
	12	영등포	영등포2동	111952	3,695	1,318	2019
			영등포3동	111953	2,465	881	
			합계		6,160	2,200	
	13	천호	천호2동	112562	6,400	2,560	2016
			천호4동	112564	9,600	3,840	
			합계		16,000	6,400	
	14	이휘문경	이문1동	110674	8,016	3,485	2014
			이문2동	110675	5,344	2,323	
			이문3동	110676	8,016	3,485	
			휘경1동	110672	5,347	2,325	
			합계		26,723	11,618	
	15	장위	장위1동	110876	24,500	9,394	2016
			장위2동	110877	27,999	10,735	
			장뒤3동	110878	17,501	6,711	
			합계		70,000	26,840	
	16	상계	상계3동	111166	9,310	3,448	2015
			상계4동	111167	13,967	5,173	
			합계		23,277	8,621	
	17	수색증산	수색동	111268	17,372	6,219	2015
			증산동	111267	17,372	6,219	
			합계		34,744	12,438	
	18	북아현	북아현1동	111354	9,899	3,666	2015
			북아현2동	111355	6,599	2,444	
			북아현3동	111356	4,949	1,832	
			천연동	111352	4,949	1,832	
			충정로동	111351	6,601	2,447	
			합계		32,997	12,221	

사업구분	번호	지역구분	행정동	행정동코드	수용인구(인)	수용세대수	준공년도
도시재정비촉지 사업/뉴타운	19	신길	신길1동	111963	5,087	1,884	2015
			신길2동	111965	12,719	4,711	
			신길4동	111966	10,175	3,768	
			신길5동	111947	12,719	4,711	
			신길6동	111968	10,178	3,771	
			합계		50,878	18,845	
	20	흑석	흑석1동	112059	12,139	4,633	2015
			흑석2동	112060	3,038	1,159	
			흑석3동	112061	5,055	1,931	
			합계		20,232	7,723	
	21	신림	신림2동	112166	913	277	2015
			신림6동	112170	7,305	1,817	
			신림9동	112173	913	227	
			신림10동	112174	9,132	2,274	
			합계		18,263	4,545	
	22	거여마천	거여2동	112402	31,202	11,345	2016
재건축/재개발	1	장미,세림연립	성동구	110469	241	122	2008
	2	건우3차	강서구	111670	904	341	2008
	3	유원성산	마포구	111473	861	320	2008
	4	둔촌주공	강동구	112570	5,587	3,160	2011
	5	길동진흥	강동구	112571	102	30	2010
	6	고덕1단지	강동구	112555	3,414	1,142	2009
	7	성내미주	강동구	112556	45	34	2012
	8	장안시영2-2	동대문구	110666	0	859	2007
	9	금호	서초구	112254	0	0	2010
	10	잠실4단지	송파구	112473	9,373	548	2006
	11	잠실3단지	송파구	112473	12,936	416	2007
	12	잠실2단지	송파구	112472	19,470	1,113	2008
	13	잠실시영	송파구	112474	24,024	864	2008
	14	잠실1단지	송파구	112472	19,873	288	2008
	15	가락한라	송파구	112467	3,217	19	2007
	16	태릉현대	노원구	111156	0	0	2012

사업구분	번호	지역구분	행정동	행정동코드	종사자수(인)	준공년도
산업단지	1	동남권 유통단지 조성	문정2동	112469	24,977	2011
	2	용산국제 업무지구	한강로3동	110362	10,300	2016

<표 Ⅳ-20>의 계속

사업구분	번호	지역구분	행정동	행정동코드	수용인구(인)	수용세대수	준공년도
택지개발/신도시 개발사업	1	동양	계양1동	230760	6,301	2,334	2008
	2	논현2동	논현고잔동	230569	41,585	15,402	2008
	3	삼산3	삼산1동	230672	3,861	1,430	2009
	4	서창2동	장수서창동	230565	33,007	12,225	2012
	5	가정	가정1동	230854	18,189	6,737	2012
	6	경서	검암경서동	230851	4,050	1,500	2010
	7	검단신도시	검단1,2,3,4동	230868	177,000	66,000	2014
	8	한들	검앙경서동	230851	16,820	4,210	2012
	9	영종하늘도시	영종동	230162	60,000	22,727	2012
	10	영종(운북단지)	영종동	230162	12,582	4,730	2014
	11	청라(1-①단계)	연희동	230853	26,416	9,109	2009
	12	청라(1-②단계)	검앙경서동	230851	63,584	21,926	2012
	13	송도(제1생활권)	송도동	230458	28,100	9,700	2012
	14	송도(제2생활권)	송도동	230458	12,200	4,210	2009
	15	송도(제3생활권)	송도동	230458	45,280	16,770	2009
	16	송도(제4생활권)	송도동	230458	22,920	8,490	2009
	17	송도(제5생활권)	송도동	230458	26,510	9,966	2014
	18	송도(제6생활권)	송도동	230458	10,468	4,364	2014
	19	송도(제7생활권)	송도동	230458	68,000	25,564	2014
	20	송도(제9생활권)	송도동	230458	35,319	13,334	2020
	21	송도(제10생활권)	송도동	230458	3,203	1,204	2014
주택 건설사업	1	학익동	학익1동	230360	1,916	707	2010
	2	박촌동(1)	계양1동	230760	493	182	2010
	3	효성동	효성1동	230751	531	196	2010
	4	박촌동(2)	계양1동	230760	1,019	376	2010
	5	동아풍림	학익1동	230360	1,626	600	2007
	6	성원	용현2동	230356	1,490	550	2008
	7	신명	산곡1동	230657	517	191	2007
	8	기하	십정1동	230670	785	290	2008
	9	박촌주공	계양1동	230760	623	230	2008
	10	연희	연희동	230853	677	250	2007
	11	신동아	계양1동	230760	1,081	399	2007
도시 개발사업	1	당하	검단1동	230868	3,148	1,080	2008
	2	청학	청학동	230456	302	112	2008
	3	소래·논현구역	논현,고잔동	230569	33,357	12,192	2008
	4	부개구역	부개2동	230667	2,943	1,051	2010
	5	용현·학익3블록	학익1동	230360	2,353	820	2010
	6	고잔구역	논현,고잔동	230569	1,664	594	2010
	7	용현·학익4블록	학익1동	230360	1,174	409	2011
	8	동춘2구역	동춘1동	230457	4,605	1,588	2010
	9	경서2구역	검앙경서동	230851	476	164	2009
	10	문학구역	문학동	230374	1,082	373	2009
	11	동춘1구역	동춘1동	230457	6,016	2,220	2010
	12	귤현	계양1동	230760	3,927	1,449	2011

사업구분	번호	지역구분	행정동	행정동코드	종사자수(인)	준공년도
산업단지	1	검단일반지방산업 단지조성사업	검단1동	230868	10,181	2011
	2	지식정보산업단지 + 바이오단지	송도동	230458	71,011	2009

사업구분	번호	지역구분	행정동	행정동코드	수용인구(인)	수용세대수	준공년도
주거환경 개선사업	1	(구)대건학교옆	만석동	230251	537	198	2012
	2	송림초교 주변	송림1동	230258	3,667	1,389	2012
	3	향촌	만수2동	230560	9,388	3,556	2010
	4	부개	부개1동	230666	2,804	1,062	2008
	5	송림	송림4동	230261	2,670	1,011	2009
	6	동산	송림3,5동	230260	3,097	1,173	2012
	7	대우재	구월3동	230553	3,168	120	2011
	8	간석	간석3동	230557	3,466	1,313	2012
	9	용마루	용현2동	230356	7,234	2,740	2012
	10	십정2	십정1동	230670	8,445	3,199	2012
	11	송림4	송림4동	230261	935	354	2013
	12	대헌학교뒤	송림3,5동	230260	1,828	682	2013
재건축/ 재개발	1	도원	율목동	230156	2,269	837	2012
	2	부평2	부평2동	230652	2,914	1,214	2012
	3	부평4	부평동	230654	4,133	1525	2014
	4	학익1	학익1동	230360	3,692	1362	2011
	5	주안3	주안3동	230367	4,404	1625	2014
	6	전도관	숭의3동	230353	3,022	1115	2011
	7	숭의3	숭의4동	230354	1,702	628	2012
	8	송림2	송림6동	230263	3,659	1355	2008
	9	도화2	도화1동	230362	1,060	262	2010
	10	산곡1	산곡2동	230658	2,142	765	2010
	11	부평5	부평4동	230654	3,912	1397	2010
	12	금송	송림3,5동	230260	5,428	2003	2013
	13	공단시장주변	주안5동	230369	472	174	2012
	14	숭의5	숭의4동	230354	1,491	550	2012
	15	부개2	부개2동	230667	539	199	2013
	16	주안주공1,2단지	주안6동	230370	8,564	3160	2008
	17	숭의주공	숭의3동	230353	1,098	405	2007
	18	이화아파트	간석4동	230558	1,938	715	2007
	19	구월주공아파트	구월2동	230552	24,211	8934	2007
	20	간석주공아파트	간석2동	230556	6,566	2432	2008
	21	한양아파트	산곡2동	230658	3,699	1365	2007
	22	가좌주공1단지	가좌2동	230863	6,168	2276	2007
	23	석남주공1단지	석남2동	230859	2,084	769	2007
	24	안국,우전,신청운	주안8동	230372	4,089	1509	2009
	25	우진아파트	주안7동	230371	956	354	2009
	26	한마음아파트	부평1동	230651	905	326	2008
	27	신현주공아파트	신현원창동	230857	8,767	3247	2009
	28	범양아파트	간석4동	230558	1,685	624	2007
	29	대영	가좌4동	230865	268	99	2008
	30	일신	작전1동	230756	279	103	2009
도시재생 사업	1	가정오거리	가정2동	230854	30,000	11,000	2013
	2	도화구역	도화2동	230363	19,560	6,305	2014
	3	숭의운동장	숭의1동	230351	2,001	752	2013
	4	주안2,4동	주안2동	230366	22,500	8,500	2015
			주안4동	230368	22,500	8,500	
	5	가좌IC주변	가좌3동	230864	16,027	5,914	2013

사업구분	번호	지역구분	행정동	행정동코드	수용인구(인)	수용세대수	준공년도
토지구획 정리사업	1	운서	영종동	230162	4,759	1,614	2008
	2	운남	영종동	230162	7,217	2,489	2008
	3	장수	장수서창동	230565	2,433	695	2008
	4	서창	장수서창동	230565	16,625	4,750	2008
	5	도림	남촌도림동	230567	4,569	1,575	2008
	6	동양	계양1동	230760	7,929	2,332	2008
	7	장기	계양1동	230760	8,604	2,967	2008
	8	살나리	작전서운동	230758	2,027	699	2008
	9	경서	검암경서동	230851	8,100	2,793	2008
	10	검단1	검단1동	230868	14,063	4,965	2008
	11	검단2	검단1동	230868	36,200	11,887	2008
	12	당하	검단4동	230871	16,018	5,523	2008
	13	원당	검단3동	230870	21,718	7,489	2008
	14	마전	검단1동	230868	10,890	3,759	2008
	15	불로	검단2동	230869	7,574	2,612	2008
	16	오류	검단1동	230868	13,160	4,700	2010

본 조사에서는 직접영향권의 택지개발계획 중 2009년 12월을 기준으로 실시계획 승인 고시가 공고된 사업을 반영하여 분석을 수행하였는데 본 연구 노선의 영향권 내 여객O/D에 수도권 5차 자료의 O/D에 반영은 되어있으나, 직접영향권 및 간접영향권 내부의 개발계획 중 수용인구수가 변경된 사업은 이를 고려하여 추가로 수용인구를 반영하였다.

수도권 5차 자료와 수용인구수가 변경되어 추가로 반영된 택지개발사업은 인천 논현2차, 서창2차, 가정지구, 한들지구, 영종하늘도시 이렇게 5개 사업지구에 한하여 추가적인 수정하여 반영 하였다.

〈표 Ⅳ-21〉 본 사업의 택지개발계획 추가 반영 내역

계획	계획인구	준공년도	구 분	반영 여부
				SDI
논현2	41,585	2008	실시계획승인	인구변경(+3,067)
서창2	33,007	2012	실시계획승인	인구변경(+5,867)
가정	18,189	2012	실시계획승인	인구변경(+5,063)
한들	16,820	2012	실시계획승인	인구변경(-6,611)
영종하늘도시	60,000	2012	실시계획승인	인구변경(+69,828)

〈표 Ⅳ-22〉 택지개발계획 추가반영

(단위: 통행/일, %)

구 분	인구 (천인)	승용차	버스	철도	승용차	버스	철도
인천광역시 현황	2,655	2,120,679 (0.80)	1,468,482 (0.55)	349,012 (0.13)	2,066,060 (0.78)	1,476,636 (0.56)	349,012 (0.13)
논현2	3,067	2,454	1,687	399	2,392	478	399
서창2	5867	4,694	3,227	763	4,576	915	763
가정	5,063	4,050	2,785	658	3,949	790	658
한들	-6611	-5,289	-3,636	-859	-5,157	-1,031	-859
영종하늘도시	69,828	55,862	38,405	9,078	54,466	10,893	9,078

주: ( )는 인천광역시 인구대비 통행발생 원단위임.

반영방법으로는 인구대비 수단별 발생량을 이용하여 개발지역의 원단위를 산정한 후 해당지역의 개발사업 수용인구규모를 곱하여 장래의 승용차/버스의 발생량/도착량을 산정하였다. 이렇게 산정된 장래 발생/도착량 예측결과는 해당지역의 인구증가에 기인한 것이므로, 이때의 인구증가를 사업내·외부지역에서의 “인구전입행위”에 의해서 이루어지는 것으로 보고, 해당 사업지역 시·도 통계연보의 인구이동, 전입인구 자료를 이용하여 시·도별 감소비율을 산정하여 반영하였다.

3) 기준연도 NETWORK의 수정

분석자료의 Network와 기준연도의 실제 Network를 비교하여 수정하는 것이 필요하였다. 영향권내 Network의 오류가 발생할 경우 통행시간이 과도 혹은 과소하게 추정되어 비현실적인 분석결과가 발생할 우려가 있다. 따라서 이를 배제하고 현실적인 통행 패턴이 묘사될 수 있도록 다음과 같은 사항들을 고려하여 기준연도의 Network를 수정하였다.

- ○ Network의 차선수나 용량 등이 잘못 기입되었는지의 여부
- ○ 영향권 내에 분석이 필요하다고 판단되는 노선이 누락되었는지의 여부
- ○ centroid connector의 추가 혹은 위치 조정의 필요성
- ○ 링크 길이의 조정 필요성
- ○ 링크 통행속도 및 교차로 지체에 대한 적절성 검토
- ○ 존 크기 및 발생교통수요, 관측교통량에 따라 Network의 상세도 결정

「도로·철도 부문 표준지침(제5판)」에서 제시한 Network의 수정방법에 따라 수정하였으며 세부적인 내용을 살펴보면 다음과 같다.

존 centroid와 링크를 연결하는 centroid connector가 충분하지 않을 경우 특정 link에 과도한 교통량이 배정되게 되며, 이로 인해 링크의 통행속도가 비현실적으로 낮아짐으로써 사업시행 효과가 과다하게 추정되는 등 경제성 분석의 오류가 발생할 수 있다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위해서 centroid connector의 연결성이 낮은 경우 connector 수를 증가시켜 존의 유출·유입을 분산시켜 주었다.

그러나 특정 도로망에 과도한 정체가 발생하여 connector를 추가한다고 하더라도 통행속도가 비현실적으로 낮은 문제가 해결되지 않은 경우에는 구축되지 않은 지역내 도로망이 없는지 확인하고 이를 추가하였다.

○ 도로 NETWORK

2009년 도로 현황을 기준으로 차로 수를 비롯하여 용량과 도로 위계 및 VDF를 확인하여 잘못 기입된 네트워크를 수정하였으며 그 내용은 다음과 같다.

〈표 Ⅳ-23〉 수정된 도로 NETWORK 현황

구간명	수정사항	수정내역
서울외곽순환고속도로(의정부~송추IC)	용량(ul1) 수정	ul1: 1 → 1600
두무개길	차로수 수정	lanes: 1 → 2
정동 MBC앞	차로수 수정	lanes: 3 → 4
칠패길	차로수 수정	lanes: 2 → 1 (동향), 2 → 3 (서향)
우면산터널	차로수 수정	lanes: 4 → 2
한남대교	링크추가	올림픽대로 → 한남대교 램프추가
경명로	VDF수정	VDF 4 → 8
서울외곽순환고속도로(김포IC 부근)	용량(ul1) 수정	ul1: 1 → 1600
88JCT	링크추가	99JCT 연결로 추가
김포우회도로	링크추가	김포우회도로 추가
경명로~지방도356호선	링크추가	지방도356호선과 인천시 경명로간 연결 추가 반영
경인고속도로(서인천~부평)	VDF수정	VDF 30 → 2
경서삼거리	차로수 수정	lanes: 2 → 3

○ 용량수정

기준연도의 통행배정 결과와 도로교통량통계연보의 교통량 및 통행속도 등을 감안하여 도로의 위계 맞도록 용량을 수정했으며, 수정기준은 아래 표와 같이 수도권교통본부가 제시하고 있는 용량 조정범위를 준수하였다.

<표 Ⅳ-24> 기존 용량인정 범위와 입력용량의 범위

(단위: pcu/시)

VDF	lane	개수	기존용량 인정범위	입력 용량범위		
				Minimum	Mean	Maximum
4	1.0	13	700~800	700	750	800
	2.0	312	1,500~1,800	1,600	850 (1,700)	1,800
	3.0	1,455	2,300~3,000	2,500	900 (2,700)	2,900
5	1.0	192	600~800	600	700	800
	2.0	1,504	1,300~1,800	1,400	800 (1,600)	1,800
	3.0	1,084	2,300~2,800	2,400	850 (2,550)	2,700
6	1.0	817	500~700	600	650	700
	2.0	1,017	1,200~1,600	1,300	700 (1,400)	1,500
	3.0	158	2,100~2,700	2,200	800 (2,400)	2,600
7	1.0	814	800			
	2.0	5,035	1,000 (2,000)			
	3.0	988	1,000 (3,000)			
8	1.0	2,152	700			
	2.0	1,830	900 (1,800)			
	3.0	955	900 (2,700)			

자료: 수도권교통본부, 『서울시 장래교통수요 예측 및 대응방안』, 2009. 2.

○ 유료도로의 통행료 반영

수도권에 위치한 고속도로의 경우 크게 한국도로공사의 폐쇄식 구간과 개방식구간이 있으며, 민자도로를 포함한 기타 유료도로 등 세가지 방식의 유료도로에 대해 기존 Network에 반영되지 않은 통행료를 Network에 추가 반영하였다.

한국도로공사의 폐쇄식 고속도로의 경우 기본요금과 거리요금의 이중부과 체계를 가지고 있어 기본요금 862원을 진·출입부(tollgate)에 각각 431원씩을 반영하였고, 거리요금은 4차로를 기준으로 km당 40.5원의 요금을 Network에 반영하였다. (6차로이상의 고속도로인 경우 20%를 할증 적용하였다.)

한국도로공사 개방식 고속도로 및 민자도로 등 기타 유료도로의 경우 통행료 징수체계 및 요금수준이 서로 다르므로 아래와 같은 통행요금을 반영하였다.

〈표 Ⅳ-25〉 개방식 고속도로 등 기타 유료도로의 통행요금

구 분	요 금 소	요금(원)
서울외곽순환 고속도로	구리	800
	하남	800
	시흥	800
	토평	700
	성남	900
	판교	900
	청계	900
	김포	900
	고양	1,000
	통일로	1,000
	별내	1,300
	양주	2700
	불암산	1,600
	송추	1,300
경인고속도로	인천	800
제2경인고속도로	남인천	900
의왕-고색간 고속화도로	경기	800
우면산 터널	-	2,000
남산1,3호 터널	-	2,000
인천 만월산 터널	-	700
인천 문학산 터널	-	600
인천국제공항 고속도로	신공항	7,400
	북인천	3,600

4) 장래 NETWORK의 수정

기준연도에 대한 가로망 자료는 기본적으로 수도권교통본부에서 제시하는 수도권 네트워크 구축 데이터를 이용하되, 반영되어 있지 않는 도로망 자료는 각종 조사를 통해 보완 수정하고, 장래 가로망은 건설교통부의 2004년「제2차 수도권 광역교통 5개년 계획 및 추진계획(2004~2008)」그리고 지자체 계획 등을 통해 반영한다.

○ 도로망 계획

장래 Network 구축시 사업 구간에 직·간접적으로 영향을 미칠 수 있는 도로계획을 포함하였다. 국가교통DB에서 구축된 Network를 기본적으로 사용하되 반영되지 않은 계획을 추가적으로 반영함으로써 장래 수요의 정확도를 높이도록 한다.

‘장래의 교통시설 계획을 반영할 때 해당 지방자치단체 등에서 작성된 도시기본계획, 도시교통정비계획 등과 같이 법정 계획에서 제시된 확정된 사업만을 반영해야 한다.’라고 명시되어 있으며, 이에 따라 관련계획을 검토하여 장래 Network 반영하였다. 또한 본 연구노선이 위치하는 송도신도시의 경우 현재 매립상태에 있으므로, 분석의 정밀성을 더하기 위하여 「인천경제자유구역 송도지구 개발계획(변경), 인천광역시, 2010.」의 계획을 참고하여 추가적인 도로망 계획을 반영하였다.

〈표 Ⅳ-26〉 인천광역시 장래도로망 계획

구분	사업명	연장 (km)	차로수 (왕복)	준공 년도	반영연도		비고
					2011년	2016년	
고속도로	제2외곽순환고속국도(인천~김포)	28.57	6	2012		○	신설
	제2외곽순환고속국도(송도~시화)	21.50	4~6	2015		○	신설
	제3경인고속화도로(고잔동~목감IC)	14.30	4~6	2010	○	○	신설
	인천대교(인천국제공항~송도)	12.30	6	2010	○	○	신설
	송도해안도로(인천대교~고잔동)	5.92	6→12	2010	○	○	확장
	경인고속국도 직선화	7.40	8	2015		○	신설
	영종~청라간 도로	7.05	6	2014		○	신설
	공항고속도로 검암IC설치	-	-	2011	○		신설
	인천~김포간 고속도로	28.5	4~6	2012		○	신설
	김포~관산간 고속도로	7.6	6~8	2009	○		신설
	제2자유로	24.6	6	2009	○		신설
	김포고속화도로	17.6	6	2008	○		신설
시군도	당하지구~346지방도간 도로개설	1.48	8	2010	○	○	신설
	346지방도~대곡동	0.95	4	2010	○	○	신설
	금곡동~김포시계간 도로개설공사	4.60	4	2010	○	○	신설
	원당지구~불로지구간 도로개설	2.10	4	2010	○	○	신설
	검단우회도로~오류지구간 도로개설	2.46	4	2010	○	○	신설
	인천~부천간 광역도로(2구간)	5.00	6	2010	○	○	신설
	광로2-1호선(삼익APT~동국제강)	2.51	6	2011	○	○	신설
	마전지구~원당지구간 도로개설	3.00	4	2010	○	○	신설
	서곶길 확장	1.65	6→10	2010	○	○	확장
	우회도로~동국제강간 도로확장	1.65	4→8	2011	○	○	확장
	굴포천 남측제방도로	13.40	4~6	2010	○	○	신설
	굴포천 북측제방도로	5.40	4~6	2010	○	○	신설
	굴포천 남측제방종점~북인천IC입구	1.28	6	2010	○	○	신설
	원당~태리간 광역도로개설	3.10	6~8	2010	○	○	신설
	대로2-7호선(남동로~만수택지)	2.20	6	2011	○	○	신설
	광로3-14호선(남동공단~소래로)	3.60	8	2010	○	○	신설
	소래로~아암로 연결도로	3.19	5	2010	○	○	신설
	광로2-3호선(43호광장~송도신도시)	1.90	4~8	2011	○	○	신설
	백주년기념탑인근 도로개설	0.68	6	2008	○	○	신설
	남항준설토투기장주변 도로개설	1.73	8	2010	○	○	신설
	항운아파트~제1투기장간 도로개설	1.15	6	2010	○	○	신설
	축항로~제2준설토투기장주변 도로	0.85	6	2010	○	○	신설
	계산택지~박촌동간 주변 도로개설	1.66	6	2010	○	○	신설
	청라지구~서곶길 연결도로	1.20	8	2010	○	○	신설
	서곶길 도로확장(대2-59)	0.85	4→6	2010	○	○	확장
	용종사거리 입체교차로 설치	0.50	4	2010	○	○	신설
	송림로 확장공사	0.80	4→6	2010	○	○	확장

구분	사업명	연장 (km)	차로수 (왕복)	준공 년도	반영연도		비고
					2011년	2016년	
시군도	송현동 누리아파트앞 도로확장	0.34	2→6	2010	○	○	확장
	동소정사거리 지하차도 설치	0.57	4	2010	○	○	신설
	간석사거리 지하차도 설치	0.45	4	2010	○	○	신설
	부평동~장고개간 도로개설(1기)	1.38	6	2010	○	○	신설
	부평동~장고개간 도로개설(2기)	1.38	6	2015		○	신설
	드림파크로~효서로	6.17	6	2015		○	신설
	귤현역~임학사거리	3.56	4→6	2015		○	확장
	계산택지~삼산택지	1.57	6	2015		○	신설
	학산사거리~송도역삼거리	1.82	6	2015		○	신설
	서인천선착장입구~봉수대길	1.30	6	2015		○	신설
	도화IC~인천기계공고앞	0.81	4→6	2015		○	확장
	중부간선도로(검단~장수IC)	16.30	4	2015		○	신설
	신촌사거리~장제로	2.62	2~4→6	2015		○	확장
	김포시계~남측제방도로	4.27	8	2015		○	신설
	김포시계~영종대교기념관앞	4.91	2→4	2015		○	확장
	원당초교~드림파크로	2.05	4→6	2015		○	확장
	경명로~부천시계	5.64	4	2015		○	신설
	오류농장~봉수대길	4.40	4→6	2015		○	확장
	소래길 확장	0.50	4→6	2015		○	확장
	해안도로～송도전화국간 도로개설	0.70	6	2015		○	신설
	송도유원지~아암로	0.73	6	2015		○	신설
	송도유원지～승기환경사업소 도로	1.56	6	2015		○	신설
	산곡남중～현대아파트간 도로개설	0.55	4	2015		○	신설
	특정삼거리～사동삼거리간 도로	1.15	8	2015		○	신설
	숭의시장사거리~도화오거리 도로	1.60	4→6	2015		○	확장
	신기사거리~구시민회관사거리 도로	0.60	6→8	2015		○	확장

〈표 Ⅳ-27〉 서울특별시 장래도로망 계획

구분	사업명	연장 (km)	차로수 (왕복)	준공 년도	반영연도		비고
					2011년	2016년	
고속 도로	용인~서울간 고속도로	22.9	4~6	2009	○	○	신설
	북부간선도로(신내IC~구리시계)	1.4	4→6	2009	○	○	확장
	동부간선도로(월계1교~의정부시계)	6.85	4→6	2011	○	○	확장
	강남순환도시고속도로	34.8	4~6	2013		○	신설
	강변북로(성산대교~반포대교)	11.9	6~8	2013		○	확장
일반 국도	마포대교	1.39	6→10	2006	○	○	확장
	남부순환로~부천시계 도로개설	3.9	4~6	2009	○	○	신설
지방도	제2성산대교건설	2.99	4~6	2013		○	신설
국지도	구로역~가로공원간 도로개설	0.6	4~5	2008	○	○	신설
	외대역 앞 지하차도 건설	0.67	2	2008	○	○	신설
	위례성~성내천 복개 도로개설	1.36	4~6	2008	○	○	신설
	자치구 도로건설지원	1.06	2~6	2008	○	○	신설
	다산로 확장	0.28	5->6	2008	○	○	확장
	사가정길 확장	1.7	3->7	2008	○	○	확장
	선사로 확장	0.25	5->6	2008	○	○	확장
	월계로 확장	0.78	5->7	2008	○	○	확장
	금천구 종합청사 앞 성능 개선	0.2	3->4	2008	○	○	확장
	천호대로(방아다리~시계간)확장	3.14	6->8~10	2008	○	○	확장
	헌릉로(세곡사거리~대곡교간) 확장	1.18	6->10	2008	○	○	확장
	구로역~남부순환로간 도로개설	0.65	4	2009	○	○	신설
	경인로~구로1동간 도로개설	0.31	2~4	2009	○	○	신설
	일원동 474번지 도로개설	0.28	6	2009	○	○	신설
	관악 은천길 도로확장	0.9	4->4	2009	○	○	확장
	신길로~도림로간 도로개설	0.78	3->6	2009	○	○	확장
	방화대교 남단 접속도로 건설	3.0	1->2	2009	○	○	확장
	안양교 확장 및 성능개선	0.3	4->6	2009	○	○	확장
	경인로~신도림동 387번지 도로개설	0.34	7	2010	○	○	신설
	금호유수지~교통안전회관 도로개설	1.96	5	2010	○	○	신설
	월계로~창동길간 도로확장	1.44	5	2010	○	○	신설
	응봉교 재설치	0.62	5	2010	○	○	신설
	도봉4번지~의정부식 도로개설	0.65	5	2010	○	○	신설

구분	사업명	연장 (km)	차로수 (왕복)	준공 년도	반영연도		비고
					2011년	2016년	
국지도	신사사거리~고양시계간 도로개설	1.0	5	2010	○	○	신설
	용마터널 개설(민자)	3.54	4	2010	○	○	신설
	천호동 55~217간 도로개설	0.58	4	2010	○	○	신설
	강남역~진흥아파트 병목구조 개선	0.6	6->8	2010	○	○	확장
	선사로~고덕지구간 도로확장	3.72	2->5	2010	○	○	확장
	시흥대로~은행나무길간 도로확장	0.65	2->4	2010	○	○	확장
	신상도 지하차도 확장	0.55	2->4	2010	○	○	확장
	이화교 확장	0.76	4->7	2010	○	○	확장
	탄천변 동측도로 확장	5.59	2->4	2010	○	○	확장
	겸제교 건설	1.05	3~5	2011	○	○	신설
	광운대~월계시영아파트간 도로개설	0.38	4	2011	○	○	신설
	내부순환로~성산대교 연결램프	0.51	1	2011	○	○	신설
	용비교~행당여중간 도로개설	1.5	1~4	2011	○	○	신설
	성북역~월계로간 도로개설	0.77	2->4	2011	○	○	확장
	사가정길~암사동간 도로개설	2.74	3->9	2011	○	○	확장
	올림픽대로 구조개선(반포~청담)	5.1	4->5	2011	○	○	확장
	면목동길 확장	5.67	2→5	2012		○	확장
	서초역~방배로간 도로개설	1.28	4->8	2013		○	신설
	마들길 단절구간 연결	5.85	4	2015		○	신설
	이문로 확장	1.75	4->5	2015		○	확장

마. 통행배정모형의 정산

1) 통행배정의 전제

○ 평균재차인원 및 승용차 환산계수

일반적으로 O/D는 통행(인-trip, 톤) 단위로 구축되어 있는 경우가 많으므로 구축된 O/D를 바탕으로 통행배정(Traffic Assignment)을 수행하기 위해서는 통행량을 재차인원으로 나누어 차량단위의 O/D로 전환해야 한다.

본 조사에서 이용된 재차인원 및 승용차 환산계수는 다음과 같다. 승용차와 버스의 재차인원은 수도권교통본부(2009),「2006 서울시 가구통행실태조사」에서 제시된 경기도계 5개소를 포함한 수도권 전체의 승용차와 버스의 재차인원 자료를 근거로 산정한 승용차 1.29인/대, 택시 1.55인/대, 버스 14.22인/대를 적용하였다.

〈표 Ⅳ-28〉 수도권의 평균재차인원과 승용차 환산계수

구 분	평균재차인원(인/대)	승용차 환산계수
승용차	1.29	-
택 시	1.55	-
버 스	14.22	2
트 럭	1.13	1.56

자료: 1) 수도권교통본부, 「수도권 장래교통 수요예측 및 대응방안 연구」, 2009.
2) 수도권교통본부,「2006 수도권 가구통행실태조사」, 2009.

2) 교통량-지체함수(VDF)

○ 교통량-지체함수(VDF: Volume-Delay Function)

교통량-지체 함수(VDF: Volume-Delay Function)는 노선배정시 기종점간의 각 경로를 사용하는 통행량을 결정하는 매우 중요한 역할을 수행함. 일반적으로 교통량-지체 함수는 통행시간-교통량 간 관계를 토대를 기초로 만들어진다.

통행비용 함수중 가장 널리 사용되는 방법은 미국 도로국의 BPR함수이며 수도권교통본부가 제공한 지체함수도 BPR함수를 사용한다.

다음 표는 도로기능별 수도권교통본부에서 제공하는 기본 교통량-지체 함수이다.

〈표 Ⅳ-29〉 통행비용함수

링크		함수
고속도로	3차로 이상	fd1 =(length / 90) * 60 * (1 + .72 * ((volau + volad) / (lanes * ul1)) ^ 1.41)+0.334 * length
	2차로	fd2 =(length / 85) * 60 * (1 + .44* ((volau + volad) / (lanes * ul1)) ^ 1.15)+0.334 * length
도시고속도로		fd3 =(length / 80) * 60 * (1 + .47 * ((volau + volad) / (lanes * ul1)) ^ 2.51)
서울시	1등급	fd4 =(length / 60) * 60 * (1 + 1.25 * ((volau + volad) / (ul1)) ^ 2.13)
	2등급	fd5 =(length / 50) * 60 * (1 + 1.44 * ((volau + volad) / (ul1)) ^ 2.61)
	3등급	fd6 =(length / 50) * 60 * (1 + 1.67 * ((volau + volad) / (ul1)) ^ 2.83)
서울시 이외 지역 (경기, 인천)	국도	fd7 =(length / 70) * 60 * (1 + 1.25 * ((volau + volad) / (ul1)) ^ 2.13)
	시군도	fd8 =(length / 50) * 60 * (1 + 1.44 * ((volau + volad) / (ul1)) ^ 2.61)
	지방도	fd9 =(length / 50) * 60 * (1 + 1.67 * ((volau + volad) / (ul1)) ^ 2.83)
램프		fd10 =(length / 40) * 60 * (1 + .5 * ((volau + volad) / (lanes * ul1)) ^ 2)
센트로이드 커넥터		fd11 = length / 10 * 60

주: volau : 배정교통량, ul1 : 용량, length : 링크길이, lanes : 차로수.
자료: 수도권교통본부, 『2006 서울시 가구통행실태조사』, 2009

○ 교차로 지체

통행배정 모형의 신뢰성을 높이기 위해 통행배정에 사용되는 VDF함수를 검토해본 결과 서울시정개발연구원에서 제공하는 VDF함수는 교차로 지체값이 적용되지 않아 통행배정의 결과가 현실과 상이할 개연성이 높다. 『도로·철도부문 표준지침(제5판)』에서도 수도권자료의 VDF에서는 교차로 지체에 대해서 현실적인 통행패턴 모사를 위해서 추가로 고려할 수 있다고 언급되어 있다.

따라서 본 연구에서는 현실적인 통행패턴 구축을 위해서 서울시 일부지역과 서울시 이외지역(인천,경기)등 도시교차로 부근에 교차로 지체 값으로 1/180을 적용하여 수정하였으며 그 내역은 다음과 같다.

〈표 Ⅳ-30〉 교차로 지체 포함 VDF함수내역

링크		함수
서울시	1등급	fd4 =(length / 60+1/180) * 60 * (1 + 1.25 * ((volau + volad) / (ul1)) ^ 2.13)
	2등급	fd5 =(length / 50+1/180) * 60 * (1 + 1.44 * ((volau + volad) / (ul1)) ^ 2.61)
	3등급	fd6 =(length / 50+1/180) * 60 * (1 + 1.67 * ((volau + volad) / (ul1)) ^ 2.83)
서울시 이외 지역 (경기, 인천)	국도	fd7 =(length / 70+1/180) * 60 * (1 + 1.25 * ((volau + volad) / (ul1)) ^ 2.13)
	시군도	fd8 =(length / 50+1/180) * 60 * (1 + 1.44 * ((volau + volad) / (ul1)) ^ 2.61)
	지방도	fd9 =(length / 50+1/180) * 60 * (1 + 1.67 * ((volau + volad) / (ul1)) ^ 2.83)

○ 일반화비용

무료도로의 경우 기본적인 교통량-지체함수식을 사용하면 되지만, 유료도로의 경우에는 통행요금을 반영하여야 한다. 이때, 기본 교통량-지체함수는 통행시간을 제공하므로 통행요금을 시간으로 환산한 일반화비용을 기본 교통량-지체함수에 더하여 총 통행시간을 산출한다.

일반화비용은 유료도로를 통행할 때의 금전적 비용을 시간으로 환산한 값이며 이는 도로이용자의 경로선택이 통행료에 의해 영향을 받는 행태를 반영하기 위한 것으로 기본적인 교통량-지체함수에 구간통행요금에 가중치를 곱하여 다음과 같이 산정한다.

일반화비용 $T = T_0[1+\alpha(V/C)^{\beta}]$ + 구간통행요금 × 가중치

여기서, T : 통행시간

T0 : 자유속도시 통행시간

V/C : 용량 대비 교통량

차종별 가중치 = (통행요금/㎞)/(차종별 시간가치/시간)

3) 1시간 통행량

통행배정은 첨두와 비첨두로 구분하여 1시간 교통량을 기준으로 분석하는 것을 원칙으로 한다. 본 예비타당성조사에서 이용하는 O/D 자료는 1일 통행량 기준이므로, 첨두 1시간 및 비첨두 1시간 비중을 고려하여 첨두 1시간 및 비첨두 1시간 통행량으로 환산하였다.

『도로·철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』에 의하면 KTDB의 O/D 자료가 1일 통행량 기준이므로 첨두 1시간 및 비첨두 1시간 비중을 고려하여 첨두 1시간 및 비첨두 1시간 통행량으로 환산해야 하는 것을 원칙으로 하고 있다.

기본적으로 수도권 지역의 경우 첨두 지속시간은 4시간으로, 첨두 1시간 교통량 집중률은 8.78%로 가정하며, 비첨두 지속시간은 16시간으로, 비첨두 1시간 교통량 집중률은 3.84%로 가정한다.[4)]

〈표 Ⅳ-31〉 수도권 지역의 1시간 통행량의 지속시간과 각 시간대별 집중률(예)

구 분	지속시간	집중률
첨두 시간	4	8.78%
비첨두 시간	16	3.84%
심야 시간	4	-

주: 집중률은 오토바이/기타를 제외한 승용차, 택시, 버스, 지하철, 철도 수단통행량을 기준으로 산출함.
자료: 수도권 교통본부, 『수도권 가구통행실태조사』, 2009

4) 통행배정 모형의 정산 결과

장래년도의 교통수요를 정확히 예측하기 위해서는 분석의 기준이 되는 기준연도의 정산 과정(Calibration)을 반드시 거쳐야 한다. 즉, 실제 조사를 통하여 얻은 관측교통량과 교통 분석에서 얻은 배정교통량을 비교하여 모형의 현실모사 능력을 평가해야 한다. 교통량 비교는 직접영향권뿐 아니라 간접영향권의 주요 도로를 포함한다.

○ 모형의 현실모사 능력을 평가하기 위한 기준

『도로·철도 표준지침(제5판)』에서는 다음과 같이 도로등급별로 주요도로 구간의 관측교통량(f_I^{obs})과 배정교통량(f_I^{est})의 차이를 나타내는 오차율을 정의하고, 이러한 오차가 허용범위보다 작아야 한다고 규정하고 있다.

$$\text{오차율 } \varepsilon(\%) = 100 \times \frac{f_I^{est} - f_I^{obs}}{f_I^{obs}}$$

단, f_I^{est} = 통행배정 분석 결과에 의한 링크의 추정교통량

4) 이는 지역간 도로의 조사결과로서 광역권의 경우 위에서 제시한 첨두 집중율 및 지속시간을 적용하는 것이 맞지 않을 수 있다. 광역권 도시지역의 경우 별도의 조사 자료가 있을 경우 필요에 따라 해당 도시의 교통특성을 반영한 첨두 집중율 및 지속시간 등을 적용하는 것이 가능할 것이다.

f_I^{obs} = 링크의 관측교통량

다음표는 교통량 수준별 허용기준을 제시하고 있다.

〈표 Ⅳ-32〉 교통량 수준별 허용 기준

(단위: 대/일, %)

연평균 일 교통량	도로 유형별 오차허용기준		
	사업구간	인접도로	기타 주요도로
< 1,000	20	25	40
1,000~2,500			
2,500~5,000			
5,000~10,000	15	20	30
10,000~25,000			
25,000~50,000			
> 50,000			

정산의 기준이 되는 관측교통량은 서울지방경찰청의 2009년 서울특별시 교통량 자료와 인천광역시 2009년 도시교통기초조사 자료를 활용하였다.

○ 정산 결과

사업지역을 중심으로 우선적으로 정산을 수행한 후, 영향권내의 주요 도로에 지점을 선정하여 정산을 수행하였으며, 정산지점 및 결과는 다음과 같다.

<그림 Ⅳ-10> 정산지점도(송도 신도시)



<그림 Ⅳ-11> 정산지점도(상암 DMC)



〈표 Ⅳ-33〉 모형의 도로망 정산결과(송도 신도시)

(단위: 대/일, %)

구분	도로명	정산 지점	관측 교통량	배정 교통량	오차	오차율
경인 고속도로	도화IC ~ 가좌IC	1	61,464	55,840	-5,624	-9.15%
	가좌IC ~ 서인천IC	2	97,530	102,111	4,581	4.70%
	서인천IC ~ 부평IC	3	177,107	166,689	-10,418	-5.88%
	부평IC ~ 서운JCT	4	131,398	141,323	9,925	7.55%
	서운JCT ~ 부천IC	5	134,137	148,506	14,369	10.71%
제2경인 고속도로	인천시점 ~ 문학IC	6	76,400	81,459	5,059	6.62%
	문학IC ~ 남동IC	7	97,538	106,145	8,607	8.82%
	남동IC ~ 서창JCT	8	135,145	159,728	24,583	18.19%
	서창JCT ~ 신천IC	9	97,538	109,785	12,247	12.56%
	신천IC ~ 안현JCT	10	117,095	130,890	13,795	11.78%
	안현JCT ~ 광명IC	11	78,449	76,601	-1,848	-2.36%
영동 고속도로	서창JCT ~ 월곶IC	12	167,563	200,865	33,302	19.87%
	월곶IC ~ 서안산IC	13	149,734	182,721	32,987	22.03%
	서운JCT ~ 중동IC	14	133,828	147,163	13,335	9.96%
	장수IC ~ 시흥IC	15	214,471	206,021	-8,450	-3.94%
	시흥IC ~ 안현JCT	16	243,420	237,070	-6,350	-2.61%
송도지구	갯벌타워	17	10,652	10,344	-308	-2.89%
	해양경찰청	18	10,398	11,520	1,122	10.79%
	경제자유구역청	19	8,519	9,417	898	10.54%
인천시내	인천교	20	33,738	31,094	-2,644	-7.84%
	목재단지앞	21	35,500	33,071	-2,429	-6.84%
	북항사거리	22	16,080	15,813	-267	-1.66%
	부평삼거리	23	61,553	59,157	-2,396	-3.89%
	문학터널	24	43,574	39,627	-3,947	-9.06%

<표 Ⅳ-34> 모형의 도로망 정산결과(상암 DMC)

(단위: 대/일, %)

구분	구간명	정산 지점	관측 교통량	배정 교통량	오차	오차율
외곽순환 고속도로	일산IC ~ 자유로JCT	1	109,888	117,745	7,857	7.15%
	자유로JCT ~ 김포IC	2	133,366	147,783	14,417	10.81%
	김포IC ~ 노오지JCT	3	178,045	188,977	10,932	6.14%
	노오지JCT ~ 계양IC	4	134,384	145,753	11,369	8.46%
경인 고속도로	부천IC ~ 신월IC	5	134,023	153,135	19,112	14.26%
	서운JCT ~ 부천IC	6	115,367	126,869	11,502	9.97%
서울시내	양화대교남단	7	124,471	119,691	-4,780	-3.84%
	성산대교북단	8	189,313	184,353	-4,960	-2.62%
	성산대교북단(강변북로)	9	218,160	211,637	-6,523	-2.99%
	국방대입구	10	55,009	60,757	5,748	10.45%
	서강대교	11	58,590	64,519	5,929	10.12%
	개화I.C(올림픽대로)	12	87,319	80,499	-6,820	-7.81%
	오목교동단	13	67,452	63,324	-4,128	-6.12%
	연희I.C	14	95,951	93,399	-2,552	-2.66%
	여의2교남단	15	100,217	92,049	-8,168	-8.15%
	증산교	16	80,572	84,496	3,924	4.87%

바. 수단분담 모형 구축

1) 수단선택모형의 정산

수단선택모형은 통행배분을 통해 산출된 총 기종점 통행량을 수단별 기종점 통행량으로 만들기 위해 수단선택확률을 구하는 데 사용되는 모형이다. 본 조사에서는 통행자 개개인의 통행 행태 특성을 파악하여 수단분담율을 예측하는 개별 행태모형 중 로짓모형을 적용하였다.

본 조사에서는『도로·철도부문 표준지침(제5판)』의 자료를 활용하였다.『도로·철도부문 표준지침(제5판)』에 제시된 수단선택모형의 특정수단 K를 선택할 확률은 다음과 같다.

$$P(K) = \frac{e^{U_K}}{\sum_{i}^{n} e^{U_i}}$$

여기서, U_K = 수단 K의 효용
U_i = 수단 i의 효용
n = 수단의 수

또한, 효용함수는 다음과 같은 형태를 가진다.

$$U_{ijm} = \alpha_1 (Ttime)_{ijm} + \alpha_2 (Tcost)_{ijm} + (DUM)_m$$

여기서, U_{ijm} : 수단 m의 교통존 i와 j간의 효용함수
$(Ttime)_{ijm}$: 수단 m의 교통존 i와 j간의 총통행시간
$(Tcost)_{ijm}$: 수단 m의 교통존 i와 j간의 총통행비용
$(DUM)_m$: 수단 m의 더미

2) 상위 연구결과의 수단선택모형 구축

본 연구에서는 PRT 시스템이 가지는 특성을 고려하기 위하여 수단선택 모형의 구축이 필수적이다. 특히 PRT 시스템의 경우 신교통수단으로써 PRT수단 도입에 따른 수단전환효과를 추정하기 위하여 SP 조사를 통한 모형의 구축이 필요하다.

따라서 본 분석에서는 상위 연구인 철도기술연구원의 「승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술개발」에서 수행한 PRT 시스템의 수단분담모형 구축 결과를 수용하여 본 분석에 적용하였다.

철도기술연구원에서는 PRT시스템의 도입여부를 결정짓는 송도신도시와 상암DMC의 현장 설문조사(SP조사)를 바탕으로 최종적인 수단선택모형을 구축하였으며 이때 모형의 경우 통행시간과

통행비용을 일반변수(generic variable)로 하여 구축하였고 상위연구결과에서 제시하고 있는 수단선택 효용함수의 파라미터 값은 다음과 같다.

○ 송도신도시 수단분담 모형

- 모형 1

◎ 설명변수: 차내통행시간, 차외통행시간(대기/접근시간), 통행비용

◎ 현황 수단선택모형(RP)

· 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 전철(rail), 도보(walk), 자전거(bike)

· 효용함수식

$$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot travel_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + W \cdot wait_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij}$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot travel_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + W \cdot wait_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij}$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot travel_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + W \cdot wait_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij}$$

$$U_{rail}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot travel_{rail}^{ij} + C \cdot cost_{rail}^{ij} + W \cdot wait_{rail}^{ij} + \epsilon_{rail}^{ij}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot travel_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij}$$

$$U_{bike}^{ij} = \quad T \cdot travel_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij}$$

여기서,

U_k^{ij}=교통수단 k를 이용하여, 교통존 i와 교통존 j를 통행할 때의 효용

ϵ_k^{ij}=교통수단 k를 이용하여, 교통존 i와 교통존 j를 통행할 때의 효용의 random 요소

α_k = 교통수단에 대한 alternative-specific constant

$T,\ C,\ W$ = 매개변수

$travel_k^{ij}$ = 교통수단 k를 이용하여, 교통존 i와 교통존 j를 통행할 때의 통행시간 (분)

$cost_k^{ij}$ = 교통수단 k를 이용하여, 교통존 i와 교통존 j를 통행할 때의 통행비용 (원)

$wait_k^{ij}$ = 교통수단 k를 이용하여, 교통존 i와 교통존 j를 통행할 때의 접근/대기시간 (분)

〈표 Ⅳ-35〉 모형추정결과 송도_모형1_현황수단선택 모형

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	37.0524	1.92E+06	1.93E-05	0.999985
T	-0.33369	0.0726	-4.59625	4.30E-06
C	-0.00318	0.000535	-5.93875	2.87E-09
A2	11.3209	2.68E+06	4.22E-06	0.999997
W	-0.62081	0.194624	-3.18976	0.001424
A3	40.0472	1.92E+06	2.09E-05	0.999983
A4	41.0991	1.92E+06	2.15E-05	0.999983
A5	36.8619	1.92E+06	1.92E-05	0.999985

```
+---------------------------------------------+
| Discrete choice (multinomial logit) model   |
| Maximum Likelihood Estimates                |
| Dependent variable          Choice          |
| Weighting variable            ONE           |
| Number of observations         85           |
| Iterations completed           32           |
| Log likelihood function    -46.59460        |
| Log-L for Choice  model =    -46.5946       |
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj |
| No coefficients   -152.2996  .69406  .68819 |
| Constants only    -104.1776  .55274  .54416 |
| Chi-squared[ 3]       =     115.16608       |
| Significance for chi-squared =  1.00000     |
| Response data are given as ind. choice.     |
| Number of obs.=     85, skipped    0 bad obs.|
+---------------------------------------------+
```

· 시간가치

$$VOT(Travel\ Time) = \frac{\frac{\partial V_k^{ij}}{\partial travel_k^{ij}}}{\frac{\partial V_k^{ij}}{\partial \cos t_k^{ij}}} = \frac{T}{C},$$

$$VOT(Waiting/Access\ Time) = \frac{\frac{\partial V_k^{ij}}{\partial wait_k^{ij}}}{\frac{\partial V_k^{ij}}{\partial \cos t_k^{ij}}} = \frac{W}{C}$$

Travel	6,302	원/시
Wait/Access	11,725	원/시

◎ PRT 수단선택모형

·교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 전철(rail), 도보(walk), 자전거(bike), PRT(prt)

· 효용함수식

$$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot travel_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + W \cdot wait_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij}$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot travel_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + W \cdot wait_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij}$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot travel_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + W \cdot wait_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij}$$

$$U_{rail}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot travel_{rail}^{ij} + C \cdot cost_{rail}^{ij} + W \cdot wait_{rail}^{ij} + \epsilon_{rail}^{ij}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot travel_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij}$$

$$U_{bike}^{ij} = \alpha_6 + T \cdot travel_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij}$$

$$U_{prt}^{ij} = \quad T \cdot travel_{prt}^{ij} + C \cdot cost_{prt}^{ij} + W \cdot wait_{prt}^{ij} + \epsilon_{prt}^{ij}$$

〈표 Ⅳ-36〉 모형추정결과 송도_모형1

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-2.90013	0.387743	-7.47951	7.46E-14
T	-0.36442	0.05511	-6.61257	3.78E-11
C	-0.00315	0.000362	-8.70627	2.89E-15
A2	-97.6858	14887.2	-0.00656	0.994765
W	-0.62204	0.097865	-6.3561	2.07E-10
A3	1.06332	0.53659	1.98163	0.047521
A4	1.33981	0.819932	1.63405	0.102248
A5	-2.43153	0.731853	-3.32243	0.000892
A6	-108.21	14887.2	-0.00727	0.994201

```
+-------------------------------------+
| Discrete choice (multinomial logit) model |
| Maximum Likelihood Estimates              |
| Dependent variable          Choice        |
| Weighting variable            ONE         |
| Number of observations        251         |
| Iterations completed          101         |
| Log likelihood function    -165.2931      |
```

```
| Log-L for Choice   model =     -165.2931                    |
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj                 |
| No coefficients   -488.4234  .66158  .65954                 |
| Constants only    -290.8951  .43178  .42836                 |
| Chi-squared[ 3]          =    251.20404                     |
| Significance for chi-squared =  1.00000                     |
| Response data are given as ind. choice.                     |
| Number of obs.=   251, skipped   0 bad obs.                 |
+-------------------------------------------------------------+
```

· 시간가치

Travel	6,940	원/시
Wait/Access	11,847	원/시

- 모형 2

◎ 설명변수: 통행시간(차내통행시간+차외통행시간), 통행비용

◎ 현황 수단선택모형(RP)

· 효용함수식

$$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot time_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij}$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot time_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij}$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot time_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij}$$

$$U_{rail}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot time_{rail}^{ij} + C \cdot cost_{rail}^{ij} + \epsilon_{rail}^{ij}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot time_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij}$$

$$U_{bike}^{ij} = \quad T \cdot time_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij}$$

여기서,

$$time_k^{ij} = travel_k^{ij} + wait_k^{ij}$$

= 교통수단 k를 이용하여, 교통존 i와 교통존 j를 통행할 때의 총 통행시간 (분)

〈표 Ⅳ-37〉 모형추정결과 송도_모형 2_현황 수단선택모형

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	36.5178	2.07E+06	1.76E-05	1.00E+00
T	-0.37167	0.077231	-4.81248	1.49E-06
C	-0.00309	0.00052	-5.93721	2.90E-09
A2	9.43195	2.81E+06	3.35E-06	1.00E+00
A3	37.4397	2.07E+06	1.81E-05	1.00E+00
A4	37.7415	2.07E+06	1.82E-05	1.00E+00
A5	36.8531	2.07E+06	1.78E-05	0.999986

```
+---------------------------------------+
| Discrete choice (multinomial logit) model |
| Maximum Likelihood Estimates          |
| Dependent variable        Choice      |
| Weighting variable          ONE       |
| Number of observations       85       |
| Iterations completed         32       |
| Log likelihood function   -48.06520   |
| Log-L for Choice  model =   -48.0652  |
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj |
| No coefficients  -152.2996  .68440  .67912 |
| Constants only   -104.1776  .53862  .53090 |
| Chi-squared[ 2]      =   112.22488    |
| Significance for chi-squared =  1.00000 |
| Response data are given as ind. choice. |
| Number of obs.=   85, skipped   0 bad obs. |
+---------------------------------------+
```

· 시간가치

$$VOT(Travel\ Time) = \frac{\frac{\partial V_k^{ij}}{\partial time_k^{ij}}}{\frac{\partial V_k^{ij}}{\partial \cos t_k^{ij}}} = \frac{T}{C},$$

Travel+Wait/Access	7,224	원/시

◎ PRT 수단선택모형

· 효용함수식

$$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot time_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij}$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot time_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij}$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot time_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij}$$

$$U_{rail}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot time_{rail}^{ij} + C \cdot cost_{rail}^{ij} + \epsilon_{rail}^{ij}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot time_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij}$$

$$U_{bike}^{ij} = \alpha_6 + T \cdot time_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij}$$

$$U_{prt}^{ij} = \quad T \cdot time_{prt}^{ij} + C \cdot cost_{prt}^{ij} + \epsilon_{prt}^{ij}$$

<표 Ⅳ-38> 모형추정결과 송도_모형 2

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-2.38098	0.320829	-7.42135	1.16E-13
T	-0.4325	0.056439	-7.66301	1.82E-14
C	-0.00305	3.60E-04	-8.49525	2.89E-15
A2	-98.2782	14681.3	-0.00669	9.95E-01
A3	0.301678	0.427562	0.705577	4.80E-01
A4	0.110696	0.651296	0.169962	8.65E-01
A5	-1.21446	0.568829	-2.13502	3.28E-02
A6	-106.751	14681.3	-0.00727	9.94E-01

```
+---------------------------------------+
| Discrete choice (multinomial logit) model |
| Maximum Likelihood Estimates          |
| Dependent variable          Choice    |
| Weighting variable          ONE       |
| Number of observations      251       |
| Iterations completed        101       |
| Log likelihood function   -168.6106   |
| Log-L for Choice  model =  -168.6106  |
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj |
| No coefficients  -488.4234  .65479  .65294 |
| Constants only   -290.8951  .42037  .41728 |
| Chi-squared[ 2]       =   244.56887   |
| Significance for chi-squared =  1.00000 |
| Response data are given as ind. choice. |
| Number of obs.=  251, skipped  0 bad obs. |
+---------------------------------------+
```

· 시간가치

Travel+Wait/Access	8,496	원/시

○ 상암 DMC 수단분담 모형

- 모형 1

◎ 설명변수: 차내통행시간, 차외통행시간(대기/접근시간), 통행비용

◎ 현황 수단선택모형(RP)

· 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 도보(walk), 자전거(bike)

· 효용함수식

$$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot travel_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + W \cdot wait_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij}$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot travel_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + W \cdot wait_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij}$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot travel_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + W \cdot wait_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot travel_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij}$$

$$U_{bike}^{ij} = \quad T \cdot travel_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij}$$

〈표 Ⅳ-39〉 모형추정결과 상암_모형1_현황 수단선택모형

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	1.48176	2.02E+00	7.34E-01	4.63E-01
T	-1.21668	0.305732	-3.97958	6.90E-05
C	-0.00578773	0.00199045	-2.90775	3.64E-03
A2	4.84936	5.24E+00	9.25E-01	3.55E-01
W	-0.995766	0.30491	-3.26577	1.09E-03
A3	10.0818	2.58E+00	3.91E+00	9.12E-05
A4	5.26827	4.34E+00	1.21E+00	2.25E-01

```
+-------------------------------------------+
| Discrete choice (multinomial logit) model |
| Maximum Likelihood Estimates              |
| Dependent variable          Choice        |
| Weighting variable             ONE        |
```

```
| Number of observations              105                    |
| Iterations completed                 11                    |
| Log likelihood function         -21.30029                  |
| Log-L for Choice   model =      -21.3003                   |
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj                |
| No coefficients   -168.9910   .87396   .87182              |
| Constants only    -130.0993   .83628   .83350              |
| Chi-squared[ 3]           =    217.59810                   |
| Significance for chi-squared =  1.00000                    |
| Response data are given as ind. choice.                    |
| Number of obs.=   105, skipped   0 bad obs.                |
+------------------------------------------------------------+
```

· 시간가치

Travel	12,613	원/시
Wait/Access	10,323	원/시

◎ PRT 수단선택모형

· 교통수단: 승용차(auto), 택시(taxi), 버스(bus), 도보(walk), 자전거(bike), PRT(prt)

· 효용함수식

$$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot travel_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + W \cdot wait_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij}$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot travel_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + W \cdot wait_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij}$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot travel_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + W \cdot wait_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot travel_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij}$$

$$U_{bike}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot travel_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij}$$

$$U_{prt}^{ij} = \quad T \cdot travel_{prt}^{ij} + C \cdot cost_{prt}^{ij} + W \cdot wait_{prt}^{ij} + \epsilon_{prt}^{ij}$$

〈표 Ⅳ-40〉 모형추정결과 상암_모형1_PRT 수단선택모형

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-4.30796	0.376502	-11.4421	2.89E-15
T	-0.807755	0.0963942	-8.37971	2.89E-15
C	-0.0025006	2.64E-04	-9.46156	2.89E-15
A2	-4.15625	1.25901	-3.3012	9.63E-04
W	-0.193687	0.071866	-2.69511	7.04E-03
A3	-1.0617	0.374192	-2.83731	4.55E-03
A4	0.172189	0.596724	0.288557	7.73E-01
A5	-3.83	0.595548	-6.43105	1.27E-10

```
+---------------------------------------------------+
| Discrete choice (multinomial logit) model         |
| Maximum Likelihood Estimates                      |
| Dependent variable              Choice            |
| Weighting variable                 ONE            |
| Number of observations             399            |
| Iterations completed               9              |
| Log likelihood function       -236.5296           |
| Log-L for Choice   model =    -236.5296           |
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj       |
| No coefficients   -714.9120  .66915  .66782       |
| Constants only    -510.4008  .53658  .53471       |
| Chi-squared[ 3]          =    547.74242           |
| Significance for chi-squared =  1.00000           |
| Response data are given as ind. choice.           |
| Number of obs.=   399, skipped   0 bad obs.       |
+---------------------------------------------------+
```

· 시간가치

Travel	19,381	원/시
Wait/Access	4,647	원/시

- 모형 2

◎ 설명변수: 통행시간(차내통행시간+차외통행시간), 통행비용

◎ 현황 수단선택모형(RP)

·효용함수식

$$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot time_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij}$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot time_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij}$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot time_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot time_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij}$$

$$U_{bike}^{ij} = \quad T \cdot time_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij}$$

〈표 Ⅳ-41〉 모형추정결과 상암_모형2_현황 수단선택모형

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	1.36712	1.93E+00	7.09E-01	4.78E-01
T	-1.12078	0.228388	-4.90733	9.23E-07
C	-0.00531521	0.00167286	-3.17731	1.49E-03
A2	5.26745	4.48E+00	1.18E+00	2.40E-01
A3	10.9009	2.22434	4.90075	9.55E-07
A4	4.91811	3.52E+00	1.40E+00	1.63E-01

```
+-------------------------------------------------+
| Discrete choice (multinomial logit) model       |
| Maximum Likelihood Estimates                    |
| Dependent variable              Choice          |
| Weighting variable                 ONE          |
| Number of observations             105          |
| Iterations completed               11           |
| Log likelihood function       -21.46112         |
| Log-L for Choice  model =     -21.4611          |
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj     |
| No coefficients   -168.9910  .87300  .87116     |
| Constants only    -130.0993  .83504  .83265     |
| Chi-squared[ 2]           =    217.27644        |
| Significance for chi-squared =  1.00000         |
| Response data are given as ind. choice.         |
| Number of obs.=   105, skipped   0 bad obs.     |
+-------------------------------------------------+
```

· 시간가치

Travel+Wait/Access	12,652	원/시

◎ PRT 수단선택모형

·효용함수식

$$U_{auto}^{ij} = \alpha_1 + T \cdot time_{auto}^{ij} + C \cdot cost_{auto}^{ij} + \epsilon_{auto}^{ij}$$

$$U_{taxi}^{ij} = \alpha_2 + T \cdot time_{taxi}^{ij} + C \cdot cost_{taxi}^{ij} + \epsilon_{taxi}^{ij}$$

$$U_{bus}^{ij} = \alpha_3 + T \cdot time_{bus}^{ij} + C \cdot cost_{bus}^{ij} + \epsilon_{bus}^{ij}$$

$$U_{walk}^{ij} = \alpha_4 + T \cdot time_{walk}^{ij} + \epsilon_{walk}^{ij}$$

$$U_{bike}^{ij} = \alpha_5 + T \cdot time_{bike}^{ij} + \epsilon_{bike}^{ij}$$

$$U_{prt}^{ij} = \quad T \cdot time_{prt}^{ij} + C \cdot cost_{prt}^{ij} + \epsilon_{prt}^{ij}$$

〈표 Ⅳ-42〉 모형추정결과 상암_모형2_PRT수단선택모형

	Coeff.	Std.Err.	t-ratio	P-value
A1	-5.03019	0.332078	-15.1476	2.89E-15
T	-0.511955	0.0428109	-11.9585	2.89E-15
C	-0.00225416	2.37E-04	-9.53063	2.89E-15
A2	-3.91312	1.23342	-3.17257	1.51E-03
A3	-0.394419	0.295398	-1.33521	1.82E-01
A4	-2.02705	0.421776	-4.80598	1.54E-06
A5	-5.68655	0.477039	-11.9205	2.89E-15

```
+---------------------------------------+
| Discrete choice (multinomial logit) model |
| Maximum Likelihood Estimates          |
| Dependent variable          Choice    |
| Weighting variable            ONE     |
| Number of observations        399     |
| Iterations completed          9       |
| Log likelihood function    -252.4080  |
| Log-L for Choice  model =  -252.4080  |
| R2=1-LogL/LogL*  Log-L fncn  R-sqrd  RsqAdj |
| No coefficients  -714.9120  .64694  .64570 |
```

```
| Constants only     -510.4008   .50547   .50373                |
| Chi-squared[ 2]           =     515.98559                     |
| Significance for chi-squared =   1.00000                     |
| Response data are given as ind. choice.                      |
| Number of obs.=    399, skipped    0 bad obs.                |
+--------------------------------------------------------------+
```

· 시간가치

Travel+Wait/Access	13,627	원/시

모형 검토결과 매개변수들은 모두 통계적으로 유의미하며 alternative-specific 상수항의 경우에도 주요 교통수단에 대해 통계적으로 유의미한 결과를 보였다.

송도지구의 경우, 모형1과 모형2 모두 모형계수 및 시간가치 산출값을 볼 때 실제적용성이 우수하였고, 특히 모형 1의 경우에는 차내통행시간과 차외통행시간에 대한 민감도를 현실감 있게 설명하고 있어, PRT 역사 접근시간과 대기시간의 변화에 따른 수요민감도분석을 하는 데 매우 효과적으로 사용할 수 있을 것으로 판단되었다.

상암 DMC의 경우, 서울도심지 특성과 이용자 사회경제특성에 의해 시간가치가 송도보다 높게 나타났다. 특히 Travel time과 wait/access time을 구한 모형1의 경우에 차내통행시간 가치가 차외통행시간가치보다 크게 나옴. 이는 조사된 대부분 통행에 있어서 수단들 간에 차외통행시간에 대한 차별성이 작게 관측되었기 때문으로 판단된다. 따라서 총통행시간과 비용을 변수로 한 모형 2를 사용하는 것이 바람직할 것이다.

결론적으로 상위연구결과를 검토한 결과 모형적용의 일관성 측면에서 모형2가 보다 바람직할 것으로 판단되어 본 연구에서는 모형2를 기본적인 수단분담모형으로 선정하여 분석을 수행하였다. 단 여기서 송도신도시와 상암DMC의 시간가치가 다르게 추정된 이유로는 각 지역마다 개별적으로 SP 조사 및 설문조사를 수행하였고, 그에 따라 각 지역의 사람들이 느끼는 효용에 대한 값이 수단분담모형의 시간가치(VOT)개념으로 사용되었기 때문으로 판단된다. 본 분석에서는 이러한 지역별 차이를 고려하여 수단분담모형의 정산과정 및 더미변수 산출을 통하여 PRT도입에 따른 지역별 수단분담모형을 적용하였으므로, 모형의 계수차이에 대한 Calibration 과정을 수행하였기 때문에 지역별 특성에 따른 수단분담모형은 적절히 구축되었다고 판단한다.

3) 수단선택모형 적용

수단선택모형에 변수 값으로 반영되는 통행시간과 통행비용을 산정하는 기준은 다음과 같다.

〈표 Ⅳ-43〉 교통수단별 통행시간 산정기준

<table>
<tr><th>구 분</th><th>통행시간</th></tr>
<tr><td>승용차,
택시</td><td>기준연도의 O/D 및 장래 네트워크를 이용하여 승용차 및 택시의 통행시간 산출.
택시의 경우 5분정도의 차외시간적용</td></tr>
<tr><td>버스</td><td>· 개요
승용차 통행시간 매트릭스를 이용하여 승용차 대비 버스의 통행시간 비율을 적용하여 산출하며, 지역별 버스노선의 특성을 감안하여 적절한 수준의 차외시간을 적용함.
· 차내시간
- 시내간 : 승용차 통행시간의 1.2배
- 광역시-인접지역 시·군간 : 승용차 통행시간의 1.3배
- 인접지역 시·군간 : 승용차 통행시간의 1.35배
· 차외통행시간
<table>
<tr><th>구 분</th><th>시·군내</th><th>광역시-시·군간</th><th>인접시·군간</th></tr>
<tr><td>10km 이내</td><td>광역시내 : 5분
기타시내 : 10분</td><td>15분</td><td>20분</td></tr>
<tr><td>10km 이외</td><td>15분
(대기+환승시간)</td><td>22분</td><td>30분</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>지하철</td><td>·차내시간 : 지하철, 철도의 역간 운행시간 매트릭스를 구축
·차외시간
- 지하철 및 철도를 이용하기 위한 접근시간은 버스의 기준을 적용함
- 지하철 환승 대기시간은 평균배차간격의 1/2 적용</td></tr>
</table>

자료: 한국교통연구원, 『2007년 국가교통DB 최종보고서-9권 광역권 여객기종점통행의 전수화』, 2008.

〈표 Ⅳ-44〉 교통수단별 통행비용 산정기준

구 분	통행비용
승용차	통행거리 매트릭스와 통행시간 매트릭스를 이용하여 출발지-도착지간 평균통행속도를 계산한 후, 통행속도별 km당 평균비용을 적용
버스	10km 이내 : 900원 이후 매 5km마다 100원
지하철	10km 이내: 900원 10km 이상: 5km마다 100원

자료: 한국교통연구원, 『2007년 국가교통DB 최종보고서-9권 광역권 여객기종점통행의 전수화』, 2008.

본 분석에서는 PRT시스템의 경우 신규교통수단으로 통행시간 및 통행비용 산정에 대한 관련자료가 부재한 실정이다. 따라서 본 분석에서는 PRT의 통행시간, 통행비용을 산정하기 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

〈표 Ⅳ-45〉 PRT시스템의 통행시간 및 통행비용 산정기준

구 분	통행비용
통행시간	·차내시간 : PRT 역간 운행시간 매트릭스를 구축 ·차외시간 - PRT를 이용하기 위한 접근시간은 버스의 기준을 적용함 - 환승 대기시간은 평균배차간격의 1/2 적용
통행비용	·직승직하의 경우 2,000원의 요금을 적용 ·단 정부통합요금제를 가정하여 타 대중교통수단으로 환승시 환승할인 적용

4) 장래의 수단선택모형

로짓모형에 있어 효용함수의 모수는 최우추정법(Maximum LikelihoO/D Estimation)에 따라 추정되고, 대안특성상수(Alternative Specific Constants)는 산출되어지는 로짓 모형의 수단분담율과 표본 자료의 수단분담율과의 결과가 가능한 동일하게끔 결정되어 진다.

그러나 이 모형상의 분담율은 모든 기종점에서 실제 관측된 분담율과 일치할 수 없다. 왜냐하면 일반적으로 수단분담 모형은 통행자의 모든 수단선택 행태를 표현할 수 없는 한계로, 오차가 내재될 수밖에 없기 때문이다.

따라서 타당성 평가 등에 실제 적용하는데 있어서는 수단분담 오차를 보정한 수단분담 모형이 활용되어 진다.

○ 점진적 로짓모형(Incremental Logit model)

점진적 로짓모형(Incremental Logit)은 설명변수의 변화에 의한 효용치의 변화량을 이용하여 각 대안들의 선택확률을 계산한다. 즉, 사업미시행시와 시행시의 효용을 계산하여 효용의 변화가 고려된 새로운 수단분담율을 산출하게 된다.

본 모형은 보정더미 로짓모형 (K factor Logit)에서 변형된 식으로 관측분담률이 효용변화와 함께 고려됨에 따라 관측분담률과 모형의 분담률을 일치시키기 위해 적용되는 보정더미를 적용하지 않아도 된다.

본 방법론은 미국과 유럽에서 주로 이용되는 방법으로 더미상수에 의한 영향을 배제하고 사업시행시의 효과를 보다 적절히 반영할 수 있는 장점이 있다.

앞의 식에서와 같이 분담율의 추정치를 실측치와 정확하게 일치시키는 버스의 보정계수는 다음

과 같이 산정할 수 있다.

$$P_i^* = \frac{P_i \exp \triangle V_i}{\sum P_j \exp \triangle V_j}$$

여기서, P_i^* : 사업시행시 수단i의 선택확률
P_i : 사업미시행시 수단i의 관측 분담률
$\triangle V_i$: 사업시행 전·후 수단i의 효용변화

○ 가법적 로짓모형(Additive Logit)

가법적 로짓모형(Additive Logit)은 관측치(base matrices)의 수단분담률에 시행시와 미시행시의 로짓모형의 수단분담률 차이를 이용하여 사업시행시의 수단분담률을 산출한다.

$$P_i^* = P_i + S_i^* - S_i$$

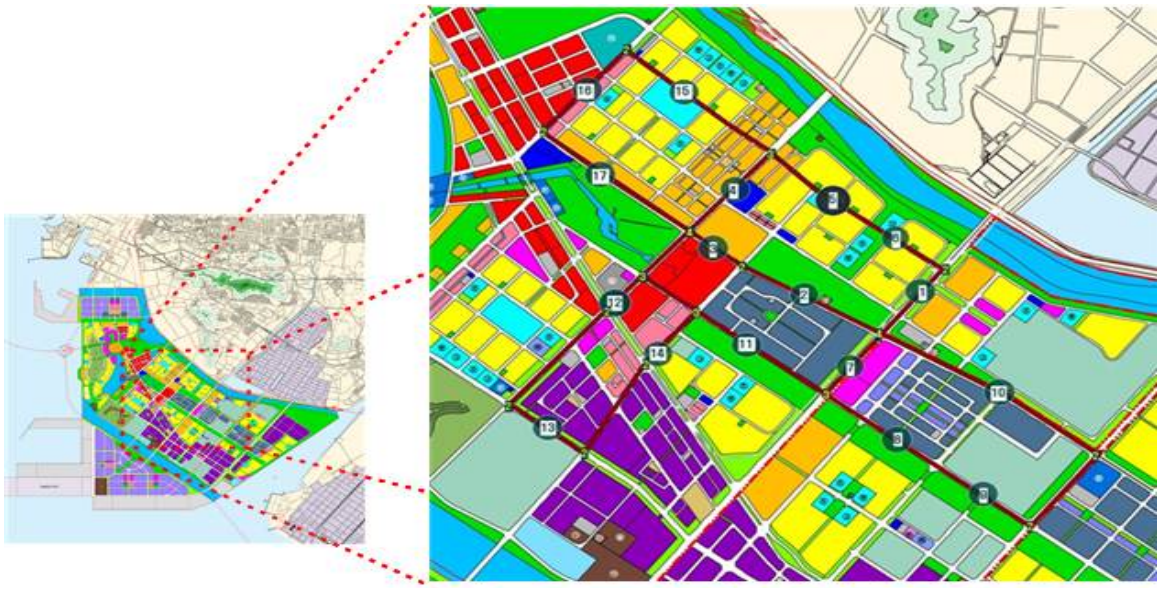
여기서, P_i^* : 사업시행시 수단i의 선택확률
P_i : 사업미시행시 수단i의 관측 분담률
S_i^* : 사업시행시 Logit 모형산출 분담률
S_i : 사업미시행시 Logit 모형의 분담률

4. 수요 추정결과

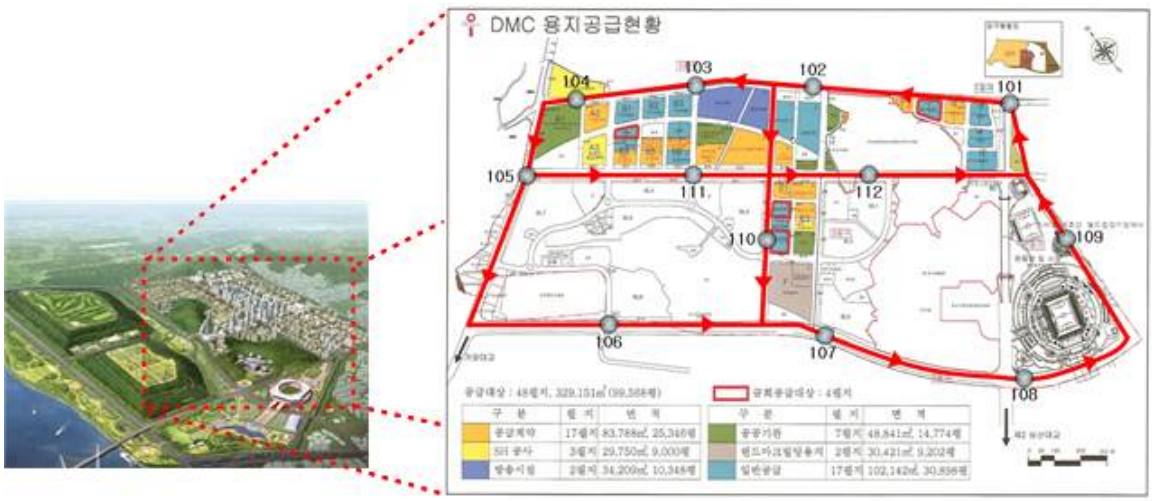
가. 분석의 전제

본 분석에서는 사업시행시 송도신도시와 상암DMC에 PRT 시스템이 구축되는 것을 전제로 수요분석을 실시하였다. PRT 운영시나리오의 경우 한국철도기술연구원에서 구축한 운영시나리오를 토대로 노선도 및 정거장 계획을 수용하였다. 각 지역의 PRT 노선개요는 다음과 같다.

〈그림 Ⅳ-12〉 송도신도시 PRT 운영시나리오



〈그림 Ⅳ-13〉 상암DMC PRT 운영시나리오



위와 같은 PRT 노선 시나리오를 토대로 수요분석을 위한 네트워크를 구축하였으며, PRT 운영시

통행요금의 경우 정부 통합요금제를 가정하여, 총 2000원(1,100원+900원)으로 설정하였다. 운행요금을 이와 같이 설정한 이유는 PRT 시스템의 특성상 정해진 노선이 아닌 수요에 따라 운행하는 on-demand 방식의 특성을 고려하여 버스 및 지하철이 아닌 택시를 PRT의 주요 경쟁수단으로 인식하였고, 그에 따라 현재 PRT 시스템의 통행요금이 정확히 정해지지 않은 상태에서 정부의 PRT 운영을 전제로 하여 통합요금제 기준의 2,000원을 적용하는 것이 합리적이라고 판단하였다. 이는 기존 버스 및 지하철의 대중교통 수단을 이용할 경우 환승할인(900원)을 포함한 요금이기 때문에 사용자 입장에서 요금에 대한 부담이 크지 않도록 설정된 결과이다.

<표 Ⅳ-46> PRT 시스템 분석의 전제

(단위: 인/일, %)

구분		설 명
노선 개요	송도신도시	· 총길이 16.7 km · 역사수 17개소
	상암 DMX	· 총길이 9 km · 역사수 12개소
요금징수방식		· 정부운영을 전제로한 통합요금제(환승할인 900원 적용)
통행요금	직승직하	· 2,000원(PRT)
	직승환하	· 1,100원(PRT)
	환승직하	· 1,100원(PRT)
	환승환하	· 1,100원(PRT)

나. 수요추정결과

본 연구 대상지역의 장래수요추정 결과는 다음과 같다. 2036년 송도신도시의 경우 총 44,928인/일의 수요를 보이는 것으로 추정되었으며 그중 64.5%, 28,959인/일의 수요가 PRT이용과 함께 버스, 지하철 등의 대중교통 수단으로 환승하는 것으로 분석되었다. 상암지구의 경우도 2036년 20,389인/일의 총 수요 중에서 60.9%, 12,426인/일의 수요가 대중교통수단으로 환승되는 것으로 분석되었다. 환승수요 비율을 분석해보면, 송도신도시의 경우 약 64~65%, 상암지구의 경우 약 60~61%의 환승수요가 발생하는 것으로 분석되었다.

〈표 Ⅳ-47〉 수요추정 결과 종합

(단위: 인/일, %)

구분	2016년	2016년	2021년	2026년	2031년	2036년
송도신도시	총수요(A)	30,655	44,823	45,017	44,934	44,928
	환승수요(B)	19,980	28,860	29,667	29,241	28,959
	환승수요비율(B/A)	65.2%	64.4%	65.9%	65.1%	64.5%
상암지구	총수요(A)	18,728	20,385	20,445	20,409	20,389
	환승수요(B)	11,383	12,307	12,549	12,427	12,426
	환승수요비율(B/A)	60.8%	60.4%	61.4%	60.9%	60.9%

수도권 교통본부에서 배포한 자료의 경우 P/A 기반모형을 바탕으로 O/D가 생성되게 된다. 이때 모형에서 고려되는 독립변수는 연령별 인구, 취업자 수, 1·2·3차 산업 종사자 수, 학생 수, 자동차 보유대수 등이며, 이를 기반으로 존단위 회귀분석을 통해 O/D가 생성되게 된다.

이러한 과정으로 생성된 수단O/D의 경우 2006년부터 2026년까지 통행량이 증가하다 2026년 이후 감소하는 추세로 예측이 되었고, 본 분석에서도 PRT의 수요패턴이 동일한 결과로 분석되었다. 특히 PRT 수요의 경우 신규 교통수단의 도입으로 공로상의 수요가 많을수록 수단전환효과가 높기 때문에 수단O/D가 최대치가 되는 2026년의 수요가 PRT수요의 최대가 되는 년도로 분석된다고 판단된다.

1) 송도 신도시

〈표 Ⅳ-48〉 2016년 장래수요 결과(송도 신도시)

단위: (인/일)

통행량	1정류장	2정류장	3정류장	4정류장	5정류장	6정류장	7정류장	8정류장	9정류장	10정류장	11정류장	12정류장	13정류장	14정류장	15정류장	16정류장	17정류장	합계
1정류장	0	156	152	2,085	5	0	0	1	0	11	2	2	761	52	6	964	309	4,509
2정류장	2	0	120	113	116	55	3	2	1	49	6	3	1,430	91	12	1,459	262	3,725
3정류장	3	0	0	67	22	12	29	36	24	172	10	1	978	96	6	1	0	1,456
4정류장	1,243	4	0	0	27	18	137	120	79	1,645	111	5	4	0	0	1	0	3,393
5정류장	45	174	19	2	0	42	1	1	0	7	2	0	314	17	0	35	18	678
6정류장	36	771	124	20	0	0	1	1	1	12	4	4	1,386	134	1	267	283	3,044
7정류장	1	2	2	1	0	9	0	155	217	0	0	0	2	0	0	9	1	399
8정류장	22	12	25	9	0	167	0	0	41	1	0	0	8	1	3	121	19	428
9정류장	202	108	244	89	5	1,093	0	0	0	1	0	0	89	5	27	757	187	2,810
10정류장	0	0	0	0	20	2	1	3	0	0	394	319	1	0	0	7	1	750
11정류장	6	3	1	1	231	42	10	5	3	0	0	181	0	0	0	27	1	510
12정류장	150	41	2	1	1,065	839	178	136	80	3	0	0	1	0	0	2	2	2,500
13정류장	0	0	0	0	4	3	0	0	0	9	0	0	0	276	207	0	0	500
14정류장	0	0	0	0	2	1	0	0	0	6	0	0	3	0	574	0	0	586
15정류장	2	1	0	0	3	2	16	89	58	1,375	44	1	425	170	0	0	0	2,186
16정류장	223	101	6	1	332	196	1	1	0	30	2	0	21	7	0	0	102	1,021
17정류장	305	53	4	1	832	913	1	1	0	36	0	0	9	4	0	1	0	2,160
합계	2,241	1,426	698	2,390	2,666	3,393	379	549	506	3,357	575	518	5,432	854	835	3,651	1,187	30,655

<표 Ⅳ-49> 2021년 장래수요 결과(송도 신도시)

단위: (인/일)

통행량	1정류장	2정류장	3정류장	4정류장	5정류장	6정류장	7정류장	8정류장	9정류장	10정류장	11정류장	12정류장	13정류장	14정류장	15정류장	16정류장	17정류장	합계
1정류장	0	208	203	3,493	7	0	0	1	1	15	3	3	1,095	69	8	1,423	421	6,948
2정류장	2	0	159	150	153	72	4	2	1	65	8	4	2,230	121	15	2,282	354	5,624
3정류장	3	0	0	88	29	15	38	47	31	229	14	2	1,446	127	7	1	0	2,079
4정류장	1,897	5	0	0	35	23	182	159	105	2,626	147	6	6	0	0	1	0	5,192
5정류장	59	233	25	3	0	55	1	1	1	9	2	1	428	22	0	45	23	908
6정류장	47	1,111	165	26	0	0	1	1	1	15	5	5	2,149	178	1	361	384	4,451
7정류장	1	2	2	1	0	12	0	206	292	0	0	0	2	0	0	12	2	534
8정류장	29	15	33	11	1	223	0	0	54	1	0	0	10	1	3	161	25	567
9정류장	272	144	329	118	7	1,638	1	0	0	1	0	0	118	7	35	1,090	251	4,010
10정류장	1	0	0	1	26	3	2	3	0	0	541	434	1	0	0	10	2	1,024
11정류장	7	4	1	1	311	55	13	6	4	0	0	242	1	0	0	35	1	681
12정류장	200	54	3	1	1,591	1,219	238	181	105	4	0	0	1	0	0	2	2	3,603
13정류장	0	0	0	0	6	3	0	0	0	12	0	0	0	374	277	0	0	674
14정류장	0	0	0	0	3	1	0	0	0	8	0	0	4	0	807	0	0	823
15정류장	3	1	0	0	3	2	20	118	77	2,129	57	2	587	227	0	0	0	3,227
16정류장	299	134	8	1	453	263	1	1	0	39	2	0	27	9	0	0	135	1,372
17정류장	415	69	5	2	1,209	1,339	1	1	0	47	0	0	12	5	0	2	0	3,106
합계	3,235	1,981	931	3,895	3,835	4,925	504	728	672	5,201	780	700	8,116	1,141	1,155	5,425	1,600	44,823

<표 Ⅳ-50> 2026년 장래수요 결과(송도 신도시)

단위: (인/일)

통행량	1정류장	2정류장	3정류장	4정류장	5정류장	6정류장	7정류장	8정류장	9정류장	10정류장	11정류장	12정류장	13정류장	14정류장	15정류장	16정류장	17정류장	합계
1정류장	0	208	203	3,513	7	0	0	1	1	15	3	3	1,100	69	8	1,429	422	6,983
2정류장	2	0	159	151	154	73	4	2	1	65	8	4	2,241	121	16	2,294	356	5,651
3정류장	3	0	0	88	29	15	39	47	31	230	14	2	1,452	128	7	1	0	2,087
4정류장	1,906	5	0	0	35	23	183	159	105	2,640	147	6	6	0	0	1	0	5,217
5정류장	59	234	25	3	0	55	1	1	1	9	2	1	429	22	0	45	23	911
6정류장	47	1,116	166	26	0	0	1	1	1	15	5	5	2,160	179	1	362	385	4,470
7정류장	1	2	2	1	0	12	0	207	293	0	0	0	2	0	0	12	2	535
8정류장	29	15	33	11	1	224	0	0	54	1	0	0	10	1	3	161	25	568
9정류장	272	144	330	119	7	1,646	1	0	0	1	0	0	119	7	35	1,094	252	4,026
10정류장	1	0	0	1	26	3	2	3	0	0	543	436	1	0	0	10	2	1,027
11정류장	8	4	1	1	312	55	14	6	4	0	0	243	1	0	0	35	1	684
12정류장	201	54	3	1	1,599	1,224	239	182	106	4	0	0	1	0	0	2	2	3,618
13정류장	0	0	0	0	6	3	0	0	0	12	0	0	0	376	278	0	0	676
14정류장	0	0	0	0	3	1	0	0	0	8	0	0	4	0	810	0	0	827
15정류장	3	1	0	0	3	2	20	118	77	2,140	58	2	589	228	0	0	0	3,242
16정류장	300	135	8	1	455	263	1	1	0	39	2	0	27	9	0	0	135	1,376
17정류장	416	70	5	2	1,214	1,345	1	1	0	47	0	0	12	5	0	2	0	3,119
합계	3,249	1,988	934	3,917	3,851	4,946	505	730	674	5,227	783	702	8,153	1,144	1,160	5,449	1,606	45,017

<표 Ⅳ-51> 2031년 장래수요 결과(송도 신도시)

단위: (인/일)

통행량	1정류장	2정류장	3정류장	4정류장	5정류장	6정류장	7정류장	8정류장	9정류장	10정류장	11정류장	12정류장	13정류장	14정류장	15정류장	16정류장	17정류장	합계
1정류장	0	208	203	3,504	7	0	0	1	1	15	3	3	1,098	69	8	1,426	421	6,968
2정류장	2	0	159	151	154	72	4	2	1	65	8	4	2,236	121	15	2,289	355	5,639
3정류장	3	0	0	88	29	15	39	47	31	230	14	2	1,450	128	7	1	0	2,083
4정류장	1,902	5	0	0	35	23	183	159	105	2,634	147	6	6	0	0	1	0	5,206
5정류장	59	233	25	3	0	55	1	1	1	9	2	1	429	22	0	45	23	910
6정류장	47	1,114	165	26	0	0	1	1	1	15	5	5	2,155	179	1	362	384	4,462
7정류장	1	2	2	1	0	12	0	207	293	0	0	0	2	0	0	12	2	534
8정류장	29	15	33	11	1	224	0	0	54	1	0	0	10	1	3	161	25	568
9정류장	272	144	330	118	7	1,642	1	0	0	1	0	0	118	7	35	1,092	251	4,019
10정류장	1	0	0	1	26	3	2	3	0	0	542	435	1	0	0	10	2	1,026
11정류장	8	4	1	1	312	55	13	6	4	0	0	243	1	0	0	35	1	683
12정류장	201	54	3	1	1,596	1,222	239	182	106	4	0	0	1	0	0	2	2	3,612
13정류장	0	0	0	0	6	3	0	0	0	12	0	0	0	375	278	0	0	675
14정류장	0	0	0	0	3	1	0	0	0	8	0	0	4	0	809	0	0	825
15정류장	3	1	0	0	3	2	20	118	77	2,135	57	2	588	227	0	0	0	3,235
16정류장	300	134	8	1	454	263	1	1	0	39	2	0	27	9	0	0	135	1,374
17정류장	415	69	5	2	1,212	1,343	1	1	0	47	0	0	12	5	0	2	0	3,114
합계	3,243	1,985	933	3,907	3,844	4,937	504	729	673	5,216	782	701	8,137	1,143	1,158	5,439	1,603	44,934

<표 Ⅳ-52> 2036년 장래수요 결과(송도 신도시)

단위: (인/일)

통행량	1정류장	2정류장	3정류장	4정류장	5정류장	6정류장	7정류장	8정류장	9정류장	10정류장	11정류장	12정류장	13정류장	14정류장	15정류장	16정류장	17정류장	합계
1정류장	0	208	203	3,503	7	0	0	1	1	15	3	3	1,098	69	8	1,426	421	6,967
2정류장	2	0	159	151	154	72	4	2	1	65	8	4	2,236	121	15	2,289	355	5,639
3정류장	3	0	0	88	29	15	39	47	31	229	14	2	1,450	128	7	1	0	2,083
4정류장	1,901	5	0	0	35	23	183	159	105	2,634	147	6	6	0	0	1	0	5,205
5정류장	59	233	25	3	0	55	1	1	1	9	2	1	429	22	0	45	23	910
6정류장	47	1,114	165	26	0	0	1	1	1	15	5	5	2,155	179	1	362	384	4,461
7정류장	1	2	2	1	0	12	0	207	293	0	0	0	2	0	0	12	2	534
8정류장	29	15	33	11	1	224	0	0	54	1	0	0	10	1	3	161	25	568
9정류장	272	144	330	118	7	1,642	1	0	0	1	0	0	118	7	35	1,092	251	4,019
10정류장	1	0	0	1	26	3	2	3	0	0	542	435	1	0	0	10	2	1,026
11정류장	8	4	1	1	312	55	13	6	4	0	0	243	1	0	0	35	1	683
12정류장	201	54	3	1	1,595	1,222	238	182	106	4	0	0	1	0	0	2	2	3,611
13정류장	0	0	0	0	6	3	0	0	0	12	0	0	0	375	278	0	0	675
14정류장	0	0	0	0	3	1	0	0	0	8	0	0	4	0	809	0	0	825
15정류장	3	1	0	0	3	2	20	118	77	2,135	57	2	588	227	0	0	0	3,235
16정류장	300	134	8	1	454	263	1	1	0	39	2	0	27	9	0	0	135	1,374
17정류장	415	69	5	2	1,212	1,342	1	1	0	47	0	0	12	5	0	2	0	3,113
합계	3,243	1,984	933	3,907	3,843	4,936	504	729	673	5,215	782	701	8,136	1,143	1,158	5,438	1,603	44,928

2) 상암 DMC

<표 Ⅳ-53> 2016년 장래수요 결과(상암 DMC)

단위: (인/일)

통행량	1정류장	2정류장	3정류장	4정류장	5정류장	6정류장	7정류장	8정류장	9정류장	10정류장	11정류장	12정류장	합계
1정류장	0	125	158	2,433	16	1	1	1	1	5	21	69	2,830
2정류장	1	0	240	298	419	148	8	6	6	21	62	60	1,269
3정류장	10	1	0	161	298	111	62	77	52	61	75	21	928
4정류장	1,918	6	1	0	266	113	113	73	49	838	527	47	3,951
5정류장	7	29	5	1	0	53	117	140	95	8	418	1,172	2,044
6정류장	1	21	4	1	0	0	180	233	133	3	7	90	673
7정류장	9	12	18	13	5	0	0	180	289	9	8	48	590
8정류장	152	44	140	73	39	2	0	0	74	2	1	2	528
9정류장	551	203	577	369	161	10	1	0	0	1	4	8	1,884
10정류장	16	9	5	22	3	0	210	400	40	0	1	1	705
11정류장	9	3	1	2	2	0	76	45	35	964	0	374	1,511
12정류장	1,184	239	24	11	78	37	1	1	0	231	10	0	1,816
합계	3,857	691	1,171	3,382	1,287	476	767	1,156	773	2,142	1,134	1,892	18,728

〈표 Ⅳ-54〉 2021년 장래수요 결과(상암 DMC)

단위: (인/일)

통행량	1정류장	2정류장	3정류장	4정류장	5정류장	6정류장	7정류장	8정류장	9정류장	10정류장	11정류장	12정류장	합계
1정류장	0	134	168	2,748	17	1	1	1	1	5	22	74	3,172
2정류장	1	0	257	319	451	158	8	6	6	23	66	64	1,360
3정류장	11	1	0	172	319	119	66	82	55	65	80	22	991
4정류장	2,140	6	1	0	285	121	120	78	52	911	568	50	4,333
5정류장	8	31	5	1	0	56	125	150	101	9	450	1,284	2,219
6정류장	1	22	4	1	0	0	192	250	142	3	8	96	719
7정류장	9	13	19	14	5	0	0	193	310	9	8	51	632
8정류장	162	47	150	78	42	2	0	0	79	2	1	2	564
9정류장	595	217	623	396	172	11	1	0	0	1	4	8	2,028
10정류장	17	9	5	23	3	0	225	430	43	0	1	1	756
11정류장	10	3	1	2	2	0	81	48	37	1,051	0	402	1,638
12정류장	1,297	256	25	12	83	40	1	1	0	247	11	0	1,974
합계	4,250	739	1,259	3,766	1,379	508	820	1,238	826	2,326	1,219	2,055	20,385

〈표 Ⅳ-55〉 2026년 장래수요 결과(상암 DMC)

단위: (인/일)

통행량	1정류장	2정류장	3정류장	4정류장	5정류장	6정류장	7정류장	8정류장	9정류장	10정류장	11정류장	12정류장	합계
1정류장	0	134	169	2,761	17	1	1	1	1	5	22	74	3,186
2정류장	1	0	257	320	452	159	8	6	6	23	67	64	1,363
3정류장	11	1	0	172	320	119	66	82	55	65	80	22	993
4정류장	2,149	6	1	0	285	121	120	78	52	913	570	51	4,347
5정류장	8	31	5	1	0	56	125	150	102	9	451	1,288	2,225
6정류장	1	22	4	1	0	0	193	250	142	3	8	96	721
7정류장	9	13	19	14	5	0	0	193	310	9	8	51	633
8정류장	163	47	150	78	42	2	0	0	79	2	1	2	565
9정류장	596	217	625	397	173	11	1	0	0	1	4	8	2,033
10정류장	17	9	5	23	3	0	225	431	43	0	1	1	758
11정류장	10	3	1	2	2	0	82	48	37	1,054	0	403	1,642
12정류장	1,302	257	25	12	83	40	1	1	0	248	11	0	1,979
합계	4,265	741	1,261	3,781	1,383	509	822	1,241	827	2,332	1,222	2,061	20,445

〈표 Ⅳ-56〉 2031년 장래수요 결과(상암 DMC)

단위: (인/일)

통행량	1정류장	2정류장	3정류장	4정류장	5정류장	6정류장	7정류장	8정류장	9정류장	10정류장	11정류장	12정류장	합계
1정류장	0	134	169	2,754	17	1	1	1	1	5	22	74	3,178
2정류장	1	0	257	320	452	159	8	6	6	23	66	64	1,361
3정류장	11	1	0	172	320	119	66	82	55	65	80	22	992
4정류장	2,144	6	1	0	285	121	120	78	52	912	569	50	4,339
5정류장	8	31	5	1	0	56	125	150	101	9	450	1,286	2,221
6정류장	1	22	4	1	0	0	193	250	142	3	8	96	720
7정류장	9	13	19	14	5	0	0	193	310	9	8	51	632
8정류장	162	47	150	78	42	2	0	0	79	2	1	2	564
9정류장	595	217	624	396	172	11	1	0	0	1	4	8	2,030
10정류장	17	9	5	23	3	0	225	431	43	0	1	1	757
11정류장	10	3	1	2	2	0	81	48	37	1,053	0	403	1,639
12정류장	1,299	256	25	12	83	40	1	1	0	247	11	0	1,976
합계	4,257	740	1,260	3,772	1,381	508	821	1,239	826	2,328	1,220	2,058	20,409

〈표 Ⅳ-57〉 2036년 장래수요 결과(상암 DMC)

단위: (인/일)

통행량	1정류장	2정류장	3정류장	4정류장	5정류장	6정류장	7정류장	8정류장	9정류장	10정류장	11정류장	12정류장	합계
1정류장	0	134	168	2,750	17	1	1	1	1	5	22	74	3,174
2정류장	1	0	257	319	451	158	8	6	6	23	66	64	1,360
3정류장	11	1	0	172	319	119	66	82	55	65	80	22	991
4정류장	2,142	6	1	0	285	121	120	78	52	911	568	50	4,334
5정류장	8	31	5	1	0	56	125	150	101	9	450	1,285	2,219
6정류장	1	22	4	1	0	0	192	250	142	3	8	96	719
7정류장	9	13	19	14	5	0	0	193	310	9	8	51	632
8정류장	162	47	150	78	42	2	0	0	79	2	1	2	564
9정류장	595	217	623	396	172	11	1	0	0	1	4	8	2,028
10정류장	17	9	5	23	3	0	225	430	43	0	1	1	756
11정류장	10	3	1	2	2	0	81	48	37	1,052	0	402	1,638
12정류장	1,298	256	25	12	83	40	1	1	0	247	11	0	1,974
합계	4,252	739	1,259	3,768	1,379	508	820	1,238	826	2,326	1,219	2,056	20,389

다. 소결론

PRT 경제성 평가를 위하여 분석 대상지역 및 PRT운영시나리오를 바탕으로 수요 추정을 수행한 결과 2036년 송도신도시의 경우 44,928인/일, 상암DMC의 경우 20,389인/일의 수요를 보일 것으로 예측되었다.

이와 같은 결과는 상위연구에서 주어진 분석대상지역과 운영시나리오를 기준으로 적용한 결과이며, 실제 적용될 정거장의 위치, 노선이나 운영시나리오 등에 따라 수요추정치는 달리 나올 가능성이 있을 것이다. 왜냐하면 PRT수단의 특성상 대중교통 통행배정이 수행되어야 하며, 이에 따라 수요추정의 일반화를 위해서는 도입지역, 노선 설계, 운영시나리오, 수단분담모형의 적용에 따른 수요를 각각 추정해야 하기 때문이다.

제2절 편익의 종류와 추정방식

1. 편익의 종류

본 연구에서의 편익 산정은 한국개발연구원의『도로·철도 부문 표준지침(제5판)』및『예비타당성 조사 수행을 위한 일반 지침 수정·보완 연구(제5판)』(2008)에서 규정하는 분석 방법론을 적용하였다.

경제성 타당성 평가 시 모든 편익과 비용을 비교하기 위해서는 동일한 시점을 기준으로 가치를 일치시키는 것이 중요하므로, 본 사업에서는 사회적 할인율을 이용하여 2010년 말을 기준으로 비교 가능한 가치로 일치시켜서 편익과 비용을 산정하였다.

도로사업 투자에 따른 편익은 직접편익과 간접편익으로 나눌 수 있다. 직접편익이란 교통시설을 이용하는 교통주체들이 도로사업 시행과 관련하여 직접적으로 얻게되는 편익인 반면 간접편익은 도로사업 시행으로 인해 비이용자들이 얻게 되는 파급효과를 말한다.

〈표 Ⅳ-58〉 철도관련 투자사업의 편익항목

구 분		세부항목
직접편익 (사용자 편익)	철도이용자 편익	·철도(기존 및 신규 철도) 사용자의 통행시간 절감
	타 수단 이용자 편익	·차량운행비용 절감 ·도로·철도간 전환수요에 의한 통행시간 절감 편익 ·교통사고 감소
간접편익 (비사용자 편익)		·환경비용 절감(대기오염, 소음 절감) ·주차수요 감소로 인한 주차공간 기회비용 절감

본 조사에서는 예비타당성조사 표준지침[5]에 따라 차량운행비용 절감편익, 통행시간비용 절감편익[6], 교통사고비용 절감편익, 환경비용(대기오염비용 및 소음비용을 모두 포함함) 편익을 산출하였다.

편익은 통행배분 결과로 얻어진 각 도로의 구간별 평균주행속도 및 교통량을 분석 자료로 이용

5) 한국개발연구원,「도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제5판)」, 2009.
6) 사회적 관점에서 볼 때 이전지출에 불과한 유료도로 통행료 수입의 변화를 제외한 순 통행시간 절감편익을 산출한다.

하여 사업 미시행시 기존 가로망체계의 운행시간 및 차량운행비와 사업 시행시 각 시나리오별 운행시간과 차량운행비 차이로 산출하고, 사업 미시행시와 사업 시행시의 교통량, 통행시간, 운행속도의 변화는 교통수요예측 프로그램인 EMME/2를 이용하여 분석하였다. 여기서 연간 편익은 일일 편익에 365를 곱하여 산출하였다.

경제성 분석에서 일반재화의 가치는 세금을 제외한 가치로 규정하나, 모든 재화에 대해 세금을 제외하는 것은 편익 산정을 복잡하게 하므로 유류비와 LPG 가격에 한하여 시장가격에서 세금을 제외한 실질가격을 사용하였다.

2. 편익 산정 방법

가. 차량운행비용 절감 편익

차량운행비용(Vehicle Operating Cost)은 차량의 감가상각비, 운전원과 보조원의 임금, 보험료 및 차량검사료 등의 고정비와 연료비, 엔진오일비, 타이어 마모비, 차량 유지수선비 등의 변동비가 포함된 이용자의 직접비용이다.

차량운행비용은 링크를 기반으로 하여 통행배정 작업의 결과로 산출된 링크의 주행속도와 교통량을 이용하여 주행속도에 따른 차량운행비 원단위를 적용하여 산출하였다. 즉, 분석도로망에 부하된 각 링크의 차종별 교통량과 길이를 곱한 결과를 링크 평균속도에 기초한 차종별 차량운행비 원단위와 곱하여 개별 링크의 차량운행비를 산출하였으며 이러한 산정식을 분석 도로망 내에 있는 모든 링크를 대상으로 합한 뒤 사업미시행시와 사업시행시의 비교된 차액을 운행비용의 절감편익으로 산출하였다.

차종별 링크 주행속도는 상이한 것이 현실적이나 현재의 통행배정 모형화에서 이를 반영하기는 어려우므로 차량편익 산정을 위한 차종별 속도의 구분은 없는 것을 전제로 하였다.

〈표 Ⅳ-59〉 차종별·속도별 차량운행비용 (2009년 기준)

(단위: 원/km)

차종	속도	유류비	엔진 오일비	타이어 마모비	유지 관리비	감가 상각비	합계
승용차	10	83.83	8.51	0.59	9.83	255.52	358.28
	20	50.55	7.08	1.08	11.60	217.77	288.08
	30	42.99	6.15	1.66	13.75	185.84	250.39
	40	38.83	5.18	2.41	14.28	156.79	217.48
	50	39.67	5.18	3.06	16.08	133.56	197.55
	60	41.17	5.18	3.90	16.96	120.49	187.70
	70	43.44	5.18	4.81	17.85	110.34	181.62
	80	44.52	4.72	5.80	19.65	98.73	173.41
	90	48.42	4.25	7.05	20.17	91.46	171.35
	100	52.20	5.18	8.38	21.42	85.07	172.25
	110	56.48	6.62	10.20	23.75	77.82	174.86
	120	63.31	9.92	12.11	25.90	68.81	180.05
소형버스	10	99.92	8.64	0.45	9.87	596.72	715.60
	20	65.98	7.82	0.83	11.13	492.97	578.73
	30	51.49	6.99	1.35	12.26	404.75	476.85
	40	49.96	6.17	1.87	12.65	337.30	407.95
	50	41.95	6.17	2.41	13.91	290.58	355.02
	60	45.61	5.76	3.00	14.55	256.86	325.77
	70	48.20	5.36	3.75	15.19	230.91	303.41
	80	49.96	4.94	4.58	16.45	207.57	283.51
	90	54.79	4.53	5.55	18.09	190.45	273.42
	100	58.60	4.53	6.61	19.48	176.43	265.65
	110	65.98	4.94	8.03	21.14	160.87	260.96
	120	73.86	5.76	9.76	22.77	147.89	260.03
대형버스	10	242.70	16.91	1.19	15.32	370.56	646.68
	20	169.89	14.44	1.92	17.58	322.75	526.58
	30	111.39	12.34	2.83	19.60	262.98	409.14
	40	80.90	11.28	3.94	20.28	215.17	331.57
	50	76.36	10.22	5.27	23.21	182.89	297.96
	60	79.02	9.51	6.84	25.91	161.38	282.65
	70	89.41	8.80	8.62	27.04	147.03	280.90
	80	99.92	8.10	11.01	31.55	131.48	282.06
	90	111.39	9.16	13.75	34.47	115.95	284.73
	100	128.22	10.92	17.02	36.72	103.99	296.88
	110	151.00	13.38	20.67	38.98	94.43	318.47

<표 Ⅳ-48>의 계속

차종	속도	유류비	엔진 오일비	타이어 마모비	유지 관리비	감가 상각비	합계
소형트럭	10	98.50	9.15	0.68	13.90	267.92	390.15
	20	65.98	8.28	1.24	15.68	221.33	312.50
	30	51.10	7.40	2.04	17.28	181.72	259.54
	40	48.53	6.53	2.83	17.82	151.43	227.14
	50	54.79	6.53	3.63	19.59	130.45	215.00
	60	62.91	6.10	4.54	20.49	115.31	209.35
	70	76.36	5.67	5.67	21.37	103.67	212.75
	80	104.56	5.23	6.92	23.16	93.20	233.07
	90	109.60	4.80	8.38	25.47	85.50	233.75
	100	130.69	4.80	9.97	27.44	79.20	252.10
중형트럭	10	98.50	12.55	2.57	30.07	379.99	523.68
	20	65.98	11.34	4.07	32.04	321.52	434.95
	30	51.10	10.13	5.78	34.01	282.56	383.57
	40	48.53	8.91	7.91	36.15	238.71	340.22
	50	54.79	8.10	10.48	39.93	209.48	322.77
	60	62.91	7.30	13.02	42.71	187.54	313.49
	70	76.36	6.89	15.81	47.98	170.50	317.54
	80	104.56	6.07	19.66	52.58	155.89	338.75
	90	109.60	6.89	23.51	58.33	142.74	341.06
	100	130.69	7.70	28.21	62.44	132.99	362.03
대형트럭	10	308.88	15.32	3.03	35.87	349.38	712.48
	20	242.70	13.69	5.27	45.30	286.98	593.95
	30	174.25	11.74	7.98	53.81	237.07	484.84
	40	128.22	10.43	11.33	56.64	199.65	406.28
	50	123.57	9.62	14.84	59.47	165.95	373.45
	60	138.69	8.64	19.63	66.08	143.49	376.53
	70	158.02	7.66	24.57	66.08	128.53	384.86
	80	183.65	6.36	31.28	75.52	112.29	409.10
	90	219.21	6.85	39.43	87.79	109.81	463.09
	100	261.36	7.66	48.37	97.23	98.57	513.19

차량운행비용 절감 편익 산정 시 지침에 제시된 총 차량운행비용은 고속도로(도시고속국도)의 운행비용이므로 고속도로의 연료소비 향상률을 고려하여 일반도로(국도, 지방도 등)의 차량운행비용은 승용차 125%, 버스 115%, 트럭 120% 만큼 할증하여 적용하였다.

산출된 각 링크의 차량운행비용을 분석 도로망 내에 있는 모든 링크를 대상으로 합한 뒤 사업 미시행시와 사업 시행시의 비교된 차액을 운행비용 절감 편익으로 산출하였다. 분석 각 년도의 차량운행비용 절감 편익(VOCS)은 다음과 같다.

$$VOCS = VOC_{\text{사업미시행}} - VOC_{\text{사업시행}}$$

여기서, $VOC = \sum_{l} \sum_{k=1}^{3} (D_{kl} \times VT_k \times 365)$,

D_{kl} : 링크 l의 차종별 대·㎞

VT_k : 해당속도에 따른 차종별 차량운행비용

k : 차종(1 : 승용차, 2 : 버스, 3 : 화물차)

나. 통행시간 절감 편익

통행배정 결과로 산출된 링크의 통행시간과 차종별 교통량의 곱을 이용하여 총 통행시간을 산출함. 사업미시행시와 사업 시행시에 대해 수단별로 산출된 총 통행시간에 시간가치를 적용하여 총 통행시간 비용을 산출한 후 비교된 차액을 통행시간 절감 편익으로 산출하였다.

분석 각 연도의 통행시간 절감편익(VOTS)계산식은 다음과 같다.

$$VOTS = VOT_{\text{사업미시행}} - VOT_{\text{사업시행}}$$

여기서, $VOT = \left\{ \sum_{l} \sum_{k=1}^{3} (T_{kl} \times P_k \times Q_{kl}) \right\} \times 365$

T_{kl} : 링크 l의 차종별 통행시간

P_k : 차종별 시간가치

Q_{kl} : 링크 l의 차종별 통행량

통행시간 절감 편익산출에 사용할 통행수단별 운전자의 통행시간가치는 다음 표와 같이 제시하고 있으며, 버스 및 승용차 승객의 경우 승용차 운전자의 통행시간가치를 사용하도록 하고 있다.

1) 통행시간가치

통행시간가치는 통행목적(업무통행과 비업무통행)에 따라 크게 달라진다. 업무통행의 경우 통행시간이 절감된 만큼 생산 활동이 증가될 수 있으며 통행자의 인건비는 최소한의 생산 활동의 가치를 나타낸다고 할 수 있으므로 업무통행의 시간가치는 인건비라고 가정한다. 승용차 이용 통행자의

2009년 기준 업무목적 통행시간가치는 20,040원/인-시간, 비업무목적 통행시간가치는 6,554원/인-시간이며, 버스운전자의 업무목적 통행시간가치는 11,005원, 버스이용자의 비업무목적 통행시간 가치는 3,266원/인-시간이고, 트럭운전자의 통행시간가치는 17,830원으로 제시되었다. 본 조사에서 사용하는 차종별 통행시간가치의 원단위는 다음 표와 같다.

〈표 Ⅳ-60〉 차량 1대당 평균 통행시간가치 (수도권: 2009년 기준)

구분	승용차		버스		화물차		철도(1인당)	
	업무	비업무	업무	비업무	업무	비업무	업무	비업무
재차 인원(인)	0.226	1.104	1.509	12.711	1	0	0.08	0.92
시간가치(원)	18,626	6,091	10,228(1인) 18,626(0.509인)	3,036	16,571		18,626	3,729
시간가치(원/대·시)	4,213	6,726	19,708	38,591	16,571		1,490	3,431
평균시간가치(원/대)	10,939		58,299		16,571		4,867	
평균시간가치(원/대) (2009년기준)	11,770		62,730		17,830		5,237	

주: 1) 수단별 통행목적 비율의 경우 예비타당성지침5판(2002년 서울시 가구통행실태조사)참고.
2) 수도권 5차 자료의 경우 수단별 통행목적비율이 조사되어 있지 않음.
3) 소비자물가지수를 이용하여 2008년 자료로 보정
자료: 수도권교통본부, 『수도권 장래교통 수요예측 및 대응방안 연구』, 2009. 2.

2) 유료도로 통행료 반영

유료도로의 통행시간 절감편익을 산정할 때 발생하는 문제점은 통행료를 시간으로 환산한 가치의 변화가 통행시간의 변화로 반영된다는 것이다. 예비타당성조사에서는 이용자가 지불하는 요금, 즉 통행료가 교통수요 추정을 위한 통행배정과정에서 시간비용과 함께 일반화비용(시간단위)으로 환산되어 반영되고 있다.

$$\text{일반화비용 } T=[60\times(L/S_M)+D]\cdot[1+\alpha(V/C)^{\beta}] + (\text{구간거리}\times\ \text{가중치})$$

여기서 (구간거리 × 가중치)는 유료도로를 통행할 때의 금전적 비용을 시간으로 환산한 값이며, 이는 도로 이용자의 경로선택이 통행료에 의해 영향을 받는 행태를 반영하기 위한 것이다. 링크 속성을 위와 같이 정의하여 통행시간 절감편익을 산정한다면 유료도로에서의 통행시간 변화는 단순히 통행시간의 변화만을 반영하는 것이 아니라, 통행요금의 변화를 포함한 통행시간의 변화까지도 반영하게 된다. 따라서 유료도로 통행료의 변화는 사회적인 관점에서 이전 지출에 불과하므로 유료도로 통행료 수입의 변화를 통행시간 절감편익에서 제거해야 한다. 즉 도로 이용자들이 지불하는

통행료는 소비자의 비용인 동시에 도로공사의 수입이므로 경제적 편익 산정에는 영향을 미치지 않는다.

본 조사에서는 통행료를 고려한 일반화 비용함수를 고속국도와 민자 고속도로에 적용하였으므로 사업시행 전·후의 고속국도 운영자의 수입변화를 계산하여 운영자 수입변화 편익으로 계산하였다. 고속국도 운영자 수입 편익은 사업 시행 전·후의 통행배정을 통해 산출되는 (고속국도 링크 교통량×링크거리)의 변화량에 km당 통행요금을 곱하여 계산하였다.

다. 교통사고비용 절감 편익

1) 교통사고 비용 절감 편익 산출과정

교통사고비용은 교통사고로 발생된 모든 경제적 손실을 화폐가치로 환산한 것으로 경제적 손실은 개인에게 발생하는 손실 외에 사회 전체에서 발생하는 손실까지 포함된 개념이다. 따라서 직접적인 손실비용, 교통사고 처리비용, PGS 비용이 교통사고비용이라고 할 수 있다.

도로 유형별로 교통사고의 발생 현황이 다르기 때문에 교통사고 유형별로 비용을 산정하였다. 지역 간 통행에서 교통사고비용 절감편익을 산출하는 식은 다음과 같다.

$$VICS = VIC_{\text{사업미시행}} - VIC_{\text{사업시행}}$$

여기서, $VIT = \sum_{t=1}^{3}\sum_{s=1}^{2}(A_{ts} \times P_s \times VL_{ts})$

A_{ts} = 도로유형별·사고유형별 백만-㎞당 교통사고건수

P_s = 사고유형별 사고비용

VL_t = 연간 도로유형별 운행거리(백만-㎞)

t = 도로유형 (1: 고속도로, 2: 국도, 3: 지방도)

s = 사고유형 (1: 사망, 2: 부상)

2) 도로/사고 유형에 따른 원단위 적용

도로 유형에 따라 사상자의 수가 상이함에 따라 도로 유형에 따른 1억대·㎞당 사망자수 및 부상

자수자수를 적용하였다. 도로유형별 교통사고 사상자 수는 다음과 같다.

〈표 Ⅳ-61〉 도로 유형별 교통사고 발생비율

도로 유형	km당 사고건수	1억대·km당 사망자수	1억대·km당 부상자수
고속국도	1.09	0.79	16.97
일반국도	2.49	3.11	107.27
지방도	0.94	2.40	73.61
특별광역시도	4.86	-	-
시·군도	1.32	-	-

주: 기타 도로는 제외하였음.
자료: 1) 경찰청, 『교통사고통계』, 2008.
2) 건설교통부, 『2007 도로교통량통계연보』, 2008.

사고 유형에 따라 경제적 손실이 다르므로 사고 유형별 교통사고 비용 원단위를 적용하였다. 직접적인 손실비용을 포함한 사상자 1인당 비용으로 환산하면 사망 약 5억5천만원, 부상 약 2천2백만원에 이른다.

〈표 Ⅳ-62〉 도로부문의 교통사고 비용 원단위(2009년 기준)

(단위: 만원)

구 분		사망	부상
사상자 1명당	PGS 제외	45,127	558
	PGS 포함	56,744	2,319
사고 1건당	PGS 제외	2,792	
	PGS 포함	4,475	

주: 1) PGS 제외 비용 = 순평균비용(위자료, 장례비, 생산손실비, 의료비 및 기타)+교통경찰비용+보험행정비용
2) 부상의 경우에는 PGS 비용 중 가중평균 값을 적용
자료: 1) 도로교통안전관리공단, 『07. 도로교통 사고비용의 추계와 평가』, 2008.
2) 한국교통연구원, 『2005년 교통사고비용 추정』, 2007.

본 연구에서 영향권 내에 있는 도로는 대부분 도시내 도로이기 때문에 지역간 비율을 직접적으로 적용할 수 없다. 그러나 도시내 도로에 대한 사고비용 추정치가 없기 때문에 이와 특성이 비슷한 고속도로와 국도의 사고비용을 적용하였다.

라. 환경비용 절감 편익

1) 대기오염 절감 편익

교통시설사업 시행의 환경비용은 기본적으로 다음의 단계를 거쳐서 산정한다. 우선, 자동차 주행으로 인해 발생하는 오염물질별 배출계수를 산정한 후 오염물질 단위당 환경피해비용을 산출한다. 사업시행으로 인한 오염원별, 오염물질 배출량의 변화를 산정하고, 오염물질별 환경피해비용 원단위를 곱하여 화폐 가치화하였다.

예비타당성조사 표준지침에서 제시하고 있는 차종별·속도별 대기오염 비용을 기준으로 환경비용 절감 편익을 산출하였다. 환경비용 절감 편익은 차량운행비용의 산출 과정과 동일한 방법으로 산출하였다. 한편, 차종별·속도별 대기오염 비용은 다음과 같다.

〈표 Ⅳ-63〉 차종별·속도별 대기오염비용 원단위(2009년 기준)

(단위: 원/km)

속 도	승용차	소형버스	중형버스	대형버스	소형트럭	중형트럭	대형트럭
10	72.70	54.56	163.58	429.58	65.54	257.25	650.05
20	36.99	37.16	108.07	318.83	45.02	175.28	483.76
30	25.47	29.78	83.39	268.06	36.33	139.62	407.94
40	19.71	26.27	68.72	237.11	30.88	118.49	361.42
50	16.25	24.00	59.68	215.62	27.94	103.02	329.83
60	13.94	23.36	53.81	0.00	26.07	91.42	305.90
70	12.25	23.85	50.59	0.00	25.12	83.87	287.09
80	10.99	25.48	49.65	0.00	25.12	79.97	271.74
90	9.99	28.23	53.71	0.00	26.01	79.52	258.95
100	9.19	32.06	64.49	0.00	27.75	82.41	248.02

주: 대형버스는 시내버스를 의미하며, 시내버스 이외의 대형버스는 대형트럭의 배출계수 적용함.
자료: KDI, 「도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제5판)」, 2009.

2) 소음 절감 편익

소음 절감 편익은 사업 시행으로 인한 소음 변화량과 단위 소음 당 원단위를 곱하여 산정한다. 예비타당성조사지침 5판은 사업 미시행 시와 사업 시행 시의 발생 소음도를 고속도로와 일반도로(국도 및 지방도 등) 등 도로 유형별 소음 예측식을 통해서 산출하는 방법을 사용한다. 단위 소음 당 원단위는 유지비용법을 적용하여 단위소음량(1dB) 저감을 위해 필요한 유지관리비용(방음벽 설치비용)으로 산출하고, 소음비용은 최대 발생가능 소음도에 대한 저감비용을 가정한 것이므로 첨두

시 교통량에 대한 소음도만 추정한다.

고속도로의 소음도 예측식은 도로공사 식을 이용하고 일반도로의 소음도 예측식은 국립환경연구원식을 이용하는데 이는 다음과 같다.

<고속도로의 소음예측식-도로공사식>

L_{eq} : 등가소음도(dB)

$= PWL + 10\log\left(\frac{1}{4\times d\times s}\right) + \Delta L_i + a_i + ad$

PWL : 73.4 + [20logV + 10log(a1 + 3.8a2)]

a1 = 소형차혼입율(승용차 통행 비율),

a2 = 대형차혼입율(버스 및 트럭 통행 비율)

a1 + a2=1

$\Delta L_i, a_i, ad$: 도로교통 소음도의 보정치로서 '0'으로 처리

평균이격거리(d) : 음원에서 수음점까지 거리(m)(도시부 27.9, 지방부 59.0 적용)

s : 평균차두간격

= 1,000×V/Q, V= 차량주행속도(㎞/hr), Q = 평균교통량(대/hr)

<일반도로의 소음도 예측식(국립환경연구원식)-도로단에서 10m 이상 지역>

$$L_{eq} = 1.1\times[20 + 10\log\left(\frac{Q\ V}{l}\right) - 9\log\gamma_a + C]$$

L_{eq} : 등가소음도(dB)

Q : 1시간당 등가교통량(대/hr) = 소형차(승용차) 통과대수+[대형차 통과대수(버스 및 트럭)×10]

V : 평균차속(㎞/hr)

l : 가상주행 중심선에서 도로단까지 거리 + 기준거리(계산방식은 표 참조)

r_a : 기준거리에 대한 도로단에서 예측지점까지의 거리비(계산방식은 표 참조)

C : 상수, C는 Q를 교통량(대/hr)이라 정의할 때,

15,000 < Q 이면 C = -5.5

10,000 < Q ≤ 15,000이면 C = -4

5,000 < Q ≤ 10,000이면 C = -2.5

2,000 < Q ≤ 5,000이면 C = -1

Q ≤ 2,000이면 C = 0

〈표 Ⅳ-64〉 일반도로 소음도 예측식 이격거리 관련 파라미터

(단위: m)

변 수	설명 및 계산	적용 수치		비 고
		도시부	지방부	
평균 이격거리	음원~수음점간 거리	27.9	59.0	
도로폭	가상주행중심선 ~도로단간 거리	6.1	5.3	도로폭(차로)과 도로특성에 따라 별도 수치 적용가능
기준거리		10	10	
l	도로폭+기준거리	16.1	15.3	
r_a	(평균 이격거리 - 도로폭) / 기준거리	2.2	5.4	

〈표 Ⅳ-65〉 소음가치의 원단위(2009년 기준)

(단위: 원/dB · 년 · m)

구 분	도시부	지방부	평 균
소음가치의 평균 원단위	4,023	1,736	2,048

주: 소비자 물가지수를 이용하여 2009년 자료로 보정한 것임.

소음 절감 편익의 산정식은 다음과 같다.

$$EVN = EVN^O - EVN^C$$

여기에서, EVN : 소음비용(편익)

EVN^O : 사업미시행시 소음비용

EVN^C : 사업시행시 소음비용

$$EVNk = \sum_i \sum_j P\ lij\ Lij$$

P : 소음가치의 원단위

lij : 대상노선연장길이

Lij : 예측소음도

i : 도로 및 철도 구분(일반도로, 고속도로, 일반철도, 고속철도 등)

j : 영향권 내 개별링크, k(0=사업미시행시, c=사업시행시)

3. 편익 산정

총 편익은 차량운행비용 절감편익, 통행시간 절감편익(운영자 수입분 제외), 교통사고비용 절감편익, 환경비용 절감편익의 합으로 산정된다. 총 편익 중 통행시간 절감편익이 가장 큰 비중을 차지하였고, 그 다음으로 차량운행비용, 환경비용, 사고비용 등의 순으로 나타났다.

<표 Ⅳ-66> 편익추정결과 (송도 신도시)

(단위: 억원/년)

연도	통행시간 절감편익	운행비용 절감편익	교통사고 절감편익	환경비용 절감편익	편익소계
2016년	73.9	19.8	8.4	10.5	112.6
2021년	108.0	28.7	10.4	15.4	162.4
2026년	108.5	31.6	13.6	17.4	171.1
2031년	108.3	30.5	11.7	16.4	166.8
2036년	108.2	30.0	10.9	16.2	165.3

<표 Ⅳ-67> 편익추정결과 (상암 DMC)

연도	통행시간 절감편익	운행비용 절감편익	교통사고 절감편익	환경비용 절감편익	편익소계
2016년	38.4	13.3	4.7	7.1	63.4
2021년	41.8	14.6	5.2	7.5	69.0
2026년	41.9	15.1	5.5	7.7	70.2
2031년	41.8	14.7	5.1	7.4	69.0
2036년	41.8	14.2	5.1	7.4	68.5

제Ⅴ장 경제성 분석

제1절 경제성 분석의 전제

1. 경제성 분석 방법

경제성 분석은 각 대안별 수요를 기초로 대안별로 비용과 편익을 분석하여 경제적으로 사업의 시행이 타당한지를 알아보는 것이다.

비용-편익 분석방법은 계량화가 불가능한 항목을 분석에 포함시키지 못하고, 편익의 배분문제를 고려하지 못한다는 단점이 있지만, 평가과정에서 비교적 객관성을 유지할 수 있다는 장점이 있다.

경제적 타당성 판단은 다음 3가지 지표를 통해 산정한다.

○ 편익/비용 비율(B/C)

편익/비용 비율은 총 편익과 총 비용의 할인된 금액의 비율, 즉 장래에 발행할 비용과 편익을 현재가치로 환산해서 편익을 비용으로 나눈 것이다. 일반적으로 편익/비용 비율이 1보다 같거나 큰 경우 경제성이 있다고 판단할 수 있다.

$$\text{편익·비용비율}(B/C) = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서, B_t : 편익의 현재가치
C_t : 비용의 현재가치
r : 할인율(이자율)
n : 교통사업의 내구년도(분석년도)

○ 순현재가치(NPV)

순현재가치란 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준연도의 현재가치로 환산하여 총 편익에서 총 비용을 차감한 값이며, 이 값이 0보다 크거나 같을 경우 경제성이 있다고 판단한다.

$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서, B_t : 편익의 현재가치
C_t : 비용의 현재가치
r : 할인율(이자율)
n : 교통사업의 내구년도(분석년도)

○ 내부수익률(IRR)

내부수익률은 편익과 비용을 현재가치로 환산한 값이 같아지는 할인율을 구하는 방법으로서 사업 시행에 의한 순현재가치를 0으로 만드는 할인율이다. 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단한다.

$$\text{내부수익률}(IRR): \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서, B_t : 편익의 현재가치
C_t : 비용의 현재가치
r : 할인율(이자율)
n : 교통사업의 내구년도(분석년도)

각 평가지표의 장·단점 등을 개략적으로 살펴보면 다음과 같다.

〈표 Ⅴ-1〉 경제성 분석기법의 비교

분석기법	장 점	단 점
편익/비용비율	- 이해용이 - 사업규모 고려 가능 - 비용편익 발생기간의 고려	- 편익과 비용의 명확한 구분 곤란 - 상호배타적 대안선택의 오류발생 가능 - 사회적 할인율의 파악
내부수익률	- 사업의 수익성 측정 가능 - 타 대안과 비교가 용이 - 평가과정과 결과 이해가 용이	- 사업의 절대적 규모 고려치 않음 - 몇 개의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성 내제
순현재가치	- 대안 선택시 명확한 기준 제시 - 장래발생편익의 현재가치 제시 - 한계 순현재가치 고려 - 타 분석에 이용가능	- 할인율의 분명한 파악 - 이해의 어려움 - 대안 우선순위 결정시 오류발생 가능

2. 경제성 분석 기준

가. 기준연도 및 기준가격

본 사업에서는 경제성 분석의 기준연도를 2010년, 건설기간을 2012년~2015년, 운영기간을 개통년도인 2016년 이후 30년, 즉 2045년으로 설정하여 분석을 수행하였다.

- ○ 분석 기준연도 : 2010년
- ○ 사업기간 : 2012~2015년
- ○ 분석기간: 2016년 ~2045년 (운영기간 30년)

나. 사회적 할인율

본 연구에서 사회적 할인율은 5.5%로 분석하였다.

제2절 경제성 분석 결과

1. 경제성 분석 결과

본 사업 시행으로 인한 경제성 분석 결과는 아래 표와 같다.

〈표 Ⅴ-2〉 경제성 분석 결과 요약

(단위: 억원, %)

구 분	할인비용	할인편익	B/C	NPV	IRR
송도 신도시	2,646.6	1,659.8	0.63	-986.8	-3.95
상암 DMC	1,371.1	719.1	0.52	-651.9	-9.91

2. 민감도 분석 결과

타당성을 평가하기 위해서는 사용되는 경제성 평가의 편익과 비용의 계산에는 많은 불확실성이 내포되어 있다. 불확실성에 대처하기 위해서는 민감도 분석(sensitivity analysis)을 많이 시행하는데, 민감도 분석은 투자비나 경제성에 영향을 미칠 수 있는 중요한 변수, 예를 들어서 비용, 편익, 할인율 등에 대해서 각 변수가 일정량만큼 변화되었을 경우 경제성이 어떻게 변화하는지 파악하는 방법이다.

다음 표에서는 민감도 분석을 위해서 편익변화와 비용변화를 ±20%까지 10%포인트씩 변화시켰다. 분석결과, 편익비용비율은 편익 및 비용의 변화에서 대부분 경제성이 확보되지 않는다.

〈표 Ⅴ-3〉 편익 및 비용변화에 따른 민감도 분석 결과 (송도신도시)

(단위: 억원)

구 분		구분	-20	-10	0	10	20
변화항목	편익	할인비용	2,646.6	2,646.6	2,646.6	2,646.6	2,646.6
		할인편익	1,327.8	1,493.8	1,659.8	1,825.7	1,991.7
		B/C	0.50	0.56	0.63	0.69	0.75
	비용	할인비용	2,117.2	2,381.9	2,646.6	2,911.2	3,175.9
		할인편익	1,659.8	1,659.8	1,659.8	1,659.8	1,659.8
		B/C	0.78	0.70	0.63	0.57	0.52

〈표 Ⅴ-4〉 편익 및 비용변화에 따른 민감도 분석 결과 (상암 DMC)

(단위: 억원)

구 분		구분	-20	-10	0	10	20
변화항목	편익	할인비용	1,371.1	1,371.1	1,371.1	1,371.1	1,371.1
		할인편익	575.3	647.2	719.1	791.0	863.0
		B/C	0.42	0.47	0.52	0.58	0.63
	비용	할인비용	1,096.8	1,233.9	1,371.1	1,508.2	1,645.3
		할인편익	719.1	719.1	719.1	719.1	719.1
		B/C	0.66	0.58	0.52	0.48	0.44

다음으로는 할인율 변화에 따른 민감도 분석을 실시하였다. 분석결과, 할인율 변화는 편익 및 비용의 변화에서 대부분 경제성이 확보되지 않는다.

〈표 Ⅴ-5〉 할인율 변화에 따른 민감도 분석 결과

(단위: 억원)

구 분		구분	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
할인율 변화	송도신도시	할인비용	2948.7	2790.9	2,646.6	2514.2	2392.6
		할인편익	1979.5	1810.9	1,659.8	1524.1	1402.0
		B/C	0.67	0.65	0.63	0.61	0.59
	상암 DMC	할인비용	1521.0	1442.8	1,371.1	1305.2	1244.5
		할인편익	854.2	783.0	719.1	661.7	610.0
		B/C	0.56	0.54	0.52	0.51	0.49

3. 소결

경제성 분석 결과 PRT 시스템을 송도신도시에 적용한 결과 B/C 0.63, 상암DMC의 경우 B/C 0.52로 분석되었다. 이는 상위연구에서 주어진 분석대상지역과 PRT 운영시나리오를 근거로 산출된 결과치로 실제 PRT가 도입될 지역이나 운영시나리오에 따라 경제성 분석 결과는 다르게 나타날 가능성도 있다.

특히, 도입지역, 정거장의 위치와 노선 설계에 따라 수요 예측치가 달라질 수 있으며 경제성 분석 결과 또한 변동이 될 수 있다. 예를 들어 도입가능지역이 PRT 노선에 적합하고 수요 창출을 위한 노선 설계와 운영시나리오가 달라진다면 지금의 편익 결과치와 다른 결과가 나타날 가능성이 있다.

그리고 신도시 계획단계부터 PRT를 기반으로 하는 교통체계를 구축하고, 보행자와 타 교통류의 통행에 영향을 최소화하는 도시기반 설계를 하여 도입한다면 경제성 분석결과에 차이가 나타날 수도 있을 것이다. 그러나 현재 인구감소가 예측되고 있는 상황에서 대규모 신규 계획도시의 개발 가능성이 줄어들고, 대규모 신도시 개발에는 상당한 장기간이 소요됨을 고려하여야 할 것이다.

또한, 본 연구의 민감도 분석결과 편익의 민감도에 따른 분석결과를 살펴보면 비용이나 편익이 20% 정도 변화하더라도 경제성이 높게 나타나지 않는다. 따라서 현시점에서 볼 때 PRT 도입에 있어서 분석의 가정이 변화하게 되더라도 경제적 타당성이 있을 것이라고 일반화하기엔 어려움이 따를 것으로 보인다.

제Ⅵ장 재무성 분석 및 민자연계방안

재무성 분석은 경제적 타당성이 있는 사업이 민간투자주체에게도 타당성이 있는지를 검토하는 과정이다. 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)』(이하 '일반지침')에 의하면 편익/비용 비율이 0.9을 상회하는 사업에 대하여 민간투자가능성 검토의 일환으로 재무적 타당성 평가를 수행하도록 하고 있다. 또한 비록 민간이 추진하기에 수익성이 부족한 사업의 경우라 하더라도 공공부문이 추진하는 것보다 효율성·창의성 등의 측면에서 우수한 민간이 추진하는 것이 바람직하다고 판단되는 경우 적정 재정지원규모 산정을 위해 재무적 타당성 평가를 수행할 필요가 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 본 사업은 편익/비용 비율이 1.0을 하회하여 경제적 타당성이 없는 것으로 나타나지만, 분석의 정밀성을 제고하고, 적정 재정지원 규모 산정을 위해 재무성 분석을 실시하였다.

제1절 재무성 분석의 전제

1. 기본전제

가. 분석 시나리오

재무성 분석은 송도신도시 및 상암 DMC에 대하여 각각 수행하였다.

나. 분석 기간

재무성 분석의 분석 대상 기간은 운영 개시 후 30년까지로 설정하였으며, 건설기간은 준비기간을 포함하여 3.5년으로 설정하였다. 한편, 분석기준 시점은 경제성분석과 동일한 2010년말로 설정하였다.

◦ 건설기간 : 2012.7.1 ~ 2015.12.31 (3.5년)

◦ 운영기간 : 2016.1.1 ~ 2045.12.31 (30년)

다. 재무적 할인율

분석 대상사업에서 기대되는 현금흐름의 현재가치를 계산하기 위해서는 추정된 현금흐름을 적정 수준의 재무적 할인율로 할인하여야 한다. 이때 사용되는 적절한 할인율은 가중평균자본비용으로서, 각 자금조달 원천별(자기자본, 타인자본) 자본비용을 자금의 구성비에 의해 가중평균한 것이다.

$$r_0 = [(1-T) \times r_b \times L] + [r_s \times (1-L)]$$

r_0 : 가중평균자본비용

r_b : 타인자본비용(=부채의 자본비용)

r_s : 자기자본비용(=주식의 자본비용)

T : 법인세비율

L : 부채비율(=부채/자기자본)

1) 부채의 자본비용 추정

○ 무위험이자율의 추정

무위험이자율은 5년 만기 국고채 유통수익률을 근거로 하여 추정한다. 투자사업이 5년을 훨씬 초과하는 기간에 걸쳐 현금흐름이 발생하므로 만기일이 보다 긴 채권의 유통수익률을 근거로 하는 것이 바람직하나, 5년 만기 국고채는 유동성이 높아 시장의 상황을 가장 포괄적으로 반영할 수 있는 장점이 있다. 현재 시점의 유통수익률이 단기적 수급불균형으로 인해 편의가 있을 수 있음을 감안하여 5년 만기 국고채 유통수익률의 최근 10년간의 평균치를 무위험이자율로 사용한다. 이번 분석에서는 무위험이자율은 최근 10년간(2000~2010년) 5년 만기 국고채 유통수익률의 평균치인 5.4%를 이용하도록 한다.

한편 SOC투자의 경우, 장기간 자본이 묶여 있어야 하는 것에 대한 보상으로 유동성 프리미엄을 가산해야 한다. 따라서 미국 국채 금리스프레드(3~30년 만기)의 과거 20년간 평균(약 1.1%, 일반지침)을 감안하여 6.5%를 장기 무위험이자율로 사용한다.

○ 채무불이행 프리미엄 추정

부채의 자본비용은 장기 무위험이자율에 채무불이행 위험에 대한 프리미엄(가산금리)을 가산하여 계산한다. 민간투자사업의 경우 채무불이행에 처할 가능성이 낮으므로 부채의 체계적 위험은 낮

을 것으로 보이나, 상대적으로 많은 부채가 사용됨을 감안하여 장기 무위험이자율에 과거 3년간의 3년 만기 국고채수익률과 3년 만기 회사채 수익률의 차이를 채무불이행 위험에 대한 가산금리로 간주한다.

장기 무위험이자율에 부채의 가산 금리를 적용해서 부채의 자본비용을 설정하는데 국고채와 회사채 금리 스프레드가 최근 축소되는 추세를 반영하여 부채가산금리를 일반지침에서 적용한 1%를 적용하여 부채의 자본비용을 7.5%로 적용한다.

2) 주식의 자본비용 추정

주식의 자본비용은 무위험이자율과 위험보상률의 합으로 구성된다. 할인율과 이를 구하기 위한 위험보상률은 CAPM(Capital Asset Pricing Model)을 이용하여 측정한다.

$$r_j = r_f + \beta_j \times (r_m - r_f)$$

여기서, r_j는 투자사업 j에 대한 자기자본비용을, r_m은 시장기대수익률을, r_f는 무위험이자율을, β_j는 투자사업의 체계적 위험을 나타낸다.

a. 시장위험 프리미엄의 추정

시장의 위험프리미엄인 $(r_m - r_f)$는 비교적 안정적인 시계열 특성을 가지고 있으므로 선진 11개국의 지난 30여년간의 $(r_m - r_f)$인 약 6%(일반지침)를 사용한다.

b. 체계적 위험의 추정

주식의 체계적 위험은 영업위험과 재무위험을 모두 반영하므로 우선 영업위험만을 먼저 산출하고 재무위험에 따라 그 규모를 조정하는 방법을 따르도록 한다. 영업위험은 보통 자산의 베타(β_u)로 측정하는데, 본 분석에서는 일반지침에 명시된 국내 400대 기업의 자산베타의 중앙값인 0.515를 사용한다.

현재 정부고시사업이 민간자본으로 추진되는 경우, 실제 운영수입이 추정운영수입의 일정수준에 미치지 못하면 그 수준까지는 정부가 손실보전 또는 보조 및 지원을 해주고 있기 때문에 사업자가 부담하는 실제 손실의 크기가 상당 부분 제한될 것이므로 베타로 표시되는 영업위험 수준이 0.515보다 낮을 것으로 예상된다.

주식의 베타(β_s)는 각 기업의 부채비율에 의해 영향을 받게 되므로 민간투자사업의 목표부채비율에 따라 베타를 다음과 같이 조정해야 한다.

$$\beta_s = \beta_u \times [1 + (1 - T) \times (\text{목표부채비율})]$$

여기서, T는 법인세율을 나타낸다.

대기업, 특히 기업집단의 계열기업의 경우 부채비율 200%가 상한으로 되어 있고 부채비율이 200%이상으로 높아지면 채무불이행위험이 가시화될 수 있어 SOC투자사업의 경우도 200%를 목표 부채비율로 가정한다.

3) 가중평균자본비용의 추정

평균자본비용의 추정을 위해 목표부채비율에 의해 조정된 베타를 사용하여 주식의 자본비용을 구하고 이미 구한 부채의 자본비용과 가중평균하여 가중평균자본비용(WACC)을 추정한다. 할인율로 사용할 가중평균자본비용(r_o)은 아래와 같이 산출한다.

$$r_o = [(1 - T) \times r_b \times L] + [r_s \times (1 - L)]$$

단, $L = B/(B+S) = 66.7\%$ (부채비율 200%)

$T = 22\%$로 가정

앞에서 제시한 시장 파라미터의 값을 사용한 명목 할인율 계산절차는 다음과 같다.

〈표 Ⅵ-1〉 명목 재무적 할인율 계산 절차

할인율	계산 절차
부채의 자본비용	· 장기 무위험이자율(r_f) = 6.5% (장기 유동성프리미엄 1.1% 반영) · 부채의 자본비용(r_b) = r_f + 부채가산금리(1%) = 7.5%
주식의 자본비용	· 장기무위험이자율(r_f) = 6.5% · 시장의 위험보상률($r_m - r_f$) = 6% · 자산베타(β_u) = 0.515 · 목표부채비율 = 200% (부채비중 = 66.7%) · 주식의 베타(β_s) = $\beta_u \times [1 + (1 - T) \times (\text{목표부채비율})]$ = $0.515 \times (1 + (1 - 0.22) \times 2.0) = 1.3184$ · 자기자본의 자본비용(r_s) = $r_f + \beta_s \times (r_m - r_f)$ = $6.5\% + 1.3184 \times (6\%)$ = 14.41%
가중평균 자본비용	· $[(1 - T) \times r_b \times L] + [r_s \times (1 - L)]$ = $(1 - 0.22) \times 7.5\% \times 0.667 + 13.91\% \times (1 - 0.667)$ = 8.70%

4) 실질할인율의 계산

미래현금흐름의 예측은 명목가격에 의한 현금흐름보다는 불변가격에 의한 현금흐름 예측이 자의성 개입의 여지가 적기 때문에 불변가격(실질) 현금흐름을 실질 할인율로 할인하는 방식을 취한다. 명목 할인율(r)과 실질할인율(r*)의 관계는 아래 식과 같다.

$$r^* = (1+r) \div (1+\text{기대물가상승률}) - 1$$
$$= (1.087 \div 1.03) - 1 = 5.54\%$$

명목 가중평균자본비용인 8.7%로부터 기대물가상승률 3%를 차감하면 실질 할인율은 5.54%가 된다. 이 수치는 여러 가지 가정에 근거하여 도출된 값으로, 현행 일반지침에서 실질 재무적 할인율로 5.5%를 사용하고 있는 점을 감안하여 본 분석에서는 실질 재무적 할인율로 5.5%를 사용하였다.

라. 물가상승률

물가상승률은 중기 물가안정목표치인 연 3%를 적용하였다.

마. 법인세율

법인세율은 분석기준일 현재의 법인세율인 과세표준 2억원 초과분은 20%, 2억원 이하분은 10%를 기초로 하여, 법인세에 부수되는 주민세(법인세의 10%)를 감안하여 각각 22% 및 11%를 적용하였다.

바. 감가상각

본 분석에서는 민간투자사업의 방식 중 BTO를 전제로 재무성을 분석하는 것이므로 관리운영권에 대하여 운영기간 개시후 30년을 내용연수로 보고 정액법으로 상각하였다.

사. 재원조달구조

일반적인 BTO 민간투자사업의 최소 자기자본비율인 20%를 적용하였다.

아. 타인자본비용

자금흐름의 안정성을 위해 비교적 장기인 10년 거치 20년 분할상환을 가정하였고, 타인자본비용인 이자율은 앞서 재무적할인율 산정시 적용한 부채의 자본비용인 7.5%를 적용하였다.

2. 총사업비

재무성 분석에 적용할 사업비는 경제성 분석시 적용한 사업비에 매입부가가치세 불공제액을 추가하여 적용하였으며, 시나리오별 사업비는 다음과 같다.

〈표 Ⅵ-2〉 총사업비

(단위: 억원,VAT포함)

구분	송도신도시	상암DMC
A. 공사비	1,571	854
A-1. 토목	882	511
A-1-1. 본선	718	395
A-1-1-1. 고가	653	359
A-1-1-2. 노면		
A-1-1-3. 부대	65	36
A-1-2. 정거장	164	116
A-1-2-1. 고가	164	116
A-1-2-2. 노면		
A-2. 시스템	443	244
A-2-1. 전 기	138	76
A-2-2. 신 호	232	128
A-3-3. 통 신	71	39
A-3-4. 충전시스템	2	1
A-3. 차량기지	103	22
A-3-1. 차량기지	103	22
A-4. 부가가치세	143	78
B.부대비	181	101
B-1.조사비	17	9
B-2.설계비	72	40
B-3.감리비	22	12
B-4. SE비용	24	13
B-5.시운전비	45	27
C.용지보상비	13	25
D.예비비	177	98
E.초기차량구입비	118	34
총사업비	2,060	1,112

한편, 연차별 총사업비 내역은 다음과 같다.

〈표 Ⅵ-3〉 연차별 사업비_송도신도시

(단위:억원)

구분	합계	2012년	2013년	2014년	2015년
공사비	1,571		471	628	471
부대비	181	89	14	19	59
용지보상비	13		13		
예비비	177	9	50	65	53
초기차량구입비	118				118
합계	2,060	98	548	712	702

〈표 Ⅵ-4〉 연차별 사업비_상암DMC

(단위:억원)

구분	합계	2012년	2013년	2014년	2015년
공사비	854		256	342	256
부대비	101	49	8	10	34
용지보상비	25		25		
예비비	98	5	29	35	29
초기차량구입비	34				34
합계	1,112	54	318	387	354

3. 운영비용

운영비용 중 인건비는 경제성분석시 적용한 수치를 사용하였고, 동력비, 유지관리비 및 대체투자비는 경제성분석시 적용한 수치에 부가가치세를 포함하였으며, 일반관리비는 경제성분석시 적용한 일반관리비비율(인건비, 동력비, 유지관리비의 7%)을 적용하여 재산정하였다.

시나리오별 운영비용 산정내역은 다음과 같다.

〈표 Ⅵ-5〉 운영비용

(단위: 억원,VAT포함)

구분	송도신도시	상암DMC
인건비	1,763	959
일반관리비	215	105
동력비	685	218
유지관리비	617	320
대체투자비	816	351
합계	4,096	1,953

한편, 연차별 운영비용 내역은 다음과 같다.

〈표 Ⅵ-6〉 연차별 운영비용_송도신도시

(단위:억원)

연도	인건비	일반 관리비	동력비	유지 관리비	대체 투자비	합계
2016	47	6	18	20		91
2017	49	6	19	20		95
2018	52	6	20	20		99
2019	55	7	21	20		103
2020	57	7	22	21		107
2021	60	7	23	21	60	171
2022	60	7	23	21		111
2023	60	7	23	21		111
2024	60	7	23	21		111
2025	60	7	23	21	14	126
2026	60	7	23	21		111
2027	60	7	23	21		111
2028	60	7	23	21		111
2029	60	7	23	21		111
2030	60	7	23	21	7	119
2031	60	7	23	21		111
2032	60	7	23	21		111
2033	60	7	23	21		111
2034	60	7	23	21		111
2035	60	7	23	21	550	662
2036	60	7	23	21		111
2037	60	7	23	21		111
2038	60	7	23	21		111
2039	60	7	23	21		111
2040	60	7	23	21	125	236
2041	60	7	23	21		111
2042	60	7	23	21		111
2043	60	7	23	21		111
2044	60	7	23	21		111
2045	60	7	23	21	60	171
합계	1,763	215	685	617	816	4,096

〈표 Ⅵ-7〉 연차별 운영비용_상암DMC

(단위:억원)

연도	인건비	일반 관리비	동력비	유지 관리비	대체 투자비	합계
2016	32	3	7	11		53
2017	32	3	7	11		53
2018	32	3	7	11		53
2019	32	3	7	11		53
2020	32	3	7	11		53
2021	32	3	7	11	6	59
2022	32	4	7	11		53
2023	32	4	7	11		53
2024	32	4	7	11		53
2025	32	4	7	11	4	58
2026	32	3	7	11		53
2027	32	4	7	11		53
2028	32	4	7	11		53
2029	32	4	7	11		53
2030	32	4	7	11	1	54
2031	32	3	7	11		53
2032	32	4	7	11		53
2033	32	4	7	11		53
2034	32	4	7	11		53
2035	32	4	7	11	299	353
2036	32	3	7	11		53
2037	32	4	7	11		53
2038	32	4	7	11		53
2039	32	4	7	11		53
2040	32	4	7	11	35	88
2041	32	3	7	11		53
2042	32	4	7	11		53
2043	32	4	7	11		53
2044	32	4	7	11		53
2045	32	4	7	11	6	59
합계	959	105	218	320	351	1,953

4. 운영수입

운영수입 추정에 있어 적용한 요금은 직승수요의 경우 2,000원 및 환승수요의 경우 1,100원을 적용하였다.

한편, 적용한 연도별 수요는 다음과 같다.

〈표 Ⅵ-8〉 적용 수요

(단위:명/일)

구분	송도신도시		상암DMC	
	직승수요	환승수요	직승수요	환승수요
2016년	10,676	19,980	7,346	11,383
2021년	15,963	28,860	8,078	12,307
2026년	15,350	29,667	7,896	12,549
2031년	15,692	29,241	7,982	12,427
2036년	15,969	28,959	7,963	12,426

제2절 분석방법

재무적 타당성 분석은 투자주체의 현금흐름을 분석하여 사업성이 있는지를 검토하는 과정이다. 이때 사용되는 분석기법은 일반적으로 순현재가치법과 내부수익율법이 있는데 현금흐름의 시간가치를 반영한다는 본질적인 측면은 동일하나, 그 타당성의 판단기준이 금액으로 나타나는가 아니면 수익률로 나타나는가 하는 측면이 다르다.

1. 순현재가치법(NPV : Net Present Value)

투자의 과실로 얻어지는 미래 현금유입액을 자본비용(=할인율)으로 할인한 현재가치에서 동 투자안에 대한 자본투자액의 현재가치를 차감한 순액이 양수이면 투자안의 사업성이 있다고 평가하며, 음수이면 사업성이 없다고 평가한다.

2. 내부수익률법(IRR : Internal Rate of Return)

당초 투자에 소요되는 지출액의 현재가치가 그 투자로부터 기대되는 현금유입액의 현재가치와 동일하게 되는 할인율로서 동 할인율이 목표수익율보다 크면 사업성이 있다고 평가하고, 작으면 사업성이 없다고 평가한다.

3. 수익성지수법(PI : Profitability Index)

수익성 지수법은 투자로 인하여 발생하는 현금유입의 현재가치를 현금유출의 현가로 나눈 비율로서, 수익성지수가 1보다 크면 재무적 타당성이 있는 것으로 판단한다. 순현재가치법이 어떤 투자안의 재무적 타당성을 절대적 금액으로 측정하는데 비하여 수익성지수법은 투자안의 비용대비 수익의 상대적 비율로서 측정하는 것이다.

본 분석에서는 순현재가치법을 기본적인 분석의 틀로 하고 내부수익률 및 수익성지수를 추가적으로 계산하였다.

제3절 재무성 분석 결과

1. 현금흐름분석

가. 수익성 분석표

시나리오별 수익성 분석표는 다음과 같다.

〈표 Ⅵ-9〉 수익성 분석표_송도신도시

(단위: 억원,불변가)

연도	수입			비용					순현가계
	운임수입	합계		건설비	운영비	법인세	합계		
		할인전	할인후				할인전	할인후	
2012				98			98	88	−88
2013				548			548	467	−467
2014				712			712	575	−575
2015				702			702	537	−537
2016	158	158	115		91		91	66	49
2017	173	173	119		95		95	65	54
2018	188	188	122		99		99	65	58
2019	203	203	125		103		103	64	61
2020	218	218	127		107		107	63	65
2021	232	232	129		171		171	95	34
2022	232	232	122		111		111	59	64
2023	232	232	116		111		111	56	60
2024	232	232	109		111		111	53	57
2025	231	231	104		126		126	56	47
2026	231	231	98		111		111	47	51
2027	231	231	93		111		111	45	48
2028	231	231	88		111		111	42	46
2029	232	232	84		111		111	40	43
2030	232	232	79		119		119	41	39
2031	232	232	75		111		111	36	39
2032	232	232	71		111		111	34	37
2033	232	232	68		111		111	33	35
2034	232	232	64		111		111	31	34
2035	233	233	61		662		662	173	−112
2036	233	233	58		111		111	28	30
2037	233	233	55		111		111	26	29
2038	233	233	52		111		111	25	27
2039	233	233	49		111		111	24	26
2040	233	233	47		236		236	47	−1
2041	233	233	44		111		111	21	23
2042	233	233	42		111		111	20	22
2043	233	233	40		111		111	19	21
2044	233	233	38		111		111	18	20
2045	233	233	36		171		171	26	9
합계	6,746	6,746	2,431	2,060	4,096		6,155	3,084	−652

송도신도시의 경우 수입의 현가는 2,431억원인 반면, 비용의 현가는 3,084억원으로서 순현재가치가 (-)652억원으로 재무성이 없는 것으로 분석되었다.

〈표 Ⅵ-10〉 수익성 분석표_상암DMC

(단위: 억원,불변가)

연도	수입			비용					순현가계
	운임수입	합계		건설비	운영비	법인세	합계		
		할인전	할인후				할인전	할인후	
2012				54			54	48	-48
2013				318			318	270	-270
2014				387			387	313	-313
2015				354			354	271	-271
2016	99	99	72		53		53	38	34
2017	101	101	70		53		53	37	33
2018	103	103	67		53		53	35	32
2019	105	105	65		53		53	33	32
2020	107	107	62		53		53	31	31
2021	108	108	60		59		59	33	27
2022	108	108	57		53		53	28	29
2023	108	108	54		53		53	27	27
2024	108	108	51		53		53	25	26
2025	108	108	48		58		58	26	23
2026	108	108	46		53		53	23	23
2027	108	108	43		53		53	22	22
2028	108	108	41		53		53	20	21
2029	108	108	39		53		53	19	20
2030	108	108	37		54		54	19	18
2031	108	108	35		53		53	17	18
2032	108	108	33		53		53	16	17
2033	108	108	32		53		53	16	16
2034	108	108	30		53		53	15	15
2035	108	108	28		353		353	92	-64
2036	108	108	27		53		53	13	14
2037	108	108	25		53		53	13	13
2038	108	108	24		53		53	12	12
2039	108	108	23		53		53	11	12
2040	108	108	22		88		88	18	4
2041	108	108	21		53		53	10	10
2042	108	108	19		53		53	10	10
2043	108	108	18		53		53	9	9
2044	108	108	17		53		53	9	9
2045	108	108	17		59		59	9	7
합계	3,217	3,217	1,185	1,112	1,953		3,065	1,587	-402

상암DMC의 경우 수입의 현가는 1,185억원인 반면, 비용의 현가는 1,587억원으로서 순현재가치가 (-)402억원으로 재무성이 없는 것으로 분석되었다.

나. 추정 재무제표

1) 추정 손익계산서

시나리오별 추정 손익계산서는 다음과 같다.

〈표 Ⅵ-11〉 추정 손익계산서_송도신도시

(단위: 억원, 경상가격)

구분	합계	2012	2013	2014	2015	2016	2021	2026	2031	2036	2041	2045
매출액	12,548					183	312	360	419	488	565	636
운임수입	12,548					183	312	360	419	488	565	636
매출원가	9,778					180	221	248	274	359	400	1,409
인건비	3,267					54	81	94	109	126	146	164
동력비	1,270					21	31	36	42	49	57	64
유지관리비	1,134					23	28	32	37	43	50	56
감가상각비	1,826					5	5	10	10	65	71	1,049
관리운영권상각	2,280					76	76	76	76	76	76	76
매출총이익	2,770					4	91	112	145	128	165	-773
판관비	397					7	10	11	13	15	18	20
일반관리비	397					7	10	11	13	15	18	20
영업이익	2,373					-3	81	101	131	113	148	-793
영업외비용	5,709					145	164	169	167	244	256	237
이자비용	5,709					145	164	169	167	244	256	237
세전순이익	-3,336					-148	-83	-68	-36	-131	-109	-1,030
법인세												
당기순이익	-3,336					-148	-83	-68	-36	-131	-109	-1,030

주: 운영기간은 5년단위로 해당연도의 수치를 표시하였고, 합계는 분석기간 전체의 합계금액임

송도신도시의 경우 사업전기간에 걸쳐 세전순이익이 음의 값으로 결손을 보이고 있으며, 사업전

기간에 걸쳐 세무상 결손으로 인해 법인세 납부액도 없는 것으로 분석되었다.

〈표 Ⅵ-12〉 추정 손익계산서_상암DMC

(단위: 억원,경상가격)

구분	합계	2012	2013	2014	2015	2016	2021	2026	2031	2036	2041	2045
매출액	5,930					115	146	168	195	226	262	295
운임수입	5,930					115	146	168	195	226	262	295
매출원가	4,782					101	111	122	135	179	197	602
인건비	1,763					37	43	50	58	67	78	87
동력비	402					8	10	11	13	15	18	20
유지관리비	588					12	14	17	19	22	26	29
감가상각비	760					2	2	2	2	32	34	424
관리운영권 상각	1,268					42	42	42	42	42	42	42
매출총이익	1,148					14	35	46	61	47	65	-307
판관비	193					4	5	5	6	7	8	10
일반관리비	193					4	5	5	6	7	8	10
영업이익	956					10	30	41	54	40	56	-317
영업외비용	3,618					78	87	92	100	157	182	199
이자비용	3,618					78	87	92	100	157	182	199
세전순이익	-2,663					-69	-57	-52	-45	-117	-125	-515
법인세												
당기순이익	-2,663					-69	-57	-52	-45	-117	-125	-515

주: 운영기간은 5년단위로 해당연도의 수치를 표시하였고, 합계는 분석기간 전체의 합계금액임

상암DMC의 경우도 사업전기간에 걸쳐 세전순이익이 음의 값으로 결손을 보이고 있으며, 사업전기간에 걸쳐 세무상 결손으로 인해 법인세 납부액도 없는 것으로 분석되었다.

2) 추정 재무상태표

시나리오별 추정 재무상태표는 다음과 같다.

〈표 Ⅵ-13〉 추정 재무상태표_송도신도시

(단위: 억원,경상가격)

구분	2012	2013	2014	2015	2016	2021	2026	2031	2036	2041	2045
유동자산							0	0	0	0	0
현금및현금성자산							0	0	0	0	0
비유동자산	103	692	1,517	2,415	2,334	2,007	1,605	1,188	1,820	1,403	0
유형자산	103	692	1,517	135	130	183	160	124	1,136	1,099	
인자산	103	692	1,517								
기타				135	130	183	160	124	1,136	1,099	
무형자산				2,280	2,204	1,824	1,444	1,064	684	304	0
자산총계	103	692	1,517	2,415	2,334	2,007	1,605	1,188	1,820	1,403	0
유동부채					67	304	1,057	1,854	2,859	2,978	2,853
단기차입금					67	304	864	1,661	2,859	2,978	2,853
미지급법인세											
유동성장기부채							193	193			
비유동부채		209	1,034	1,932	1,932	1,932	1,159	193			
장기차입금		209	1,034	1,932	1,932	1,932	1,159	193			
부채총계		209	1,034	1,932	1,999	2,236	2,217	2,047	2,859	2,978	2,853
자본금	103	483	483	483	483	483	483	483	483	483	483
이익잉여금					−148	−712	−1,095	−1,342	−1,522	−2,058	−3,336
이익준비금											
미처분이익잉여금					−148	−712	−1,095	−1,342	−1,522	−2,058	−3,336
자본총계	103	483	483	483	335	−229	−612	−859	−1,039	−1,575	−2,853
부채와자본총계	103	692	1,517	2,415	2,334	2,007	1,605	1,188	1,820	1,403	

주: 운영기간은 5년단위로 해당연도의 수치를 표시하였음

송도신도시의 재무상태표에 의하면 누적된 결손으로 인해 사업기간의 중반이후에는 완전자본잠식 상태가 되는 것으로 분석되었다.

〈표 Ⅵ-14〉 추정 재무상태표_상암DMC

(단위: 억원,경상가격)

구분	2012	2013	2014	2015	2016	2021	2026	2031	2036	2041	2045
유동자산							0	0	0	0	0
현금및현금성자산							0	0	0	0	0
비유동자산	57	398	849	1,307	1,263	1,052	837	616	971	678	
유형자산	57	398	849	39	37	38	34	24	591	509	
건설중인자산	57	398	849								
기타				39	37	38	34	24	591	509	
무형자산				1,268	1,226	1,014	803	592	380	169	
자산총계	57	398	849	1,307	1,263	1,052	837	616	971	678	0
유동부채					25	127	599	1,142	1,886	2,187	2,401
단기차입금					25	127	495	1,038	1,886	2,187	2,401
미지급법인세											
유동성장기부채							105	105			
비유동부채		137	587	1,045	1,045	1,045	627	105			
장기차입금		137	587	1,045	1,045	1,045	627	105			
부채총계		137	587	1,045	1,070	1,172	1,226	1,247	1,886	2,187	2,401
자본금	57	261	261	261	261	261	261	261	261	261	261
이익잉여금					−69	−382	−651	−892	−1,176	−1,770	−2,663
이익준비금											
미처분이익잉여금					−69	−382	−651	−892	−1,176	−1,770	−2,663
자본총계	57	261	261	261	193	−120	−389	−631	−914	−1,509	−2,401
부채와자본총계	57	398	849	1,307	1,263	1,052	837	616	971	678	

주: 운영기간은 5년단위로 해당연도의 수치를 표시하였음

상암DMC도 누적된 결손으로 인해 사업기간의 중반이후에는 완전자본잠식 상태가 되는 것으로 분석되었다.

3) 추정 현금흐름표

시나리오별 추정 현금흐름표는 다음과 같다.

〈표 Ⅵ-15〉 추정 현금흐름표_송도신도시

(단위: 억원,경상가격)

구분	합계	2012	2013	2014	2015	2016	2021	2026	2031	2036	2041	2045
영업활동현금흐름	771					-67	-1	18	51	10	38	95
현금유입	12,548					183	312	360	419	488	565	636
운임수입	12,548					183	312	360	419	488	565	636
현금유출	11,777					250	313	343	368	477	527	541
인건비	3,267					54	81	94	109	126	146	164
일반관리비	397					7	10	11	13	15	18	20
동력비	1,270					21	31	36	42	49	57	64
유지관리비	1,134					23	28	32	37	43	50	56
이자비용	5,709					145	164	169	167	244	256	237
법인세비용												
투자활동현금흐름	-4,107	-103	-589	-825	-899		-81					-164
현금유입												
현금유출	4,107	103	589	825	899		81					164
총투자비	2,415	103	589	825	899							
유형자산대체	1,691						81					164
재무활동현금흐름	3,336	103	589	825	899	67	82	-18	-51	-10	-38	68
현금유입	50,051	103	589	825	899	67	304	864	1,661	2,859	2,978	2,853
단기차입금조달	47,636					67	304	864	1,661	2,859	2,978	2,853
장기차입금조달	1,932		209	825	899							
보통주 발행	483	103	380									
현금유출	46,715						222	881	1,711	2,869	3,016	2,784
단기차입금 상환	44,783						222	688	1,518	2,869	3,016	2,784
장기차입금 상환	1,932							193	193			
배당금 지급												
현금의 증감								0		0	0	
기초 현금								0	0	0	0	0
기말 현금								0	0	0	0	0

주:운영기간은 5년단위로 해당연도의 수치를 표시하였고, 합계는 분석기간 전체의 합계금액임

송도신도시의 경우 영업활동으로 인한 현금흐름(운영기간 합계 771억원)이 장기차입금(투자비재원조달액)의 원금(1,932억원)보다 약1,161억원 만큼 적어서 차입금 원금상환이 불가한 것으로 분석되었다.

〈표 Ⅵ-16〉 추정 현금흐름표_상암DMC

(단위: 억원,경상가격)

구분	합계	2012	2013	2014	2015	2016	2021	2026	2031	2036	2041	2045
영업활동현금흐름	-634					-25	-13	-7	-1	-42	-49	-49
현금유입	5,930					115	146	168	195	226	262	295
운임수입	5,930					115	146	168	195	226	262	295
현금유출	6,564					140	159	175	196	268	311	345
인건비	1,763					37	43	50	58	67	78	87
일반관리비	193					4	5	5	6	7	8	10
동력비	402					8	10	11	13	15	18	20
유지관리비	588					12	14	17	19	22	26	29
이자비용	3,618					78	87	92	100	157	182	199
법인세비용												
투자활동현금흐름	-2,028	-57	-341	-451	-458		-8					-16
현금유입												
현금유출	2,028	57	341	451	458		8					16
총투자비	1,307	57	341	451	458							
유형자산대체	721						8					16
재무활동현금흐름	2,663	57	341	451	458	25	21	7	1	42	49	66
현금유입	34,170	57	341	451	458	25	127	495	1,038	1,886	2,187	2,401
단기차입금조달	32,863					25	127	495	1,038	1,886	2,187	2,401
장기차입금조달	1,045		137	451	458							
보통주 발행	261	57	205									
현금유출	31,507						105	487	1,037	1,843	2,138	2,336
단기차입금 상환	30,462						105	383	932	1,843	2,138	2,336
장기차입금 상환	1,045							105	105			
배당금 지급												
현금의 증감	0								0		0	
기초 현금								0	0	0	0	0
기말 현금								0	0	0	0	0

주:운영기간은 5년단위로 해당연도의 수치를 표시하였고, 합계는 분석기간 전체의 합계금액임

상암DMC의 경우 영업활동으로 인한 현금흐름(운영기간 합계 (-)634억원)이 음의 값으로 차입금에 대한 원금뿐만 아니라 이자상환이 되지 않는 것으로 분석되었다.

2. 재무성 분석 결과

시나리오별 재무성 분석 결과는 아래와 같다.

〈표 Ⅵ-17〉 재무성 분석 결과

구분	송도신도시	상암DMC
현금유입의 현가	2,431 억원	1,185 억원
현금유출의 현가	3,084 억원	1,587 억원
순현금현가(NPV)	-652 억원	-402 억원
IRR	1.67%	0.85%
PI	0.79	0.75

재무성 분석 결과 송도신도시 및 상암DMC의 경우 재정지원이 없을 경우 NPV가 각각 (-)652억원(세후수익률: 1.67%) 및 (-)402억원(세후수익률:0.85%)이고 앞서 살펴본 각 시나리오별 재무제표에서도 완전자본잠식 및 장기차입금 상환 불가능 등 재무성이 극히 열악한 것으로 분석되었다.

각 시나리오에서 재정지원비율(건설비의 일정비율)에 따른 재무성을 추가로 분석하였다.

〈표 Ⅵ-18〉 재무성 분석 결과_재정지원금_송도신도시

재정지원비율	재정지원금	NPV	IRR	PI	비고
0%		-652	1.67%	0.79	
40.00%	824	-69	4.87%	0.97	
44.80%	923	0	5.50%	1.00	NPV=0
50.00%	1,030	73	6.26%	1.03	

〈표 Ⅵ-19〉 재무성 분석 결과_재정지원금_상암DMC

재정지원비율	재정지원금	NPV	IRR	PI	비고
0%		-402	0.85%	0.75	
40.00%	445	-72	4.22%	0.94	
49.20%	547	0	5.50%	1.00	NPV=0
60.00%	667	82	7.50%	1.07	

송도신도시의 경우 재정지원비율이 44.80% 이상(재정지원금 923억원)이면 NPV가 0이상이며, 상

암DMC의 경우 재정지원비율이 49.20% 이상(재정지원금 547억원)이면 NPV가 0이상인 것으로 분석되었다.

한편, 본 사업이 국내의 기존 사례가 없는 사업인 점을 고려할 때 사업에 대한 risk가 기존 SOC 사업보다 클 것으로 예상되며 민자추진시 상기 세후수익률 5.5%보다 큰 수익률이 요구될 가능성이 크다. 따라서 재무적할인율의 변동에 따라 NPV가 0이 되는 재정지원비율을 추가로 분석하였다.

〈표 Ⅵ-20〉 재무적할인율 민감도_송도신도시

재무적 할인율	재정지원비율	재정지원금	NPV	IRR	PI
5.50%	44.80%	923	0	5.50%	1.00
6.50%	51.46%	1,060	0	6.50%	1.00
7.50%	56.99%	1,174	0	7.50%	1.00

〈표 Ⅵ-21〉 재무적할인율 민감도_상암DMC

재무적 할인율	재정지원비율	재정지원금	NPV	IRR	PI
5.50%	49.20%	547	0	5.50%	1.00
6.50%	55.08%	613	0	6.50%	1.00
7.50%	60.02%	668	0	7.50%	1.00

분석 결과 재무적 할인율이 높아질수록 재정지원비율도 높아져, 재무적 할인율이 7.5%일 경우 송도신도시는 재정지원비율이 56.99%이상일 때 재무성이 있는 것으로 분석되었으며 상암DMC의 경우 재정지원비율이 60.02%이상일 때 재무성이 있는 것으로 분석되었다.

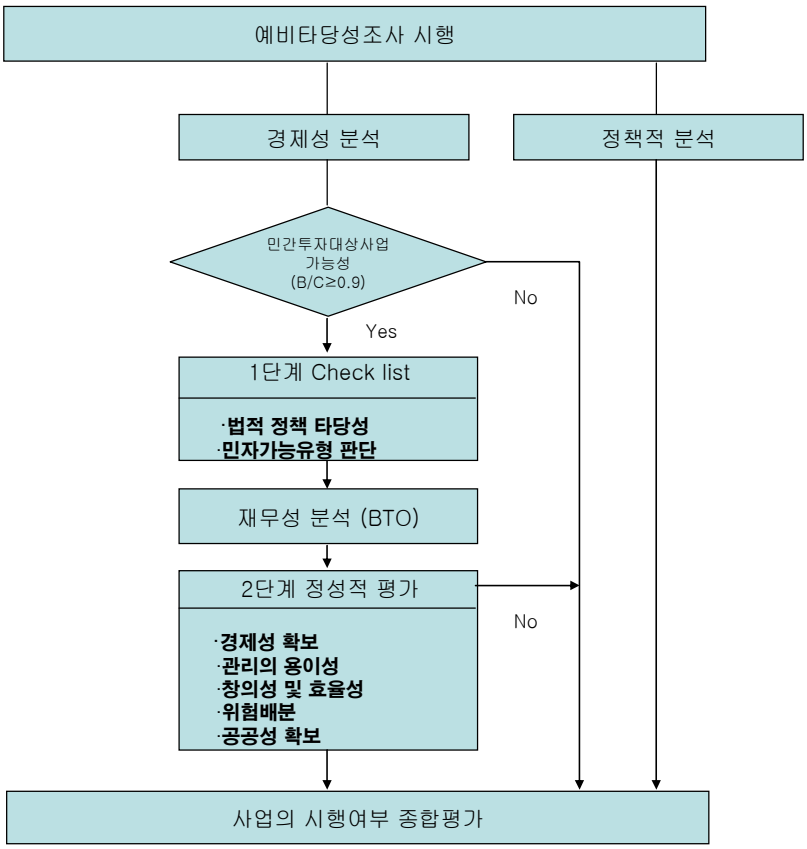
제4절 민자연계방안

1. 개요

공공투자사업의 경우 그 파급효과가 국가전체에 미치기 때문에 사회전체적인 관점에서 경제적 타당성을 점검하는 경제성 분석은 필수적이다. 또한 경제성 분석을 통하여 사업의 경제성이 확보된 경우 해당 사업을 재정사업 혹은 민자사업으로 추진할 것인지 의사결정시 기초정보를 제공해 줄 수 있는 재무성 분석도 매우 중요하다.

그러나 예비타당성조사에서의 재무성분석은 민간투자사업 추진 가능성을 판단하는데 있어 서비스 질 향상, 관리의 용이성, 위험분담효과, 파급효과 등 정성적인 요소를 고려하지 못하는 한계를 내포하고 있다. 이에 일반지침에는 경제성 분석 결과, 최적대안의 B/C가 0.9를 상회하여 경제적 타당성이 있는 사업에 대하여 아래 그림과 같이 정성적 평가방법인 1·2단계 check list 평가를 통한 민간투자 가능성을 검토하도록 규정하고 있다.

〈그림 Ⅵ-1〉 민간투자사업으로 추진가능성 검토 방법



본 사업의 경우 경제성분석 결과 B/C가 경제성 확보기준에 미달하여 경제성이 확보되지 아니하였고, 재무성 분석 결과 또한 기본안의 경우 재무성 확보가 용이하지 아니한 것으로 분석되어 민간투자 가능성을 검토하는 것이 적절하지 않을 수 있으나, 그럼에도 불구하고 민간투자 가능성에 대한 정성적인 측면을 살펴보고자 한다.

2. 1단계 체크리스트(Check List) 평가

<표 Ⅵ-26>에 나타낸 바와 같이 본 사업의 경우 1단계 평가항목인 법적·정책적 타당성 및 민자가능성 유형 항목 모두 만족하는 것으로 나타나 민간투자 유치가능성이 있는 것으로 판단된다.

평가항목별 판단근거를 살펴보면 다음과 같다.

PRT시스템은 국내 도입사례가 없어서 적용법규가 확정되지 아니한 측면이 있으나 본 연구에서는 도시철도법의 적용을 기본으로 하여 본 시설을 도시철도법 제3조제1호의 규정에 의한 도시철도로 보아 민간투자법 제2조에 정의된 민간투자 대상 시설의 44개 유형에 포함되는 것으로 판단하였다. 또한, 환경 변화에 따른 지속 가능한 교통수단으로서 친환경적이고 에너지 소비가 적은 철도차량에 대해 재조명되고, 접근성의 향상, 도시권역의 교통 혼잡과 사고, 환경오염에 따른 문제를 해결하기 위한 맞춤형 서비스가 가능한 승객 여정선택형 대중교통수단의 개발이 필요함에 따라 정부차원의 기술연구가 진행되고 있다. 따라서 본 사업은 사회간접자본시설 관련 중장기계획, 국가 또는 주무부처의 투자정책과 투자우선순위에 부합하므로 민간투자대상사업으로서 법적·정책적 타당성을 확보하고 있다고 판단된다.(자세한 사항은 제Ⅶ장 정책적 분석 참조)

민자 가능 유형판단에서 민자 사업의 추진방식은 수익자 부담원칙과 수익성 확보의 여부에 따라서 BTO사업과 BTL사업으로 구분된다. 본사업의 경우 사업추진에 대한 정책적 결정에 따라 시설물 운영에 있어 정부의 역할을 배제하고 민간의 책임 하에 인프라 시설 및 서비스 공급이 가능할 수 있을 것으로 판단되며, 교통시설 이용에 대한 사용료를 부과 가능하다. 또한, 시설물 이용료를 부과할 경우 시설이용자에게 타 교통수단 등 다른 대안의 선택이 가능하므로 민자로 추진 가능한 것으로 판단된다.

〈표 Ⅵ-22〉 본사업의 1단계 Check list 평가결과

평가 항목	설문항목	평가자 1	평가자 2	평가자 3	종합 판단	비고
법적·정책적 타당성	민투법 제2조에 포함된 민간투자대상시설인가?	O	O	O	O	
	SOC 관련 국가 중장기 계획, 정책방향, 국가투자우선순위 등에 부합하는가?	O	O	O	O	
민자가능유형 판단	시설물 건설·운영에 있어 정부의 역할을 배제하고 민간의 책임하에 인프라 시설 및 서비스 공급이 가능한가?	O	O	O	O	
	시설물 이용에 대한 사용료를 부과할 수 있는가?	O	O	O	O	
	시설물 이용료(toll/user fee)를 부과할 경우 소비자에게 다른 대안의 선택이 가능한가?	O	O	O	O	

이상과 같이 본 사업의 경우 1단계 check list를 통한 법적·정책적 타당성을 확보하였기 때문에 다음 단계로 2차 check list 평가를 실시하여 민간투자사업으로 추진가능성에 대한 최종적인 평가를 실시하고자 한다.

3. 2단계 체크리스트(Check List) 평가

앞에서 살펴본 바와 같이 본 사업의 경우 1단계 check list를 통한 법적·정책적 타당성이 있으므로 아래 <표Ⅵ-27>에 나타낸 바와 같이 사업의 경제성 확보, 관리의 용이성, 창의성과 효율성, 위험배분, 공공성확보 등에 의한 2단계 check list를 통한 민간투자사업으로 추진가능성을 평가하고자 한다.

각 항목별 평가결과를 기술하면 다음과 같다. 먼저 사업의 경제성 확보 측면에서 본 사업의 기존 국내 유사사례가 없어 민자 사업으로서 Value for Money의 확보 가능성은 판단하기 어려운 측면이 있고, 경제성분석 결과 B/C가 경제성확보 기준인 1.0에 미치지 못하는 것으로 분석되어 본 사업의 경제성은 확보되지 못한 것으로 평가되었다.

창의성과 효율성 측면에서 본 사업은 기존의 민자사업과 크게 다르지 않다고 볼 수 있다. 시설물의 건설단계는 재정으로 추진 시와 유사할 수 있으나, 민자 사업의 운영실태 등을 참고할 때 운영단계에서 사용자에 대한 서비스의 질이 상당히 향상될 것으로 기대된다.

본 사업을 정부주도로 시행할 경우 건설자금 조달, 운영의 활성화를 위한 방안 강구 등 끊임없는

노력이 필요하나, 민간투자사업으로 전환할 경우 출자사의 적극적인 참여, 민간의 사업관리 유연성 등으로 운영 활성화 및 정상화 기간이 단축될 것이므로 정부의 운영활성화에 대한 리스크가 민간으로 상당 수준 이전될 것으로 판단된다.

본 사업을 민자사업으로 추진할 경우 민간사업자의 참여로 민간의 창의적인 계획과 질 좋은 서비스 등의 영향을 받아 향후 유사사업을 재정으로 운영하게 될 경우에도 서비스의 질이 향상될 것으로 기대된다.

〈표 Ⅵ-23〉 민자연계방안 2단계 Check list 평가항목

단계	평가항목	평가내용	검토기준	비고
2단계	사업의 경제성 확보	민간투자사업의 적격성을 판단하기 위해서는 우선 총사업비의 Value for money의 확보 가능성과 경제성 유무를 확인	검토 항목에 대해 정성적 평가	
	관리의 용이성	해당서비스를 제공 및 관리운영에 있어서 독립적으로 추진 할 수 있는지 여부와 성과요구수준을 맞출 수 있는지 확인		
	창의성 및 효율성	민간의 창의를 활용한 SOC건설·운영의 효율성제고, 정부재정시설과의 경쟁촉진으로 서비스의 질제고 등이 기대		
	위험배분	정부의 입장에서 볼 때, 민간자본으로 사업을 추진할 경우 위험의 적절한 배분이 이루어질 수 있는지 여부와 해당사업의 규모와 시설이 서비스제공을 위한 제약요인이 있는지 파악		
	공공성 확보	민간사업자 참여로 인해 공공부문으로의 기술 및 경영능력 등의 파급효과가 기대되는지 여부		

본 사업의 민간투자 가능성은 사업의 경제성, 관리의 용이성, 민간의 창의성 및 효율성, 위험배분, 공공성 확보 등으로 평가 할 수 있다. 본 사업은 적정 사업추진 규모, 운영 정상화의 조기실현, 서비스 질 향상, 재원조달 및 운영 리스크의 상당 수준 민간으로 이전, 향후 추진될 유사 재정사업에 대한 긍정적인 파급효과가 기대된다.

상기의 1단계 및 2단계 평가 결과를 종합하면 본 사업의 경제적 타당성이 확보된다는 전제하에 정성적인 측면에서 민간투자사업으로 추진 가능성이 있는 사업으로 판단된다.

제Ⅶ장 정책적 분석

제1절 정책적 분석의 개요

정책적 분석은 경제성 분석 및 재무성분석에는 포함되지 않으나 사업 추진의 타당성을 평가하는데 고려하여야 할 평가요소들을 포함한다. 경제성 분석은 사업시행으로 인한 국민경제적 효과를 편익 또는 비용으로 계량화 및 화폐 가치화하여 비용-편익 분석의 틀을 이용하여 그 결과를 도출한다. 그리고 경제성 분석은 사업시행자 입장에서 사업시행으로 인한 수익성을 수입 또는 비용으로 계량화하여 그 결과를 도출한다.

한편 정책적 분석은 사업시행으로 인한 편익분석이나 재무성분석과 같은 계량분석 틀 속에 포함시킬 수는 없으나 사업의 시행 여부를 판단하는 데 있어서 고려하여야 할 평가요소들에 대한 분석을 포함한다.

정책적 분석에 포함해야 할 평가내용은 사업의 성격에 관계없이 조사 대상사업이 제한된 국가재정을 투입할 때 일반적으로 고려하여야 할 공통사항이 존재하며, 해당 사업을 평가하는 데 특히 중요하게 고려하여야 할 특수한 평가항목이 있다. 기획재정부에서 실시하는 예비타당성 조사에서는 정책적 분석의 기본 평가항목으로 지역균형발전을 위한 지역낙후도, 지역경제 활성화, 관련계획 및 정책방향과의 일치성, 사업 추진의지 및 선호도, 재원조달 가능성, 환경성 평가 등을 고려한다.

본 연구에서는 정책적 분석 항목으로 예비타당성조사와 달리 본 연구 목적을 반영하여 관련계획 및 정책방향과의 일치성, 사업 추진의지 및 선호도, 상용화 준비정도, 재원조달 가능성 및 환경성 평가를 포함한다.

관련계획 및 정책방향과의 일치성은 국가 전체 정책 및 교통정책 측면과 연구개발 측면(기술적 파급효과 포함)으로 나누어 평가한다. 즉 본 연구에서는 정책의 일관성 및 추진의지를 PRT 시스템 도입사업(상용화) 측면과 기술개발 측면에서 동시에 분석한다. 이는 본 연구의 목적인 PRT시스템 상용화에 대한 타당성 분석과 더불어 기술R&D의 타당성에 대한 정책적 측면을 보완하는데 그 의의가 있다.

그리고 CO_2 절감효과와 도시미관 개선효과와 같은 사업특수항목을 재원조달가능성과 함께 PRT 도입상의 고려요인으로 선정하였다.

한편 지역균형발전은 본 연구에서 정책적분석 대상에서 제외한다. 이는 본 연구의 주 목적이 PRT를 특정지역에 설치하여 운영하는 개별사업에 대한 직접적인 분석이지만 현재 추진에 대한 논의가 제기된 PRT사업 중 선정된 2개 사업에 대한 타당성 분석을 통하여 PRT에 대한 계속적인 연구개발 추진 여부에 대한 정책적 판단을 위한 기초자료로 활용하고자 하는 것이기 때문이다. 그러므로 PRT를 도입하는 지역에 따라 지역균형발전에 대한 분석이 상이할 것이며 이에 따라 정책결정에 판단요소로는 부적절하다고 판단되기 때문이다.

결과적으로 본 조사의 정책적 분석 항목은 다음과 같다.

〈표 VII-1〉 정책적 분석 항목

중분류	세부평가항목	평가내용
정책의 일관성 및 추진의지	관련계획 및 정책방향과의 일치성	• 국가·교통관련계획 및 정책방향과의 일치성 • 국가 R&D 및 국토해양 R&D 정책방향과의 일치성 • 기술개발의 파급효과
	사업추진의지 및 선호도	• 이해관계자(중앙정부, 해당 지자체 및 주민 등)의 사업에 대한 추진의지, 선호도 및 숙원도
	상용화 준비정도	• PRT 사업 도입을 위한 기술적, 사회적, 제도적 측면에서 사업 추진시기의 적정성
PRT 도입 상의 고려요인	재원조달 가능성	• 재원조달 계획의 현실성 • 민자유치를 통한 재원조달의 가능성
	환경성 평가	• 해당 사업으로 발생되는 CO_2 절감효과에 대한 정성적 평가 • 타 수단대비 해당 사업의 도시미관 개선에 대한 정성적 평가

제2절 국가·교통관련계획 및 정책방향과의 일치성

1. 국가계획과의 일치성

온실가스 배출에 대한 국제규제와 에너지 위기 등 새로운 도전요인에 따라 녹색성장 전략은 필수적인 상황이다.

정부는 '저탄소 녹색성장'을 새로운 국가비전으로 설정하고 추진 중에 있으며, 녹색성장 5개년계획(2009~2013)을 2009년 7월 확정하고, 국가 온실가스 감축목표를 발표하였으며, 교통부문에서는 도로에서 철도중심의 녹색교통체계로 전면 개편하기 위한 '녹색교통 추진전략'(2009.11)을 수립하여 추진하고 있다.

주요 추진방향은 온실가스 감축으로 2020년까지 온실가스 배출량을 배출전망치 BAU(Business as Usual) 대비 30%로 발표하였으며, 이에 따라 교통부분은 33~37% 감축(2005년 대비 20~24%, 4650만 톤)하고, SOC예산 중 철도투자 비중을 50%까지 증가하는 장기계획을 수립하여 추진 중에 있다.

교통부문은 지속가능·녹색성장에 대응하여 각 부문별로 친환경적인 신교통수단 도입에 대한 필요성이 높아지고 있다. 개인교통수단의 경우 하이브리드 차량의 개발 및 도입이 가속화되고 있으며, 대중교통수단의 경우 BRT, GRT, PRT 등에 대한 시스템 도입이 추진되고 있다.

대중교통수단 중·장거리 통행의 경우 친환경적 수단으로는 KTX와 같은 철도가, 중거리 통행에 대한 수단으로는 도시철도, BRT, LRT 등이 대두되고 있다. 그러나 단거리 통행의 경우 자전거 외에는 별다른 친환경 교통수단이 없는 실정이다.

PRT는 매연, 소음이 없는 친환경적인 단거리 교통수단으로, 연구결과의 따르면 자동차 대비 70% 에너지 효율 증가 예상(피크 시간의 경우 90%) 의 에너지 소비 감소효과가 있고 CO_2발생량이 자동차 교통 대비 최소 60%이상 감소(Jon A. Carnegie, AICP/PP, "Viability of Personal Rapid Transit in New Jersey", 2007.)가 가능한 것으로 분석되고 있어 단거리 통행의 친환경 교통수단으로 저탄소 녹색성장에 적합한 것으로 판단된다.

〈표 VII-2〉 교통수단별 에너지 사용비교

구분	MJ/승객·km
PRT	0.55
모터사이클	1.36
철도	2.02
자동차	2.38
버스	1.65

주) PRT의 경우, 전력사용량은 2kW, 평균속도는 36km/h, 평균승차인원은 1.4명, 공차비율은 s40%로 가정
자료) 미국 에너지국(DOE: Department of Energy) "Transportation Data Energy Book Edition 21", ORNL-6966 Sep 2001.

2. 교통정책방향과의 일치성

국제적 이슈가 되고 있는 에너지문제, 환경 변화, 삶의 질 등에 대응하기 위하여 선진국들은 '지속가능한 교통', '안전한 교통','효율적인 교통'으로 교통정책을 전환하고 있으며, 환경친화적이고 에너지 소비가 적은 저탄소녹색성장에 적합한 궤도수송수단의 역할이 재조명되고 있다.

교통연구원의 국가경쟁력 강화를 위한 신 교통정책 구상[7]에서도, 향후 우리나라 교통정책의 비전으로 지속가능성(Sustainability), 안전성(Safety), 효율성(Efficiency) 3가지로 제시하고, 이를 위한 교통정책 목표로 "지속가능하고 안전하며 효율적인 교통(Sustainable, Safe and Efficient Transport)"으로 제시하였다. 그리고 상기 비전과 정책목표를 달성을 위한 추진전략으로 ① 지속가능한 교통체계 구축, ② 안전을 보장하는 교통체계 구축, ③ 대중교통 우선체계 구축, ④ 선진물류체계 구축, ⑤ 남북연계 및 철도교통 경쟁력 강화, ⑥ 글로벌 항공허브 구축, ⑦ 효율적인 도로교통 연계 및 관리체계구축을 선정하였다.

한편 최근 동아일보 미래전략연구소와 아서디리틀(ADL)의 세계 10대 교통 선진국을 대상으로 교통혁신 경쟁력을 평가한 결과에 따르면, 미래 교통의 트렌드로 첫째, 개인 교통은 기존의 자동차를 소유하는 방식에서 여러 사람이 차량을 함께 나눠 쓰는 공유서비스 등으로 다양화되고, 둘째, 대중교통시스템이 지하철, 버스, 지상전차(트램) 등의 개별 교통수단 중심에서 전기차, 도보, 자전거 등을 포함하는 통합시스템으로 발전되며, 셋째, 교통이 추구하는 가치가 효율적인 이동은 물론 친

7) 설재훈 · 신희철 외 6인, 국가경쟁력 강화를 위한 신 교통정책 구상, 연구총서 2007-01, 교통연구원

환경과 지속가능성까지 종합적으로 고려하게 될 것이며, 넷째, 교통 규제보다 대중의 인식을 바꾸는 마케팅 및 홍보의 중요성이 커질 것이며, 다섯째, 자동차와 도로 등의 기존 인프라보다는 사람의 이동성(Mobility)에 초점을 맞춘 개인화된 교통인프라가 발전될 것이며, 마지막으로 교통은 경제성장을 위한 기본 인프라이면서, 아울러 국가와 도시의 경쟁력을 강화하는 중요한 요소가 될 것으로 제시하였다.

〈표 VII-3〉 미래교통의 6가지 트랜드

항 목	내 용
개인 교통	소유에서 공유로
정책 관점	개별 교통수단에서 통합시스템으로
추구 가치	효율성 지상주의에서 지속가능 발전으로
교통 정책	규제에서 촉진으로
시스템 변화	하드웨어 중심에서 인간 중심으로
가치 창출	인프라 구축에서 신(新) 교통 산업 창출로

자료 : 동아일보, 2011.08.17

우리나라는 자가용 승용차의 지속적인 증가로 인하여 도시내 도로교통 문제가 날로 심각해지고 있다. 현재 화석연료 위주의 교통운송수단 체계를 보다 친환경적인 에너지를 사용하는 교통수단으로 바꾸고, 또한 개인 위주의 교통체계를 대중교통 중심의 도시교통체계로 전환해 나가는 정책추진이 필요성이 제기되고 있다.

현재 우리나라의 교통인프라는 여전히 화석연료를 통해 효율성을 극대화하는 '효율 중심 모델'에 머물고 있는 것으로 나타났다. 세계 10대 교통 선진국의 교통혁신 경쟁력을 평가한 결과에서도 우리나라는 영국, 캐나다와 함께 효율 중심의 교통시스템을 보유한 국가로 평가되었으나, 친환경성 및 가치 창출성 측면에서는 모두 8위로서 낮은 수준으로 평가되었다.

따라서 우리나라가 지속가능한 교통 선진국으로 도약하려면 자동차 사용을 줄이는 수요관리 대책과 친환경 대체 교통수단과 정보기술(IT)을 통해 대중교통의 활용도를 높이는 교통혁신이 필요하다. 또한 교통을 단순한 이동수단이 아닌 경제적, 사회적 가치를 창출하는 동맥으로 보고 중장기적으로 도시교통체계를 개편해 나가야 할 것이다.

〈표 VII-4〉 교통 혁신 경쟁력 종합점수 평가 순위

종합순위 (점수)	국가	친환경성	이동효율성	가치창출성
1위(100점)	독일	1위	3위	7위
2위(99.18점)	프랑수	2위	2위	4위
3위(94.85점)	일본	3위	1위	3위
4위(86.37점)	미국	4위	7위	2위
5위(85.42점)	영국	6위	6위	1위
6위(71.40점)	캐나다	7위	5위	6위
7위(69.95점)	한국	8위	4위	8위
8위(65.44점)	스페인	9위	8위	5위
9위(64.05점)	이탈리아	5위	9위	9위
10위(46.94점)	호주	10위	10위	10위

자료 : 동아일보 미래전략연구소 및 아서디리틀(ADL), 세계 10대 교통 선진국을 대상으로 교통혁신 경쟁력 평가, 동아일보, 2011. 8.17

최근 정부는 교통부분의 탄소배출량을 대폭 감축하는 방향으로 교통투자전략을 설정하고 있다. 즉 도로 및 자동차 위중의 에너지다소비형 교통체계를 철도·그린카·사람 중심의 녹색교통체계로 전환하고, 양적 확대보다는 교통수단간 연계체계를 강화하고 효율성을 극대화하는 투자를 강화하는 방향으로 전개하고 있다. 그리고 친환경성의 강조와 더불어 경제성 및 교통약자에 대한 교통편의 시설의 확대 공급, 시스템 안전성확보 등 사회·문화적인 측면에서의 적용기준도 강화되고 있다.

구체적으로 승용차 중심의 단거리통행은 교통네트워크 상 결절점(Node)에서의 교통체증으로 인한 Grid-lock 현상이 발생, 네트워크 전체의 교통 혼잡으로 이어지고 있다는 인식하에서 철도중심의 대중교통수단 확대를 위하여 철도의 간선에서의 고속화와 도심지역의 접근성 향상(Door to Door)을 목표로 하고 있다.

그러나 기존의 철도교통수단은 개인교통수단으로서 입지가 확고한 자동차에 비해 대중교통은 접근성이 떨어지고 주로 대량수송수단인 점에서 야기되는 불편함으로 인해 활성화에 한계가 있다. 또한 다양한 도시통행 행태 중에서 단위지역 내 많지 않은 수요가 지속적이면서 분산적인 형태를 보이는 경우, 대규모 수송수단인 기존의 도시철도나 버스로 이를 수용하기에는 비효율적이다.

이에 따라 자전거, PRT, 바이모달트램, 경전철 등 친환경 신교통수단은 기술발전과 함께 녹색교통체계의 핵심으로 부상할 것으로 전망되고 있다.

PRT는 단거리 신교통수단으로서 기존 교통수단의 단점을 보완하면서 도시권역의 교통 혼잡과 사고 완화가 가능한, 기존의 Mass-transit 개념에서 벗어나 Para-transit 개념에 가까운 신교통수단으로 판단된다. 이에 PRT도입은 친환경, 지속가능성, 교통인프라의 개인화 등 교통정책방향 및 가치창출성 등 미래 트렌드의 일치성은 높은 것으로 평가된다.

제3절 국가 R&D 및 국토해양 R&D 정책방향과의 일치성

PRT 도입사업은 자체적으로 경제적 타당성을 확보해야 하겠지만, R&D 정책 측면에서 연구개발 지속적 시행의 타당성을 평가해야 할 필요성도 존재한다. 예를 들어 기초연구 지원을 주목적으로 하는 R&D 사업의 경우 연구결과의 상용화에 대한 경제성과 정책적 분석의 결과와 상관없이 제시된 기술개발 계획이 적절하거나 현재의 기술 수준과 앞으로의 전망에 비추어 보았을 때 해당 연구개발의 시행이 과학기술적 관점에서 타당한 경우도 존재한다. 이러한 점에서 상용화에 대한 경제성, 재무성 및 정책적 분석과 더불어 R&D 정책 측면에서 연구개발 시행의 타당성 여부를 병행하여 검토할 필요가 있다.

이를 통하여 비록 현재 도입의사가 제시된 PRT사업 중 대상사업을 선정하여 상용화 타당성을 분석하였지만, 이 결과가 모든 PRT사업을 대표할 수 없을 수 있는 면에 대해서도 보완할 수 있을 것이다.

1. 국가 R&D 정책방향

정부R&D투자는 최근 5년간(2007~2011년) 연평균 11.1% 증가하여 정부 재정총지출의 6.9%를 크게 상회하였으며, 이에 따라 GDP 대비 정부 R&D예산 규모는 세계 4위 수준을 달성하였다. 그러나 민간부문의 R&D투자 증가가 둔화된 반면 정부·공공부문 R&D투자가 확대됨에 따라 국가 총 연구개발비에서 정부·공공재원 비중이 2005년 24.3%, 2007년 26.1%, 2009년 28.7%로 지속적으로 증가하였다. 분야별로는 미래성장동력 관련 국가R&D사업의 특허생산성은 증가하나 원천기술 관련성이 높은 우수특허 비중은 낮아 원천기술개발에 집중할 필요성이 제기되고 있다.

중기재정운용계획 상 2011~2015년 R&D분야 주요 투자방향으로 첫째, 정부R&D투자 증가율을 적정 수준으로 유지하면서 내실화와 효율성 제고하고, 둘째, 정부재정여건을 고려하여 R&D분야에 우선순위를 두고, 이를 위하여 국가유망기술 발굴, 기술분야 별 투자우선순위 설정 등 전략·기획 기

능을 강화하며, 마지막으로 기초연구 및 공공분야 투자 확대, 산업기술분야 정부/민간의 역할분담 적극 모색 등이 제시되고 있다.

PRT 관련 기술개발은 녹색성장을 위한 기술 분야의 하나로 볼 수 있다. 그러나 정부 R&D투자의 내실화 및 효율화측면에서 볼 때 민간기업에서 PRT 상용화가 진행되고 있는 상황으로 정부주도의 기술개발의 필요성 및 상용화의 불확실성 측면에 대하여 추가적인 검토가 필요하리라고 판단된다.

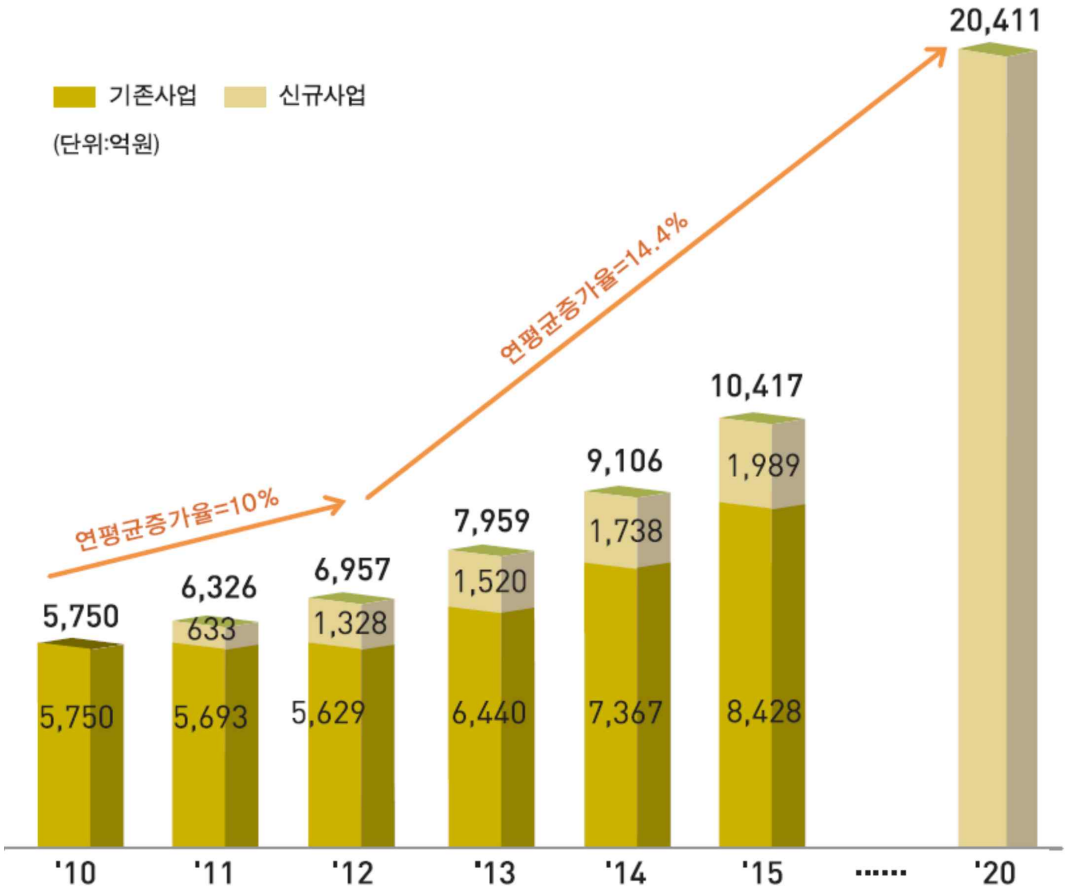
2. 국토해양 R&D 정책방향

국토해양부의 '국토해양 R&D 발전전략'에 따르면 기후변화 대응을 위한 온실가스 감축의 필요성에 따라 국가 온실가스 배출량에서 가장 높은 비중을 차지(건축물 25%, 교통부문 17%)하고 있는 건축물과 교통부문에서 2020년 배출 전망치 대비 30%이상의 감축을 미래 국토해양의 역할로 설정하고 있다.

이를 위한 국토해양 2030시나리오는 국토해양의 미래상을 결정지을 수 있는 핵심동인(Key Driver)으로 기후변화대응, 기술혁신, 정부정책공조 및 규제, 에너지믹스, 교통모드 전환, 녹색도시 모델 발전으로 파악하고, 가장 비중이 높은 기후변화 대응과 기술혁신을 양축으로 한 그린혁명(Green Innovation)을 가장 이상적인 시나리오로 보고 있다. 이 그린혁명을 위한 전략 중의 하나를 친환경 교통수단(철도, 비동력 운송수단)의 수송 분담률 확대로 정하고, 지속가능교통사업 및 친환경철도사업 등의 R&D를 진행하고 있다. 세부적으로 는 국토해양비젼 및 목표달성을 위한 미래중점분야의 투자확대와 기존 연구사업 조정을 통한 신규사업 예산을 확보를 추진하고 있다.

구체적으로 국토해양 R&D는 당초 녹색기술을 50%에서 70%로 확대하고, 기초·원천 기술에 대한 투자를 16%에서 25~30%로 확대한다. 또한 R&D사업 예산규모가 2010년 7,750억 원에서 2020년 약 2조원으로 확대되어 향후 연 10%~14% 이상의 R&D 사업예산이 확대될 것으로 전망하고 있다.

〈그림 VII-1〉 향후 국토해양 R&D사업 예산규모



자료: 국토해양 R&D 발전전략, 국토해양부·한국건설교통기술평가원·한국해양과학기술진흥원

신교통수단 관련하여 '90년대 말부터 경전철에 대해 약 5천 5백억원을 투입하여 차량 및 시스템 개발 연구 추진 중이며, 현재 국가 R&D 신교통수단은 총 5개 사업으로 고무차륜 AGR, 바이모달 트램은 개발사업이 완료되었으며, 도시형 자기부상열차와 무가선트램의 개발이 진행 중으로 모두 2013년 이내에 완료될 예정이다.

〈표 VII-5〉 신교통수단 국토해양 R&D사업

구분 / 사업명	연구기간	연구개발비	주요연구내용
1. 경량전철 시스템기술개발	1999 ~ 2005 (7년)	503.2억원 (정부 370억, 민간 133.2억)	- 버스와 지하철의 중간 규모인 한국형 경량전철고무차륜(AGT) 개발, 무인운전신호제어시스템, 경량구조 선로구축물 등의 기술개발 등
2. 경량전철 시스템 실용화	2006.12 ~2009.12 (3년)	93.9억원 (정부 71.0억, 민간 22.9억)	- 차상 및 지상 CBTC 장치 국산화 개발(국산화 60%→90%이상) - CBTC 장치 신뢰성 향상 및 안정화를 위한 다중편성 종합시험 - 경전철시스템(노면, 모노레일, LIM) 표준화기준 연구 등
3. 무인 경전철 시스템 RAMS 향상 연구	2006.1 ~2010.12 (5년)	50억원(국고)	- 웹기반의 경량전철 예방보전 및 전문가시스템 개발 - 무인 고무차륜 경전철시스템 주행 신뢰성 평가(총 누적 주행거리 15만km), 시스템 RAMS 안전성 분석 등
4.무가선 저상트램시스템 기술 개발	2009.11 ~2013.4 (5년)	367.8억원 (정부 212억, 민간 155.8억)	- 무가선 저상트램 시스템의 종합 SE 및 최적화 기술 개발 - 저상형 차량설계 및 제작, 하이브리드 추진제어시스템 개발 - 차상용 에너지 저장시스템 및 주변장치 개발 등
5.도시형 자기부상열차 실용화	2006.12 ~2012.11 (6년)	4,500억원 (정부 3,161억, 민간 278억)	- 110km/h급 무인운전 도시형 자기부상열차 시스템 개발 - 도시형자기부상열차 시스템 통합(SE) - 자기부상열차 차량개발, 시범노선 구축 등

주: CBTC : Communications Based Train Control(통신기반 열차제어시스템)
RAMS : Reliability, Availability, Maintainability, Safty(신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안정성)
SE : System Engineering
자료 : 국무총리실(2011)

국토해양 R&D 발전전략 및 신교통R&D 추진현황에 비추어 볼 때, PRT 관련 기술개발은 기후변화대응과 기술혁신의 그린혁명 시나리오에 따른 지속가능교통사업 및 친환경철도사업 R&D에 부합한 분야로 판단된다.

그런데, 아직 PRT는 신교통수단에서 큰 비중을 차지하지 못하고 있는 실정이다. 그것은 과거 40년동안 기술개발이 진행되어 왔으나 기술개발 성과가 미흡하고, Test-bed를 제외하고는 아직 실질적으로 상업화를 한 사례도 없는 등 시장전망이 형성되어 있지 않기 때문이다. 이러한 점에서 볼 때, PRT는 기술개발 실용화 가능성에 대한 판단이 우선적으로 필요하고, 유사 신교통 R&D와의 우선순위에 대하여 검토가 필요할 것으로 사료된다.

3. 기술개발의 파급효과

세계 각국은 지구 온난화를 방지하고 새로운 신성장동력 창출을 위해 녹색기술을 기반으로 한 녹색산업에 투자하여 고용을 창출하고 경제에 활기를 불어 넣는 동시에 기후변화 및 저탄소 배출시대에 맞춰 대응하고 있다.

현재 일부 국가들은 21세기 성장전략산업으로 PRT를 포함한 철도분야를 설정하고 차세대 기술을 선점하기 위해 국가적인 지원과 개발이 진행되고 있으며, 핵심기술에 기반을 세우는데 전력 중이다. 영국은 자국 시스템(ULTra) 사업지원 및 국제표준 선점작업이 진행 중이고, 네덜란드는 자국내 박람회에서 시험운행을 지원하는 등 국가차원에서 UAE 사업 수주를 지원하고 있다.

교통분야는 실질적으로 교통모드의 전환이 가장 비중이 커질 것으로 기대된다. 최근 들어 교통분야의 에너지소비 및 온실가스배출을 저감하기 위하여 친환경교통수단인 철도에 대한 투자가 늘어나고 있으며, 신교통수단에 대한 수요는 지속적으로 증가하고 있다.

이 같은 신교통수단 도입의 필요성이 커짐에 따라 이에 대한 기술개발도 꾸준히 요구되고 있고, 다양한 새로운 교통체계 및 개념의 도입도 연구되고 있다. 이와 더불어 환경·에너지 문제의 심화에 따라 일자리와 성장동력을 확충하고, 미래 기업의 경쟁력을 강화시키는데 기여도 기대된다.

PRT는 그 특성상 차량, 선로 및 역사 등의 하드웨어적인 건설 및 제작뿐만 아니라 운영제어기술 등 소프트웨어적인 기술개발도 중요하다. PRT 기술개발이 성공적으로 완료되어 도입될 경우 국내 기술로 개발한 신교통수단으로서 의의가 클 수 있다. 또한 국내의 IT기술을 바탕으로 한 운영제어기술 개발은 PRT시스템의 수출을 통한 성장동력으로 가능성을 내포하고 있다.

그리고 PRT시장이 2016년 이후 부터 급격한 시장성장을 예상하는 전문기관의 예측과 같이 PRT 기술은 신교통수단에 대한 수요를 바탕으로 시장창출가능성이 기대되는 분야일 수 있다.

〈그림 VII-2〉 PRT 시장 전망



자료: Frost & Sullivan, 2008

다만, 현재까지는 세계적인 전동차 제작업체인 독일의 지멘스, 프랑스의 알스톰, 캐나다의 봄바르디에, 일본의 히타치제작소 뿐만 아니라 우리나라의 로템도 시장규모 등의 한계로 PRT 기술개발에 적극적인 모습을 보이지 않는 등 시장매력도가 아직은 낮은 수준이고, 본 대상기술은 운영제어 등 소프트웨어적 기술개발로서 부품국산화 등 측면에서의 파급효과도 한정적일 수 있다는 점도 간과할 수 없다고 사료된다.

제4절 사업의 추진의지 및 상용화 준비정도

1. 사업 추진의지 및 선호도

공공투자사업의 경우 사업이 시행되는 공간적 장소와 이로 인한 파급효과에 대하여 사업시행부터 지방자치단체, 그리고 기타 이해관계자들이 해당 사업에 대해 어떠한 의견과 관심을 가지고 있는지, 사업 추진의지가 얼마나 강한지 그리고 지역 내 의견대립이 존재하는지 등에 대한 조사 및 판단은 공공투자사업의 추진여부를 결정함에 있어서 중요한 정책적 평가요소로서 고려될 필요가 있다.

PRT 도입은 현재 기술개발을 위한 의사결정단계이므로 지방자치단체 및 기타 이해당사자의 사업 추진의지를 구체적으로 평가하기에는 이른 단계이다.

하지만 환경과 에너지 문제에 비추어 볼 때 앞으로 대중교통시스템은 궤도교통시스템 비중이 더욱 높아져 갈 것으로 전망된다. 또한, 중장기적인 관점에서 보면 앞으로 대중교통은 정시성, 편의성 뿐만 아니라 이용의 쾌적성 및 개인프라이버시 등이 대중교통시스템에서 중요한 요인으로 자리 잡아 갈 것이다.

따라서 향후 외부 통행이 목적지까지 빠르고 쾌적하게 이동해야 하고, 승용차와 같은 개인이동수단보다는 대중교통수단이 선호되는 교통 트렌드에서 단위지역 내 많지 않은 수요가 지속적이면서 분산적인 형태를 보이고, 대규모 수송수단인 기존의 도시철도나 버스로 이를 수용하기에는 비효율적인 지역의 주무관청들의 PRT와 같은 고급 대중교통수단에 대한 관심은 차츰 증가할 것으로 판단된다.

2. 상용화 준비정도

PRT시스템은 정형화된 시스템 아닌 다양한 형식을 가지고 있으며, 아직까지 전세계적으로 실질적인 상용화가 이루어진 사례가 없다. 국내에도 PRT의 선정 및 적용기준이 없으며, PRT 시스템의 도입을 위한 제도와 법규도 준비되지 않은 상황이다.

PRT의 상용화를 위해서는 차량 관련 기술과 더불어 시스템 측면에서 운행과 관련한 기술(차량제어/신호통신 등) 및 S/W, H/W 통합기술 등의 핵심기술을 확보하고 운행의 신뢰성을 갖출 수 있도록 체계적인 기술 확보가 중요하다.

구체적으로 우선 PRT는 네트워크 운영에 있어서 실시간 최적 경로 검색 알고리즘(Real-time Optimum Path Search Algorithm)의 개발 및 검증이 필요하다. 또한, On Demand의 특성 상 승객이 승차하지 않은 공차에 대하여 수요가 예상되거나 실시간으로 요청되는 해당 정차역 및 인근에 배치하여 승객이 최소한으로 대기하고 차량을 최대한 활용할 수 있도록 공차를 최적으로 배치하여 승객이 호출하기 전 미리 대기할 수 있는 제어가 필요하다. 더불어, 안정성을 확보하기 위하여 차량의 고장이나 사고가 발생한 경우, 주변 차량의 운행에 지장을 주지 않도록 제어하기 위한 사고차량 관리 제어가 필요하다. 또한 본격적인 상용화 이전에 시범선의 운행을 통한 안정성에 대한 실증도 필요한 상황이다.

그런데, PRT와 관련된 기술개발 수준은 아직 초기단계라고 볼 수 있으며, PRT교통 시장도 미국의 Morgantown Semi-PRT 도입이후 상당한 기간의 경과에도 불구하고 여전히 형성되지 못한 테스트 단계에 머물러 있는 상황이다. 이는 기술적인 제약뿐만 아니라 정치·경제·사회적 측면에서도 PRT 상용화는 여전히 발아단계로서 실질적인 상용화는 아직도 상당한 기간이 필요할 것으로 보인다.

더불어 만일 기술개발이 성공적으로 완료되는 경우에도 PRT사업이 추진되기 위해서는 PRT에 대한 사용자의 안전성에 대한 이해와 동 교통수단에 대한 수용성이 확보가 필요하다. 더불어 도시철도법 등 기존 연관 교통수단의 관련법을 PRT에 적합한 조건을 반영하여 개정하거나 별도의 법령체계의 마련이 필수적이다. 또한 본격적인 사업 추진이전에는 PRT에 대한 시설기준, 건설기준 및 안전검사기준 등을 바탕으로 건설비 및 운영비에 대한 재검토가 필요하다.

따라서 본 연구의 대상인 PRT사업의 상용화를 위한 준비 정도는 아직 상당 수준 미비하여 미성숙단계로서 사료된다.

제5절 PRT 도입 상 고려요인

1. 재원조달 가능성

일반적으로 공공투자사업은 해당사업의 추진에 필요한 재원을 국고로 충당하거나 지방자치체의 재원 혹은 민자 유치 등을 통해 조달한다. 사업 추진에 필요한 재원을 정부가 충분히 제공할 능력과 의사가 있고 민간 기업이 사업에 참여할 유인이 있는 경우라면 재원조달에 큰 문제가 발생하지 않지만 그렇지 않은 경우에는 향후 사업의 효과적인 추진에 대한 위험요인이 될 수 있다.

또한 민간투자 유치를 포함하고 있는 사업은 재원조달 가능성에 대한 면밀한 검토를 통하여 사업이 계획대로 추진될 수 있는가를 분석할 필요가 있다. 또한 수익성이 낮을 것으로 예상되는 경우, 민간사업자 선정 및 협상과정에 장기간이 소요되어 사업추진에 어려움이 발생할 가능성이 존재한다. 국고로 추진되는 사업의 경우에도 해당부문의 예산규모에 비해 정부가 조달해야 할 사업비 규모가 지나치게 클 경우에는, 해당 부문의 예산 규모를 고려하여 재원조달 계획이 예정대로 실현될 수 있을지를 검토할 필요가 있다.

가. 『국가재정운영계획』 상의 투자계획

본 사업은 연구개발 개시단계로서 구체적인 재원조달계획을 분석하기에는 한계가 있으나 「국가재정운용계획」을 통해 간접적으로 확인할 수 있다.

「국가재정운용계획보고서」(기획재정부, 2010.10)에 따르면, 그동안 정부는 국토공간의 효율적 활용을 통한 국가경쟁력 제고 및 지역의 경제발전을 위해 도로, 철도, 항만, 공항 등 교통물류 인프라와 수자원, 산업단지 등 다양한 SOC 기반시설을 적기에 공급하는데 주력하여 왔으며, 이를 위해 SOC 재정 투자를 지속적으로 늘려나감과 동시에 도로, 철도, 수자원 등에 관련 공기업 및 민간자본의 투자를 확충하였다고 밝혔다.

특히 SOC 예산은 경제위기 이전('05~'08년)에는 연간 18~20조원 수준으로 연평균 3.9% 증가하였는데, 이는 이 기간 중 재정투자 연평균 7.1%에 못 미치는 수준이었으나, 민간투자는 연 9.4%로 크게 증가하여 재정투자를 보완하였다고 밝혔다. 또한 이후 SOC예산은 '09년 경제위기 극복을 위한 수정예산 및 추경예산 편성으로 25조원 규모로 대폭 확대되었다.

〈표 VII-6〉 SOC분야 재정투자 추이

(단위: 조원, %)

구 분	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년	연평균 증가율
SOC분야	18.3	18.4	18.4	20.5	24.7	7.8%

자료: 기획재정부, 「2010~2014 국가재정운용계획」, 2010.

SOC분야의 높은 재정투입 연평균증가율과 함께 철도 및 도시철도와 관련된 정부재정투입의 정책방향으로 도로는 신규투자 및 확장보다는 기존도로의 개량과 용량보강에 중점을 두는 반면 녹색성장을 선도하는 철도투자의 비중을 확대해 나갈 계획임을 제시하였다.

철도부문은 복선화·전철화 등 철도시설에 대한 하드웨어적인 투자뿐만 아니라 시설투자 확대를 뒷받침하기 위한 소프트웨어적인 투자에도 중점을 두어 철도의 여객 및 화물수요를 증대 및 철도운영의 효율화를 도모하고, 급행열차체제의 도입과 일부 간선철도의 고속화를 통해 철도의 속도 경쟁력을 제고하고 역세권의 특성화 개발을 통해 더 많은 철도교통수요를 창출하도록 할 계획임을 제시

하였다.

도시철도부문은 교통수요를 감안하여 교통수요가 적은 경우에는 경량전철 추진을 적극 검토하여 사업비 뿐만 아니라 운영단계에서도 유지관리 비용과 운영비용이 절감되도록 할 계획임을 제시하였는데, 신도시철도로서 PRT도 재정투입 여부가 충분히 있을 수 있음을 알 수 있다.

「국가재정운용계획보고서」(기획재정부, 2010.10)의 SOC 분야 세부 예산계획을 살펴보면 2010~2014년 기간 동안 철도·도시철도 재정투입의 연평균 증가율은 8.3%로 전체 SOC 분야의 타부문보다 상당히 높으며, 재정투입액은 2014년 7조 3,650억 원에 이른다. 또한 교통연구원 보고서에 따르면, 국토해양부가 녹색교통사업 중 신규사업에 대하여 '11~'20년 연간 2,964억원이 소요될 것으로 예상하는 등 재원조달 측면에서의 무리는 없을 것으로 판단된다.

다만, 전체적으로 SOC분야의 투자예산이 감소가 예상되는 상황에서 철도·도시철도 재정투입도 우선순위에 입각한 집중화 및 효율화가 진행될 것으로 보여, PRT도입의 적시성 및 타 유사교통시설과의 경쟁우위에 대한 평가가 이루어질 필요도 있다.

〈표 VII-7〉 SOC분야 투자계획(국가재정운용계획)

(단위: 십억원, %)

구 분	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	연평균 증가율
SOC 분야	25,111	24,307	22,390	22,938	23,470	△1.7
•교통 및 물류	17,522	16,534	17,274	17,616	17,972	0.5
- 도로	8,004	7,189	6,949	6,818	6,754	△4.2
- 철도·도시철도	5,351	5,452	6,739	7,053	7,365	8.3
- 해운·항만	1,862	1,604	1,618	1,687	1,731	△1.8
- 항공·공항	67	66	67	69	70	1.1
- 물류 등 기타	2,239	2,222	1,902	1,988	2,052	△2.2

자료: 기획재정부, 「2010~2014 국가재정운용계획」, 2010.

나. 민자유치 가능성

SOC 예산의 부족과 재정운용의 효율성을 제고하기 위하여 정부는 수익성이 확보되는 사업의 경

우 민간투자사업으로 수행하도록 하고 있다. 또한 비록 민간이 추진하기에 수익성이 부족한 사업의 경우라 하더라도 공공부문이 추진하는 것보다 효율성·창의성 등의 측면에서 우수한 민간이 추진하는 것이 바람직하다고 판단되는 경우 일정 수준의 재정지원을 통하여 민간투자사업으로 추진을 추진하고 있다.

PRT시스템은 국내 도입사례가 없어서 적용법규가 확정되지 아니한 측면이 있으나 도시철도법 제3조제1호의 규정에 의한 도시철도에 포함되는 경우 민간투자법 제2조에 정의된 민간투자 대상시설의 44개 유형에 포함되는 것으로 판단된다.

앞서 살펴본 바와 같이 본 연구대상사업 모두 자체적으로는 수익성이 확보되지 못하는 것으로 분석되나 향후 기술개발을 통하여 사업비 절감이 이루어지거나, 일정 수준의 재정지원이 이루어질 경우 민간유치 가능성은 있을 것으로 판단된다.

다만, 포스코(벡터스) 및 (주)스카이카를 제외하고는 아직까지는 PRT에 대한 민간기업의 관심은 크지 않은 것으로 파악된다. 그리고, PRT사업은 아직까지 운영 네트워크기술에 대한 개발이 진행중인 단계로서 대중교통수단으로서의 실증 및 운행경험이 부족하여 민간사업자 입장에서 현 단계에서 참여의사를 판단하기에는 한계가 있다.

그러나 만일 향후 전 세계적으로 상용화가 실현되고 미래교통수단으로서 PRT의 가치에 대한 사회적 공감대가 확산될 경우 민간의 본 사업에 대한 관심도는 재평가 될 수 있을 것으로 예상된다.

2. 환경성

경제성 분석 틀 안에서 계량화되지 않는 사업특수성에 대한 항목이 정책적 분석을 통하여 반영되어야 한다. 본 대상사업의 경우 PRT 시스템의 특성 상 CO_2 절감효과 및 도시미관 개선효과가 여기에 해당된다.

가. CO_2 절감효과

도로위주의 도심교통 처리는 급격한 도시집중화와 자동차대수의 증가로 인한 도로혼잡을 해소하는데 한계를 보일 뿐 만 아니라 온실가스로 인한 지구온난화 위험이 가속화의 주범으로 평가되어 에너지효율이 높고 친환경성을 두루 갖춘 PRT와 같은 신교통수단의 도입이 도심 교통문제 해결의 대안으로 주목받고 있다. 현재 교통부문의 에너지 소비량은 국가 에너지 전체 소비의 21%를 차지하고 있으며 온실가스배출은 총 배출량의 20%를 차지하고 있다.

PRT는 CO_2발생량이 자동차 교통 대비 최소 60%이상 감소(Jon A. Carnegie, AICP/PP, "Viability of Personal Rapid Transit in New Jersey", 2007.)가 가능하다는 연구결과가 제시되고 있다.

구체적으로 미국 뉴욕 주 Itacha시 PRT 타당성 보고서(2010)는 PRT도입을 통하여 통행차량거리(vehicle miles traveled (VMT))의 감소와 이에 따른 상당한 CO_2배출량 감소를 구체적으로 제시하고 있다.

〈표 VII-8〉 VMT 및 CO_2 감소 분석: New York Itacha 사례

감소요인	주중 VMT 감소(일)	주말 VMT 감소(일)	년간 VMT 감소	연간 CO_2 배출량 감소 (metric ton)
Reduction in Bus Service (Bus miles)	352	311	124,200	357
Shift in Mode Share	8,010	3,120	2,413,700	1,101
Park & Ride Service	1,980	0	516,200	236
Total	10,342	3,431	3,054,100	1,694

따라서 향후 PRT사업이 성공적으로 추진되는 경우 통행차량거리의 감소와 이에 따른 CO_2배출량 감소효과가 예상되어 녹색교통수단으로서의 추가적인 국가경제적, 사회적 효용증가가 기대된다.

나. 도시미관 개선효과

도시가 인간의 문화와 문명의 표상이라는 관점에서 볼 때 도시의 다양한 물리적 환경요소들 속에서 생활하고 있는 시민들에게 얼마만큼이나 쾌적하고 살기에 편안한 주거환경을 제공하느냐가 중요한 문제로 대두되고 있다. 특히, 양적 성장을 추구해온 개발연대를 지나 어느 정도 국가 성장을 달성하게 되자 삶의 질이나 품격을 중시하는 등의 변화가 일어나고 있다.

현재 도시미관을 구성하는 유형적 요소에서 주요한 부분을 차지하고 있는 것 중의 하나가 교통시설에 관한 것이다. 고가도로, 철로, 각종 신호등 및 안내판 등 교통시설물 뿐만 아니라 교통수단 자체도 도시의 미관에 미치는 영향이 지대하다. 따라서 미래 교통수단을 도입할 경우 시설물 및 교통수단의 형태, 디자인 등 요소들을 감안해야 한다.

이러한 측면에서 볼 때, PRT는 차량형식 및 디자인이 기존 교통수단보다는 보다 미래지향적인 디자인으로 구상되고 있으며, 차량의 소형화로 인하여 교통시설물도 슬림화가 가능하기 때문에 도

시미관 훼손도 최소화 할 수 있을 것이다.

또한 PRT시스템은 소형·경량화로 공중, 지상 또는 지하 등 어디에서나 설치가 가능하며 건물을 통과하여 설치할 수도 있다. 따라서 도로와 간섭이 없는 전용궤도의 설치가 가능하고 효율적인 도시공간의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

특히 TOD(Transit-Oriented Development, 대중교통지향형도시개발)를 통한 도심재개발사업이 이루어질 경우 토지이용의 효율성을 제고할 수 있어서 지가상승에 따른 PRT 도입효과를 추가적으로 누릴 수 있을 것이다.

제Ⅷ장 종합평가

제1절 결과 요약

지금까지 본 보고서에서는 승객여정형 대중교통(PRT)의 경제성 평가를 위해 PRT 도입추진이 검토되었던 23개 지역 중 가장 적합하다고 판단되는 지역으로 한국철도기술연구원에서 선정하여 제시한 송도신도시, 상암DMC를 대상으로 PRT 도입가능성에 대하여 경제성 분석, 재무성분석을 실시하고 PRT사업 및 기술개발에 대하여 정책적 분석을 실시하였다.

경제성 분석 결과를 보면, 편익-비용 비율이 송도신도시의 경우 0.63, 상암 DMC의 경우 0.52로 분석되어 경제성을 확보하지 못하였다. 두 사업의 km 당 평균 사업비는 103.66억원(VAT 제외)으로 기존 경량전철 대비 상당히 낮음에도 불구하고 두 지역 모두 수송능력 대비로는 경쟁적이지 못하고, 대상노선에서 충분한 수요가 전환되지 못한 결과로 판단된다. 이는 타국 대비 대중교통수단이 발전된 우리나라의 교통환경과 아직까지 양질의 서비스에 대한 수요가 충분치 않은 것에 기인하는 것으로 사료된다. 또한 비용, 편익의 변화에 따른 민감도 분석을 실시한 결과에서도 경제성 확보에 부족한 수준으로 나타났다.

재무성분석 결과를 보면 송도신도시 및 상암DMC의 경우 각각 NPV가 각각 (-)652억원(세후수익률: 1.67%), (-)402억원(세후수익률: 0.85%)으로서 재정지원이 없을 경우 재무성이 없는 것으로 분석되었다. 한편 재정지원을 가정할 경우 NPV가 0이 되는 재정지원금의 수준은 각각 923억원(사업비 대비 44.80%), 547억원(사업비 대비 49.20%)으로 분석되어 경량전철 재정지원수준에서 사업추진이 가능한 수준이다. 다만, 본 사업이 새로운 개념의 교통시설도입사업으로서 사업시행자의 민간총사업비나 수요에 대한 위험부담이 추가적으로 고려되는 경우에는 요구수익률이 높아져 추가적인 재정지원이 필요할 수 있을 것으로 판단된다.

정책적 분석 결과를 보면, 본 사업은 간접적이기는 하지만 관련 및 상위계획과의 일치성이 인정된다. PRT는 매연, 소음이 없는 친환경적인 단거리 교통수단으로, 저탄소 녹색성장정책과 부합하고, 친환경, 지속가능성, 교통인프라의 개인화 등 교통정책방향 및 가치창출성 등 미래 교통트렌드

와의 일치성도 높은 것으로 평가된다. 그리고 CO_2 절감효과 및 도시미관개선효과도 PRT도입의 장점으로 판단된다.

사업추진주체(주무부처 및 지자체)의 추진의지는 아직 표출되지 않은 상황이나 향후 연구개발이 진행되고 환경이 성숙되어 진다면 단위지역 내 많지 않은 수요가 지속적이면서 분산적인 형태를 보이고, 대규모 수송수단인 기존의 도시철도나 버스로 이를 수용하기에는 비효율적인 지역에 대한 주무관청의 PRT사업에 대한 선호도는 존재할 것으로 판단된다.

그러나 본 사업과 관련된 사전 연구들이 공공과 민간에서 이루어져왔지만, 아직 개발초기단계로서 사업의 준비정도가 충분하다고 판단하기는 어렵다. PRT는 과거 40년동안 기술개발이 진행되어 왔으나 기술개발 성과가 미흡하고, Test-bed를 제외하고는 아직 실질적으로 상업화를 한 사례도 없는 등 시장이 형성되고 있지 않기 때문이다. 이는 기술적인 제약뿐만 아니라 정치·경제·사회적 측면에서도 PRT시스템의 도입에 시간이 필요할 것으로 보인다. 또한 PRT는 민간기업이 상용화를 진행하고 있는 상황으로서 기술개발의 중복성 측면의 재검토가 선행되어야 하고, 교통정책측면을 고려한 유사 신교통수단 R&D와의 중복성 및 우선순위에 대하여 검토가 필요할 것으로 사료된다.

제2절 종합 평가

PRT 상용화에 대한 분석을 실시한 결과, 두 검토대상지역 모두 경제성이 확보하지 못한 것으로 분석되었다. 또한, 비용·편익 및 할인율 변화에 따른 민감도 분석을 실시한 결과에서도 비용, 편익이나 할인율이 변화하더라도 경제성을 확보하기에는 부족한 수준으로 분석되었다. 송도신도시와 상암DMC가 PRT 도입추진이 검토되었던 23개 지역 중 가장 적합하다고 판단하여 선정, 제시된 것이라 점 등을 고려할 때, 타 지역의 경우 본 연구 분석대상지역보다 경제성이 낮은 수준을 보일 것으로 추정된다.

재무성분석 결과는 재정지원이 없을 경우 재무성이 없는 것으로 분석되었으나 경량전철수준의 재정지원이 이루어 질 경우 사업추진이 가능할 것으로 보인다. 경제성 및 재무성 분석결과를 종합적으로 판단할 때 PRT사업은 현재 시점에서는 사업추진 타당성을 확보하지 못하는 것으로 판단된다.

한편 사업시행으로 인한 편익분석이나 재무성분석과 같은 계량분석 틀 속에 포함시킬 수는 없으나 사업의 시행 여부를 판단하는 데 있어서 고려하여야 할 정책적 평가요소들이 있다. PRT는 매연,

소음이 없는 친환경적인 단거리 교통수단으로, 저탄소 녹색성장정책과 부합하고, 친환경, 지속가능성, 교통인프라의 개인화 등 교통정책방향 및 가치창출성 등 미래 교통트렌드와의 일치성도 높은 수단의 하나로 평가된다. 그리고 CO_2 절감효과 및 도시미관개선효과도 PRT도입의 장점으로 판단된다.

그러나 PRT는 아직 실질적으로 상업화를 한 사례도 없고, 전세계적으로도 대중교통수단으로서의 PRT 도입은 아직 초보적인 단계로 실질적인 상용화까지는 많은 리스크를 내포하고 있으며, 기술적인 제약뿐만 아니라 정치·경제·사회적 측면에서 볼 때 상당한 준비기간이 소요될 것으로 예상된다. 또한, 타 교통류와의 상충문제 등으로 기존 도시지역에서는 고가형식의 노선 선택이 불가피하며, 비용축소를 위한 노면 형식의 PRT도입은 새로 계획되는 신도시의 기획단계에서부터 반영이 필요하고 이 경우 교통정책 측면에서 적정성에 대한 재검토도 필요할 수 있을 것이다. 그리고 기존 개인교통수단 및 대중교통수단에서 충분한 수요 전환을 위한 PRT에 대한 인식 제고, 안전성에 대한 이해 및 동 교통수단에 대한 수용성 확보도 필요하리라고 본다. 다만, 계획 신도시에 PRT를 적용하는 것은 인구감소에 따른 추가적인 신도시 개발계획의 축소 가능성과 신도시 개발에 장기간이 소요됨을 고려하여야 할 것이다.

한편, 과학기술적 측면에서 볼 때, 연구개발의 지속적 시행 여부에 대해서는 별도로 판단할 필요가 있을 것이다. 즉, PRT 상용화에 대한 경제성과 정책적 분석의 결과와 상관없이 제시된 기술개발계획이 적절하거나 현재의 기술 수준과 앞으로의 전망에 비추어 보았을 때 해당 연구개발의 시행이 과학기술적 관점에서 타당한 경우도 존재한다. 예를 들어 정책적인 측면에서 기초, 원천기술의 사전확보나 기술개발의 파급효과 등을 감안하여 필요할 경우 연구개발을 지속해야 할 수도 있을 것이다. 이 경우 담당기관 및 주무부서는 민간기업이 상용화를 진행하고 있는 상황으로서 기술개발의 중복성 측면과 교통정책측면을 고려한 유사 신교통수단 R&D와의 중복성 및 우선순위에 대하여 판단이 필요할 것으로 사료된다.

결론적으로 PRT 운영기술 개발 추진에 대한 판단은 경제성 분석결과를 바탕으로 정책적 측면을 고려하되, 정부의 장기적인 교통정책의 전략적인 측면과 국토해양 R&D 또는 교통시설 R&D 투자평가의 기준에 따라 결정되어야 할 것으로 판단된다. 그리고, 향후 PRT 상용화에 세계시장의 진행경과와 신교통수단의 도입방향 추세를 주시하면서 PRT기술개발 추진여부를 판단하는 정책결정이 바람직할 것으로 사료된다.

참고 문헌

○ 국토해양부 보도자료, 『나홀로 승용차 전국 평균 77.7%』, 2010.03.18

○ 국토해양부 보도자료, 『자동차 등록대수 1세대당 1대에 접근』, 2011.04.08

○ 국토해양부 보도자료, 『교통수단별 수송분담률』, 2010.09.02

○ 국토해양부, 『제2차 대중교통기본계획(2012~2016)』, 2011.02

○ 국토해양부, 『국토해양 R&D 발전전략』

○ 동아일보, 『스마트 교통 시대로』, 2011.08.17

○ 서울과학기술대학교・대중교통포럼, 『PRT 적용성 분석』, 2010.10

○ 인천교통공사, 『월미관광특구 전차사업운영 기본계획 수립 보고서』, 2007.07

○ 주식회사 순천에코트랜스, 『순천소형경전철(PRT) 민간투자사업 건설공사 실시설계보고서 (토목분야)』, 2011.06

○ 포스코・Vectus, 『Vectus 소형경전철(PRT) 소개자료』, 2009.08

○ 한국개발연구원, 『도로·철도 부문 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제5판)』, 2008.02

○ 한국건설교통기술평가원, 『차세대 도시철도시스템 기술개발사업 1차년도 연구보고서(분야:소형궤도열차시스템』, 2006.07

○ 한국교통연구원, 『미래형 교통수단의 개발동향과 전망』, 월간 교통 통권 제119호, 2010.09.02

○ 한국철도기술연구원, 『승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술개발 과제점검회의 자료』, 2011.05.19

○ 한국철도기술연구원, 『승객여정선택형 대중교통(PRT) 운영기술개발』, 2010.10.28

○ 한국철도기술연구원, 『소형궤도열차시스템 Pilot Plant(시험선로) 계획수립 보고서』, 2006.05

○ 한국철도기술연구원, 『속초시 경전철건설 기본설계안 수립용역 최종보고서』, 2007.10

○ 한국철도기술연구원, 『PRT 도입 현황분석』, 한국철도기술연구원 내부자료, 2011.0.1.20

○ 김동선, 『PRT의 표준적 시스템 소개』, 대한교통학회 학술토론회 발표자료, 2008

○ 김민우・이희영, 『PRT 기술개발현황 및 궤도기술연구』, 대우엔지니어링, 기술보 제25권 제1호(통권 제30호), 2009.10

○ 김시곤, 『PRT 수요추정모형 및 적용가능지역』, 대한교통학회 학술토론회 발표자료, 2008

○ 김연규, 『해외PRT 시스템 소개』, 대한교통학회 학술토론회 발표자료, 2008

○ 민재홍·정병헌·신해미, 『바이모달트램 도입을 위한 제도 개선 연구』, 한국철도학회, 2009년도 춘계학술대회 논문집, 2009.05

○ 이상근·최영진·김자민·권성국·박정수, 『녹색철도 중심의 교통체계 구축을 위한 PRT 활성화 방안』, 한국철도학회, 2009년도 추계학술대회 논문집, 2009.11

○ 이준·김경태·문대섭·이진선, 『소형궤도열차시스템의 국내 적용방안 연구』, 산업자원부, 2007.

○ 이진선·김경태, 『소형궤도차량(PRT)의 국내 적용시 정책적 검토 사항 연구』,한국철도학회, 논문집 제12권 4호, 2009

○ 정락교·조홍식·김연수·정상기·이안호, 『소형궤도열차의 현황 및 가능성』,한국철도학회, 춘계학술대회 논문집 2003, 2003.05

○ (주)벡터스, 『순천만 소형경전철사업계획서』, 2009

○ 차동득, 『PRT에 대한 최적 수요조건 확인』, 대한교통학회 학술토론회 발표자료, 2008

○ A.D. Kerr·P.A. James·A.P. Craig, 『Infrastructure Cost Comparisons for PRT and AP M』

○ Alain Kornhauser, 『Personal Rapid Transit Network Design for the State of New Jersey』, 2009.

○ Anton Redfors , 『A Field Study of PRT in Shanghai』, 2009.12

○ Benjamin Edelman, 『Personal Rapid Transport at Vectus, Ltd.』, 2010.08,27

○ C&S ENGINEERS, INC·CONNECT ITHACA , 『Feasibility of PRT in Ithaca, New Yor k』, 2010.09

○ Daventry District Council, 『Daventry Development Transport Study』, 2007.04

○ da Vinci Global Services, 『Report on the Feasibility of Personal Rapid Transit in Santa Cruz, California』, 2007.03,09

○ Ferrol Robinson·Matt Schmit·Lee Munnich, 『Potential Viability of Automated Rapid Transit at the Minneapolis-St. Paul Airport』, Minnesota Department of Transportation Research Service Section, 2011.03

○ Frost & Sullivan, 『IExecutive Analysis of the Global Emergence of Personal Rapid Transit Systems』, 2008.11

○ Goran Tegner·M Sc Econ, 『Benefits and Costs of a Podcar Network in 59 Swedish The role of City Size for the Net Benefits』, PRT@LHR conference, 2009.04

- Göran Tegnér · Emma Strömblad, 『Report on the Uppsala Boländerna PRT feasibility study』, 2010.02
- Göran Tegnér, M. Pol. Sc, 『Benefits and Costs of a Personal Rapid Transit (PRT) system in Stockholm』, TRANSEK Consultants Company, 2005.02
- HeathrowAirport Limited, 『Personal Rapid Transport at Heathrow』, 2010
- Jon A. Carnegie · Paul S. Hoffman, 『IViability of Personal Rapid Transit In New Jersey』, 2007.02
- J. Edward Anderson, 『High-Capacity Presonal Rapid Transit:Rationale, Attributes, Status, Economics, Benefits』, 2007.01
- J. Edward Anderson, 『An Intelligent Transportation Network System : Rationalé Attributes, Status, Economics, Benefits, and Courses of Study for Engineers and Planners』, 2010.08
- J. Edward Anderson, 『How to Solve Urban Transportration Problems Through Innovatiion』, 2007
- John Hawthorne, 『Implementation of PRT:Pilot network design』, PRT@LHR conference, 2009.04
- Jörgen Gustafsson, 『The Vectus PRT system』, Vectus Ltd., 2009.04
- NICHES+, 『Guidelines for Implementers of Personal Rapid Transit (PRT)』, 2010.06
- Nick Ford, 『A New Revolution in Urban Transport - Personal Rapid Transit』, Frost & Sullivan, 2009.04
- PRT International, LLC, 『Response to Minnesota Department of Transportation Request for Interest Personal Rapid Transit (PRT) Viability and Benefits 』, 2010.05.18
- SKM(Sinclair Knight Merz), 『Daventry PRT Scoping Study』, Daventry District Council, 2008.02
- Taxi2000, 『Skyweb Express-Transportration for The 21st Century』, 2007.08
- Taxi2000 Corporation, 『Skyweb Express Feasibility Study』, 2007
- ULTra, 『Advanced Transport Systems ULTra PRT』, 2009.10,20
- Vectus Ltd. Brochure
- PRT Consulting(http://www.prtconsulting.com)
- Serious Wheels(http://www.seriouswheels.com)

- Wikipedia(http://en.wikipedia.org)
- 2getthere(http://www.2getthere.eu)
- Vectus Ltd.(http://www.vectusprt.com)

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 교통체계효율화사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 교통체계효율화사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.