


광역교통 체계
효율화를 위한
친환경 안전
Super BRT 기획
연구

Plan of Eco-friendly & Safe Super BRT
for Efficient Transportation System

2019.4



광역교통체계
효율화를 위한
친환경 안전
Super BRT기획
연구

Plan of Eco-friendly & Safe Super BRT
for Efficient Transportation System

2019.4

제 출 문

한국철도기술원장 귀하

본 보고서를 “광역교통체계 효율화를 위한 친환경 안전 Super BRT기획연구 (S-BRT 우선 신호기술 및 안전 기술분야)” 과제의 보고서로 제출합니다.

2019년 4월 20일

연구기관명 : 한국철도기술연구원

연구책임자 : 책임연구원 권 석 진

연구원 : 책임연구원 권 태 수

책임연구원 황 현 철

선임연구원 김 진 성

책임연구원 곽 재 호

책임연구원 문 경 호

책임연구원 이 찬 우

책임연구원 서 정 원

책임연구원 구 병 춘

책임연구원 서 승 일

책임연구원 김 정 국

책임연구원 이 준

선임연구원 오 동 규

선임연구원 유 소 영

선임연구원 정 은 비

책임연구원 김 경 태

책임연구원 민 재 홍

선임연구원 이 인 목

연구기관명 한국건설기술연구원

연구원 연구위원 윤 덕 근

선임연구위원 성 정 곤

수석연구원 백 철 민

수석연구원 양 성 린

전임연구원 박 재 홍

보고서 요약서

과제코드	RP181012	총연구 기간	2018.10.01 ~ 2019.4.20	당해연도 연구기간	2018.10.01 ~ 2019.4.20
연구사업명	한국철도기술연구원 자체사업				
연구과제명	대과제명	미래 철도기술 기획연구			
	세부과제명	광역교통체계 효율화를 위한 친환경 안전 Super BRT기획 연구 (S-BRT 우선 신호기술 및 안전 기술 분야)			
연구책임자	권 석 진	해당단계 참여 연구원수	총 내부 외부	23명 18명 5명	해당단계 연구비 정부 기업 계
					3,000천원 천원 3,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국철도기술연구원 차세대철도차량연구본부		공동연구기관명	한국건설기술연구원	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위탁연구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약 (연구결과를 중심으로 개조직 500자 이내)				보고서면수	171
<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술개발 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - 광역교통체계 효율화를 위한 친환경 Super BRT의 우선 운영에 필요한 기술과 이용자의 안전기준과 시설에 대한 연구 기획 필요 ○ 연구목표 <ul style="list-style-type: none"> - S-BRT의 신호 운영기술과 이용자의 안전성을 위한 안전기술 및 도로 운행안전 확보기술에 대한 연구항목 도출 ○ 연구개발 내용 및 범위 <ul style="list-style-type: none"> - S-BRT 차량설계 해석 기술, 신호운영기술 및 교통사고 피해저감 기술 개발 기획 - S-BRT 시스템의 도로 안전성 및 내구성 확보 기술 기획 ○ 연구개발과제 제안요구서 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 과제기간 : 2020년~2022년(3년) - 소요예산 : 100억원 					
색인어 (각 5개 이상)	한글	간선급행버스체계, 우선신호, 안전, 도로포장, 도로설계			
	영어	Bus Rapid Transit, Traffic signal Preemption and Priority Control, BRT, Safety, Pavement, Highway Design			

요약문

I. 제목

광역교통체계 효율화를 위한 친환경 안전 Super BRT기획 연구
(S-BRT 신호 운영기술 및 안전관리 기술 분야)

II. 연구개발의 목적 및 필요성

경계를 넘어 권역의 상생발전을 이끄는 빠르고 편리한 광역교통 체계 확보를 위해, 대도시권 광역교통위원회가 설립되었으며, 시민의 출퇴근이 빠르고 편리하며, 저렴한 교통분야 공공성 강화에 대한 시급한 정책 반영 및 교통기술 개발이 요구되고 있다. 수도권 주민 평균 출근시간 90분, 광역버스 혼잡율 138%인 실정으로, 간선급행 버스에 대한 서비스 개선이 절실히 필요하다. 이에 본 연구에서는 국내외 간선급행 버스 체계를 조사하여, 고급형 간선급행 버스 체계 개념을 제시하고, 이에 따른 기술 개발 요소를 도출하였다. 연구 결과, 1) S-BRT 차량개념 설계, 신호운영기술 및 교통사고 피해저감 기술, 2) S-BRT 도로 안전성 및 내구성 확보 기술을 우선순위가 높은 기술개발 요소로 선정하여 기획보고서를 작성하였다. 현재, 운영 중인 간선급행버스 (BRT) 노선, 중앙버스차로제 운영 구간 등에 우선신호 운영 수요 증가되고 있으며, 버스 우선신호 운영시 정시운행률 37% 향상을 기대할 수 있다. BRT 시범사업마다 시도된 서로 상이한 우선신호체계에 대해 국가적인 표준 기술과 상세 가이드라인 제시를 위한 기획연구를 수행하였다. 간선급행버스 전용차로의 운영에서는 버스의 중량이 매우 큰 버스 단독 운행 시스템이며, 일반 도로에 적용되는 안전시설의 성능과 기능과는 상당히 상이하여 버스전용차로의 안전한 운용을 위해서는 안전시설에 대한 전반적인 재검토가 필요한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 S-BRT 이용자의 편리성과 안전성을 위하여 본 연구에서 필요한 연구 내용과 연구 항목들을 도출하였다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. S-BRT 차량개념 설계, 신호운영기술 및 교통사고 피해저감 기술 개발 기획

1) S-BRT 차량 설계해석 기술 및 실시간 신호운영 기술 개발

- S-BRT 차량의 개념설계 사양 검토 및 성능 해석기술 개발
- 실시간 S-BRT 신호운영 시스템 및 표준 가이드라인 개발
- 실시간 S-BRT 신호 운영시스템의 연계기술 개발
- 2) S-BRT의 교통사고 피해 저감 기술 개발
 - S-BRT의 피해사고 안전 기술기준 도출
 - S-BRT의 경충돌안전장치 시제 개발 및 검증 시험
 - 피해 시나리오에 의한 S-BRT 주행안전성 기준(안) 도출
- 3) S-BRT 실증화를 위한 시범 적용 기술 개발
 - S-BRT 실증화를 위한 시범 적용구간 및 시험평가

2. S-BRT 시스템 도로 안전성 확보 기술 기획

- 1) S-BRT 전용차로 인프라 안전시설 기술 개발
 - 기존 버스전용차로 운용과 관련된 교통사고 자료 분석
 - S-BRT 운영에 필요한 안전시설 기준(안) 작성
 - S-BRT용 인프라 안전시설 기준(안) 개발
- 2) S-BRT 전용차로 인프라 설계 요소기술 개발
 - S-BRT 전용차로 기하구조 설계 기준(안) 개발
 - S-BRT 전용도로 고내구성 포장 설계 기법 개발

IV. 연구개발결과

1. S-BRT 차량개념 설계, 신호운영기술 및 교통사고 피해저감 기술 개발 기획

- 1) S-BRT차량 운영 시스템 기술 개발
 - S-BRT차량 운영 전략 수립 및 표준체계 확보
 - S-BRT 통합정보수집 표준화 기술
 - 전용도로/차선 기반 노선별 운영 전략 수립 (유형1: 대도시권 광역·도시철도 보완, 유형2: 지방중소도시의 간선교통 담당)
 - 자율주행을 대비한 S-BRT 시스템 호환 및 운영 전략 연계 기준
 - 차량내 혼잡도 완화를 위한 실시간 배차 편성기술
 - 센터 기반 S-BRT차량 운행관리 및 제어 기술 개발
 - S-BRT 우선신호 및 신호운영 최적화 기술
 - 실시간 S-BRT 차량 유고정보기반 대체 교통 서비스 제공 기술
 - 이용자 승하차 편의성 확보를 위한 S-BRT 차량 설계 및 추진, 조향 제어 기술

- S-BRT 연계·환승을 위한 회차형 환승 정류장 설계 기술
- S-BRT차량 시범 운영 및 실증 기술 개발
 - S-BRT 시범 적용 노선 선정 및 거버넌스 표준 체계 제시
 - S-BRT 통합운영시스템 구축 및 시범운영
- 2) S-BRT 차량의 교통사고 피해 저감 및 안전기술 개발
 - S-BRT차량의 피해사고 안전 기술기준 도출
 - 공공 대중교통 관점의 충돌안전 기술기준 분석 및 안전 기술기준(안) 도출
 - 가상시뮬레이션 기법 개발 및 교통사고 시나리오별 해석 플랫폼 구축
 - S-BRT 차량의 안전장치 시제 개발 및 검증 시험
 - S-BRT차량의 충돌안전장치 요구성능 도출 및 시제품 제작
 - 실물시험을 통한 검증 및 보완
 - 안전시나리오에 의한 S-BRT의 주행안전성 기준(안) 도출
 - 단일 또는 복합운행에 따른 S-BRT의 주행안전성 및 성능 평가
 - 피해 시나리오에 의한 차량 안전성 평가 기준(안)

2. S-BRT 시스템 도로 안전성 확보 기술 기획

- 1) S-BRT 전용차로 인프라 안전시설 기술 개발
 - 기존 버스전용차로 운용과 관련된 교통사고 자료 분석
 - 기존 BRT 및 버스전용차로 교통사고 분석
 - 기존 중앙버스전용차로 정류장 및 횡단시설 설치현황 및 문제점 분석
 - 교통사고 원인별 안전 대안 제시 및 필요 시설 도출
 - S-BRT용 인프라 안전시설 개발
 - S-BRT용 정류장 안전시설 설계
 - 일반 차로와 버스전용차로 분리를 위한 방호시설 설계
 - 각 부재별 실내 실험(정적, 동적 실험)
 - 설계된 안전시설 시뮬레이션 분석 및 보완
 - 실차량 중량과 목표 주행속도를 고려한 실물 충돌 실험 (정면 충돌, 각도 충돌)
 - S-BRT 안전시설 기준(안) 개발
 - 버스와 타 교통류와의 상충 방지 안전시설 기준(안) 개발
 - 버스정류장 충돌 피해를 최소화할 수 있는 안전시설기준(안) 개발
- 2) S-BRT 전용차로 인프라 설계 요소기술 개발
 - S-BRT 전용차로 기하구조 설계 기준(안) 개발
 - S-BRT 전용차로 횡단선형 설계 요소 도출
 - S-BRT와 일반 차량 교차 지점 교차로 설계 요소 도출

- 안전 및 운영 효율화를 위한 S-BRT 기하구조 설계 기준(안) 마련
- S-BRT 정류장 용량 산정 및 설계 요소 도출
 - S-BRT 용량 산정 방법론
 - S-BRT 정류장 설계 요소 도출(승강대, 대기공간 등)
 - 용량에 따른 정류장 분류 설계 및 정류장 형식(환승, 단일 사용)에 따른 설계 요소 도출
 - 안전 및 운영 효율화를 위한 S-BRT 정류장 설계 기준(안) 마련
- S-BRT 전용도로 고내구성 포장 설계 기법 개발
 - 교통량, 버스하중, 하부조건을 고려한 주행구간의 포장단면 설계기법 개발
 - 안전성 향상을 위한 고내구성 아스팔트 포장 및 표면처리기술 개발
 - 정류장 및 교차로 등 가감속구간의 적용기술 개발
 - 기존 도로 포장 활용 기법 개발
- 기존 도로 및 신설도로 S-BRT 적용 방안 제시

V. 연구개발결과의 활용계획

- 센터기반 S-BRT 신호운영기술은 시스템 설계, 제작, 검증을 통해 우선신호기술을 완성하고 국가적으로 표준가이드라인으로 제시되어 세종시 등 국내외 도입예정인 BRT노선에 활용 도록 추진
- 기획연구를 통해 도출된 연구 목표들을 토대로 본 연구를 수행하여 급행 간선버스 시스템 운영에 필요한 도로안전시설 및 도로포장기술이 실제 활용될 수 있도록 지침과 시설들을 개발 활용

목 차

요약문	iv
제1장 기술의 정의 및 필요성	3
제1절 기술의 정의 및 분류체계	3
제2절 기술개발의 필요성	6
제3절 S-BRT 개념 정립	9
제2장 국내외 동향 및 환경분석	57
제1절 국내외 정책동향	57
제2절 국내외 시장현황 및 전망	71
제3절 국내외 기술 동향	73
제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략	133
제1절 비전 및 목표	133
제2절 연구개발과제 구성 및 주요 내용	134
제3절 연구추진체계	138
제4절 기술/성과 로드맵	139
제5절 최종성과물 성능목표 및 활용방안	141
제4장 자원투입 계획	146
제1절 연구시설 및 장비 투입계획	146
제2절 인력 및 소요예산 투입계획	147
제5장 과제공모 방안	152
제1절 과제제안 요구서	152
참고문헌	167

표 목 차

표 1-1-1 BRT의 종류	3
표 1-1-2 국내 사용중인 BRT노선	3
표 1-1-3 BRT 유형별 기반시설	4
표 1-3-1 ITDP의 BRT Standard의 평가체계	9
표 1-3-2 ITDP의 BRT Standard Rankings	12
표 1-3-3 BRT 평가 기준 검토에 따른 S-BRT 성능 목표 설정 및 기술 개발 고려사항 3·5	
표 2-2-1 세계 ITS 및 ATMS시장 규모	71
표 2-2-2 미국 BRT의 우선신호 운영사례	73
표 2-2-3 국내 긴급차량 우선신호 운영현황	81
표 2-2-4 바이모달 트램의 내구성 안전성 평가시험 항목	86
표 2-2-5 대중교통시설별 시간당 수송 능력	103
표 2-2-6 런던의 버스전용차로에 적용된 공법(표층)	107
표 2-2-7 캘거리 버스전용차로의 포장 두께	107
표 2-2-8 남아프리카 공화국 버스전용차로의 포장 공법	108
표 2-2-9 핵심특허 기술내용 분석	120
표 2-2-10 주요특허 기술 심층분석	121
표 5-2-1 인력 투입 계획	148
표 5-2-3 연구비 투입 계획	149

그림 목 차

그림 1-1-1 BRT의 운행 노선 개념	4
그림 1-2-1 S-BRT의 우선 신호기술	7
그림 1-2-2 S-BRT의 안전 기술	7
그림 1-2-3 BRT 시스템의 일반적인 사고 형태	8
그림 1-3-1 BRT 기본 구성요소 개념도	11
그림 1-3-2 펜스로 분리된 BRT 버스 전용 주행로 사례	13
그림 1-3-3 BRT 전용 주행로 설계: 최소 3km 연속된 전용 주행로 설치 설계 예시	13
그림 1-3-4 BRT 버스 주행로 구성 예시	16
그림 1-3-5 요금징수체계 방식에 따른 BRT 정류장 부속 시설	18
그림 1-3-6 국외의 버스 우선 교차로 처리 사례	19
그림 1-3-7 버스 우선 신호 교차로 신호 처리 예시	19
그림 1-3-8 버스 정류장 수평 승하차 사례 (인도 아마다바드)	20
그림 1-3-9 국외 정류장 추월차로 설치 사례	21
그림 1-3-10 교차로와 정류장 거리 간격 유지 사례 (인도 아마다 바드)	22
그림 1-3-11 국외 섬식 정류장 설치 사례	23
그림 1-3-12 국외 BRT 정류장 간 간격 유지 사례 (중국 광저우)	24
그림 1-3-13 국외 상급 BRT 정류장 환경 구축 사례 (콜롬비아 칼리)	25
그림 1-3-14 버스 승차대 및 보조정류장 예시	26
그림 1-3-15 국외 BRT와 타 대중교통 수단과의 연계 사례: 중국 광저우	27
그림 1-3-16 국외 BRT 연계 자전거 시설물 설치 사례	28
그림 1-3-17 국외 슬라이딩 도어 설치 사례	29
그림 1-3-18 국외 교통약자 접근성 향상 사례	30
그림 1-3-19 국외 BRT 브랜드 구축 사례	31
그림 1-3-20 세계 주요 도시의 BRT 브랜드	31
그림 1-3-21 국외 BRT 버스 정보 제공 시스템 사례	33
그림 1-3-22 네 개의 출입문을 설치한 굴절 버스 (프랑스 낭트)	35
그림 1-3-23 국외 BRT 버스 정류장과 버스 바닥 높이 일치 사례	37
그림 1-3-24 국외 대체 연료 버스 BRT 도입 사례	38
그림 1-3-25 다양한 버스 노선 설계 개념도	39
그림 1-3-26 BRT 네트워크의 구분	40
그림 1-3-27 BRT 운영 형태 구분	41

그림 1-3-28 BRT 중앙제어센터 구축 사례: 브라질 리우자네이루	43
그림 1-3-29 BRT 수요를 반영한 BRT 구간 및 인프라 수준 결정 예시	44
그림 1-3-30 중국 이창의 BRT 시스템	45
그림 1-3-31 브라질 벨로리존테의 BRT 시스템	46
그림 1-3-32 콜롬비아 보고타의 BRT 시스템	47
그림 1-3-33 아르헨티나 부에노스아이레스 BRT 시스템	48
그림 1-3-34 멕시코 멕시코시티 BRT 시스템	49
그림 1-3-35 남아프리카 공화국 요하네스 버그 BRT 시스템	50
그림 1-3-36 미국 하트 포드 BRT 시스템	51
그림 1-3-37 인도 뎀 프리 친치 와드 BRT 시스템	52
그림 2-1-1 버스전용차로 포장손상(포트홀(좌), 소성변형(우))	68
그림 2-1-2 버스전용차로 칼라코팅 손상(탈색(좌), 탈리(우))	69
그림 2-1-3 서울시 중앙버스전용차로 도로포장 파손 사례	70
그림 2-1-4 버스 전용차로 위험 안전시설 부재로 인한 위험 상황	70
그림 2-2-1 미국의 BRT	74
그림 2-2-2 기반 버스우선 신호제어시스템 구성도	78
그림 2-2-3 현장식 긴급차량 우선신호제어시스템	80
그림 2-2-4 신교통형 BRT	81
그림 2-2-5 일반형 BRT	82
그림 2-2-6 LA에 설치될 새로운 버스 정류장 모형	82
그림 2-2-7 브라질 쿠리치바의 버스 정류장	83
그림 2-2-8 Studio Mango社의 ATC Solar	84
그림 2-2-9 바이모달 트램의 정거장 기술	84
그림 2-2-10 BRT 피해저감 연구 기술	87
그림 2-2-11 도시형 트램 충돌사고 시나리오(SAFETRAM 최종보고서, 2004)	88
그림 2-2-12 에너지흡수부재 설계 사례(SAFETRAM 최종보고서, 2004)	89
그림 2-2-13 에너지흡수부재 충돌시험 전후 모습(SAFETRAM 최종보고서, 2004)	89
그림 2-2-14 동종 트램 간의 충돌해석 시뮬레이션(TCRP C-17 보고서, 2008)	90
그림 2-2-15 트램과 승용차 충돌사고 사례(TCRP C-17 보고서, 2008)	91
그림 2-2-16 트램과 승용차 충돌사고 시뮬레이션(TCRP C-17 보고서, 2008)	91
그림 2-2-17 연결기가 노출된 트램과 SUV 충돌사고 시뮬레이션	91
그림 2-2-18 SUV의 트램 측면 충돌 시뮬레이션(TCRP C-17 보고서, 2008)	92
그림 2-2-19 차량 전복에 영향을 미치는 요인들	92
그림 2-2-20 차량의 횡방향 안정성 상실에 따른 전복 메커니즘	93

그림 2-2-21 tractor-trailer에서 trailer가 먼저 전복되는 전형적인 사례	94
그림 2-2-22 tractor-trailer의 선회시 tractor와 trailer의 선회반지름	95
그림 2-2-23 적재물에 의한 횡방향 가진으로 인해 원심력이 강화되는 현상들	95
그림 2-2-24 자전거 모델을 결합한 3자유도 모델	97
그림 2-2-25 롤각과 롤각속도를 이용하여구성한 전복한계선도	97
그림 2-2-26 차량의 전복지수	97
그림 2-2-27 선형 능동안티롤바	98
그림 2-2-28 차량전복방지	98
그림 2-2-29 Volvo의 XC90에 적용된 전복 방지 제어 로직	99
그림 2-2-30 운전자 조작에 의한 차량전복	100
그림 2-2-31 Virtual model	101
그림 2-2-32 차량의 속도와 조향에 따른 전복확률	100
그림 2-2-33 캘리포니아주 버스전용차로의 포장형식 및 단면구조	106
그림 2-2-34 호주 골드코스트 버스전용차로의 포장재료 및 포장단면	108
그림 2-2-35 HiMA 적용 포장	109
그림 2-2-36 프리캐스트 콘크리트 시공 및 준공 전경	111
그림 2-2-37 아스팔트 혼합물 내부의 섬유 분포	112
그림 2-2-38 섬유그리드 공법 개념도	113
그림 2-2-39 SMA 혼합물의 조성	115
그림 2-2-40 SMA(왼쪽)와 밀입도 아스팔트(오른쪽)의 단면 비교	115
그림 2-2-41 SMA 혼합물과 일반 밀입도의 응력전달 개념 비교	115
그림 2-2-42 출원년도 및 국가별 출원추이	116
그림 2-2-43 주요 출원국 및 출원기관 동향	117
그림 2-2-44 연도별 주요 출원인 동향	117
그림 2-2-45 핵심특허 도면	118
그림 2-2-46 핵심특허(US6615118B2) 평가결과	119
그림 2-2-47 신호기술의 시장성속도	119
그림 2-2-48 차량전복관련 특허현황	125
그림 2-2-49 국가별 인프라 연계 능동형 사고방지 및 피해경감 기술개발 출원	126
그림 2-2-50 국가별 ‘도로 인프라 안전 성능 향상 기술 개발’ 출원 건수	126
그림 5-1-1 연구시설 장비	146
그림 5-1-2 철도차량 실물충돌시험설비	147

제1장

기술의 정의 및 필요성

제1절 기술의 정의 및 분류체계

제2절 기술개발의 필요성

제3절 S-BRT 개념 정의

제1장 기술의 정의 및 필요성

제1절 기술의 정의 및 분류체계

1. 기술의 정의

BRT의 역사는 1970년대 미국에서 시작되어 대부분 상급 BRT로 구성되어 있으며 가장 큰 특징은 도로 위에 지하철 승강장과 같은 긴 정류장이 구축되어 있다. 최근에는 이용자의 안전성 확보를 위하여 도시철도와 같이 스크린 도어, 통합정보시스템의 편리성과 안전성을 동시에 추구하고 있다.

S-BRT(Super Bus Rapid Transit: Super 간선형 급행버스 체계)는 많은 사람들이 신속하게 이동할 수 있는 버스 장점과 정시 도착, 출발하는 지하철 장점을 합친 교통수단으로서 S-BRT의 핵심기술은 교차로를 정차없이 주행할 수 있는 우선적인 신호기술, 이용자의 안전성을 최우선으로 하고 불편을 최소화하는 기술, 차량의 고성능화 기술로 정의할 수 있다.

표 1-1-1 BRT의 종류

구성요소 종류	BRT 자동차	고가도로 및 지하도	BRT 우선도로	전용차로	환승시설	운영관리 시스템
초급 BRT	○	×	△	○	△	○
중급 BRT	○	△	△	○	△	○
상급 BRT	○	○	○	○	○	○

표 1-1-2 국내 사용중인 BRT노선

노선	BRT 종류
경기고양 ~ 서울은평구	초급 BRT
경기하남 ~ 서울강동구	중급 BRT
인천청라 ~ 서울강서구	상급 BRT
세종특별자치시	상급 BRT

ITDP(Institute for Transportation Development &Policy)에서 발간한 “The BRT Standard”에서는 BRT를 정의하기 위해 BRT 도로축(BRT corridor)의 개념을 사용하고 있다. 이 도로축은 3 km 이상의 버스전용차로를 갖추어야 하며, 차로의 중앙에 위치한 전용차로, 선지불시스템, 버스통행 우선권이 확보된 교차로, 승강장 - 차량간의 단차를 줄이기 위한 시설물과 차량을 갖추도록 권장하고 있다. 그 밖에 버스정보시스템, 정류장간 적정 간격 등 다양한 측면에서 BRT 시스템이 갖추어야 할 요소를 제시하고 있다

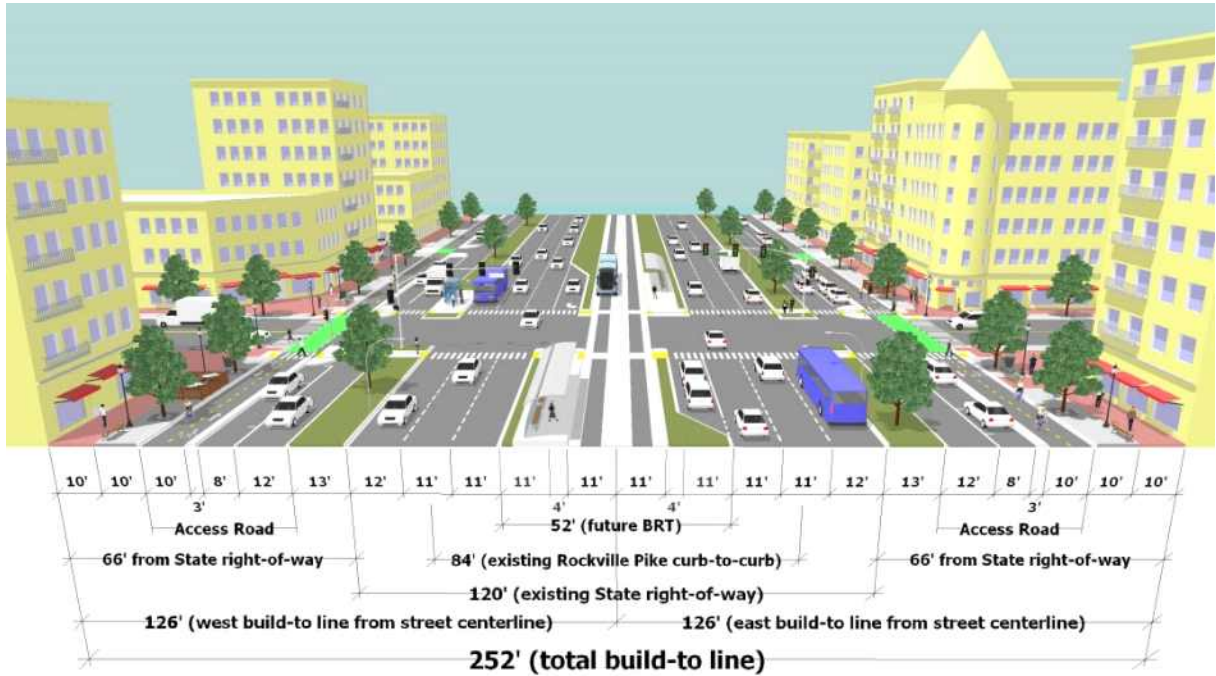


그림 1-1-1 BRT의 운행 노선 개념

BRT는 지역의 도로 및 교통여건, 기능 요구수준에 따라 신교통형 BRT와 일반형 BRT로 구분하며 신교통형은 전용도로 및 전용차량, 입체교차로 등의 시설을 구축함으로써 경전철에 준하는 교통서비스 제공하고 일반형은 버스전용차로, 일반형버스, 버스우선 신호 등의 시설을 구축함으로써 신속성과 정시성 확보한다.

표 1-1-3 BRT 유형별 기반시설

구분	BRT 자동차	주행로	교차로	환승시설	운영관리 시스템	평균통행 속도(km/h)
신교통형	전용차량	전용도로	입체처리	포함	전용시스템	35
일반형	일반버스	전용차로	우선처리	일부포함	BMS,BIS	20

2. 기술분류체계

S-BRT의 핵심기술은 교차로를 정차없이 주행할 수 있는 우선적인 신호기술, 이용자의 안전성을 최우선으로 하고 불편을 최소화하는 기술, 차량의 고성능화 기술로 기술체계를 분류할 수 있으며 다음과 같이 연구항목이 필요하다. 본 연구에서는 우선 신호기술과 안전 기술 분야에 초점을 맞추어 기술항목을 도출하고자 한다.

- S-BRT 신호 운행기술 및 급행 운행 기술
- S-BRT의 안전 기준, 관리 기술 및 도로 안전성 확보 기술
- S-BRT 교통사고 가상시뮬레이션 기술 및 내구성 시험평가 기술
- S-BRT 차량 승강장 및 진입로
- S-BRT 차량의 고성능화 기술(동력 system, 전력 충전기술, 모니터링 기술 등)
- S-BRT 차량 설계 및 교통체계 기술(교차로, 교통 기준, 양문형 등)
- S-BRT 차량 이용성을 위한 접근 체계(이용자 동선체계, 간섭, 교통약자)

제2절 기술개발의 필요성

본 연구의 최종목표는 S-BRT의 우선 신호기술과 이용자의 안전성을 위한 안전 기술과 도로운행 안전성 확보 기술에 대한 연구항목 도출이다.

정부 교통정책중 주요이슈인 대중교통 이용증진과 서민 교통비용 부담경감을 위해 대중교통 통행시간 단축, 정시성 확보 요구가 대두되고 있다. 수도권 주민 평균 출근시간 90분이며 광역버스 혼잡율 138%으로 현재 운영 중인 간선급행버스(BRT)노선, 중앙버스차로제 운영 구간 등 우선신호 운영 수요 증가, 버스 우선신호 운영으로 정시운행률 37% 향상을 기대할 수 있다. 간선급행버스체계(Bus Rapid Transit)를 의미하는 BRT는 BRT전용차로, 편리한 환승시설, 교차로에서의 버스 우선 통행 등을 통해 저비용 고효율의 도시철도수준의 대중교통 시스템이다. 대중교통이용자가 실감하는 대중교통서비스 파라미터중 중요한 것은 정시성과 신속성이다. 이를 위해 “간선급행버스체계 설계지침(2011.06)”에 BRT의 교차로 우선통과를 지원하는 버스우선신호 설계에 대한 가이드라인이 제시되어 있으나 선언적인 가이드로 지자체가 참조하여 현장에 적용하기 어려움이 있다. 부처별 연구개발사업에서 우선 신호기술 개발 사례가 있었으며, BRT시범사업마다 우선 신호를 시범운영한 사례는 있으나 기술적 제도적인 문제로 실제 BRT 사업에 반영하지 못하고 있다. 결론적으로 현재 우선신호와 관련된 법제도는 시스템을 도입 운영할 수 있는 최소한의 기반만 마련되어 있는 실정이기 때문에 향후 진행될 BRT 사업의 효율적인 운영을 위해 BRT 우선신호에 대한 국가적인 표준 기술과 상세 가이드라인의 제시가 절실히 요구되고 있다.

기존의 도로교통 수단으로서의 BRT에 대한 교통사고 충돌안전기준은 도로교통수단의 충돌안전법규에 근거하고 있으나, 예상되는 다양한 교통사고 시나리오 및 S-BRT 운용특성을 고려한 충돌안전기준은 전무한 실정이다. 스전용차로의 특성은 차량중량 최소 15톤 이상의 버스전용으로 한정되어 운용되며 이에 따라 BRT 버스 편성의 총중량 및 피충돌 차량의 형태 및 충돌속도에 따른 기술기준 마련이 시급하다. 사한 교통수단으로는 궤도운행을 하며 일반 도로교통수단과 혼합운행하는 트램이 있으며 트램의 경우 도시철도 차량기술기준에 충돌사고 시나리오 및 판단기준이 확립되어 있다. 따라서, 트램과 같은 경량철도차량 기술기준을 기반으로 하여 S-BRT 운용실정을 고려한 S-BRT의 충돌기술기준이 필요하며 이의 효과적인 적용을 위하여 가상시뮬레이션 기술 및 충돌안전도 시험평가 기술이 필요하다.



그림 1-2-1 S-BRT의 우선 신호기술

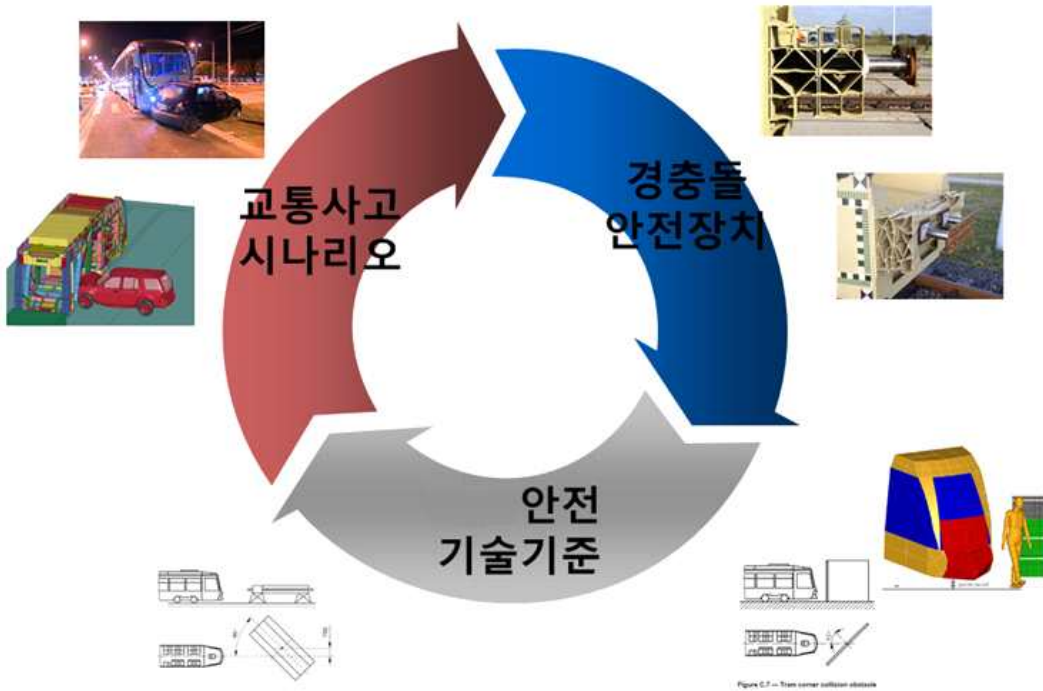


그림 1-2-2 S-BRT의 안전 기술

기존의 도로안전시설 설치지침에 정의된 안전시설들은 충돌 시 차량 탑승자의 안전을 고려한 개념으로 승용차 위주의 실험을 통해 개발된 시설들이 대부분이다. 버스전용차로의 특성은 차량중량 최소 15톤 이상의 버스전용으로 한정되어 운용되며 이에 따라 버스정류장 전방에 설치된 안전시설의 목적과 성능도 탑승자의 안전을 위주로 고려한 일반충격흡수시설의 기준과는 달리 적용되어야 한다. 도심부 버스전용도로의 정류장 앞에 설치된 안전시설은 일반도로의 충격흡수시설에 준하여 설치되고 있으며 현재로는 차량중량 900kg 과 1300kg의 차량으로 충돌속도 60km/h부터 120 km/h 까지 4가지 등급으로 시험되고 있다. 간선급행버스 전용차로의 운영에서는 버스의 중량이 매우 큰 버스 단독 운행 시스템이며, 일반 도로에 적용되는 안전시설의 성능과 기능과는 상당히 상이하여 버스전용차로의 안전한 운용을 위해서는 안전시설에 대한 전반적인 재검토가 필요한 실정이다.

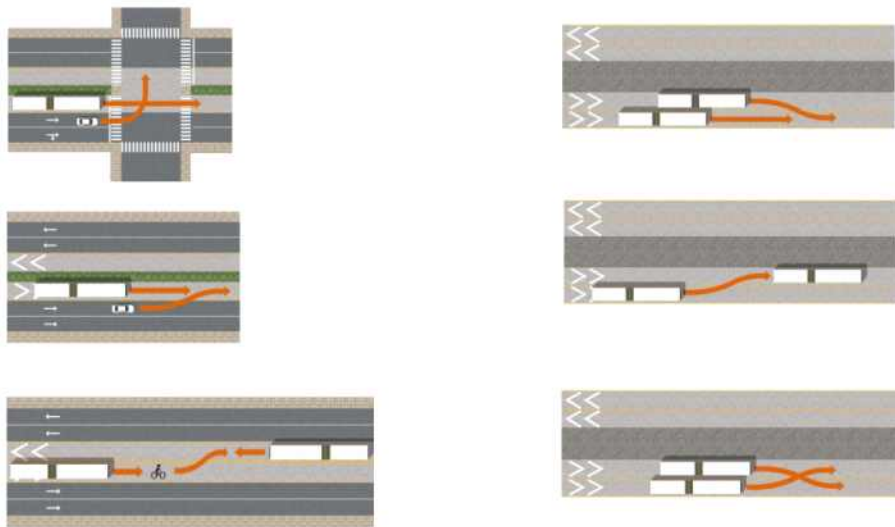


그림 1-2-3 BRT 시스템의 일반적인 사고 형태 (출처 : BRT/Busways and Traffic Safety, Nicilae Duduta et al, 2012)

일반적인 충격흡수시설은 충돌차량의 탑승자 안전에 주안점을 둔 시설물이고 정류장 인근 방호시설은 배후에 있는 버스 탑승대기승객을 충돌차량으로부터 protect 하고 동시에 외부에서 돌진하는 충돌차량의 탑승자 안전을 도모해야 할 뿐더러 방호 범위가 넓고 복합적 특성이 있음. 이에 적합한 BRT정류장 안전시설 (Protective System)의 개발이 필요하다. 도로 중앙에 설치되는 버스전용차로에서는 대향주행 버스의 방호시설이 전혀 설치되지 않은 곳도 많고 중앙에 설치된 방호책에 대해서도 성능 점검도 필요한 실정이라 할 수 있다. 버스전용차로가 설치된 도로에서 일반도로 주행차량들이 버스전용차로를 침범하여 발생하는 사고도 많이 일어나고 있어 이를 방지하기 위해서 버스전용차로를 분리시킬 수 있으면서 도로의 개방감을 저해하지 않는 단층형 배리어(Low Profile Barrier)를 통한 분리방안이 필요하다.

제3절 S-BRT 개념 정립

본 절에서는 본 연구의 개발 대상인 S-BRT (Super Bus Rapid Transit)에 대한 개념, 서비스 기준을 정의하고자 한다. ITDP(Institute for Transportation Development & Policy)에서 발간한 “The BRT Standard” 및 국내외 동향 조사를 통해, 기존 BRT 수준을 정리하고, S-BRT에서 추구해야 할 서비스 수준 및 성능에 대한 목표를 제시하였다. 본 기획보고서는 본 절에서 제시된 서비스 수준 및 성능 목표를 달성하기 위한 기술 개발 요소를 도출하는 방식으로 구성되었다.

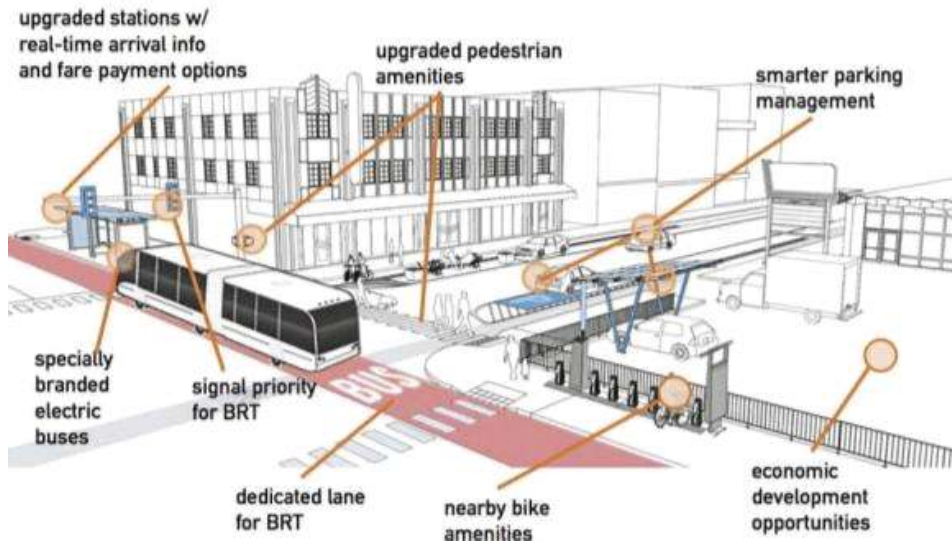
1. ITDP의 BRT 서비스 등급 구분 기준 및 항목

ITDP (2016)은 저명한 국제 BRT 평가기관 중 하나인 ITDP (Institute for Transportation and Development Policy)에 의해 제작된 BRT 평가 기준 매뉴얼로 BRT 각 구성요소별 개념 정의 및 운영 효과를 자세히 기술하고 있다. ITDP는 이 보고서의 평가기준을 바탕으로 전 세계 BRT 시스템을 평가하고, 평가점수를 정기적으로 발표하고 있다(사이트 참조, <https://www.itdp.org/>). 아래 첨부된 [표 1]은 ITDP의 평가체계를 정리한 것으로 BRT 구성요소 및 상대적 중요도를 보여준다. ITDP 평가항목은 크게 BRT 시설, 브랜드 및 정보시스템, 통합 및 연계체계, 운영서비스, 감점항목으로 구분 되며, 특히 BRT 시설이 다른 요소들에 비해 BRT 평가에 있어 상대적으로 더욱 중요한 요소임을 보여주고 있으며, BRT 시설 요소 중 전용 주행로, 주행로 구성, 요금징수체계, 교차로 처리, 수평 승하차가 가장 큰 배점을 차지하고 있다. 표 아래 위치한 CLIFT, T. (2017)의 BRT 개념도는 주요 BRT 시스템에 대한 이해를 돕고자 첨부되었다.

표 1-3-1 ITDP의 BRT Standard의 평가체계

구분	평가항목	평가점수			
		2013년 이전	2016년 이전	2016년 이후	
BRT 시설	기본 요소	전용 주행로	7	8	8
		주행로 구성	7	8	8
		정류장 요금징수체계 (선 지불 시스템)	7	8	8
		교차로 처리	6	7	7
		수평 승하차	6	7	7
		소계	33	38	38
	인프라	정류장 추월차로	4	4	3
		버스 오염물 배출정도	3	3	3
		교차로와 정류장 거리	3	3	3
		섬식(중앙)정류장	2	2	2
		포장상태	2	2	2
		소계	14	14	13

	정류장	정류장간 거리	2	2	2
		정류장 안전 및 쾌적성	3	3	3
		버스 출입문 수	3	3	3
		버스 승차대 및 보조정류장	1	1	1
		정류장내 슬라이딩 도어	1	1	1
		소계	10	10	10
브랜드 및 정보시스템		브랜드 형성	3	3	3
		이용자 정보	2	2	2
		소계	5	5	5
통합 및 연계체계		교통약자 접근성(Universal Access)	3	3	3
		타 대중교통과의 연계성	3	3	3
		보행자 접근성	3	3	4
		자전거 거치대	2	2	2
		자전거 주행로	2	2	2
		자전거 공유시스템 연계	1	1	1
		소계	14	14	15
운영서비스		노선구조	4	4	4
		첨두 운행빈도	3		
		비첨두 운행빈도	2		
		서비스 다양성	3	3	3
		제어센터	3	3	3
		주요교통축	2	2	2
		운영시간	2	2	2
		수요분포	3	3	3
		BRT 네트워크	2	2	2
		소계	24	19	19
총계			100	100	100
감점항목		실제운영속도	-10	-10	-10
		첨두시간 이용자수	-5	-5	-5
		전용차로 위반정도	-5	-5	-5
		버스와 정류장 플랫폼 사이의 거리	-5	-5	-5
		정류장 혼잡도	-3	-5	-5
		유지관리(주행로, 버스, 정류장 등)	-8	-10	-14
		첨두시 버스배차		-3	-3
		비첨두시 버스배차		-2	-2
		자전거 허용			-2
		교통안전정보 제공			-2
		버스 이용률			-6
		버스 정시성			-4
		소계	-36	-45	-63



출처: CLIFT, T. (2017)

그림 1-3-1 BRT 기본 구성요소 개념도

ITDP는 [표 1]의 BRT Standard 평가체계를 바탕으로 전 세계 주요도시 BRT 시스템의 평가점수를 산정하여 발표하고 있다. 특히, ITDP는 자체 평가체계를 기준으로 총점 85점 이상인 BRT 시스템을 금메달, 70-84.9점은 은메달, 55-69.9점은 동메달로 분류하였다 (아래 표 2 참조). ITDP 평가점수는 크게 설계(Design) 점수와 운영(Operation) 점수로 구분된다. 설계 점수는 구현된 BRT 설계 및 서비스만을 기반으로 BRT 시스템의 품질을 평가하는 것이다. 이 점수는 BRT 시스템의 최대 잠재적 성능을 나타내는 지표로 볼 수 있다. 이에 ITDP는 BRT 속도, 용량, 신뢰성 및 서비스 품질을 크게 향상시킬 수 있는 BRT 설계 요소에 대해 세부적 기준을 마련하여 점수를 산정하고 있다. 설계 점수에 더해 운영 점수를 포함하여 ITDP는 최종 BRT 점수를 산정한다. 운영 점수는 BRT 시스템의 성능과 서비스 품질을 크게 저하시키는 운영 요소를 기반으로 점수를 산정하여, 설계 점수에서 빼는 방식을 택하고 있다. ITDP는 BRT 전체 점수 산정 시 BRT 운영 시작 후 최소 6개월 후부터 평가하여, BRT 운영이 안정화된 시점부터 BRT 시스템의 평가를 하도록 하였다. 세부 요소에 대한 점수 산정 기준은 본 보고서의 개별 BRT 요소에 대한 설명 부분에 추가되어 있다.

표 1-3-2 ITDP의 BRT Standard Rankings

	<p>금메달 BRT (85점 이상)</p> <p>금메달 수준의 BRT는 거의 모든 측면에서 국제 모범 사례로 간주될 수 있다. 이러한 BRT 시스템은 최고 수준의 운영 성과와 효율성을 달성하는 동시에 고품질 서비스를 제공한다.</p>
	<p>은메달 BRT (70-84.9점)</p> <p>은메달 수준의 BRT는 또한 국제 모범 사례의 범주에 포함되며, BRT 투자를 정당화하기에 충분한 수요가 있는 모든 구간에서 비용 효율적인 BRT 시스템일 수 있다. 이러한 BRT 시스템 또한 높은 운영 성과와 서비스 품질을 제공한다.</p>
	<p>동메달 BRT (55-69.9점)</p> <p>동메달 수준의 BRT는 국제 모범 사례 BRT로 정의되기 위한 최소한의 수준이 달성된 시스템을 말한다. 동메달 수준의 BRT는 높은 운영 효율성 또는 서비스 품질을 달성하는 몇 가지 특성이 달성된 상태이다.</p>

2. BRT 기본요소

가. 전용 주행로

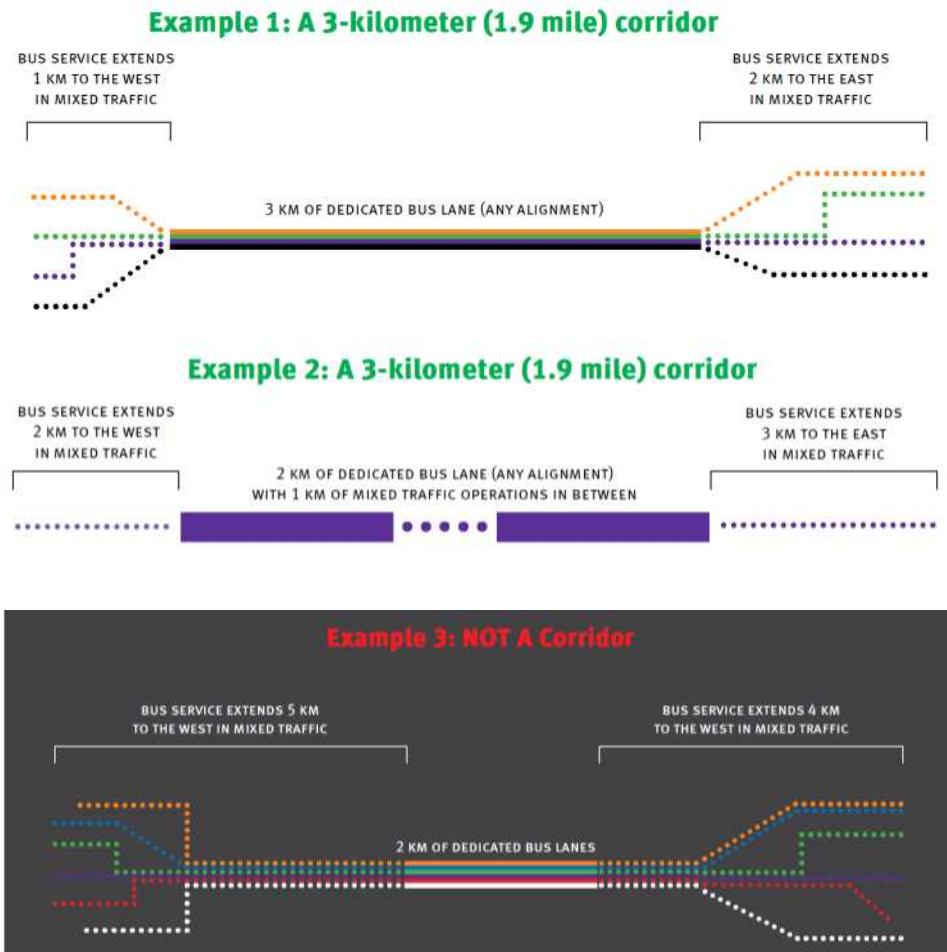
전용 주행로는 BRT 시스템의 가장 기본이 되는 요소 중에 하나로, 전용 주행로는 버스가 일반차량에 의한 정체로부터 방해받지 않고, 높은 주행속도를 유지하도록 도와주는 역할을 한다. BRT 전용 주행로는 일반 차량과의 분리를 이루는 방식에 따라 등급이 나뉜다. 등급에 따라, 일반 차로와 물리적으로 완전히 분리된 버스전용차로의 경우 가장 상급 시스템이며, 물리적 분리는 없으나 버스 차로의 색상을 일반 차로의 색상과 달리한 전용차선의 경우 중급, 단순히 차선으로만 분리된 전용차선의 경우에는 하급 BRT 시스템으로 구분되기도 한다.

특히 ITDP (2016)는 최소 3km의 연속된 전용 주행로 설치를 BRT 시스템의 최소 기준으로 삼고 있다. 즉, 최소한 3km의 연속된 전용 주행로를 갖추지 못한 시스템은 BRT 시스템으로 규정되기 어렵다는 것을 뜻한다. 이 기준에 따르면 일정 수준 이상의 전용 주행로 설치하는 S-BRT의 최소 설계요건으로 반드시 고려되어야 할 것으로 보인다.



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-2 펜스로 분리된 BRT 버스 전용 주행로 사례: 인도 푸네 / 팜 프리 친치 와드



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-3 BRT 전용 주행로 설계: 최소 3km 연속된 전용 주행로 설치 설계 예시

ITDP의 전용 주행로에 대한 세부 점수 산정 기준은 일반 차량과의 분리를 이루는 방식에 따라 점수를 차등부과하며, 아래 첨부된 그림과 같다.

Type of Dedicated Right-of-Way	POINTS	WEIGHTED BY
Physically separated, dedicated lanes	8	% of corridor with type of dedicated right-of-way
Color-differentiated, dedicated lanes with no physical separation	6	
Dedicated lanes separated by a painted line	4	
No dedicated lanes	0	

나. 주행로 구성

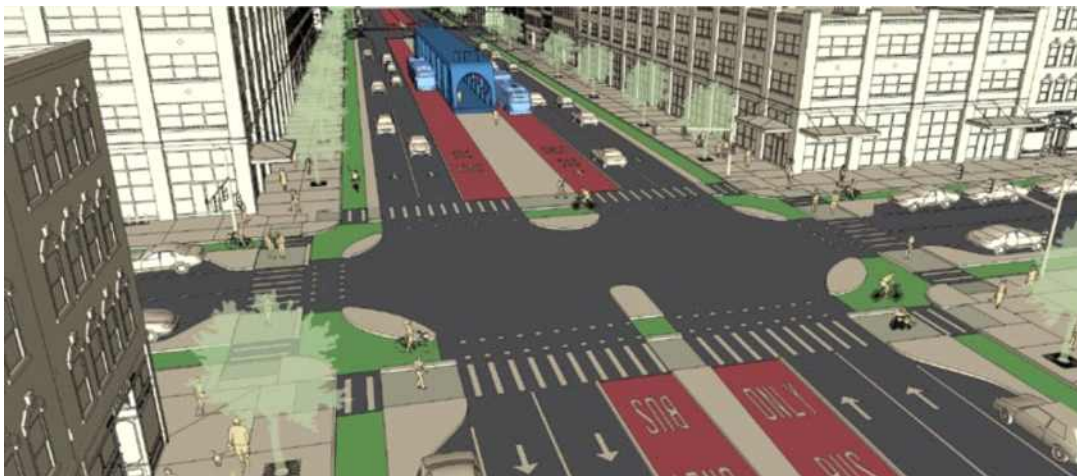
버스전용차로의 정렬이란 버스차로를 통해 일반차량과의 분리(특히, 회전차량과의 분리)를 위한 버스차로 설계방식을 의미한다. 일반차량과의 상충을 줄이기 위한 버스전용차로 설계방식에는 여러 방식이 있을 수 있으며, 버스전용차로의 설계 방식에 따라 시스템 등급이 구분될 수 있으나 ITDP (2015)에 따르면, 상급 BRT 시스템의 버스전용차로 설계 방식은 아래와 같다.

- Tier 1 (상급 BRT 전용차로)

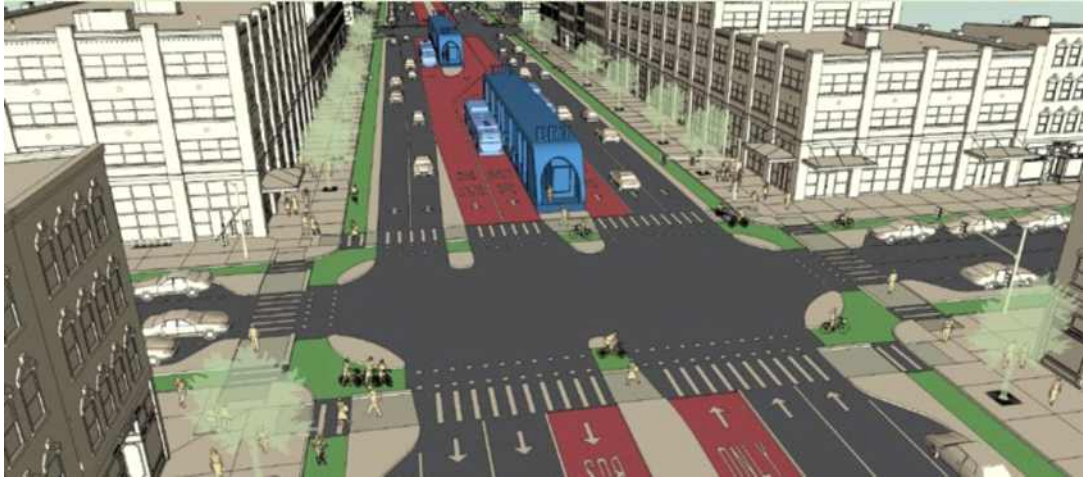
- 양방향 중앙 버스전용차로
- 일반 차로로부터 완전히 분리된 버스전용차로
- 교차로와의 상충이 최소화된 버스전용차로
- 일방통행 차로와 나란히 위치한 양방향 버스전용차로

- Tier 2 (중급 BRT 전용차로)

- 두 개의 일방통행으로 구성된 도로구간에서 도로중앙 양쪽에 위치한 일방향으로 버스전용차로
- 중앙도로와 평행 도로가 있는 Boulevard형 도로에 있는 서비스 도로의 내/외부 연석에 맞춰진 버스전용차로



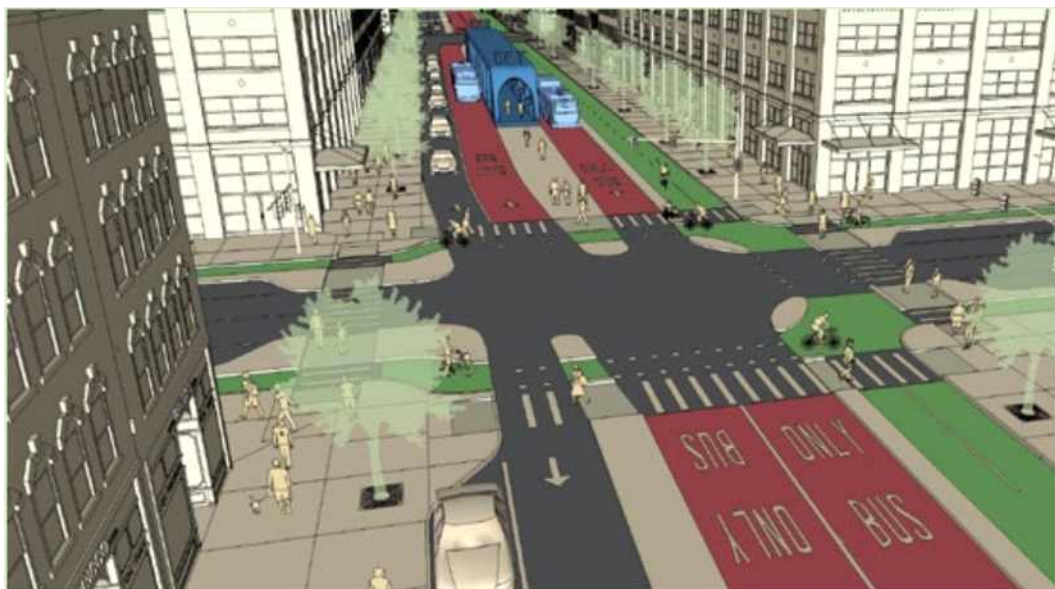
(a) 양방향 중앙 버스전용차로 예시 (Tier 1)



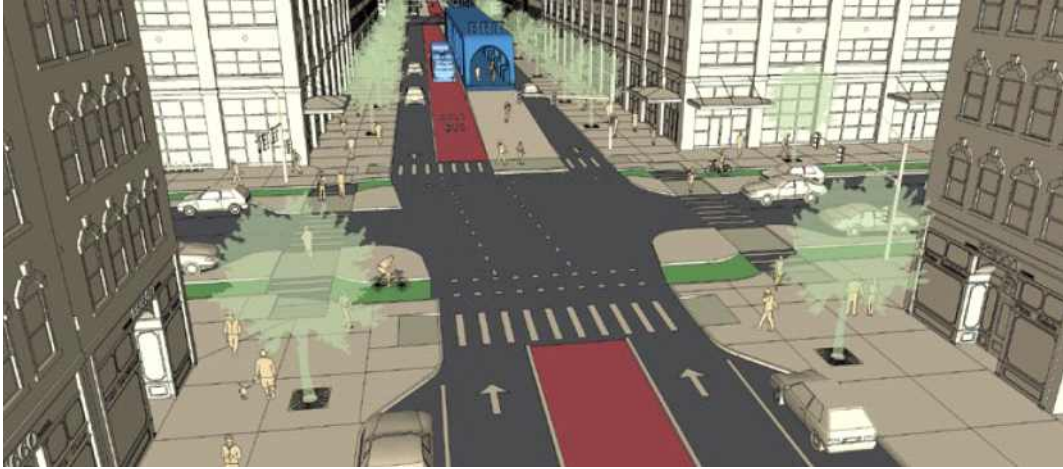
(b) 추월차로를 설치한 양방향 중앙버스전용차로 예시 (Tier 1)



(c) 일반 차로로부터 완전히 분리된 버스전용차로 예시 (Tier 1)



(d) 일방통행 차로와 나란히 위치한 양방향 버스전용차로 예시 (Tier 1)



(e) 일방통행 차로와 나란히 위치한 일방향 버스전용차로 예시 (Tier 2)



(f) 중앙도로와 평행 도로가 있는 Boulevard형 도로에 있는 서비스 도로의 내부 연석에 맞춰진 버스전용차로 예시 (Tier 2)



(g) 중앙도로와 평행 도로가 있는 Boulevard형 도로에 있는 서비스 도로의 외부 연석에 맞춰진 버스전용차로 예시 (Tier 2)

출처: ITDP (2016)

그림 1-3-4 BRT 버스 주행로 구성 예시

ITDP의 버스 주행로 구성에 대한 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Corridor Configurations	POINTS	WEIGHTED BY	
TIER 1 CONFIGURATIONS			
Two-way median-aligned busway in the central verge of a two-way road	8	% of corridor with type of dedicated right-of-way	
Bus-only corridor where there is a fully exclusive right-of-way and no parallel mixed traffic, such as a transit mall (e.g., Bogotá, Colombia; Curitiba, Brazil; and Quito, Ecuador) or a converted rail corridor (e.g., Cape Town, South Africa, and Los Angeles)	8		
Busway that runs adjacent to an edge condition like a waterfront or park where there are few intersections to cause conflicts	8		
Busway that runs two-way on the side of a one-way street	6		
TIER 2 CONFIGURATIONS			
Busway that is split into two one-way pairs on separate streets, with each bus lane centrally aligned in the roadway	5		
Busway aligned to the outer curb of the central roadway on a street with a central roadway and parallel service road	4		
Busway aligned to the inner curb of the service road on a street with a central roadway and parallel service road. Busway must be physically separated from other traffic on the service road to receive points	4		
Busway that is split into two one-way pairs on separate streets, with each bus lane aligned to the curb	3		
TIER 3 CONFIGURATIONS			
Virtual busway that operates bidirectionally in a single median lane that alternates direction by block.	1		
NON-SCORING CONFIGURATIONS			
Curb-aligned busway on a two-way road	0		

다. 정류장 요금징수체계 (선 지불 시스템)

정류장 요금징수체계는 BRT 시스템 구성요소 중 버스 운행속도 및 승객 만족도를 결정하는 가장 중요한 요소 중 하나이다. 현재 국외의 상급 BRT 시스템에 적용되고 있는 요금 지불 체계의 경우 주로 장벽 제어(“Barrier-controlled”) 또는 지불 증명(“proof-of-payment”) 방법이 활용되고 있다. 지불 증명 방식이란 승객이 티켓을 정류장 내 판매기 또는 키오스크에서 미리 구매하여, 티켓 확인 없이 버스 승차하여 티켓 검사관이 이따금씩 티켓 구매 여부를 확인하는 방식으로 승차 시 티켓 확인에 따른 지연시간을 줄이는 방식이다. 장벽 제어 방식은 일반적인 지하철 역 개찰구 통과방식과 유사하게, BRT 정류장 통과 시 게이트 또는 개찰구 등을 통해 통과하는 방식으로, 승객의 티켓 구매가 버스 승차 이전에 이루어지기 때문에, 버스 승차에 따른 지연 시간을 줄이는 방식이다. 두 방식 모두 버스 승차에 따른 지연시간을 줄이기 때문에 버스 운행속도를 높이는 효과를 보이나, 장벽 제어 방식의 경우, 승객의 승차 및 하차 지점을 확인할 수 있기 때문에 보다 정확한 요금 징수가 가능하고 승객의 운임회피를 최소화 할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 이유로 장벽 제어 방식은 BRT 수요가 많고 여러 버스노선이 운행되는 BRT 구간에 좀 더 큰 효과를 보일 것으로 예상된다.



(a) 지불 증명 방식의 정류장 내 티켓 판매기 (미국 라스베가스)

(b) 장벽 제어용 개찰구 (인도네시아 자카르타)

그림 1-3-5 요금징수체계 방식에 따른 BRT 정류장 부속 시설

ITDP의 요금징수체계 방식에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Off-Board Fare Collection (During All Operating Hours)	POINTS	WEIGHTED BY
Barrier-controlled	8	% stations on corridor
Proof-of-payment	7	% routes using corridor bus infrastructure
Onboard fare validation—all doors	4	% routes using corridor bus infrastructure

라. 교차로 처리

교차로 처리란 교차로에서 BRT 버스 차량의 녹색 신호 시간을 최대한 늘리는 것을 목표로 하며, 교차로 처리 방식에는 여러 가지가 있을 수 있으나, 일반적으로 버스 우선 신호를 제공하는 방식 또는 회전 금지 및 교통 신호 현시를 줄이는 방식이 있을 수 있다. 버스 우선 신호 방식은 교차로에 접근하는 BRT 버스 차량을 감지하여, 버스 우선 신호를 제공하는 방식으로 버스 차량 접근 빈도가 낮은 경우에 유용하나, 버스 차량의 접근 빈도가 높은 교차로의 경우에는 회전 금지 방식이 더 큰 효과를 내는 것으로 알려져 있다 (ITDP, 2016).

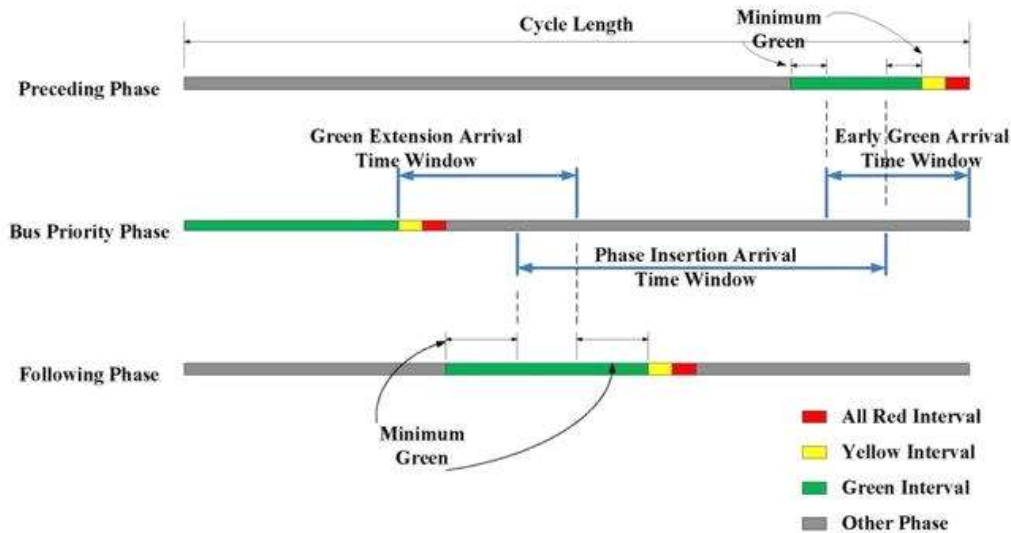


(a) 회전금지 교차로 (미국 라스베가스)

(b) 버스 우선 신호 교차로 (미국 워싱턴 DC)

그림 1-3-6 국외의 버스 우선 교차로 처리 사례

구체적으로 버스 우선 신호 처리 방법으로는 녹색시간 연장 및 이른 녹색시간 제공의 두 가지 방법 적용될 수 있다 (Bordiny, 2014).



출처: Bordiny (2014)

그림 1-3-7 버스 우선 신호 교차로 신호 처리 예시

ITDP의 교차로 처리 방식에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같으며, 특히 교차로 회전 제약 방식에 대해 더욱 큰 배점을 부과하는 특징이 있다.

Intersection Treatments	POINTS	WEIGHTED BY
Turns prohibited across the busway	7	% of turns across busway prohibited
Signal priority at intersections	2	% of intersections on corridor

마. 수평 승하차

수평 승하차는 버스와 정류장 플랫폼의 수직 간격을 제거하는 것을 의미하며, 이는 승객 당 탑승 및 하차 시간을 줄이는 가장 중요한 요소 중 하나이다. 수평 승하차는 승객이 비교적 적은 걸음으로 버스 탑승이 가능하게 하며, 특히 노인, 장애인 또는 여행 가방이나 유모차를 가진 사람들의 보다 빠른 승차를 유도하여, 버스 승차에 따른 지연 속도를 줄여 버스 운행속도를 크게 향상할 수 있다. 또한, 수평 승하차는 승객의 안전과 편의를 향상시킬 수 있다. 특히 ITDP (2016)에서는 버스와 정류장 플랫폼의 수직 간격이 1.5 cm 이하로 설계하는 것을 추천하고 있다. 또한 ITDP (2016)에서는 버스와 정류장 플랫폼 간의 수평 간격 또한 최소화할 것(10 cm 이내)을 추천하고 있다.



그림 1-3-8 버스 정류장 수평 승하차 사례 (인도 아마다바드)

ITDP의 버스 정류장 수평 승하차 구축 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Platform-Level Boarding	POINTS	WEIGHTED BY
Buses are platform level, having 4 centimeters (1 ½ inches) or less of vertical gap	7	% of buses operating on corridor
Stations in corridor have measures for reducing the horizontal gap	6	% of stations on corridor

3. BRT 인프라 및 정류장

가. 정류장 추월차로

정류장 추월차로 설치하는 급행 및 완행버스 서비스를 효율적으로 운행하기 위한 중요한 요소이다. 정류장에 설치된 추월차로를 통해 급행 버스는 해당 정류장에서 완행버스의 정차로 인한 지연을 방지할 수 있다. 또한 정류장 추월차로 설치하는 정류장으로 진입 대기 중인 버스로 인한 혼잡을 방지할 수 있어, 많은 양의 버스를 수용 할 수 있다. 다만, 버스 운행 빈도가 낮은 구간에서는 정류장 추월차로 설치가 차선을 효율적으로 활용해보이지 않아 보일 수 있어, 정치적으로 정당화하기 어려울 수 있기 때문에, 정류장 버스 운행 수준에 따라 정류장 추월차로 설치를 면밀히 고려해야 한다. 다만, 상급 BRT 시스템은 주로 버스 이용 수요가 많은 구간에 설치됨을 고려할 때, 대규모 운송 수단으로 고려되는 S-BRT는 추월차로의 설치를 좀 더 적극적으로 고려할 필요성이 있다. 특히 정류장 추월차로의 설치하는 버스 수요가 집중되는 구간에서 버스운행속도를 높이고, 정류장 버스 용량을 높이는 데 큰 효과가 있는 것으로 제시되었다(ITDP, 2016).



출처: ITDP (2013); ITDP (2016)

그림 1-3-9 국외 정류장 추월차로 설치 사례

ITDP의 정류장 추월차로 설치 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Passing Lanes	POINTS
Dedicated passing lanes	3
Buses overtake in oncoming dedicated bus lanes given safe conditions	2
Passing in mixed traffic given safe conditions	1
No passing lanes	0

나. 교차로와 정류장 거리

버스 정류장이 교차로 바로 건너편 또는 직전에 위치할 경우, 정차한 버스가 교차로를 막거나 버스가 교통 신호에 막혀 정류장을 떠나지 못하고 다른 버스 차량의 정류장 정차를 지연시킬 수 있다. 그에 따라 승객의 탑승 또는 하차 시간을 지연시켜, 버스 운행속도 및 승객의 만족도를 저하시킬 수 있다. 따라서 버스 운행 빈도가 높은 구간의 정류장은 교차로와 일정 간격 떨어져 설치될 것이 권장되고 있다. ITDP (2016)은 정류장이 최소한 교차로로부터 26 m 떨어져 설치될 것을 권장하고 있으며, 이상적으로 40 m 떨어져 설치될 것을 권장한다.



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-10 교차로와 정류장 거리 간격 유지 사례 (인도 아마다 바드)

ITDP의 교차로와 정류장 거리 간격 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Station Location	POINTS
75% of stations on corridor are set back at least 40 meters (130 feet) from intersections or meet at least one of the above exemptions	3
75% of stations on corridor are set back 26 meters (85 feet) from intersections or meet above exemptions	2
25% of stations on corridor are set back 26 meters (85 feet) from intersections or meet above exemptions	1
< 25% of stations on corridor are set back 26 meters (85 feet) from intersections or meet above exemptions	0

다. 섬식(중앙) 정류장

섬식 정류장은 단일 정류장이 양방향 버스 노선에 대해 승/하차 서비스를 제공하는 형태의 정류장을 의미하며, 주로 도로의 중앙에 위치한 형태를 띈다. 이러한 형태의 정류장은 불필요한 도로 점용을 줄일 수 있으며, 그에 따라 건설비용을 줄이고, 승객의 버스 간 환승 편의를 도모할 수 있다.



(a) 에콰도르 키토

(b) 중국 란저우

출처: ITDP (2016)

그림 1-3-11 국외 섬식 정류장 설치 사례

ITDP의 섬식 정류장 설치 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Center Stations	POINTS
>80% of stations on corridor have center platforms serving both directions of service	2
>50% of stations on corridor have center platforms serving both directions of service	1
>80% and above of stations on corridor have center platforms serving only one direction of service (e.g., Lanzhou BRT, see figure below)	1

라. 정류장간 거리

ITDP (2016)에 따르면 BRT 버스 정류장간의 거리는 최소 450 m 이상 되도록 권고하고 있다. 이에 따르면, 최소 450 m의 간격을 유지할 때 승객의 정류장 접근시간에 따른 추가 비용은 버스의 운행속도 증가로 인한 승객의 총 통행 시간 절감으로 상쇄 혹은 절약될 수 있다고 한다. 만약, 정류장 간격이 450 m 이하로 설치될 경우 버스 운행속도 저하로 인해 승객의 총 통행 비용이 증가될 수 있음을 제시하였다. 다만 제시된 450 m는 국내 도로 여건 및 승객분포 등이 고려되지 않은 상황이므로 적절 간격에 대해서는 국내 현실을 고려한 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-12 국외 BRT 정류장 간 간격 유지 사례 (중국 광저우)

ITDP의 BRT 정류장 간 간격 유지에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Distance Between Stations	POINTS
Stations are spaced, on average, between 0.3 kilometers (0.2 miles) and 0.8 kilometers (0.5 miles) apart	2

마. 정류장 안전 및 쾌적성

일반 버스 정류장과 달리 상급 BRT 시스템의 정류장은 승객의 안전과 편의를 위해 고품질의 정류장 환경을 요구한다. 상급 BRT 정류장 환경을 갖추기 위해서는 아래 4가지 사항이 고려될 수 있다(ITDP, 2016).

- 넓은 공간: 버스 승객 수요를 고려하여, 정류장 내에서 승객들이 쉽게 지나갈 수 있을 정도의 공간을 제공함을 의미한다. ITDP (2016)은 정류장 내부 폭이 최소 3미터 이상을 유지하도록 하며, 버스 승객수요에 따라 더 넓은 공간을 제공할 수 있도록 장려하고 있다.
- 기상환경으로부터 보호: 지역성 특성을 고려하여, 바람, 비, 눈, 열 및 추위로부터 승객들을 보호할 수 있는 정류장 시설을 갖추는 것을 의미한다. 특히 국내의 경우 사

계절 특성이 뚜렷하고, 계절에 따라 심각한 기상현상(장마, 눈, 더위 등)이 때때로 발생하므로, 기상환경을 반영한 정류장 시설물 설치에 대한 기준 마련이 특별히 요구되는 상황이다.

- 안전: 경비원이나 카메라를 설치하고, 조명 시설 및 투명한 환경을 제공하여, 승객의 안전을 높이는 것을 의미한다. 특히 국내의 경우, 승객의 야간 활동이 많은 점 등을 고려하여, 승객의 안전을 높일 수 있는 정류장 시설물 설치가 요구될 수 있다.
- 심미성: 매력적이고 깨끗한 정류장 이미지를 만드는 것 또한 안전하고 편안한 정류장 구축을 위한 하나의 요소이다.



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-13 국외 상급 BRT 정류장 환경 구축 사례 (콜롬비아 칼리)

ITDP의 BRT 정류장 환경 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다 (위 네 가지 고려사항 참조).

Stations	POINTS	WEIGHTED BY
Stations have all four elements	3	% of stations
Stations have three elements	2	
Stations have two elements	1	
Stations have one element	0	

바. 정류장 부대시설

그 밖에 정류장 환경 및 서비스를 향상시키기 위한 여러 정류장 부대시설 등이 S-BRT 지침 수립을 위해 고려될 수 있다.

- 버스 승차대 및 보조정류장: 버스 승차대 및 보조정류장 설치는 정류장의 용량을 증가시키고 승객의 승/하차 시간을 절약하고 다양한 서비스를 제공하는 데 도움을 줄 수 있다. 이러한 정류장 설계는 몇몇 승객 수요가 많고, 여러 버스 노선이 교차하는 정류장에 고려될 수 있으며, 아래 첨부된 그림과 같이 정류장은 서로 연결할 수 있는 보조 정류장으로 구성되어 있을 수 있으며, 버스가 보조 정류장을 통과하여 지정된 보조 정류장에 도킹 할 수 있을 정도로 보조 정류장 간에는 충분한 거리를 두어, 버스 정차로 인한 정체를 방지할 수 있다.

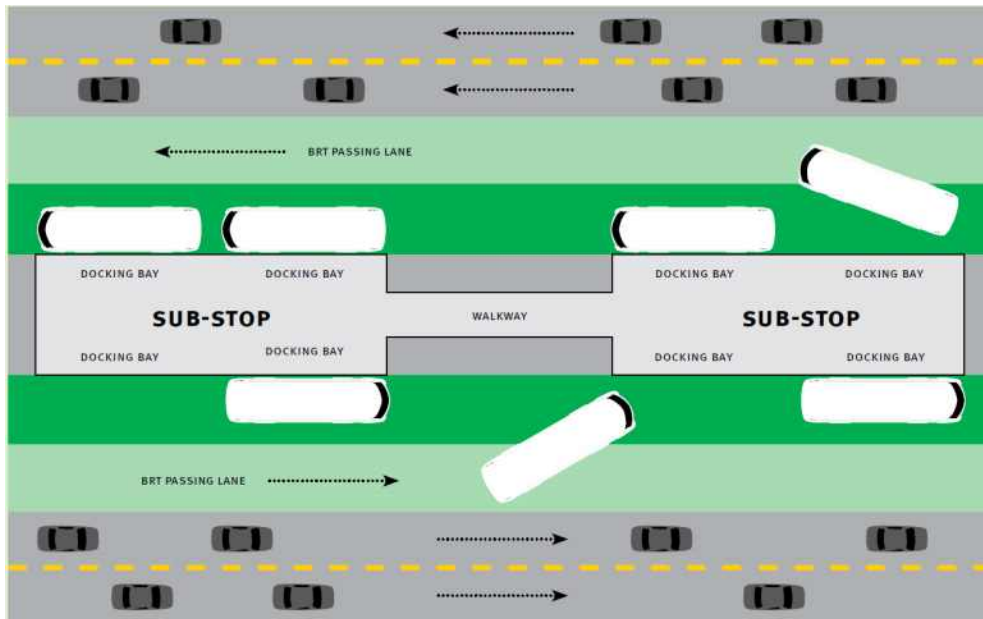


그림 1-3-14 버스 승차대 및 보조정류장 예시

ITDP의 버스 승차대 및 보조정류장 구축 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Docking Bays and Substops	POINTS
At least two substops or docking bays at the highest-demand stations	1
Less than two substops or docking bays at the highest-demand stations	0

- 타 대중교통과의 연계성: BRT 시스템과 기존 타 대중교통시설과의 연계는 BRT 시스템 서비스 향상에 크게 기여하는 요소 중 하나이다. 이러한 타 대중교통과의 연계는

승객의 통행시간 절약에 기여하며, 서비스 만족도를 높이는 요소 중 하나이다. BRT와 타 대중교통시설과의 연계성을 위해서는 아래 두 가지 구성요소가 있을 수 있다.

- 물리적 통합: 물리적 통합이란 대중교통 환승 지점 간 보행을 최소화하고, 한 시스템을 빠져 나와 다른 시스템으로 들어가기 위한 거리를 최소화하는 것이다. 이를 위해서는 국내 도로 환경, 기존 대중교통 노선 및 환승 지점, 환승 수요 등을 고려하여 BRT 정류장 위치 및 형태 등을 결정할 필요가 있다,
- 요금 통합: 요금 통합이란 모든 요금제에 하나의 교통 카드를 사용할 수 있도록 시스템을 통합하는 것이다.



그림 1-3-15 국외 BRT와 타 대중교통 수단과의 연계 사례: 중국 광저우

ITDP의 BRT와 타 대중교통 수단과의 연계 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Integration with Other Public Transport	POINTS
Integration of both physical design and fare payment	3
Integration of physical design or fare payment only	2
No integration	0

- 자전거 교통과의 연계성: 최근에는 친환경 교통에 대한 인식 및 국민 건강에 대한 인식 등의 향상으로 자전거 교통에 대한 중요성이 대두됨에 따라, 몇몇 국외 연구에서는 자전거와 BRT 시스템의 연계성을 특히 강조해 왔다. 특히, BRT 시스템과 연계된 자전거 시설 구축은 자전거를 BRT 시스템의 접근 수단으로 활용하여, BRT 시스템 이용률을 높일 수 있음을 강조하였다. 여러 연구에서 제시된 BRT 시스템 연계 자전거 시설로는 자전거 주차시설, 자전거 도로, 자전거 공유 시설 설치 등이 있다.



(a) BRT 정류장 근처 자전거 주차시설 설치
(콜롬비아 보고타)

(b) BRT 시스템 연계 자전거 웨어링 서비스 (프랑스 낭트)

그림 1-3-16 국외 BRT 연계 자전거 시설물 설치 사례

ITDP의 BRT와 자전거 교통의 연계 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Bicycle Parking	POINTS
Secure bicycle parking at least in higher-demand stations and standard bicycle racks elsewhere	2
Standard bicycle racks in most stations	1
Little or no bicycle parking	0

Bicycle Lanes	POINTS
Bicycle lanes on or parallel to entire corridor	2
Bicycle lanes do not span entire corridor	1
Poorly-designed or no bicycle infrastructure	0

Bicycle-Sharing Integration	POINTS
Bicycle-sharing at minimum of 50% of stations on corridor	1
Bicycle-sharing at <50% of stations on corridor	0

- 정류장내 슬라이딩 도어 설치: 국외의 몇몇 BRT 시스템에서는 정류장에 슬라이딩 도어를 설치하여, 승객의 사고 위험을 줄이고, 날씨로부터 승객을 보호하며, 보행자가 무단으로 정류장에 진입하는 것을 방지하는 등 정류장 환경의 품질을 개선하였다. 특히 국내에 몇몇 붐비는 중앙버스정류장의 경우 정류장 대기 면적에 비해 승객 밀도가 너무 높아 안전사고에 대한 불안이 높아지는 가운데, 정류장 슬라이딩 도어 설치의 승객의 안전을 높이는 하나의 방법으로 국내 BRT 시스템에 대한 이미지 제고 및 등급향상에 도움이 될 것으로 보인다. 다만, 정류장 슬라이딩 도어 설치를 위해서는 정류장 면적이 충분히 확보되어야 하므로 이에 대한 정류장 설계기준이 마련되어

야 될 것으로 보인다.



그림 1-3-17 국외 슬라이딩 도어 설치 사례

ITDP의 슬라이딩 도어 구축 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Sliding Doors	POINTS
All stations have sliding doors	1
Otherwise	0

- 교통약자 접근성(Universal Access): 교통약자 접근성은 신체적, 시각적 및 청각 장애가 있는 고객 또는 일시적 장애가 있는 사람, 노인, 어린이, 유모차가 있는 사람 및 기타 짐을 옮기는 승객을 포함한 모든 특수 고객에게 충분한 BRT 시스템 접근성을 높이는 것을 의미한다. 상급 BRT 시스템을 구축하기 위해서는 BRT 이미지 제고 및 이용률을 높이는 것이 중요한 요소이므로, 교통약자 접근성을 고려한 BRT 시스템 설계는 중요한 요소 중 하나일 것이다. 이를 S-BRT를 고려한 교통약자 접근성 지침 마련을 위해서 이와 관련한 국내 교통약자 지침을 살펴볼 필요가 있을 것이다.



(a) 멕시코 멕시코시티 (출처: ITDP, 2016)



(b) 브라질 꾸리찌바 (출처: 박용남, 2016)

그림 1-3-18 국외 교통약자 접근성 향상 사례

ITDP의 교통약자 접근성 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Universal Accessibility	POINTS
Full accessibility provided	3
Physical accessibility provided	2
Audiovisual accessibility provided	1

사. 브랜드 형성

ITDP (2016)은 BRT 차량, 정류장, 기타 서비스 등이 동일한 정체성을 갖는 유니크한 브랜드를 개발하고 그에 맞춰 BRT 시스템을 설계할 것을 권장하고 있다. BRT 브랜드의 형성은 이용자에게 시스템에 대한 신뢰도 및 만족도를 향상시킬 수 있다. 서울연구원 (2015)에 의하면 2015년 기준 BRT를 구축한 전 세계 191개 도시 중 고유의 BRT 브랜드를 소유한 도시는 77개 도시에 이르는 것으로 나타났다. 이와 더불어 상급 BRT 시스템을 운영하고 있는 몇몇 도시에서는 대용량 수송이 가능하고 일반 버스와는 차별화된 디자인을 갖는 BRT 전용차량을 도입하여 BRT에 대한 이미지 제고를 위해 노력해왔다. 특히,

브라질 리우데자네이루, 중국 광저우 등은 BRT 버스의 통행속도 향상 및 용량 증대를 위해 승하차가 동시에 가능한 3개 이상의 출입문을 보유한 BRT 전용 굴절버스를 도입하여 운영 중에 있다.



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-19 국외 BRT 브랜드 구축 사례: 미국 라스베가스 (라스베가스의 상징인 카지노 사인을 모든 정류장에 설치하여 BRT시스템이 동일한 아이덴티티를 형성할 수 있도록 함)



출처: 서울연구원 (2015)

그림 1-3-20 세계 주요 도시의 BRT 브랜드

ITDP의 BRT 브랜드 구축 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Branding	POINTS
All buses, routes, and stations in corridor follow single unifying brand of entire BRT system	3
All buses, routes, and stations in corridor follow single unifying brand, but differ from rest of system	2
Some buses, routes, and stations in corridor follow single unifying brand, regardless of rest of system	1
No corridor brand	0

아. 승객 이용 정보

ITDP (2016)에 따르면, 버스 도착 정보 제공은 승객의 BRT 만족도에 밀접한 관련이 있다. 승객 이용 정보 제공에는 GPS 데이터를 기반으로 한 실시간 정보 제공 방법으로 전자 패널, 오디오 또는 스마트폰 어플리케이션 등이 있을 수 있다. 최근에는 점점 더 많은 고객이 노선지도, 도착시간/스케줄 및 서비스 알림을 포함하여 온라인 정보 이용이 늘어나고 있다. 특히 웹사이트, 소셜미디어를 통해 고객에게 정보를 제공하고, 피드백을 받고 문제를 해결하는 등 고객과의 소통은 BRT 시스템의 성공에 중요한 요소로 자리 잡고 있다.



(a) 중국 광저우 (출처: ITDP, 2016)



- 승객안내정보 시스템

(b) 브라질 꾸리찌바 (출처: 박용남, 2016)

그림 1-3-21 국외 BRT 버스 정보 제공 시스템 사례

ITDP의 BRT 버스 정보 제공 시스템 구축 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Passenger Information (at Stations and on Vehicles)	POINTS
Functioning real-time and up-to-date static passenger information corridor-wide	2
Up-to-date static passenger information	1

4. 차량 (Wirasinghe et al., 2013)

BRT 차량 또한 BRT 시스템 등급을 결정하는 주요 요소 중에 하나이며, Vuchic (2007)에 따르면, 상급 BRT 차량을 갖추기 위해서는 아래 사항 등에 대한 고려가 필요하다.

차량 크기 및 차체 구조

차량 크기는 BRT 시스템 인프라 비용에 상당한 영향을 미치므로, 도로 기하구조와 승객 수요를 고려하여, 적절한 수준의 차량을 투입해야 한다. 버스 유형은 기존의 표준 버스, 굴절 버스 또는 이중 굴절 버스 등 다양하게 고려 될 수 있다.

- 버스 출입문: 승객의 탑승 및 하차를 위한 넓은 출입문 수를 늘리면 버스의 서비스가 향상 되며, 승객 탑승 시간이 줄어들 수 있다. 다수 배치된 버스 출입문은 원활한 승객 승하차를 허용하며, 이로 인해 승객 진출입을 위한 지연시간이 크게 줄어들 수 있다. 또한 다수 배치된 출입문은 버스 내 승객의 이동을 촉진하여, 승객이 원활한 하차를 위해 준비할 수 있는 여유를 줄 수 있다. 경우에 따라서는 승객의 승차 및 하차를 위한 별도의 문을 설치 제공할 수 있다 (Diaz & Schneck, 2000). 특히, ITDP (2016)은 최소 세 개의 출입문을 설치하거나, 최소 두 개의 넓은 출입문을 버스에 설치할 것을 권장하고 있다.



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-22 네 개의 출입문을 설치한 굴절 버스 (프랑스 낭트)

이와 관련한 ITDP의 버스 출입문 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Stations	POINTS	WEIGHTED BY
Buses have at least three Doors (for articulated buses) or two Wide Doors (for non-articulated buses) on the Station Side. System allows boarding at all doors.	3	% of buses using corridor infrastructure meeting criteria

가. 버스 내부 디자인

버스의 내부 디자인은 BRT 시스템의 전체 용량에 영향을 미치는 중요한 차량 관련 요소 중 하나이다. 넓은 좌석과 통로가 있는 차량은 승객에게 안락함을 제공하지만 차량 구매 및 운영비용이 높고 좌석 용량이 줄어들 가능성이 있다 (Wirasinghe et al., 2013). 일반적으로 BRT 차량의 경우 유모차, 자전거 및 휠체어를 보관할 수 있도록 문 주위에 넓은 공간이 제공되기도 한다. Wright (2005)에 따르면, 입석/좌석 전용 공간의 비율은 예상되는 승객의 흐름과 통행 길이를 기반으로 해야 하며, 특히 첨두시 최대 승객 수요를 고려해야 한다. 반면, BRT 승객 수요가 많이 예측될 경우, 가장 효율적인 버스 내부 디자인은 일반적으로 좌석 용량을 줄이고, 입석 용량을 최대화하는 것이다(Vuchic, 2007). 이러한 버스 내부 디자인은 주로 라틴 아메리카 BRT 시스템에서 일반적으로 적용되는 방식으로, 국내의 경우 인구 밀도가 높고 버스 승객이 일반적으로 많으므로, 이러한 형태의 버스 내부 디자인이 주로 고려될 수 있다. 다만, 앞서 언급되었듯이, BRT 버스 내부 디자

인을 위해서 예상 수요 예측과 결합한 버스 내부 설계 지침이 고려될 필요가 있다.

나. 플로어 높이

Zimmerman & Levinson (2004)에 따르면 BRT 차량의 바닥 높이는 세 가지 유형으로 구분될 수 있다: (1) 100% 낮은 층; (2) 부분적으로 낮은 층 (보통 약 70%); (3) 높은 층. 저층 버스는 종종 장애가 있는 승객, 어린 자녀, 노인, 임산부, 유모차를 타는 승객 및 무거운 짐을 지고 있는 승객에게 쉬운 탑승 및 하차를 제공하는 데 사용되며, 승객의 탑승 및 하차 시간을 줄일 수 있다. 다만 저층 버스는 차체가 지면에 더 가깝기 때문에 일반적으로 더 많은 기계적 스트레스가 발생하여 종종 차량 유지 보수비용이 높아질 수 있다. 이와 반대로, 고층 버스는 절대적인 최대 운송 용량이 필요할 때 종종 사용되나, 고층 버스는 승객의 탑승 및 하차 시간을 증가시킬 수 있다(Vuchic, 2007). 이러한 경우 정류장의 바닥 높이를 차량 바닥 높이에 맞춰 높여주면 승객의 탑승 및 하차시간을 줄일 수 있다. Diaz and Schneck (2000)에 따르면, 버스 운행 속도 및 신뢰성, 사용자 만족도를 향상시키는 가장 일반적인 전략은 정류장 플랫폼의 높이를 올려 버스 바닥의 높이와 정류장 플랫폼 높이를 일치시키는 것이다(예: 브라질 쿠리티바와 상파울루, 에콰도르 키토의 BRT 시스템).



(a) 브라질 쿠리티바 BRT 정류장 (출처: 박용남, 2016)



(b) 에콰도르 키토의 BRT 정류장 (출처: Redacción Ecuador Regional, 2019)
 그림 1-3-23 국외 BRT 버스 정류장과 버스 바닥 높이 일치 사례

다. 차량 추진 시스템

BRT 버스 차량의 추진 시스템으로는 디젤, 전기, 연료 전지 및 대체 연료 버스 등 다양한 연료 추진 시스템이 고려될 수 있다. 다만, BRT 차량의 깨끗하고 조용한 작동은 시스템의 전체 이미지를 향상시키고 환경적 이점을 향상시킬 수 있기 때문에, 전기, 연료 전지 버스 등 대체 연료 버스 등의 도입을 적극적으로 고려해 볼 필요가 있다. 국내 서울 BRT의 경우 CNG 버스를 전량 보급하는 등 환경적 이미지를 제고하기 위한 노력을 해왔으나, 보다 높은 이미지 제고를 위해서 전기차량 및 대체 연료 차량을 적극적으로 도입할 필요가 있다.



(a) 미국 인디애나 폴리스: IndyGo는 미국 최초로 해당 노선을 운행하는 모든 버스에 전기 버스를 도입하였다 (출처: CityLab, 2019)



(b)-1 바이오디젤 버스



(b)-2 하이브리드 버스



(b)-3 100% 전기 버스



(b)-4 하이브리드 굴절 버스



(b)-5 하이브리드 플러그인 버스

(b) 브라질 꾸지찌바 (출처: 박용남, 2016)

그림 1-3-24 국외 대체 연료 버스 BRT 도입 사례

라. 기타

독특한 디자인, 미적 특징 및 색상 체계를 갖춘 차량 디자인 고려하여 잠재적 인 이용자에게 BRT 시스템을 보다 매력적으로 만들 수 있다. 특히 최근에는 BRT 버스 차량에 Wi-fi를 기기를 설치하여, 승객에게 편리한 인터넷 서비스를 제공하는 것이 권장되고 있다.

5. 운영서비스

가. 노선구조

ITDP (2016)은 단일 BRT 구간에 다양한 출발/도착 지점을 통과하는 여러 버스 노선이 운영될 수 있도록 제시하였다. 이를 통해, 승객의 환승으로 인한 통행시간을 최소화하여 승객의 BRT 이용 만족도를 높일 수 있도록 BRT 구간 및 버스 노선을 설계할 것을 권장한다. 이러한 단일 BRT 구간에 여러 버스 노선이 운영되는 사례는 콜롬비아 보고타, 멕시코 멕시코 시티, 중국 광저우, 콜롬비아 칼리, 남아프리카 공화국 요하네스버그 등에서 찾아볼 수 있다.



그림 1-3-25 다양한 버스 노선 설계 개념도

ITDP의 버스 노선 설계 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Multiple Routes	POINTS
Two or more routes exist on the corridor, servicing at least two stations	4
No multiple routes	0

나. BRT 네트워크

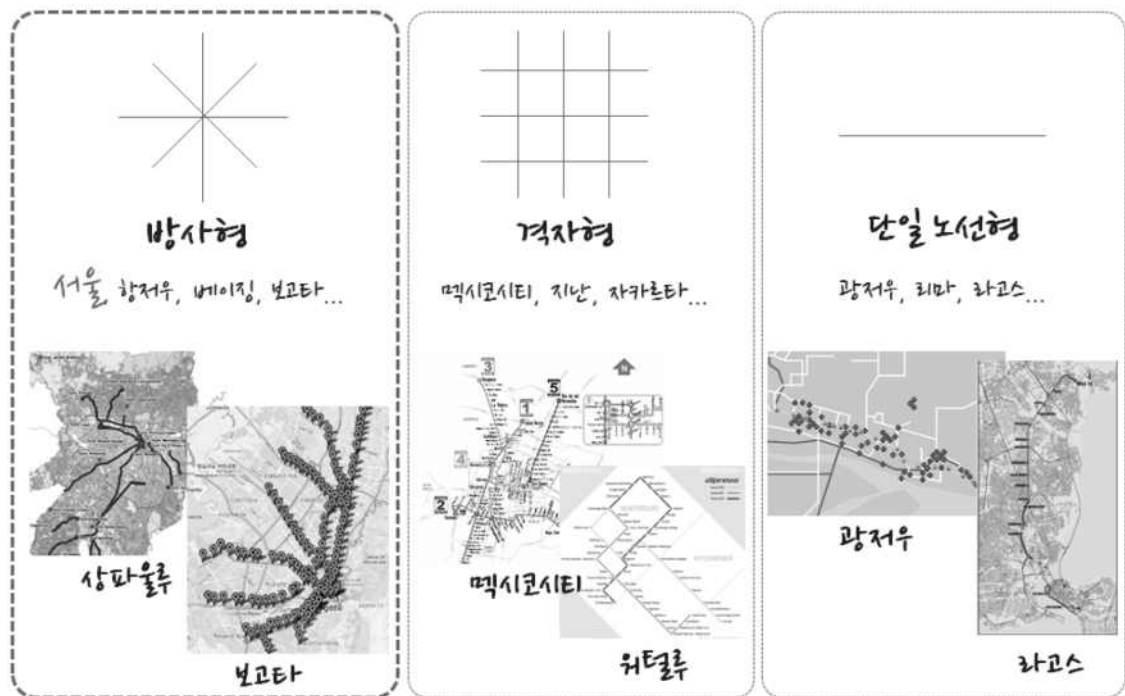
서울연구원 (2015)은 세계 여러 도시의 BRT 시스템의 네트워크 특성을 정리하였다. 본문헌고찰에서는 각 BRT 네트워크 형태의 상대적 우월수준에 대해서는 기술하지 않았으나, 각각의 네트워크 형태별 특성을 파악하는 것은 국내 도시 교통 네트워크 특성과 연계한 S-BRT 네트워크 설계에 도움이 될 것으로 생각된다.

서울연구원 (2015)에 의하면, BRT 네트워크는 방사형/격자형/단일노선형의 세 가지 유형으로 구분된다. 방사형의 BRT 네트워크는 서울 포함한 브라질 상파울루, 중국 베이징 등의 도시에서 채택한 방식으로 도심을 중심으로 BRT 노선이 도시 전역으로 확산되는

형태를 갖는 것이 특징이다. 방사형 BRT 네트워크의 특징은 도심지역을 기종점으로 하기 때문에 기본적으로 BRT 이용수요가 많다.

격자형의 네트워크는 멕시코 멕시코시티, 인도네시아 자카르타, 캐나다 워털루 등의 도시에서 채택한 방식으로 도시의 가로망 체계가 격자형으로 구축된 도시에서 주로 설치된다. 상대적으로 수요가 방사형 네트워크에 비해서는 적지만 BRT 노선이 보다 넓은 지역을 서비스할 수 있다는 장점이 있다.

중국 광저우, 페루 리마, 나이지리아 라고스 등의 상당수의 도시들은 BRT 노선이 네트워크의 형태를 갖추지 못하고 단일노선 형태로 운영되고 있다. 단일노선형의 네트워크로 운영되는 도시들의 대부분은 BRT를 시범 도입하는 경우이나 중국 광저우, 일본 나고야와 같은 도시들의 경우에는 1~2개의 노선만을 운영하지만 상급 BRT 시스템을 도입하여 운영의 효율성을 극대화하는 경우가 있다.



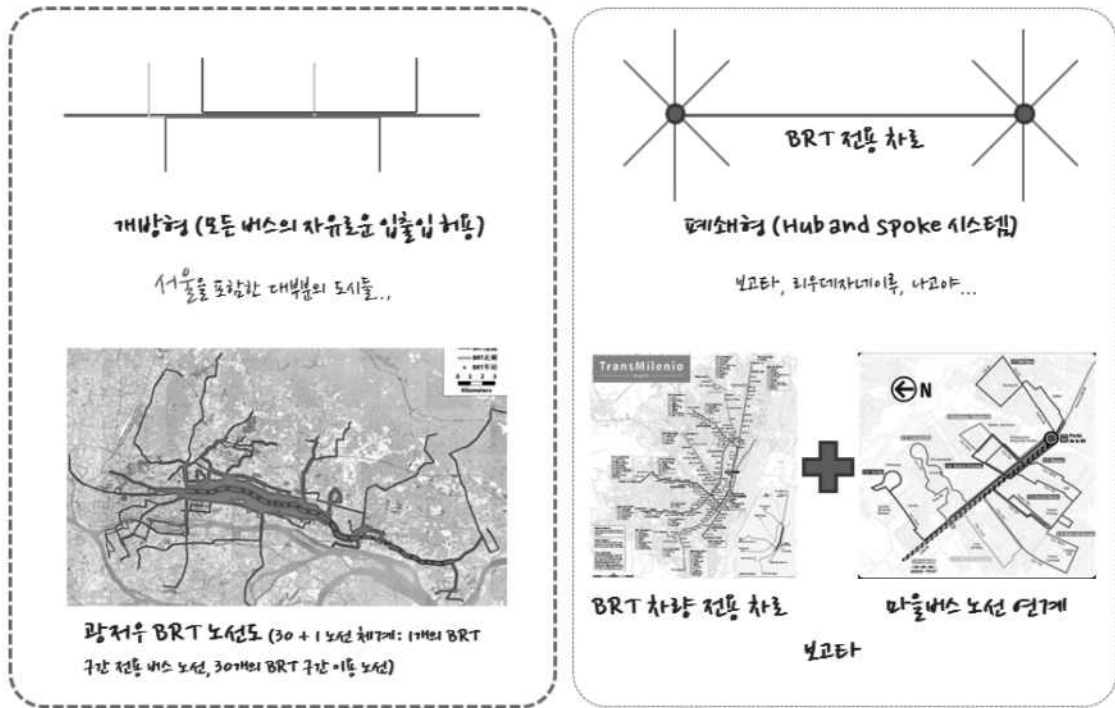
출처: 서울연구원 (2015)

그림 1-3-26 BRT 네트워크의 구분

또한, BRT 노선의 운영 형태는 개방형/폐쇄형으로 분류된다. 서울을 포함한 대부분의 도시들이 채택하고 있는 개방형은 BRT 전용차로를 설치하되, 시내버스의 BRT 전용차로 진출입을 자유롭게 허용하는 방식이다. 이러한 방식은 일부구간에서 버스수요가 집중되어 버스 지체를 유발하는 등 BRT 전용차로의 운영효율을 떨어뜨리는 단점이 있지만 많은 버스노선이 BRT 전용차로를 거쳐 도시 전역으로 운행될 수 있다는 장점이 있다. 개방형으로 운영되는 도시 중 광저우의 경우, 기본적으로 개방형의 노선 운영방식을 채택하지만 1개의 버스노선에 대해서는 BRT 구간만을 운행하는 혼합된 방식을 채택하기도 하

였다.

이와 더불어 콜롬비아 보고타, 브라질 리우데자네이루, 일본 나고야 등 소수의 도시에서는 폐쇄형의 BRT 버스 노선 운영방식을 채택하고 있다. 폐쇄형은 기본적으로 BRT 전용차로에 BRT 전용차량만을 운행하며 몇몇 주요 거점에 간선/마을버스를 연계하는 허브 앤 스포크(Hub and spoke) 방식으로 운영된다. 이러한 폐쇄형 BRT 전용차로에는 BRT 차량을 제외한 버스 등 기타 차량의 통행이 제한되기 때문에 전용차로의 운영효율이 높다는 장점이 있다.



출처: 서울연구원 (2015)
그림 1-3-27 BRT 운영 형태 구분

다. 급/완행 시스템

일부 BRT 버스 노선의 운행 속도를 높이고 승객 이동 시간을 줄이는 가장 효율적인 방법 중 하나는 급행 서비스를 제공하는 것이다. 이러한 버스 노선의 운행은 일부 수요가 적은 정류장을 건너뛰고 승객 수요가 많은 주요 역에서만 정차하는 구조로, 경우에 따라 급행 버스 서비스는 일부 버스 노선의 시작점에서만 버스 승차를 허용하고, 도심이나 노선의 끝에서만 승객을 내리는 구조를 형성하기로 한다. 급/완행 BRT 버스 시스템을 도입한 국외 사례로는 아래 도시를 참고할 만 하다.

- 미국 샌와킨 카운티: <http://www.sanjoaquinrtd.com/express/default.php>
- 캐나다 퀘벡, 미국 로스엔젤레스: https://www.apta.com/wp-content/uploads/Standards_Documents/APTA-BTS-BRT-RP-004-10.pdf

ITDP의 급/완행 시스템 도입 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Service Types	POINTS
Local services and multiple types of limited-stop and/or express services	3
At least one local and one limited-stop or express service option	2
No limited-stop or express services	0

라. 제어센터

ITDP (2016)은 BRT 전체 시스템의 효율적인 운영을 위해서 중앙제어센터를 구축하여, 전체 버스 운영을 직접 모니터링하고 각종 문제를 식별하여 신속하게 문제에 대응할 수 있도록 권장하고 있다. 이를 통해, 승객의 통행시간을 절감하고 전체 BRT 시스템의 서비스를 향상할 수 있다. ITDP (2016)에 따르면, BRT 중앙제어센터는 GPS를 기반으로 한 실시간 버스 추적을 통해 다음과 같은 역할을 수행할 수 있다고 제시하였다.

- 실시간 사고 대응
- 버스 간격 조절
- 차량 내 모니터링
- 버스의 유지 보수 상태 결정
- 향후 버스 노선 및 서비스 조정을 위한 승객 승/하차 기록
- 보다 나은 BRT 서비스 제공을 위해 기존 대중교통 시스템 제어 센터 및 교통 신호 시스템과의 통합

이처럼 BRT 제어센터는 버스 운영 효율 향상, BRT 서비스 유지 및 향상을 위해 반드시 필요한 요소 중 하나로, BRT 제어센터의 규모 및 역할에 대한 지침 등을 포함한 S-BRT 지침에 중요한 요소로 반드시 포함되어 할 것으로 보인다.



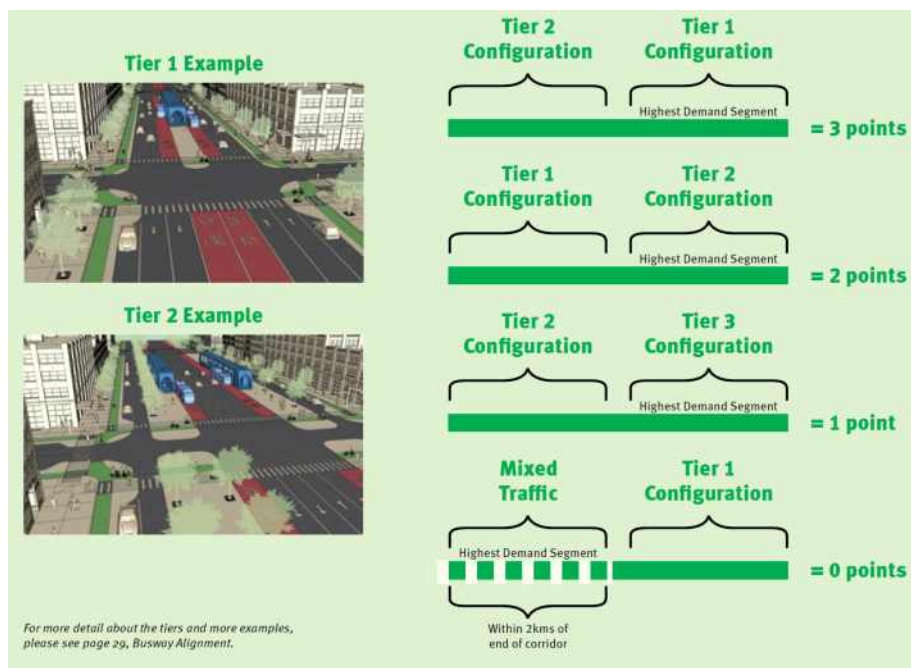
그림 1-3-28 BRT 중앙제어센터 구축 사례: 브라질 리우자네이루

ITDP의 BRT 중앙제어센터 구축 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Control Center	POINTS
Full-service control center with all three services	3
Control center with two of the three services	2
Control center with one of the three services	1
No control center or center with limited functionality	0

6. BRT 수요분포 예측

ITDP (2016)은 BRT 수요가 많은 도로에 BRT 인프라를 구축하여 보다 많은 승객이 BRT 시스템으로부터 혜택을 얻을 수 있도록 제시하였다. 즉 수요 예측을 통해 BRT 이용 수요가 높을 것으로 예상되는 구간에 보다 높은 수준의 BRT 인프라를 구축할 것을 제시하였다 (아래 그림 참조). 특히 예측된 수요 구간 중 상위 10위 안에 드는 구간에 BRT 구간을 선정하여 최소한의 BRT 수요를 확보할 것을 강조하기도 하였다.



Corridor Configurations	POINTS	WEIGHTED BY	
TIER 1 CONFIGURATIONS			
Two-way median-aligned busway in the central verge of a two-way road	8	% of corridor with type of dedicated right-of-way	
Bus-only corridor where there is a fully exclusive right-of-way and no parallel mixed traffic, such as a transit mall (e.g., Bogotá, Colombia; Curitiba, Brazil; and Quito, Ecuador) or a converted rail corridor (e.g., Cape Town, South Africa, and Los Angeles)	8		
Busway that runs adjacent to an edge condition like a waterfront or park where there are few intersections to cause conflicts	8		
Busway that runs two-way on the side of a one-way street	6		
TIER 2 CONFIGURATIONS			
Busway that is split into two one-way pairs on separate streets, with each bus lane centrally aligned in the roadway	5		
Busway aligned to the outer curb of the central roadway on a street with a central roadway and parallel service road	4		
Busway aligned to the inner curb of the service road on a street with a central roadway and parallel service road. Busway must be physically separated from other traffic on the service road to receive points	4		
Busway that is split into two one-way pairs on separate streets, with each bus lane aligned to the curb	3		
TIER 3 CONFIGURATIONS			
Virtual busway that operates bidirectionally in a single median lane that alternates direction by block.	1		
NON-SCORING CONFIGURATIONS			
Curb-aligned busway on a two-way road	0		

출처: ITDP (2016)

그림 1-3-29 BRT 수요를 반영한 BRT 구간 및 인프라 수준 결정 예시

ITDP의 BRT 수요 반영 수준에 따른 세부 점수 산정 기준은 아래 첨부된 그림과 같다.

Corridor Location	POINTS
Corridor is one of top ten demand corridors	2
Corridor is not one of top ten demand corridors	0

Demand Profile	POINTS
Corridor includes highest demand segment, which has a Tier 1 Trunk Corridor configuration	3
Corridor includes highest demand segment, which has a Tier 2 Trunk Corridor configuration	2
Corridor includes highest demand segment, which has a Tier 3 Trunk Corridor configuration	1
Corridor does not include highest demand segment	0

7. 해외 BRT 현황 및 등급

ITDP에 소개된 상급 BRT 시스템을 소개하고, 주된 특성을 기술하였다.

가. 중국 이창 (Yichang, China)

- ITDP 평가 등급: 금메달
- 노선 길이: 23km
- 일일 BRT 이용 객수: 240,000
- 강점: 중국 이창의 주된 강점은 BRT 정류장에 추월차로를 설치하여, BRT 버스의 운영효율을 크게 향상시킴.
- 보완사항: 이 BRT 시스템은 더 연속적인 자전거 도로, 자전거 주차시설 및 자전거 공유 시스템 등을 통해 BRT 정류장으로 접근성을 향상 시킬 필요가 있음.



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-30 중국 이창의 BRT 시스템

나. 브라질 벨로리존테 (Belo Horizonte, Brazil)

- ITDP 평가 등급: 금메달
- 노선 길이: 7.1km
- 일일 BRT 이용 객수: 185,000
- 강점: 브라질 벨로리존테 BRT 시스템의 특징은 BRT 수요가 매우 높은 구간을 통해 도심 중심까지 이어지는 고용량/고성능의 BRT 시스템을 구축하여, 많은 이용자들이 BRT 시스템으로부터 이득을 얻을 수 있도록 함.
- 보완사항: 이 시스템은 특히 교차로 회전제약 등 교차로 지연시간을 줄이는 노력을 할 필요가 있음. 또한 도심 외곽에 위치한 정류장으로서의 접근성을 높이기 위해, mid-block 횡단보호를 늘릴 필요가 있음.



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-31 브라질 벨로리존테의 BRT 시스템

다. 콜롬비아 보고타 (Bogota, Columbia)

- ITDP 평가 등급: 금메달
- 노선 길이: 13km
- 일일 BRT 이용 객수: 120,000
- 강점: 콜롬비아 보고타의 BRT 시스템은 고용량의 BRT 시스템을 전 세계에 알린 우수 사례임. 이 BRT 시스템은 지하철 시스템과 거의 비슷 (혹은 이상)의 승객을 수송할 수 있는 고용량 수송 시스템임.
- 보완사항: 도입 이후 시스템의 큰 성공으로 인해 승객 수요가 매우 크게 상승함. 버스 운행 빈도 증대 및 네트워크 확장 등을 통해 시스템의 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 보임.



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-32 콜롬비아 보고타의 BRT 시스템

라. 아르헨티나 부에노스아이레스 (Buenos Aires, Argentina)

- ITDP 평가 등급: 은메달
- 노선 길이: 3-5km
- 일일 BRT 이용 객수: 255,000
- 강점: 아르헨티나 부에노스아이레스의 BRT 시스템은 전 세계에서 도로폭이 가장 넓은 도시 간선도로 중 하나인 도로 공간에 BRT 시스템을 도입하여 효율적으로 활용한 사례임. 추월차로를 설치하여 수송용량을 높이고, BRT가 도시 중심부를 보다 빨리 통과할 수 있도록 함.
- 보완사항: 아르헨티나 부에노스아이레스 BRT 시스템은 선지불 요금징수체계 및 급/완행 시스템 도입을 통해 시스템의 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 보임.



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-33 아르헨티나 부에노스아이레스 BRT 시스템

마. 멕시코 멕시코시티 (Mexico City, Mexico)

- ITDP 평가 등급: 은메달
- 노선 길이: 17km
- 일일 BRT 이용 객수: 140,000
- 강점: 멕시코 멕시코시티의 BRT 시스템은 전 세계에서 도로폭이 가장 넓은 도시 간선도로 중 하나인 도로 공간에 BRT 시스템을 도입하여 효율적으로 활용한 사례임. 추월차로를 설치하여 수송용량을 높이고, BRT가 도시 중심부를 보다 빨리 통과할 수 있도록 함.
- 보완사항: 이 시스템은 특히 요금통합시스템 도입, 교차로 처리, 자전거 네트워크와의 통합을 통해 시스템의 운영효율을 향상시킬 수 있을 것으로 보임.



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-34 멕시코 멕시코시티 BRT 시스템

바. 남아프리카 공화국 요하네스 버그 (Johannesburg, South Africa)

- ITDP 평가 등급: 은메달
- 노선 길이: 25km
- 일일 BRT 이용 객수: 42,000
- 강점: 이 BRT 시스템은 높은 수준의 정류장을 구축하였으며, 향후 수요 증가 등을 고려하여 쉽게 용량을 늘릴 수 있도록 설계됨. BRT 노선이 도심부로 연결됨.
- 보완사항: 이 시스템은 BRT 인프라 유지 관리가 더욱 요구되며, 더욱 높은 수준의 버스 전용차로 도입이 필요함.



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-35 남아프리카 공화국 요하네스 버그 BRT 시스템

사. 미국 하트 포드 (Hartford, USA)

- ITDP 평가 등급: 은메달
- 노선 길이: 9.4km
- 일일 BRT 이용 객수: 14,000
- 강점: 이 시스템의 특성은 이용률이 저조한 화물 철도 구간에 BRT 시스템을 도입한 사례로, 도로 구간과의 상충이 최소화됨에 따라 교차로 지연이 줄어들음. 이 시스템은 급/완행 시스템을 도입함.
- 보완사항: 이 시스템은 구간을 도심으로 연결하여 수요를 높일 수 있음. 또한 지불 증명 시스템의 확대에 대기 시간을 줄일 수 있음.



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-36 미국 하트 포드 BRT 시스템

아. 인도 뿔 프리 친치 와드 (Pimpri-Chinchwad, India)

- ITDP 평가 등급: 동메달
- 노선 길이: 14km
- 일일 BRT 이용 객수: 120,000
- 강점: 이 시스템의 특성은 까다로운 교통 환경에서 BRT 시스템을 도입함.
- 보완사항: 이 시스템은 선 지불 요금체계 도입 및 교차로 우선 신호 도입 등을 통해 운영 효율을 높일 수 있을 것으로 보임.



출처: ITDP (2016)

그림 1-3-37 인도 뿔 프리 친치 와드 BRT 시스템

8. S-BRT 성능 목표 정립

본 장에서는 BRT의 구성 요소 및 운영 효과를 정리하고 해당 평가 기준을 바탕으로, S-BRT 일반 성능 목표를 아래 표와 같이 정리하였다. S-BRT 성능 목표는 일반 사항을 기준으로 하며, S-BRT 적용 구간 및 도입 지역 특성을 고려한 성능 목표를 구체화 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, S-BRT는 기존 BRT 시스템과 차별되는 우월한 시스템으로, 기존 BRT 시스템과 연계하여 효율적인 간선급행 교통망을 구축하도록 방향을 정립해나가야 한다.

표 1-3-3 BRT 평가 기준 검토에 따른 S-BRT 성능 목표 설정 및 기술 개발 고려사항

구분	평가항목	S-BRT 목표 (BRT기준 30% 이상 성능향상)	기술 개발 고려사항	
BRT 시설	기본 요소	전용 주행로	최소 5km 이상 연속구간이며, 물리적으로 완전 분리 주행로	고속주행 구간 안전기술 확보
		주행로 구성	교차로와 상충이 전혀 없는 양방향 중앙 버스차선 구성	우선신호 방식, 입체교차로 설계
		정류장 요금징수체계	물리적 요금징수시스템 없이 스마트기기 기반 자동과금체계	게이트프리존 모듈, 무임승차적발 기술
		교차로 처리	좌회전 금지, 버스 우선 신호	우선신호 방식
		(차량) 수평 승하차	버스와 정류장 플랫폼 수직 간격 1.5cm이하, 수평간격 10cm이내	정위치 정차를 위한 정밀 운전지원 기술
	인프라	정류장 추월차로	정류장 추월 전용 차로 설치	보행자 분리형 정류장 안전 설계기술
		교차로와 정류장 거리	교차로와 40m 이상 떨어져 설치	
		섬식(중앙)정류장	전구간 섬식 중앙정류장	양문형 차량 시스템
	정류장	정류장간 거리	전용 주행로 내 정류장 간격 1km 이상, 이외 주행로 정류장 간격 500m 이상	
		정류장 안전 및 쾌적성	미세먼지, 악천우 등 기상상황, 버스 충돌 등 사고로부터 안전한 넓은 공간 (LOS B 수준 확보)	내구성 있는 소재, 미세먼지 저감 기술
		(차량) 버스 출입문 수	승하차 출입문 분리형, 하차 출입문 2개 이상 부여	도어 설계 제작 등
		버스 승차대 및 보조 정류장	승객 수요 대응형 주 승차대와 보조 정류장 설계	주 승차대와 보조 승차대 배정을 위한 센터기반 제어기술
		정류장내 슬라이딩 도어	정류장 환경 개선 및 안전사고로부터 보호를 위한 전구간 슬라이딩 도어 적용	안전 기술, 차량 진입·출 연계 자동 개폐 기술
	브랜드 및 정보시스템	브랜드 형성	정차역 구분이 용이한 디자인 및 가변형 정보 제공 활용 기술	가변형 정보제공, 사이니지 기술
		이용자 정보	이용자 위치기반 정보제공, 통합 대중교통 정보 제공	정보 수집, 제공 기술, 도심구간 정밀 위치추위기술
통합 및 연계체계	교통약자 접근성 (Universal Access)	경사로 도입, 교통약자 리프트 등 이동 시스템 연계, 음성기반 정보제공 기술	교통약자 지원 기술	

	타 대중교통과의 연계성	(물리적 통합) 도시철도 연계 수직 직결형, 택시 연계 평면형 환승정류장 설계	저심도 연계 급속시공 기술 등 적용
		(요금체계 통합) 통합요금제 적용	요금정책, 통합환승결제 지원시스템
		(차량) 자전거 거치대 등 부대시설	-
운영서비스	노선 구조	다양한 운영 노선이 버스 전용 주행로를 혼용하는 방식, 환승 소요시간 최소화	운영노선 스케줄 최적화 기술, 실시간 수요 대응 센터 기술
	첨두 운행빈도	급행 운행 서비스 ▲, 최소 배차간격	
	비첨두 운행빈도	완급행 1:1 운행, 배차간격 확대	
	서비스 다양성	급행, 완행, 다양한 노선 조합 등	
	제어센터	실시간 사고대응, 버스 배차간격 조절, 차량내 모니터링, 유지보수 등	실시간 정보수집, 분석, 제어 등 기술
	주요교통축, 수요분포	버스 정류장, 차량 내 이용객수 실시간 분석을 통한 수요 예측 및 대응 기술	운행 간격 조정 등을 통한 대기시간 최소화 기술
	BRT 네트워크	주요 환승센터 연계 방사형 노선 네트워크 구성	운영계획 수립
	정시성 (이용객 대기시간 최소화 등)	운영 스케줄 내 2분 이내 출도착, 이용객 대기시간 5분 이내	센터 운영 제어 기술
맞춤형 운영 서비스	주변 토지이용계획 (상업, 업무시설 등)에 따른 정류장 배치 적정성	이용자 만족도 연계 서비스	

제2장

국내외 동향 및 환경분석

제1절 국내외 정책동향

제2절 국내외 시장현황 및 전망

제3절 국내외 기술 동향

제2장 국내외 동향 및 환경분석

제1절 국내외 정책 동향

1. 국내외 정책 동향

간선급행버스체계(BRT) 종합계획(2018~2027) 수립고시(국토교통부고시 제2018-742호) 관련하여 총 25개 노선 총연장 497.6 km, 총 예산 1조 792억원으로 예정되어 있다.

- 광역교통 수요 증가로 급증하는 승용차 교통수요 처리 필요
 - 승용차 중심의 교통체계 형성에 따른 교통 혼잡 심화
 - 도시 광역화에 따른 주거지 확산 및 통행거리 증대에 따른 승용차 의존도 증가
 - 기후변화 협약 등으로 인한 대중교통 활성화 필요성 부각

- 도시교통혼잡 완화를 위해 추진한 대규모 도시 중심 지하철 확충은 지자체 재정난 및 버스 산업 악화 초래
 - 지하철 중심 대중교통시설 투자는 버스 승객의 감소를 초래하였고 무리한 도시철도 건설 추진으로 인한 건설부채, 운영적자로 인한 재정적 어려움 발생

- 승용차 이용 증가로 인한 버스 정시성 결여 및 서비스 악화, 승객감소, 경영난 심화 등의 악순환 발생

- 지속가능 교통체계 구현을 위한 버스 기반의 교통체계로의 전향 검토 필요
 - 도로 공급위주 정책은 승용차 수요를 유발하고 교통문제를 악화
 - 도시철도는 적정수요가 확보되지 않을 경우, 과도한 운영적자로 지자체 재정 부담 발생
 - 도시철도에 비하여 저렴하고 기존의 낙후된 버스 서비스를 획기적으로 개선할 수 있는 간선급행버스체계 도입 필요

- 관련 근거: 간선급행버스체계의 건설 및 운영에 관한 특별법」 제4조



□ 간선급행버스체계(BRT) 종합계획(2018~2027) 수립 고시

- 고시 일 : 2018. 11. 30(금) (국토교통부고시 제 2018-742호)
- 수립근거 : 「간선급행버스체계의 건설 및 운영에 관한 특별법」 제4조
- 계획기간 : 2018~2027 (10년간)
- 계획범위 : 수도권 등 5개 대도시권 간선급행버스체계(BRT) 단계별 투자에 관한 계획
- 주요내용 : 수도권 간선급행버스체계(BRT) 22개 사업 선정(단기11, 중기 11)

단계	순위	사업명	노선명	연장(km)	시원	사업비(억원)	지형	비고
단기	1	의정부-도봉 BRT	도봉산역-민락2지구	8.6	'16~'18	50*	광역	기본형
	2	과천-서울 BRT	방배경찰서-남태령고개	2.9	'19~'21	32*	광역	고급형
	3	송파-강남 BRT	양재시민의숲역-북정역	8.9	'16~'18	120*	광역	기본형
	4	강북-강남 BRT	북한남삼거리-신사역	3.4	'16~'18	56*	도심	고급형
	5	수원-구로 BRT	장안구청사거리-석수역	18.5	'18~'19	358	광역	기본형
	6	청라-강서 BRT (2단계)	고강지하차도-신방화역	3.3	'20~'22	473	도심	고급형
	7	안양-사당 BRT	호계사거리-남태령고개	11.2	'20~'22	671	광역	기본형
	8	양주-의정부 BRT	옥정지구-민락2지구	10.3	'19~'20	94	광역	기본형
	9	파주-은평 BRT	월릉역-구파발역	24.3	'19~'22	616	광역	기본형
	10	김포-강남 BRT	한강신도시-한남대교남단	36.4	'19~'21	193	광역	기본형
	11	포천-도봉 BRT	송우지구-지금사거리	9.6	'20~'22	238	광역	기본형
소 계						2,643		

단계	순위	사업명	노선명	연장 (km)	사업 기간	사업비 (억월)	질원 상태	비고
중 기	1	성남~수서 BRT	판교역~수서역	10.3	'24~'25	355	광역	고급형
	2	인천~시흥 BRT	송의역~신천동	13.9	'25~'27	836	광역	고급형
	3	별내~성북 BRT	별내역~석계역	6.7	'23~'24	307	광역	기본형
	4	김포~강서 BRT	한강신도시~개화역	15.8	'24~'25	407	광역	기본형
	5	시흥~안산 BRT	중앙역~배곧신도시	13.3	'25~'26	337	도심	기본형
	6	파주~상암 BRT	운정역~DMC역	30.8	'23~'24	265	광역	기본형
	7	안성~평택 BRT	공도읍~서정리역	17.3	'23~'24	439	도심	기본형
	8	시흥~구로 BRT	신천동~오류동역	8.2	'24~'25	273	광역	고급형
	9	구리~잠실 BRT	토평 IC~잠실대교남단	10.8	'24~'25	139	광역	고급형
	10	고촌~강서 BRT	고촌지구~행주대교남단	3.1	'24~'25	35	광역	고급형
	11	광명~시흥 BRT	광명역~광명사거리역	10.2	'24~'25	811	도심	전용형
소 계						4,204		
합 계						6,847		

참고문헌 : 수도권 교통본부: https://www.mta.go.kr/web/contents/brt_expand.do

□ 국정과제

- 국정 목표 : 더불어 잘 사는 경제
- 전략 3 : 서민과 중산층을 위한 민생경제
- 국정과제 31 : 교통·통신비 절감으로 국민 생활비 경감 (국토부·미래부)

■ 주요내용

- (광역알뜰교통카드) 광역알뜰교통카드 도입 등 제도 개선을 통해 싸고 편안한 대중교통 서비스 제공
 - 광역교통청 업무와 연계하여 대중교통 효율성 제고
- (광역교통청 신설) 법 개정을 통해 ' 18년 광역교통청 신설
- (광역버스 확충) 광역버스 노선 추가 확대
- (광역급행철도) ' 18년부터 수도권 광역급행철도 단계적 착공, 기존 전철망단계적 급행 열차 도입 및 시설 개선

- 국정과제 32 : 국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력 강화 (국토부)

- (건설산업 경쟁력 강화) 간접비 지급방식 개선, 임금지급보증제 도입 등 불공정 해소 및 유망분야 육성, 해외진출 지원 통한 일자리 창출
- (화물운송 종사자 보호강화) ' 18년 화물자동차법 개정, ' 20년 표준운임 산정위원회 구성·운영 등을 통해 ' 21년부터 표준운임제 본격 시행
- (도로·철도 공공성 강화) 도로통행료 인하, 벽지노선 운영, 일반철도 서비스 개선 등을 통해 공공성 강화, 간선망 구축 등 교통 네트워크 효율화
- (SOC 안전 강화) ' 17년 노후 철도차량·시설 개선을 위한 중장기 개량 계획 수립, 성능기반의 철도시설 관리체계 마련 및 노후도로 개선
- (대중교통 낙후지역 해소) ' 18년부터 공공형 택시를 시·군에 보급

- 국정 목표 : 내 삶을 책임지는 국가

- 전략 5 : 국민안전과 생명을 지키는 안심사회
- 국정과제 55 : 안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가책임체제 구축 (안전처)

■ 주요내용

- (안전복지) 헌법 개정 시 국민안전권 명시
 - ' 18년까지 안전취약계층 지원 법적근거 마련 및 취약계층 안전서비스 확대
- (교통 안전) 범정부 교통안전 추진체계 구축, 보행자 우선 및 교통약자 보호, 취약계층 배려 중심의 교통정책 추진

- ' 17년에 스마트 철도안전 기본계획 수립, ' 22년까지 항공안전 빅데이터 플랫폼 구축 등 철도와 항공기 안전 강화
- (안전위험요소 제거) 승강기·건설·지하안전 등 부문별 위험요소 제거, IoT를 활용한 위험 예측, 감지, 분석, 대응기술 개발
- (지진 안전) 지진 조기경보체계 개선, 내진설계·보강, 활성단층 조사 실시, 지진 대비 교육·훈련 확대 등 ' 20년까지 선진국 수준 지진 대응체계 마련
 - ' 18년까지 지진 조기경보시간 7초~25초로 단축(' 16년 50초)
- (화재 안전) 선제적 화재예방 및 대형화재 대비·대응체계 마련
 - 소방특별조사 인력·대상 확대 및 위험특성별 맞춤형 안전대책 강화
- (스마트 기상정보) ' 17년부터 전문예보관 양성, 수치예보기술 개발(' 19년) 및 ' 21년까지 한국형 날씨 예측모델 운영 등을 통해 맞춤형 스마트 기상정보 제공

□ 2020년도 정부연구개발 투자방향

- 4차 산업혁명 대응 및 혁신성장 성과 창출 가속화

1. 핵심·기반기술 지원
2. 기존 산업+지능정보기술 융합을 통해 산업 전반의 초연결·초지능화 지원
3. 혁신성장 성과 창출 가속화를 위한 전략·선도분야 R&D 집중 투자

□ 혁신성장 성과 창출 가속화를 위해 전략·선도분야 R&D 집중투자

- 혁신성장 선도분야에 대해 기술-인력-법-제도 개선을 패키지로 지원하고, 분야별 전략적 투자를 통해 성과 창출 가속화

- 주요정책 및 사업

- ◆ 공공시설물 및 건축물의 안전성 증진과 주거·교통 복지 향상을 위한 R&D 추진을 통한 국민 삶의 질 향상
- ◆ 자율주행도로, 스마트시티 등 지능정보 기술을 활용한 혁신적인 공공서비스 개발 및 융합기술을 활용한 산업 경쟁력 제고

□ (주요정책목표) 사회기반시설 안전성 확보, 교통 복지 증진과 핵심기술 육성 등을 통한 국가 경쟁력 제고

- (건설) 건축물 붕괴, 시설물 화재 등 재난·안전사고 예방과 공간정보, 클라우드 기반 실시간 통합안전관리 체계 마련

※ 「시설물의안전및유지관리 기본계획(' 18 ~ ' 22)」, 「제6차 국가공간정보정책기본계획(' 18 ~ ' 22)」, 「제6차건설기술진흥기본계획(' 18 ~ ' 22)」 등

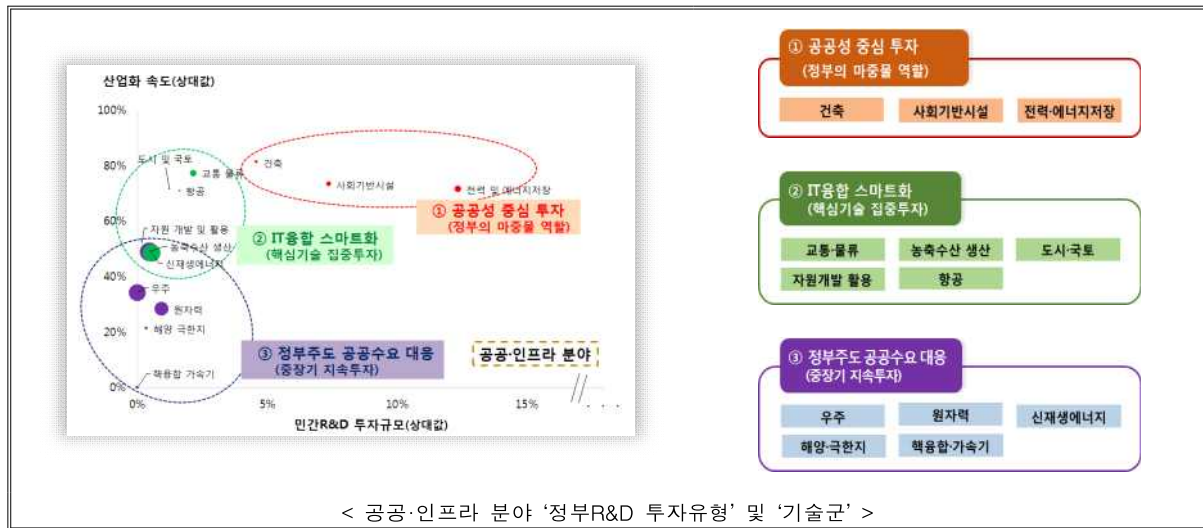
※ ' 22년까지 안전등급 A, B 시설물 비중 95% 이상(1·2종 시설물) 목표(「시설물의 안전

- 및유지관리 기본계획(' 18 ~ ' 22))
- (교통·물류) 자율주행차 등 미래 기술 육성, 물류비용 절감 등 세계 10대 물류 강국 도약, 교통안전 및 복지향상, 기후변화 대비 온실 가스 감축 추진
 - ※ 제1차국토교통과학기술연구개발종합계획(' 18 ~ ' 27) , 「국가물류기본계획 (' 16 ~ ' 25) 」 등
 - ※ ' 25년까지 국제 물류경쟁력 10위 목표(「국가물류기본계획(' 16~' 25))
 - (철도) 철도차량 핵심기술 고도화로 국제경쟁력 강화, 철도시설 유지·관리 효율화, 철도 인프라 성능 및 안전성 향상 추구
 - ※ 제1차 국토교통과학기술연구개발종합계획(' 18 ~ ' 27) , 「제3차 철도산업발전기본계획,(' 16~' 20) 」 등
- (주요사업) 시설물 안전성 증진, 혁신성장동력(스마트시티, 자율주행자동차 등) 창출 지원을 위한 핵심기술개발과 사업화 지원 등 기반마련 사업에 지원
- (건설) 고부가가치 구조물 설계·시공 기술개발 및 노후 시설물·건축물 안전성 증진을 위한 연구와 에너지 효율을 높이기 위한 사업 수행
 - (교통) 新교통수단의 상용화를 위한 자율주행 지원 도로안전 인프라 등의 핵심기술개발 사업 추진
- (도로 교통·물류) 친환경자동차, 자율주행자동차 보급 확대에 대비하여 안전하고 친환경적인 교통 환경구축 기술개발에 지속 투자
- 미세먼지 배출량 30% 감축(~ ' 22)을 위한 미세먼지 저감 도로시스템 및 친환경자동차 보급 확대를 위한 투자
 - 첨단안전장치를 이용한 교통사고 예방 기술 및 미래 교통환경 변화 대응을 위한 자율주행 안전성 향상 기술개발 등에 지속 투자
 - ※ 자율주행기반 대중교통시스템 실증 연구, 인공지능 기반의 미래 교통운영 기반기술 개발 및 활용 등
 - 사고 없는 안전도로 구축을 위한 도로안전관리 기술과 첨단 도로 교통 운영 시스템 개발 및 실증 등에 지속 투자
 - 자동화 수송체계 등 시장이 급속도로 확대되는 물류산업 관련 기술개발은 민간 주도로 점진적 전환
- 2019년부터 2023년까지의 정부연구개발 방향에 대한 「정부R&D 중장기 투자전략」
- ③ 공공·인프라 분야에서는 정부는 공공성 중심으로 투자하고, 점진적으로 민간의 주도적 역할 확대를 유도

- 우주, 원자력 등 대형연구분야는 공공수요 계획에 따라 맞춤형으로 투자하고, 핵심기술의 자립을 추진
- 건축, 사회기반시설 등의 분야는 정부연구개발을 마중물로 삼아 시장성이 높은 기술에 대한 민간의 적극적 투자를 유도할 계획

□ 공공인프라(역할분담: 정부 공공성 중심 투자 / 민간 역할 확대)

- 생활 인프라 구축과 대형연구분야 지원을 위해 정부는 공공수요·공공성 중심으로 투자하고, 점진적으로 민간의 역할을 확대



□ 2019 국토교통부 중점 추진과제

- ① 7대 혁신기술 확산과 건설 운수 주력 산업 체질 개선
- ② 노후 SOC 관리 강화 등 안전한 생활환경 조성
 - (주요) 안전시설과 사고현황 빅데이터 분석을 거쳐 취약 지역과 시설을 과학적으로 규명하여 고위험 시설부터 전략적으로 보강하고, 유지 관리형 투자 비중을 지속 확대하여 안전개선을 뒷받침
- ③ 지역사업 투자 활성화 및 미래 비전 마련
- ④ 수요자 중심의 맞춤형 복지 확산 및 안정적 시장관리
- ⑤ 삶의 수준을 높이는 교통 서비스 제공
 - (주요) ‘여유로운 아침, 함께하는 저녁’ 을 위해 만성적 교통난을 해소하고 수도권 광역교통 체계를 혁신
 - ‘대도시권광역교통위원회’ 출범을 시작으로 광역버스 확충, 교통 체계 효율화, M-버스 운행범위 확대(수도권→광역권) 등 핵심 사업을 본격 착수
 - 편안한 출퇴근길을 위해 지난해 착공한 GTX-A 노선(운정 ~ 삼성)을 속도감있게

- 건설하고, C노선(덕정 ~ 수원)은 6월중 기본계획 수립에 착수
- 신도시 광역교통 개선대책에 포함된 신안산선 착공과 함께, 신분당선 광교 ~ 호매실, 용산 ~ 신사 구간도 조기 추진 방안을 마련하여 추진

□ 미국 :

- 「TEA-21(Transportation Equity Act)」은 교통 체계를 향상을 위해 수립
 - 운전자 및 자동차안전 정책, 기반시설 안전 등에 투자
 - 교통안전향상(사업용자동차안전 등)을 위해 주정부 및 지방자치단체 등에 6년간 투자
 - (주요정책) 음주운전, 안전벨트와 탑승자 보호, 주(州)와 지역사회 보조금, 주(州) 고속도로 교통안전 데이터 개선 보조금, 고속도로 안전 연구·개발 운전자 등록, 자동차 안전 및 정보, 철도와 도로의 횡단 행동
- NHTSA에서 2011년 시작한 ‘Drive Sober or Get Pulled Over’ 캠페인은 음주운전의 위험성 및 알코올 중독을 경계하기 위해 음주운전 집중 단속과 함께 병행하여 시행
- 차량의 속도위반과 관련된 부상 및 사망을 감소시키기 위해 제한속도 관리에 관한 교육을 주 및 지방정부에게 교육하는 정책
 - 교통 전문가 및 법 집행, 공공 정책 입안자 등의 협업을 통한 제한속도 관리

* 참고문헌 : 한국교통연구원, OECD 주요국가 교통안전정책 비교연구, 2013

□ 유럽 :

EU road safety guidelines(2011-2020)

“ Towards a European road safety area: policy orientations on road safety ”

- 목표 : 2020년까지 도로교통 사망자 50% 경감
- 전략 : 최고 수준의 도로안전의 표준을 추구하며, 모든 사람이 자신의 안전과 다른 사람의 안전에 대해 일차적 책임을 가지도록 촉진
 - 도로 안전에 대한 통합된 접근법으로 다른 정책분야와의 연계
 - (1) 운전자 교육/훈련 개선에 의한 안전운전 촉진
 - (2) 도로 규정위반 단속 강화
 - (3) 더욱 안전한 도로시설
 - (4) 더욱 안전한 차량
 - (5) 도로안전 개선을 위한 현대 기술의 사용 촉진
 - (6) 비상대응과 사후-부상자 서비스 개선
 - (7) 취약한 도로 사용자 보호
 - (8) 도로안전 정책의 실행

* 참고문헌 : 국토교통부, 교통사고 및 사망자 최소화를 위한 사고없는 안전교통(Safe Mobility) 로드맵 수립(도로이용자 교통사고 위험도 경감 기술개발 기획 보고서), 2013

Strategic Framework for Road Safety

- 지방정부, 도로안전전문가, 관련 이해 관계자 등의 역할을 명확히 하고 지방정부가 주어진 정책의 우선순위를 시행하고 평가하여 책임감을 갖도록 하는 것을 목표로 선정
- 2030년을 목표로 하는 교통안전 중장기계획은 2005~2009년 사망자수 평균치를 기준으로 교통사고 사망자수는 41% 감소, 사망 및 중상자수는 55% 감소를 제시
- 계획 수립 후 2011년부터 2014년까지 사망자수를 연평균 1.7% 감소

* 참고문헌 : 한국교통연구원, 제8차 국가교통안전기본계획 (2017~2021) 수립을 위한 사전 연구, 2016

□ 주요국 도로교통안전 기본계획 수립 현황

- 주요 교통안전 선진국은 도로교통안전 기본계획을 장기적으로 수립하고 추진 중이며 5년 이내의 짧은 주기로 갱신을 통해 현실성 있는 안전계획 추진

나라	계획명	기간	주체
오스트리아	Austrian Road Safety Programme	2011-2020	-
호주	National Road Safety Strategy	2011-2020	-
포르투갈	National Road Safety Strategy	2008-2015	도로안전청
노르웨이	National Transport Plan	2010-2019	-
네덜란드	Road Safety Strategy Plan	2008-2020	교통부
스페인	Spanish Road Safety Estrategy	2011-2020	-
영국	Strategic Framework Road Safety Area	2012-2015	교통부
EU	Towards a European Road Safety Area	2011-2020	-
스웨덴	Management by Objectives for Road Safety Work	2007-2020	도로청
독일	Road Safety Programme 2011	2011-2015	연방 교통, 건설 도시개발부

* 참고문헌 : OECD(2015), Road Safety Annual Report, OECD/ITF

□ 일본

21세기 교통안전 목표 및 정책 기본방향

- 목표 : “2018년 교통사고 사망자수를 2,500명 이하로 경감”
- 기본방향 :

- IT를 활용한 교통사회 실현 : 누구라도 언제든지 이용하기 쉬운 교통
- 저출산, 고령화 사회에 대응한 교통사회의 구축 : Barrier-free한 교통
- 안전 확보 : 교통사고 피해자 구제, 중도후유장애자 대책 등의 사회적 대응
- 교통 인프라의 중점적·효율적인 정비와 효과적 활용 : 비용-효과분석을 기본으로 하는 사업평가의 실시와 사회적인 유용성 판단

* 참고문헌 : 국토교통부, 교통사고 및 사망자 최소화를 위한 사고없는 안전교통(Safe Mobility) 로드맵 수립(도로이용자 교통사고 위험도 경감 기술개발 기획 보고서), 2013

제10차 교통안전기본계획 (2016-2020)’ (안)

- 일본의 ‘제10차 교통안전기본계획’의 장기 비전은 교통사고 없는 사회, 사람 우선의 교통안전의식을 기본 이념
- 교통사회를 구성하는 사람에 관한 안전 대책, 교통에 관한 안전 대책, 교통 환경에 관한 안전 대책 제시

구분	주요내용
Vision	- 도로교통사고 없는 사회 인명존중을 바탕으로 하며, 궁극적으로는 교통사고가 없는 사회를 목표로 함. 향후 사망자수를 더욱 감소시키는 것은 물론, 사고 자체의 감소에 대해서도 적극적으로 대처
Taget	- 2020년까지 24시간 내 사망자수 2,500명 이하 - 2020년까지 사상자수를 50만 명 이하
Strategy	- 교통사고로 인한 피해를 줄이기 위해 중점적으로 지원해야 할 대상 고령자 및 어린이의 안전 확보 / 보행자 및 자전거의 안전 확보 생활도로에서의 안전 확보 - 교통사고가 일어나기 어려운 환경조성 교통실태 등을 바탕으로 한 치밀한 대책의 추진 마을(Community) 교통안전대책의 추진 첨단기술 활용의 추진

* 일본 국토교통성, 제10차 교통안전기본계획(안), 2016

2. 센터 기반 S-BRT 우선 신호운영기술의 국내 법제도 현황

우선신호시스템 도입과 관련된 법제도는 차량의 통행방법, 신호등 설치 및 운영에 대한 법적 근거가 되는 「도로교통법」과 교통신호기의 물리적인 설치와 관리에 대한 내용을 포함하는 「교통신호기 설치 및 관리매뉴얼」, 「교통신호제어기 표준규격서」가 있다.

버스의 우선신호와 달리 긴급차량의 우선신호는 현시 생략, 현시 건너뛰기와 같이 비정상적인 신호운영이 종종 발생할 수 있다. 그러나 과거 「도로교통법 시행규칙」 제7조(신호등)는 현시순서가 일정하도록 명시되어 있어 현시순서의 변화가 필요한 현시생략 감응제어나 긴급신호시스템 지원이 제한적이었다. 하지만 해당부분은 “교차로와 교통 여건상 특별히 필요하다고 인정되는 장소는 신호의 순서를 달리하거나 녹색화살표 및 녹색 등화를 동시에 표시 할 수 있다.”고 명시되어 있어 긴급차량 우선신호 시스템 운영시 비정상신호운영에 대한 법적 근거는 확보되어 있다.

교통신호제어기의 하드웨어 규격과 요구기능을 명시하고 있는 「교통신호제어기 표준규격서」는 버스 및 긴급차량 우선신호 시스템을 구현하기 위한 하드웨어적인 규격과 제어기능을 정의하고 있다. 교통신호제어기 표준 규격서는 제어기의 호환성과 독점방지를 위해 옵션보드1)를 통해 CPU보드에 신호제어 명령을 전송하도록 하고 있다. 따라서 규격서에서는 우선신호 명령을 전송할 수 있는 PPC(Preemption & Priority Controller) 보드의 규격을 정의하고 있다. 「교통신호기 설치 및 관리매뉴얼」은 우선신호에 대해 정의하고 이에 대한 운영목적은 언급하고 있으나 실질적으로 이를 운영하기 위한 세부적인 내용은 부족한 실정이다.

결론적으로 우선신호와 관련된 법제도 현황을 살펴보면 현재 시스템을 도입 운영할 수 있는 최소한의 기반만 마련되어 있는 실정임. 우선신호 시스템 도입의 필요성은 지속적으로 논의되어왔음에도 불구하고 그동안 실질적으로 현실화되지 못한 실정이다. 그러나 불행히도 지난 몇 년간 발생한 대형사고를 계기로 국가 재난 관리 체계 정비가 주요 국정과제로 채택되었고, 본격적으로 국가차원의 우선신호 시스템 도입이 가시화되고 있다. 과거 한국교통연구원에서 발행한 연구보고서에서는 우선신호 시스템이 보급되지 못하는 요인으로 국가차원의 가이드라인 부재를 지적한 바 있으며, 실질적으로 시스템의 운영과 관리는 지자체 단위로 이루어지기 때문에 기술 표준과 같은 가이드라인 없이 확산되었을 때, 버스 또는 긴급차량이 특정 권역을 벗어나는 경우 우선신호 서비스를 받지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 더욱이 국가차원의 차세대ITS 시스템이 확산되고 있는 가운데 이를 고려하지 않은 시스템의 도입은 향후 기 보급된 시스템이 사장되거나, 새로운 ITS 시스템의 확산을 저해하는 위험요소가 될 가능성도 있다고 판단된다. 우선신호 시스템에 대한 기술표준의 개발과 제정은 위와 같은 문제를 보완하기 위한 주요한 방법이 될 것으로 기대됨. 이미 국외에서 다수의 상용화된 우선신호 시스템이 존재하고 기술표준에 대한 부분도 장기간 논의되어 온 부분이므로 곧 제도를 안정적으로 안착시킬 수 있을 것으로

로 기대된다. 우선신호 시스템 기술 및 표준개발 연구는 기술적인 부분과 향후 효율적인 우선신호 시스템 운영을 위해서는 실질적인 운영 매뉴얼개발이 지속적으로 이루어져야 한다.

2004년에 수립된 간선급행버스체계(BRT) 단계적 확충 계획에 따라 국내 BRT 사업이 진행 중에 있으며, 국토해양부는 “간선급행버스체계 설계지침”에서 BRT의 유형을 지역의 도로 및 교통여건, 기능 요구수준에 따라 신교통형 BRT와 일반형 BRT으로 구분하고 있다. 신교통형은 전용도로 및 전용차량, 입체교차로 등의 시설을 구축함으로써 경전철에 준하는 교통서비스 제공하고 일반형은 버스전용차로, 일반형버스, 버스우선신호 등의 시설을 구축함으로써 신속성과 정시성 확보하고 있다. 설계지침내 신호운영 부분에서 BRT 우선신호를 위한 가이드라인이 제시되어 있으나 선언적인 가이드라인으로 지자체가 참조하여 현장에서 적용이 어려운 실정이다.

3. 버스전용차로 도로포장 문제점

버스전용차로는 축하중이 큰 대형버스의 집중·반복 주행으로 인하여 일반차로에 비해 상대적으로 포장의 조기파손 문제가 빈번히 발생되고 있다. 특히 버스정류장과 교차로 등에서는 20mm 이상의 과도한 소성변형이 많이 발생되고 있고, 주행차로의 경우에도 소성변형뿐만 아니라 균열과 포트홀 등의 파손도 빈번히 발생되고 있다. 또한 칼라코팅을 적용한 버스전용차로 포장의 경우 칼라 탈색, 코팅 탈리, 균열 등으로 단기간에 손상되는 경우가 매우 빈번하다.



그림 2-1-1 버스전용차로 포장손상(포트홀(좌), 소성변형(우))



그림 2-1-2 버스전용차로 칼라코팅 손상(탈색(좌), 탈리(우))

서울시의 경우 2004년 대중교통체계 개편작업과 함께 중앙버스전용차로 운영을 시작하였으며 이로 인해 중앙버스전용차로에 대형버스의 집중·반복통행으로 인하여 포장의 조기 파손이 많이 발생하고 있다. 중앙버스전용차로는 서울시 전체 포장도로 면적의 약 2.5%를 차지하고 있지만 포장의 파손비율은 포트홀의 경우 전체 발생량의 18%를 차지할 정도로 일반도로와 비교하여 파손정도가 심각한 상황에 있다. 또한, 1986년 버스전용차로 설계기준 개발 시 버스의 평균하중은 약 11톤이었으나 현재 버스의 평균하중은 14톤~19톤으로 증가되어서 설계보다 과한 하중이 부하되고 있다. 서울시 버스전용차로에 발생하는 포장 파손은 앞서 언급한 포트홀 뿐만 아니라 소성변형, 균열, 탈색 등과 같은 다양한 파손이 발생하고 있다.

버스전용차로에 있어서도 주행구간에 비해 버스정류장과 교차로 구간 등 정차구간에서 포장 파손이 집중적으로 발생되고 있다. 또한 우천시 배수불량으로 인하여 정류장 부근 파손부위에 빗물이 고이면서 포장체의 수분침투로 인한 포장 파손이 급속히 진행되기도 한다.

또한, 버스전용차로 안전시설의 안전시설이 구축되지 않은 사례를 제시하였다.



마포로 소성변형



통일 의주로 소성변형



한강로 탈색



수색 성산로 포트홀

그림 2-1-3 서울시 중앙버스전용차로 도로포장 파손 사례



보행자 위험사례



중앙선 침범 사례

그림 2-1-4 버스 전용차로 위험 안전시설 부재로 인한 위험 상황

제2절 국내외 시장현황 및 전망

1. 센터기반 S-BRT 신호운영기술

S-BRT 신호운영기술의 직접적인 시장 자료가 없으나 교통계획 및 운영과 관련되어 있어 해당 자료로 인용도록 한다. 세계 ITS시장은 연평균 9%성장율을 보이고, 미국이 세계 시장의 40%를 차지하며 중국, 동남아, 중남미 등 신흥 개발국가는 비교적 높은 연평균 15% 성장이 예상된다. 특히 우선신호와 관련된 ATMS(Advanced Traffic Management System)분야는 ITS시장에서 36%이상의 시장 규모를 점유하고 있다. 국내에서는 ITS추진을 위해 '01년 이후 12년 동안 약 2.9조원의 예산을 집행하였으며, 향후 '20년까지 총 3.3조원의 예산을 투입할 예정이었으나 최근 ITS계획을 대폭 수정 예정이다.

표 2-2-1 세계 ITS 및 ATMS시장 규모 (단위: 억달러)

구분	'13년	'14년	'15년
세계 ITS 시장	169	184	197
세계 ATMS 시장	59	64	68

지능형교통체계(ATMS, BIS/BMS, FTMS 및 일반국도 ITS 구축사업, UTIS)에 대한 중앙정부의 지속적인 투자로 인구 20만 이상의 도시를 대상으로 할 경우 약 87.8%에 해당하는 도시가 ITS 서비스를 운영 중이다.

ATMS 사업은 도시부 간선도로를 대상으로 도로교통상황 및 사고상황을 영상으로 확인할 수 있는 동영상수집시스템(CCTV), 차량검지시스템(VDS), 차량번호인식시스템(AVI), DSRC 무선통신기반 교통정보수집제공 시스템, 도로전광표지판(VMS) 등을 통한 교통정보 수집제공 서비스 구축 사업으로, '12년 기준 112억의 국비지원을 통해 '13년 인천광역시 등 총 7개 도시에서 사업을 추진 중이다. 이용객 편의 증진 및 대중교통활성화를 위한 광역 버스정보시스템(BIS)으로, '04년부터 국토교통부 지원을 통해 도입되기 시작하여 '12년 12월까지 총 52개 지방자치단체에서 운영 중. 버스정보시스템은 대시민 서비스를 위해 버스 정류장에 설치된 정보안내기(BIT : Bus Information Terminal) 및 정류장 QR코드, 스마트폰 app, ARS, 인터넷을 통해 실시간 버스도착정보를 제공하고 있다.

2. 도로 안전관리 분야

안전시설투자 계획(2012년)을 부문별로 살펴보면 도로분야에 1조 4564억원, 철도분야 4146억원, 항공 391억원, 해양 1328억원, 기상 134억원 등이 투입되었다. 도로분야의 경

우, 방호울타리 및 중앙분리대 설치작업 189km 구간에 284억원, 사고 잦은 곳 58개소 개선에 327억원, 위험도로 40개소 개량에 610억원, 보행자 통행시설 50km 구간 정비에 217억원, 도로표지 정비에 60억원, 안전시설 정비에 74억원 등을 투입하였다.

또한, 국민경제자문회의는 2013년 GDP(Gross Domestic Product, 국내총생산) 대비 0.4%(6.7조원) 수준인 국내 안전 산업 시장이 2017년에는 GDP 대비 1%(17.4조원)으로 2배 이상으로 성장 할 것으로 전망하였다. 또한, 안전산업의 생산유발효과는 302조원 이상이고, 안전대진단과 안전산업의 육성으로 창출되는 일자리는 약 17만개가 될 것이라고 전망하였다.

국외의 교통관리 시장 규모는 22.96백만 달러(2017)에서 59.48백만 달러(2022)로 예측하고 있으며, 시장 성장의 주요 원인은 스마트 도시 건설에 대한 정부의 관심 증가 추세로 나타나고 있다.

또한, 도로 안전 및 보안에 대한 필요성이 요구되며, 2022년까지 60억 달러를 초과 할 것으로 예상되는 추세이다. 공공 보안 및 도로 안전 분야에 대한 끊임없는 요구와 새로운 기반 시설 개발은 산업 성장을 촉진 될 것으로 예상하고 있다.

제3절 국내외 기술 동향

1. 센터기반 S-BRT 신호운영기술

가. 국외 버스우선신호 운영사례

미국을 중심으로 버스우선신호가 활발히 적용되고 있으며, 버스우선신호의 적용에 따라 버스통행시간이 단축되고 승차인원의 총지체가 크게 감소하는 것으로 보고되고 있다. 국외 버스우선신호 운영결과, 버스 통행시간, 지체, 정지수가 감소하고 버스의 정시성 향상과 혼잡완화로 대중교통 서비스가 향상되었다. 이로 인해 버스승객이 증가하는 효과가 있으며, 운송업자의 운영비 절약 및 연료소비 감소뿐만 아니라 전체시스템의 지체 감소로 사회적 후생이 상당히 증가. 반면 일부시스템에서는 부도로 및 일반차로의 지체발생 및 현시변경으로 인한 운전자 혼돈 등의 문제점도 나타나고 있다.

표 2-2-2 미국 BRT의 우선신호 운영사례

지역	교차로수	전략	평가
portland -Tualatin Valley	10	early green green extend	<ul style="list-style-type: none"> •버스주행시간1.4~6.4%감소 •버스지체 20%감소
Portland -Powell Blvd	4	early green green extend	<ul style="list-style-type: none"> •버스주행시간 5%감소 •버스(person)지체 감소
Seattle -Rainer at Genesee	1	early green green extend	<ul style="list-style-type: none"> •교차로(person)지체 13.5%감소 •버스교차로통과시간35%감소 •개인교통주행시간0.5%~3%증가
Chicago -cermak Rd	15	early green green extend	<ul style="list-style-type: none"> •버스주행시간7~20%감소 •서비스만족도 개선 •부도로 지체 : 8.2sen/veh 증가
Los Angeles -Wilshire	211	early green green extend	<ul style="list-style-type: none"> •주행시간 8%감소 •버스지체35%감소
Minneapolis -Louisiana Ave.	3	early green green extend skip phase	<ul style="list-style-type: none"> •버스 주행시간 0~38%감소 •지체 23% 증가 •생략현시로 인해 운전자 혼란
San Francisco,CA	16	early green green extend	<ul style="list-style-type: none"> •버스 지체 6~25%감소
Toronto -Ontario	36	early green green extend	<ul style="list-style-type: none"> •버스 지체 15~49% 감소
Seattle -WA, Rainier Ave	3	early green green extend	<ul style="list-style-type: none"> •버스 정지 지체 57% 감소 •버스 주행시간 35% 감소 •사람 당 지체 13.5% 감소

< 「도로교통」 제100호2005. 여름 : 버스우선신호시스템 해외운영사례 및 국내도입방안 >

브라질 꾸리찌바 BRT는 버스전용차로는 5개 간선축 58km에 중앙버스전용차로로 설치되어 있으며 대부분 물리적으로 일반차로와 분리되어 있다. 버스정거장 사이의 평균 간격은 간선굴절버스(Red bus) 400~500m, 광역급행버스(Silver bus) 3km, 지선버스(Orange bus) 200m, 순환버스(Green bus)는 300m이다. 정거장은 원통형의 튜브 스테이션(Tube station)으로 이루어져 수평승하차가 가능하게 되어 있으며 입장하기 전에 표를 구입하여 승차시간을 줄이고 있다. 대부분의 교차로에서 버스우선신호체계를 운영하며 교차로 신호를 2현시로 형성(일방통행제를 시행)하여 통행속도의 저하방지를 하고 있다.



그림 2-2-1 미국의 BRT

미국 로스앤젤레스 BRT는 MTA(광역교통기구)와 LA시청이 2000년부터 공동으로 개발 2개의 간선축(30mile)에 운영중인 광역급행버스(Metro Rapid Bus)체계는 중앙통제실을 가지고 있으며 버스우선신호를 통하여 주행속도 향상 및 정시성 유지하고 있다. 미국 보스톤 BRT는 GPS를 설치하여 차량의 위치확인, 차량의 이상여부를 자동으로 검지하는 시스템을 도입하여 2004년 운영하고 있으며 교차로에 버스우선신호시스템을 설치하고 있다.

캐나다 오타와 BRT는 일반 차량과 직접 접하지 않도록 고가도로, 교량 등으로 차로를 분리하고, 우선신호를 부여하는 등 러시아워에도 최대의 속도를 유지할 수 있도록 하였다. 버스가 교차로에 도착하면 검지기가 다른 일반차량으로부터 버스를 식별해내고 버스에 우선신호를 부여함으로써 버스의 대기시간을 감소시켜 정시성을 보장하도록 운영하고 있다.

나. 국외의 BRT 우선신호 기술

UTOPIA (Urban Traffic Optimization of Integrated Automation)는 루프 검지기와 송수신기(transponders)를 이용하여 차량 감지가 이루어지며, 교통 대응식 우선 신호가 제공되고 있다. SPOT(signal progression optimization technology)는 UTOPIA 신호제어와 비슷한 방법으로 루프검지기와 TIRIS(Texas Instruments Radio Identification System) 태그를 사용하여 실시간 감응제어를 통해 우선신호가 제공된다. 동시에 평균속도와 포화교통류율을 고려하여 최적의 여행시간을 산출하여 우선신호제어에 도움을 준다.

MOVA (Microprocessor Optimized Vehicle Actuation)는 루프검지기, 송수신기를 이용한 차량검지를 통해 실시간 신호제어로 이루어지는 우선신호를 제공하는 시스템이다. 검지된 입력자료에 따라 Green Extended, Skip Phase, Red Truncated 알고리즘을 사용하여 독립교차로 위주로 적용하는 시스템이다. 실시간 제어하에서 다양한 우선신호제어전략을 구현할 수 있는 장점이 있지만, 시간당 우선신호제공 차량수가 제한되고, 일반차량의 지체에 대해 검증되지 않은 등 단점을 가지고 있다.

SCOOT(spilt cycle offset optimization technique)는 실시간 최적화를 통해 우선신호를 제공해 주는 도시부 신호제어 시스템으로, 송수신기와 AVL, 차량 무게를 통해서 차량을 검지하며, 독립교차로 상에서 Green Extention, Green Recall 알고리즘이 인근 교차로 연동을 유지하면서 제공되는 시스템이다. SCOOT은 시간대별 통행패턴에 대해 고려할 뿐만 아니라 단기교통상황에도 잘 적응하고 있으나, 일반차량을 위한 녹색연동이 주어지기 때문에 피크시, 비피크시에 따라 버스우선신호가 유용하게 변하지 못하는 단점이 있다.

SPNT(selective priority network technique)는 루프검지기와 송수신기(transponders)를 이용하여 차량검지가 이루어지며 실시간으로 시스템이 운영된다. 주로 Green Extention, Green Recall 알고리즘을 사용하여 버스가 다음 교차로를 통과할 수 있는 신호시간을 제공되며, 승용차의 지체를 줄이기 위해서 녹색시간 연장을 제한하며, 한 주기에 한번의 우선신호요청을 허용함으로써, 일반차량에 대한 지체보상을 허용하는 시스템이다.

SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System)는 루프검지기와 송수신기를 이용하여 차량검지가 이루어지며 실시간으로 시스템이 운영된다. 주로 Green Extention, Phase Insert 알고리즘이 사용되며, 일반차량에 대한 보상이 허용되고 있는 시스템이다.

OPTICOM는 신호발신기를 긴급차량에 탑재하고, 수신기를 신호등에 부착하며 신호분리기(phase selector)를 교통신호제어기에 설치하여 이동형 PC(Notebook PC)로 구동되는 소프트웨어를 통해 운영상태를 제어하는 시스템이다. 긴급상황시 구조시간 단축가능(구급차, 소방차, 구조대, 경찰차), 버스 등 정기운행 차량 및 특수차량이 시간표에 맞추어 운행할 수 있는 장점에 비해 일반승용차의 지체를 유발하는 단점을 가지고 있다.

우선신호제어 시스템은 유럽이나 미국에서는 1960년대부터 도입 운영되어온 전통적인 신호제어시스템 중 하나이다. 미국의 경우 1960년대 최초로 긴급차량 우선신호를 운영하기 시작하였으며, 이후 지속적으로 기술개발 및 연구를 통해 다양한 신호제어방법을

정립하여 운영 중에 있다. 미국내에서 가장 성공적으로 보급된 우선신호 시스템 사례로는 Global Traffic Technologies에서 개발한 OPICOM이 있으며, 해당 시스템이 미국 78개 대도시 신호교차로 중 약 20%에 구축 운영되고 있는 것으로 보고되고 있다. OPICOM에서 개발하여 보급되었던 초기 시스템은 광학식 기법을 활용하여 차량을 검지하는 방법을 채택하였으나, 최근에는 의왕시 사례처럼 GPS위치정보를 기반으로 한 무선통신을 통해 신호를 제어하는 시스템을 개발 상용화하고 있다.

일본에서 운영중인 긴급차량 우선신호시스템인 Fast Emergency Vehicle Preemption System(FAST)은 교통관리시스템(Universal Traffic Management System, UTMS)의 기능 중 하나로 2001년부터 삿포로, 치바현, 고베시에 도입됨. 차량 검지는 적외선 비콘(Infrared beacon)을 적용하며 2014년 기준으로 삿포로, 지바, 고베 등 일본 전역에 55,000개를 설치 운영하고 있다. 이중 치바현에서 운영 중인 긴급차량 우선시스템은 차량의 위치정보 및 통과시간을 관제센터를 통해 병원으로 전송하는 구급운송지원시스템을 함께 도입하였다.

호주의 브리즈번은 Brisbane Linked Intersection Signal System(BLISS)을 운영 중에 있으며, 해당 신호제어 기술 중 하나로 GPS 기반의 무선 통신기반 검지방법의 우선신호 시스템을 2017년 10월부터 운영하고 있다. 운영범위는 브리즈번 지역의 주요 간선도로 13개축 310개 교차로, 브리즈번 내 긴급차량의 50% (앰블런스 120대, 소방차량 23대)를 대상으로 하고 있다. 호주의 긴급차량 우선신호 시스템의 경우 정해진 시나리오에 따라 우선신호를 제공하며 중앙제어 및 현장제어방식을 병행하는 방법을 적용하고 있다.

버스 우선신호의 경우 북미 및 유럽지역을 중심으로 다수 운영되고 있으며 Loop 기반의 검지체계를 사용하고 있는 오스트리아, 미국의 King County, LosAngeles 일부를 제외하고는 GPS기반의 우선신호 시스템을 채택하고 있다. 10% 내외의 소통 개선효과가 있는 것으로 보고되었다.

국외의 운영사례를 살펴보면 긴급차량 및 버스우선신호의 도입 시작시기가 1960년대 부터인 만큼 차량의 검지 및 운영방식 역시 기술 환경의 발전과 함께 자연스럽게 진화하고 있다. 그 대표적인 예가 미국과 유럽의 C-ITS 사업에 우선신호 시스템이 포함 발전되고 있다.

미국은 Eco-Traffic Signal Priority, Transit Signal Priority, Freight Signal Priority, Emergency Vehicle Preemption의 세 가지 우선신호 서비스를 C-ITS 환경구축사업인 CV Pilot 사업에 포함시켜 미국 텀파 도심지역 14개 교차로를 대상으로 시범사업을 실시하였다. 또한 유럽의 C-ITS Platform 사업에서도 Traffic signal priority request by designated vehicles(TSP) 서비스를 도시지역에 제공될 C-ITS 서비스로 정의하고 있으며, 우선신호의 대상으로 긴급차량, 대중교통, 중차량을 고려하고 있다.

다. 국내 기술개발 동향

(국토부 연구개발) 한국교통연구원 등은 2003년부터 2008년까지 무선통신 기반의 신호제어시스템 개발을 목표로 추진된 “차세대 무선통신 신호제어시스템(WISDOM) 개발” 과제에서 무선통신 기반의 신호제어 알고리즘 개발의 일환으로 버스우선신호 제어 알고리즘을 개발 및 평가하고 있다.

DSRC 통신 시스템을 기반으로 Active 우선신호중 Early Green / Extend Green 방식에 대하여 알고리즘을 개발하였고 현장 실험의 전 단계로 실내 모의실험을 실시하였으며 모의실험 도구로는 교통 프로그램인 VISSIM과 VISSIM의 프로그래밍 언어인 VISVAP을 이용한다. 우선 신호 도입에 따른 효과를 평가하기 위한 것으로 교차로 신호 운영에 early green, extend green 알고리즘을 VISSIM에 탑재시켜 효과를 분석 수행하였으며, 우선 신호 적용 시 조기녹색시간과 녹색시간연장을 함께 적용한 대안에 대해 약 12%의 버스 지체 감소 효과와 9%의 통행시간 감소효과가 나타난다. 알고리즘에서는 early green 대비 extend green이 버스의 대기시간을 감소시켜 통행시간 단축효과가 우수한 것으로 분석되었으며, 버스 우선 신호 제공으로 인한 부도로 녹색시간 감소로 부도로 지체가 증가하였으나 사람단위 지체의 고려시 전체 네트워크의 효율성 제고가 가능한 신호제어전략을 확인하여 사용된다.

(경찰청 연구개발) 도로교통공단은 2010년 7월부터 약 6개월간 대중교통 활성화와 UTIS 통신망 서비스 개발의 일환으로 UTIS 통신 시스템을 활용한 버스우선신호 시스템 개발용역을 수행하였다. 도시교통정보시스템(UTIS : Urban Traffic Information System)을 위한 교통정보수집 및 제공용 무선통신장치(RSE, OBE)와 교통신호제어기를 연동하여 버스우선신호시스템을 개발하였다.

UTIS 장비 및 통신망을 활용하여 개별 버스를 검지, 버스를 대상으로 통행권을 효과적으로 제공함으로써 버스 지체를 최소화하도록 하는 Early Green/Green Extension 방식을 주 운영기법으로 하는 능동형 우선신호시스템을 개발하여 각 지자체별로 설계, 구축 중인 BRT 시스템내 신호제어시스템의 핵심기능으로 설계에 반영되고 있으며, UTIS 시스템이 구축된 지자체들을 중심으로 BRT 사업에서 능동형 우선신호 제어를 위한 시스템 체계로서 점차적으로 확대를 목표로 하고 있다.

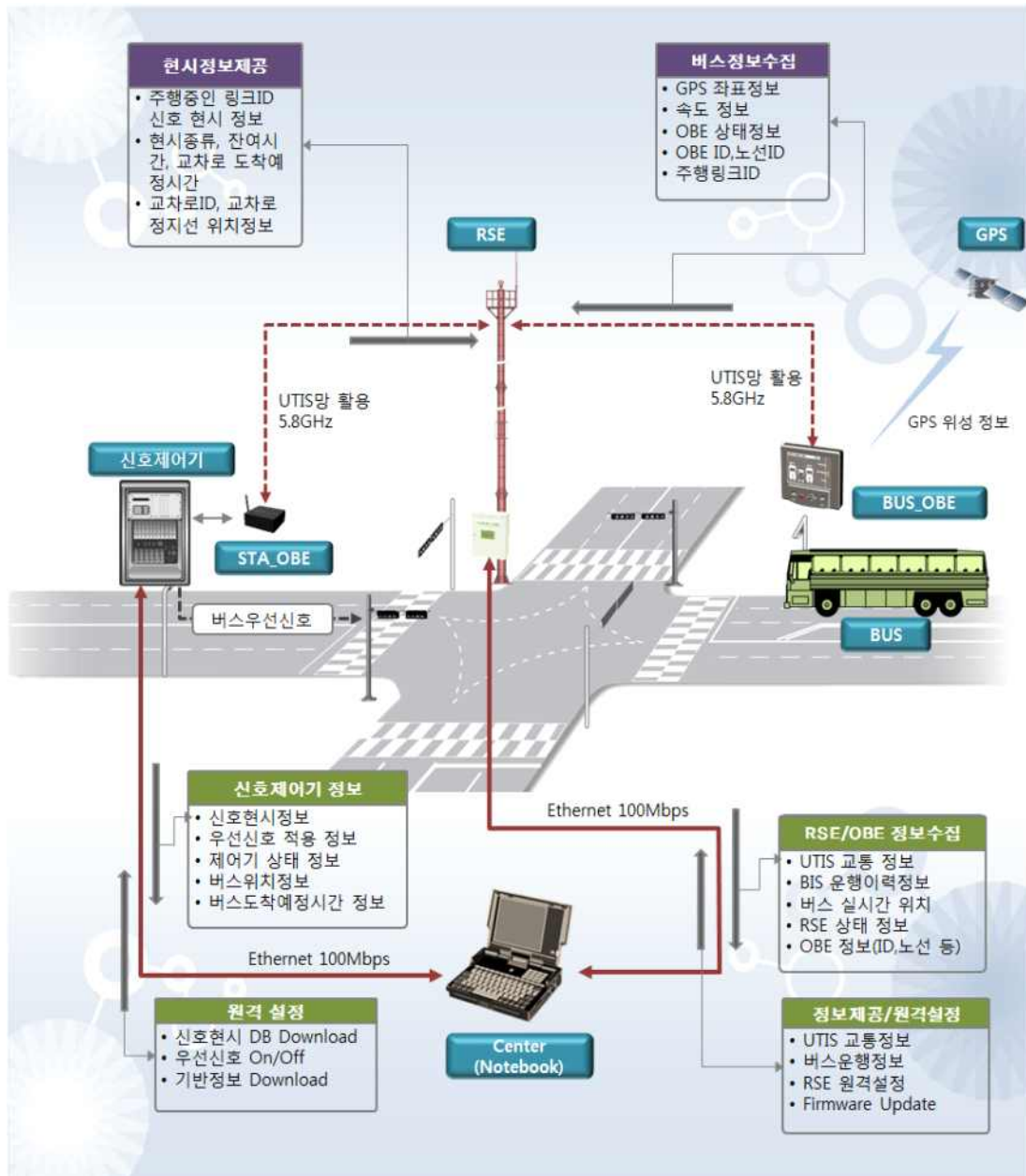


그림 2-2-2 기반 버스우선 신호제어시스템 구성도

(고양 BRT사업) 대중교통의 최대 단점인 정시성과 신속성을 크게 보완하는 것으로 버스중앙차로가 설치된 일산신도시 중앙로 대화역~덕양구 승전로~서울시계에 설치된 4개 교차로(행신초교, 가라피, 화전역앞 사거리, 화전사거리)에는 통과시간을 단축하는 버스 우선신호가 설치되어 있다.

적용된 버스 우선신호는 수동형 방식과 능동형 방식을 혼용하여 구성하였으며 센터에서 우선신호를 허용/금지하는 방식과 신호제어기상에서 Early/Extend Green 알고리즘을 적용하였다. 신호제어는 급작스런 신호변경에 따른 혼선을 방지하고자 동일한 신호주기 내에서 버스현시를 대상으로 해당 주기를 가감하는 방식으로 구축하고 버스와 신호제어 기간에는 RF-DSRC 방식의 통신기술이 적용되었으며, 대상차량에는 차량형 OBE를 장착

하고 신호제어기에는 노변기지국을 설치하여 실시간으로 차량접근정보를 수집한다.

DSRC 통신방식의 특성상 광역의 검지영역확보가 어려워, 교차로 전방 80~100M 내외 부근을 검지영역으로 설정하고 검지시 우선신호 알고리즘을 적용하여 신호를 가감하는 방식으로 구축하여 이러한 검지체계의 한계성으로 Early Green에 의한 효과보다는 Extended Green 방식에 의한 소통효과가 크게 나타났으며 실제 교차로를 대상으로 구축되었으나, 시범사업의 성격으로 대상 교차로 수가 많지 않으며 추후 타 BRT 시스템 설계/구축에 영향을 주었다.

- 구축사업 : 2005년 2월 ~ 2006년 10월 (1년 8개월)
- 구축범위 : 고양 종합운동장에서 서울시계 수색까지 15.6km
- 주요 시스템 : 중앙버스전용차로 및 버스정류소 편의시설 설치
버스정보·버스우선통행시스템 등 지능형교통체계 구축

(서울~하남간 BRT사업) 서울특별시 천호역부터 하남시 창우동까지 10.5km 구간에 BRT차로가 2011년 3월 19일부터 개통되었다. 서울특별시, 하남시, 광주시 등 원거리 광역 대중교통을 이용하는 수도권 주민에게 신속하고 편리한 광역 대중교통 서비스를 제공하고자 추진한 사업이다.

이 구간은 2009년도 4월에 공사를 착공하여 2년간의 공사기간을 거쳐 총 공사비 478억원을 투입하여 버스 정류소 13개소를 설치하는 등 12개 노선 293대의 버스가 BRT 차선으로 현재 운행되고 있다. BRT 우선신호는 일반 차량에 대한 영향을 최소화하고, 대중교통 서비스를 향상시킬 수 있는 Active Priority의 'Early Green', 'Extended Green'등의 우선신호시스템을 적용하였고, 도로조건, 교통조건, 신호조건 등을 고려하여 서울 5개소, 하남 7개소 지점에 적용하였다

긴급차량 우선신호는 2014년 서울시를 시작으로 현재 의왕시와 청주시 관내 2개 지자체에서 설치 운영 중이며, 버스 우선신호는 대전~오송간 BRT 노선 교차로 3개소에 운영 중이다. 버스 우선신호 시스템은 세종, 청라BRT에도 시스템이 구축되어 있으나 운영하고 있지 않다.

서울시 '소방차 전용 긴급출동 신호 시스템'은 119 안전센터에 신고가 접수되어 출동 스위치를 작동시킬 시 119 안전센터 앞의 신호등과 연결된 신호기가 동시에 작동하여 소방차량이 도로에 진입할 수 있도록 운영되고 있다.

의왕시에서 2017년부터 운영 중인 긴급차량 우선신호는 국내에서 상용화된 유일한 시스템으로 신호등 지주에 설치된 RSE와 차량의 OBE를 통해 차량의 위치를 검지하여 신호를 제어하는 IEEE 802.11a 통신환경에서의 GPS 기반의 현장식 시스템을 채택하고 있다. 우선신호 운영 알고리즘은 Phase Insert 방식을 기본으로 보행자 신호를 최우선으로 보장하며, 주행 중 차량안전을 위해 신호 전환시 예비신호를 삽입한 후 신호를 변경하였

다.

주요기술은 ① GPS를 기반으로 차량의 OBE를 통해 위치 및 이동방향을 실시간으로 검지하고, RSE를 만나면 현재의 위치정보를 전송 ② 복수개의 긴급차량 이동시 제어③ 부여된 긴급차량의 우선순위에 따른 제어 ④ 우선신호 종료후 현시 복귀제어 ⑤ 무선구간 및 시스템 보안(국정원 보안성 검토 완료) 기술이 포함되어 있다.



그림 2-2-3 현장식 긴급차량 우선신호제어시스템

청주시 관내 교차로에 운영중인 긴급차량 우선신호는 차량 검지를 위한 별도의 시스템 구축 없이 관제센터를 통해 수동식으로 신호를 제어하는 방식이다. 교통관제센터는 긴급차량과의 무선 교신을 통해 차량의 위치와 경로를 파악하고 관제 CCTV를 통해 교통 상황을 고려하여 신호를 제어한다.

대전~오송간 BRT노선에 운영 중인 버스우선신호는 대전역에서 한밭대교(4.36km) 구간 내 3개 교차로로 현장제어방식으로 운영하고 있다. 신호제어는 Early Green 및 Green Extension방식을 채택하고 있으며, IEEE802.11a 통신방식을 사용한다. 세종시 BRT 노선에 구축된 버스 우선신호는 현재 운영되고 있지 않으나, 버스의 위치를 관제센터에서 전송 받아 교차로 도착시간을 예측하여 신호를 제공하는 중앙제어방식이다.

국내에서는 최근에서야 우선신호를 도입 및 운영하고 있으나 우선신호 시스템의 개념이 최초로 도입된 것이 1960년대인 만큼 국내에서도 시스템의 기술 개발 및 우선신호 운영 알고리즘 개발에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있다. 최근에는 교통환경 변화에 따라 V2X 통신을 이용한 우선신호 시스템에 대한 연구가 이루어지고 있다.

표 2-2-3 국내 긴급차량 우선신호 운영현황

구분	긴급차량 우선신호		버스우선신호	
	의왕시	충북 소방서	대전~오송 BRT	세종 BRT
구축지	1번 국도 5개 교차로	청주시관내 교차로	대전~오송BRT(3개교차로)	세종시 BRT(2개교차로)
운영시기	2017.9	2017.4	2016.7	시스템은 구축, 미운영
제어방식	현장식	중앙관제식 센터 수동신호제어	현장식	중앙관제식 센터 자동신호제어
통신방식	IEEE802.11a	-	IEEE802.11a	IEEE802.11a
신호운영	Phase Insert	Early Green, Green Extension	Early Green 및 Green Extension	Early Green 및 Green Extension

2004년에 수립된 간선급행버스체계(BRT) 단계적 확충 계획에 따라 국내 BRT 사업이 진행 중에 있다. 국토해양부는 “간선급행버스체계 설계지침”에서 BRT의 유형을 지역의 도로 및 교통여건, 기능 요구수준에 따라 신교통형 BRT와 일반형 BRT으로 구분하고 있다.

신교통형은 전용도로 및 전용차량, 입체교차로 등의 시설을 구축함으로써 경전철에 준하는 교통서비스 제공하고 일반형은 버스전용차로, 일반형버스, 버스우선신호 등의 시설을 구축함으로써 신속성과 정시성 확보하고 있다.

설계 지침내 신호운영 부분에서 BRT우선신호를 위한 가이드라인이 제시되어 있으나 지자체가 참조할 수 있는 표준 기술 가이드라인이 없는 관계로 적용에 현장에서 적용이 어려움이 있다.



그림 2-2-4 신교통형 BRT



그림 2-2-5 일반형 BRT

‘신교통형 BRT’가 2015년에 세종시와 대전시간 구축됨. 전노선을 신호없이 무정차로 운행하는(평균속도 35km 이상) 신교통형 BRT 방식은 동 구간이 국내 최초이다. 서울~하남구간에서 기존 버스를 활용한 초보적인 BRT를 운영 중이나 전용버스, 교차로 무정차 통과 등 지하철 수준의 서비스를 제공하는 본격적인 BRT를 도입한 사례이다.

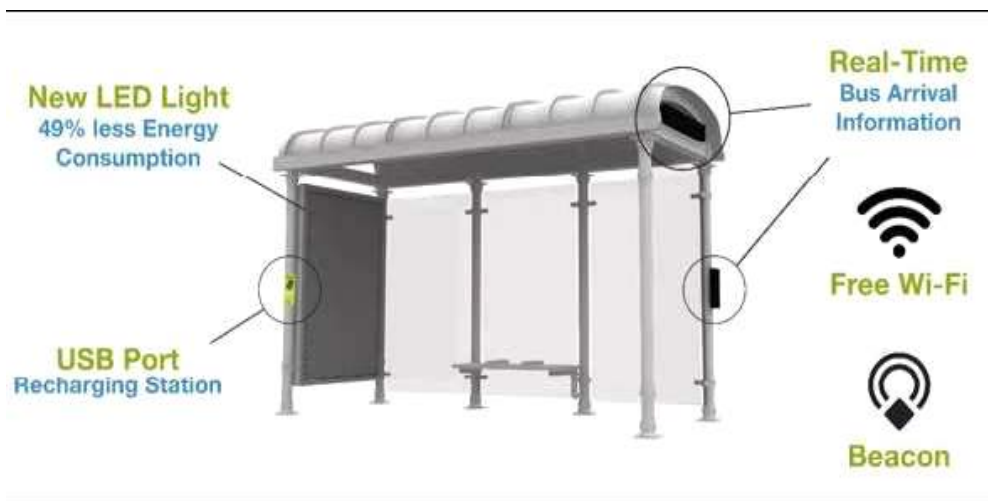


그림 2-2-6 LA에 설치될 새로운 버스 정류장 모형

2. 승객 편의성(정류장, 정보통신 포함) 향상 기술

최근 미국 권역별로 단순한 버스정류장(bus stop)에서 버스정보시스템(BIS)이 결합된 버스정류장으로 진화하고 있으나, 우리나라에 개발 현황이 유사한 수준으로 자동주행버스 환경에는 적합하지 않은 상태이다. 2015년 남 로스엔젤리스의 Central Avenue에 최초의 태양광 동력을 가진 버스정류장이 설치되었으며, 이러한 동력을 활용해 스마트폰 충전, 와이파이(WiFi), USB 충전, LED 전등, 실시간 버스도착 정보시스템 등에 적극 활용함으로써 승객 편의성을 향상시킨다.

브라질 쿠리치바에는 기차모형을 모사한 버스가 튜브같이 생긴 버스 정류장을 통해 빠르게 사람들을 승하차 시키는 대중교통 시스템이 있다. 일반 자동차들이 다닐 수 없는 버스전용의 도로를 운행한다.



그림 2-2-7 브라질 쿠리치바의 버스 정류장

유럽의 버스정류장은 국가별로 차이를 보이고 있는데 우리나라와 유사하게 정보를 제공하는 수준의 국가도 있는 반면, 자동주행버스 환경을 구현하기 위한 무선충전 인프라를 구축하고 있는 국가도 존재한다.

슬로베니아는 수도 류블랴나(Ljubljana)에 승객들에게 버스 정류장에 에너지 저소비 디스플레이를 사용하여 전자신문스크린에 버스 스케줄, 도착정보, 여행자들을 위한 이벤트 및 여행정보 등의 정보를 제공함으로써 승객 편의성을 향상 시키고자 노력하고 있다. 네덜란드의 Noord-Brabant시에 Studio Mango社에서 개발된 ATC Solar Curve Bus Stop를 적용하여 전기버스가 정류장에 정차한 순간 무선충전이 가능한 시스템 구축하고 있다.



그림 2-2-8 Studio Mango社의 ATC Solar



그림 2-2-9 바이모달 트램의 정거장 기술

한국철도기술연구원에서는 바이모달트램 적용을 위한 모듈화 정거장을 개발하였으며, 이는 보안기술과 첨단 IT기술이 집적된 무인운영솔루션정거장으로 승객 안전 및서비스수준 극대화와 수송 분담 효율화를 목적으로 하였다. 승객편의기능: 승객유도, 음성 방송,

정보 안내 단말, 조명제어, 냉난방 및 환기, 교통약자 배려 기능(수평승강, 유도블럭), 발권 및 개표/집표 등, 승객안전지원 시스템: 영상 모니터링(CCTV), 비상 전화 설비, 스크린 도어, 화재 감지, 운행정보안내 시스템: 행선안내 표시기, 방송설비, 키오스크로 구성되어 있다.

3. BRT 차량의 전기동력 시스템 기술동향

이차 전지는 충전과 방전을 500회 이상 연속적으로 반복 사용한 반 영구적 화학전지를 말하며, 납축전지, 니켈-카드뮴전지, 니켈 수소 전지, 리튬계열 전지 등이 있다. 현재 사용되고 있는 리튬이온전지는 발화 및 폭발의 위험성, 낮은 내충격성 등 안전성에 취약하다는 단점이 있으며, 대용량을 필요로 하는 차량에 사용하기 위해 보다 긴 수명 및 빠른 충전속도 등 더욱 향상된 성능이 요구되고 있다.

연료전지는 상용화된 이차전지의 단점인 짧은 1회충전 주행거리의 보완할 수 있어 국내는 물론 해외에서도 활발히 연구·개발중이며 주로 수소를 연료로 사용하고 있다.

수소연료전지는 화학에너지를 바로 전기에너지로 바꾸고, 전기에너지는 고효율 모터로 전달되어 운동에너지로 바뀌기 때문에 에너지 효율이 매우 좋다. 수소연료전지차는 이산화탄소를 전혀 배출하지 않는 친환경 무공해차량이며, 연료 고갈의 우려가 없다. 수소연료전지차는 연료전지를 이용한 뒤 남는 배출물도 수증기(H₂O)이며, 수증기를 다시 전기분해하면 수소가 되기 때문에 연료의 제한이 없다.

4. BRT 차량 내구성 평가 기술 및 안전 인증 기술 현황

BRT의 내구성 및 실 노선 투입 시 발생할 수 있는 문제에 대해 미리 보완하고 현 개발 사양에 대한 검증을 위해 내구성 평가를 위한 주행시험과 차량/차량부품의 내구성 평가가 필요하다. 안전인증은 기술검토 결과에 따른 차동차 안전기준 적합성 평가를 실시하여 문제가 없다는 것을 증명하여야 함. 기존 개발된 바이모달트램의 경우 다음과 같은 안전기준 적합성 평가를 실시한다.

표 2-2-4 바이모달 트램의 내구성 안전성 평가시험 항목

순번	안전시험 항목	
	안전기준 NO.	시험명
1	1	충돌시 승객보호시험
2	6	좌석 및 그 잠금장치 강도시험
3	18	좌석안전띠 부착장치 강도시험
4	19	견인장치 강도시험
5	21	등화장치 광도시험
6	22	운전자의 시계범위
7	23	원동기 출력
8	26	소음방지장치시험
9	29	승합화물특수자동차 제동능력시험
10	31	ABS 설치 자동차 제동 능력시험
11	35	조향성능시험
12	36	최고속도제한장치
13	37	속도계 시험
14	38	차실내장재 연소성시험
15	41	전자파적합성시험
16	42	경음기 소음시험
17	47	고전원 안정장치 시험
18	48	구동축전지 안전성 시험
19	49	자동차용 창유리 시험
20	56	공기압고무타이어 시험

교통사고 피해저감기술과 관련하여 국내의 경우 1990년대 후반에 G7고속전철개발사업에서 철도차량의 안전에 대한 연구가 시작되었다. 당시에는 주로 충돌시물레이션 위주의 연구가 수행되었으며, 시험을 통한 해석모델의 검증 등은 이루어지지 않았다. 철도차량 충돌안전에 대한 기준 수립, 충돌안전 성능평가 방법, 실물충돌시험시설 구축 등 철도차량의 충돌안전에 대한 체계적인 연구는 2011년에 종료된 철도종합안전기술개발사업의 ‘철도차량 충돌 안전성능 평가 및 피해저감 기술 개발’ 과제에서 이루어졌다.

국내의 안전 연구는 일반철도 및 고속철도 차량을 대상으로 하고 있으며, 트램과 같이 도로교통과 함께 운영하는 경우에 대한 피해사고 안전 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 도로교통과 함께 운행하는 트램차량에 대한 교통사고 사례 분석, 사고 시나리오 수립, 시물레이션 및 시험을 통한 충돌안전 성능 평가 방법 등에 대한 전반적인 연구가 체계적으로 수행되어야 할 것으로 보인다.

트램에 특화된 교통사고 대응관련 연구는 국토부 R&D로 수행된 트램 운영기술 개발과제의 일환으로 아래와 같은 연구목표로 진행되었다.

SYSTEM	INFRA	TECHNOLOGY	PRODUCT
<ul style="list-style-type: none"> 철도차량 충돌안전 평가기준으로 활용 철도기지 충돌안전 평가기준으로 활용 	<ul style="list-style-type: none"> 국가기준 인증장비로 활용 선도기술 연구장비로 활용 아시아 허브 장비로 활용 	<ul style="list-style-type: none"> 국가기준에 따른 시험 및 해석 평가 절차에 활용 충돌안전 부재, 장치 및 구조 개발에 활용 	<ul style="list-style-type: none"> 국내 신규 철도차량의 충돌안전설계에 활용 해외 수출 철도차량의 충돌안전설계에 활용
			

선진국 수준의 열차 충돌안전 기반 조성



그림 2-2-10 BRT 피해저감 연구 기술

위 연구를 통해 트램 사고현황(주로 해외 사례)과 사고 대응체계가 일부 연구된 바있다. 그러나 트램이 국내에 도입된 사례가 없어 국내 실정에 맞는 사고 시나리오 및 대응 체계에 관한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 국내 시범적용 예정노선의 실정 및 국내 도로교통 여건을 종합적으로 고려한 트램 교통사고 시나리오를 확립하고 검증하는 연구가 필요한 실정이다.

유럽에서는 1990년대 후반부터 지금까지 유럽연합기금의 지원 하에 철도차량 충돌안전에 대한 체계적인 연구가 진행되어 왔고, 이러한 연구 결과들은 TSI(유럽철도망 공동운영을 위한 기술 규격)의 충돌안전 조항과 유럽의 철도차량 충돌안전기준인 EN15227을 만드는 데 활용되었다. 유럽의 대표적인 충돌안전 연구로는 고속철도 및 일반철도차량의 충돌 안전을 다룬 SAFETRAN 프로젝트(1997-2001)와 도시 근교 및 도시 내를 운행하는 트램 차량의 충돌안전을 다룬 SAFETRAM 프로젝트(2001-2004)가 있다.

트램차량의 충돌안전에 관한 연구인 SAFETRAM 프로젝트의 주요 내용은 다음과 같다.

- 프로젝트명: SAFETRAM - Passive Safety of Tramways for Europe
- 연구기간 : 2001. 7 - 2004. 10
- 주관연구기관 : BT/P
- 공동연구기관 : AB, BT/N, ALS, ALC, BVG, CNTK, DB, IST, MIRA, RATP, SNCF, TUB
- 연구내용
 - 사고사례 분석 및 사고시나리오 선정
 - 충돌피해저감 관련 법, 규정 및 요건 분석
 - 충돌파라미터(하중, 변형, 에너지 등) 선정
 - 충돌에너지 흡수구조 설계, 제작 및 수치해석
 - 충돌안전도 시험평가 - 충돌시험
 - 수치해석을 통한 승객상해치 평가

SAFETRAM 보고서에 제시된 도시형 트램의 충돌사고시나리오는 다음과 같다.

City Tram Scenario	Rel. Speed [km/h]	Total Crash Energy [kJ]	Remarks
C1: No collision - emergency braking	70	-	Mean braking deceleration: 2.73 m/s ²
C2: Frontal collision with an identical city tram	20	270	Each city tram absorbs 50 % of the collision energy
C3: Right corner collision with a 3 t - light truck	25	66	The light truck of 3 tons is defined as a rigid wall that covers the whole corner area surface of the city tram. An angle of 45° is defined as seen in the figure 3. For the simulation a rigid sliding wall has been used (a more precise rigid light truck resulting from the Renault Master Characteristics has been supplied in the project, to verify the influence of the orientation and the impact location). <div style="text-align: center;"> </div>
C4: Frontal collision with a periurban tram (55 t)	10	83	Periurban tram defined as a rigid wall of 55 t covering the whole frontal surface of the city tram. The energy is totally absorbed by the city tram and the coupler is in falling position

그림 2-2-11 도시형 트램 충돌사고 시나리오(SAFETRAM 최종보고서, 2004)

SAFETRAM 보고서에는 트램의 충돌에너지흡수부재 설계 사례가 제시되어 있는데, 실제 크기의 시험시편을 만들어서 충돌시험으로 검증하였다.

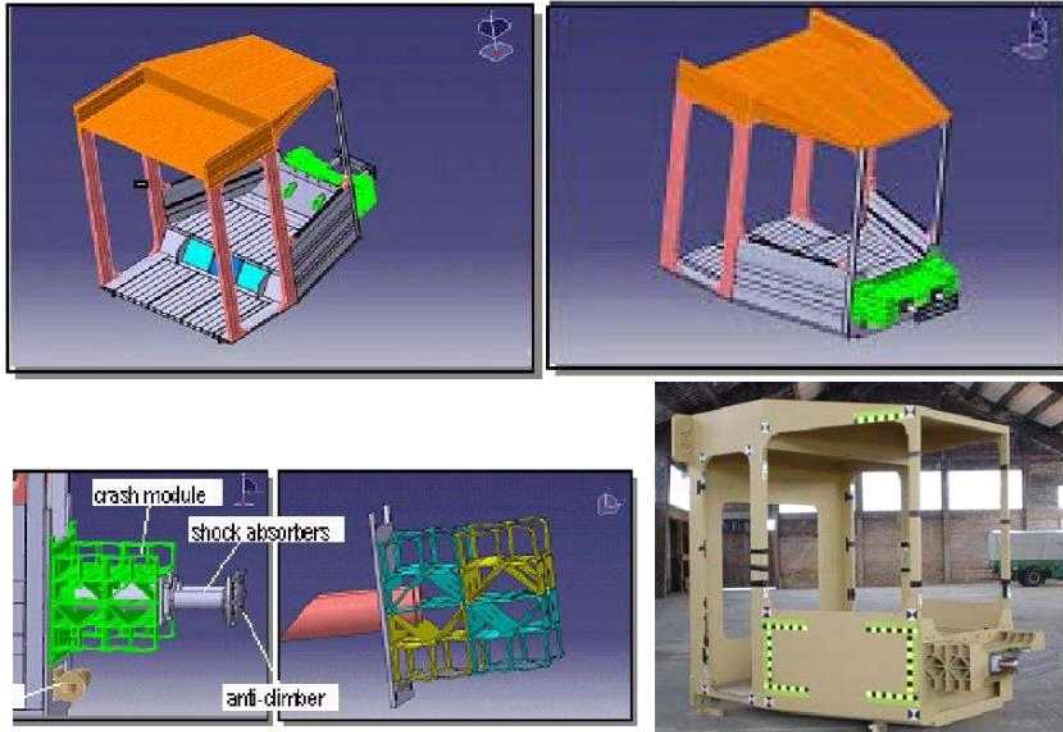


그림 2-2-12 에너지흡수부재 설계 사례(SAFETRAM 최종보고서, 2004)

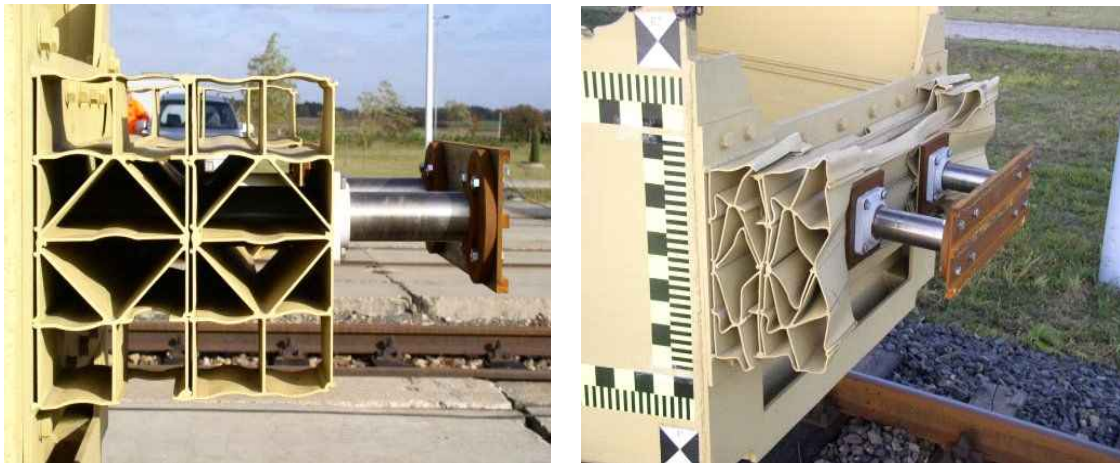


그림 2-2-13 에너지흡수부재 충돌시험 전후 모습(SAFETRAM 최종보고서, 2004)

북미의 경우 1990년대 후반에 FRA(미연방철도청)에서 미국 여객철도차량안전을 포괄적으로 다루는 객차안전기준(49CFR238)을 제정하였는데, 당시에는 엔지니어링 데이터의 부족으로 탑승자 보호와 관련된 여러 가지 기술적 조항들이 컴퓨터 시뮬레이션이나 실제 사고사례의 검토결과를 바탕으로 결정되었다. 이후 충돌사고 상황에서 객차의 거동에 대한 데이터를 확보하고 컴퓨터 시뮬레이션의 신뢰성을 높이기 위해 실차충돌시험을 수행하기로 하고, 미국 교통부 ‘Equipment Safety Research Program’의 지원을 받아 FRA 산하 Volpe 국립교통시스템센터의 주도하에 철도차량의 충돌안전에 대한 연구가 진행되었다. 이 연구에서는 기존차량과 충돌에너지 분산흡수를 위한 CEM (Crash Energy

Management)장치를 부착한 차량에 대해 정면충돌과 건널목충돌을 재현하는 총 8번의 실차충돌시험을 수행하였으며, 연구결과는 개정된 객차안전기준 충돌안전 조항에 반영되었다.

트램의 충돌안전에 대한 연구는 NRC(미국립연구회) 산하 TRB(교통연구위원회)의 ‘Transit Cooperative Research Program(TCRP)’ 지원으로 수행된 “Development of Crash Energy Management Performance Requirements for Light-Rail Vehicles” 연구가 있다. 이 연구에서는 다양한 트램간의 충돌 및 트램과 자동차와의 충돌 시뮬레이션을 통해 트램의 CEM 성능요구조건에 대한 가이드라인을 제시하고 있다.

TCRP C-17 프로젝트의 주요 내용은 다음과 같다.

- 프로젝트명: Development of Crash Energy Management Performance Requirements for Light-Rail Vehicles
- 프로젝트번호: TCRP C-17
- 연구기간 : 2005. 9 - 2008. 3
- 주관연구기관 : Applied Research Associates, Inc.
- 연구내용
 - 동종/이종 트램에 대한 충돌해석모델 생성 및 시뮬레이션
 - 트램이 승용차의 측면을 충돌하는 충돌해석 시뮬레이션
 - 트램이 SUV의 측면을 충돌하는 충돌해석 시뮬레이션
 - SUV가 트램의 측면을 충돌하는 충돌해석 시뮬레이션

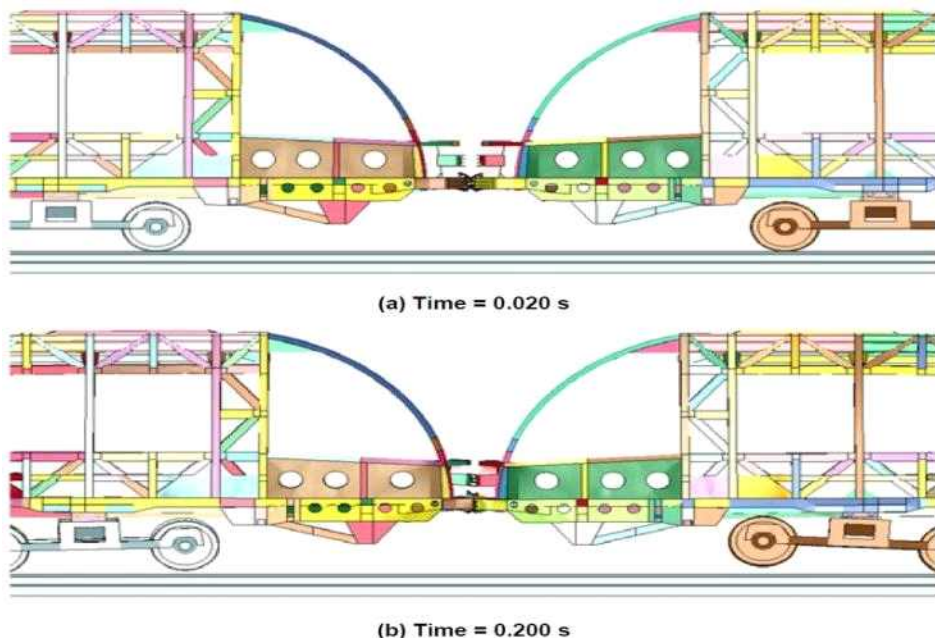


그림 2-2-14 동종 트램 간의 충돌해석 시뮬레이션(TCRP C-17 보고서, 2008)



그림 2-2-15 트램과 승용차 충돌사고 사례(TCRP C-17 보고서, 2008)

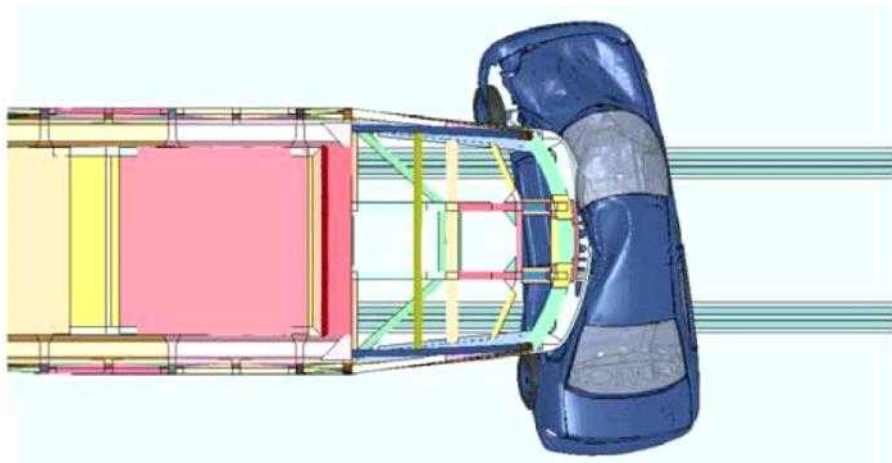


그림 2-2-16 트램과 승용차 충돌사고 시뮬레이션(TCRP C-17 보고서, 2008)

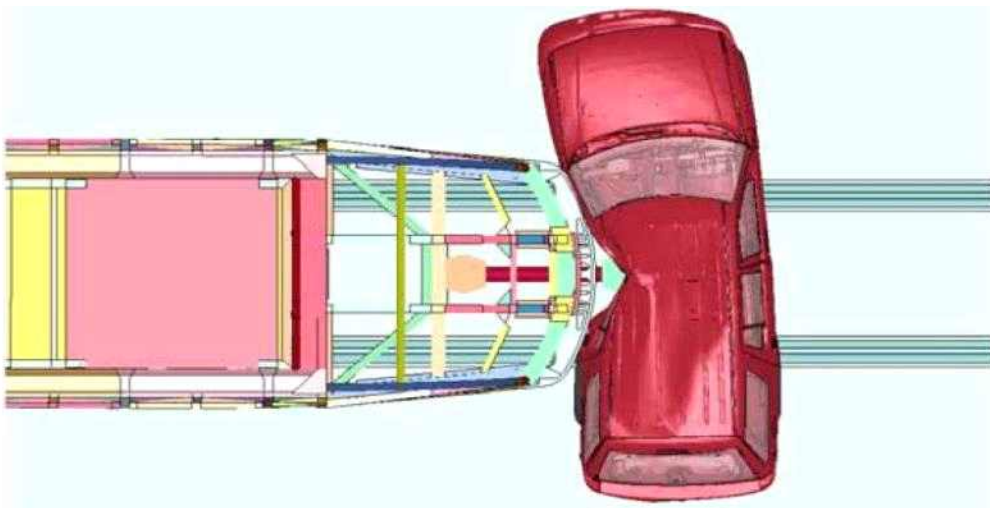


그림 2-2-17 연결기가 노출된 트램과 SUV 충돌사고 시뮬레이션(TCRP C-17 보고서, 2008)

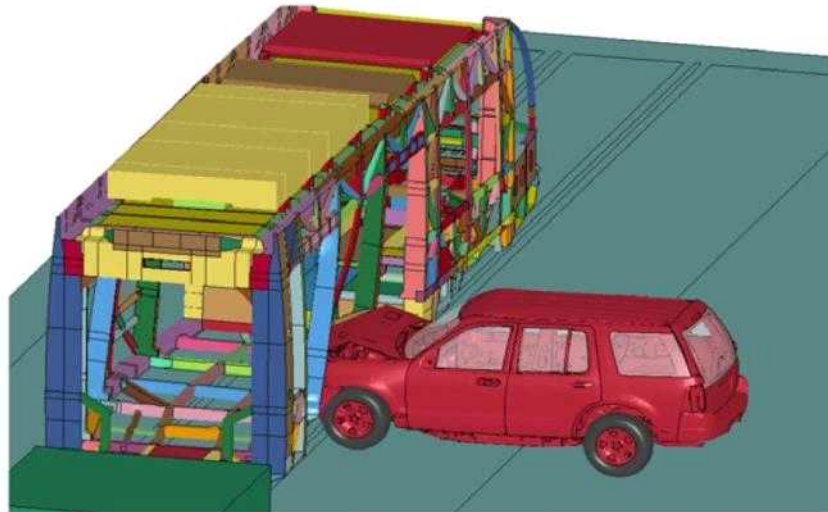


그림 2-2-18 SUV의 트랩 측면 충돌 시뮬레이션(TCRP C-17 보고서, 2008)

Super BRT와 tractor-trailer를 비롯한 다양한 형태의 연결차량은 기존의 단일 차량에 비해 차량 전복이 더욱 빈번하게 발생한다. 이에 차량 전복의 메커니즘을 살펴 보고 이를 해결하기 위한 운전 방법과 전복 제어 방법론을 검토한다.

- 차량 전복의 정의는 왼쪽 또는 오른쪽 타이어 수직력이 0이 되는 상태이다. 이 상태를 tip-up이라고 한다. 차가 뒤집어지지 않아도 tip-up을 전복으로 정의하는 이유는 tip-up이 되기 전과 후에 차량의 동역학이 완전히 바뀌기 때문이다.
- 차량 전복은 고속에서 급격한 조향에 의해 발생하는 과도한 횡가속도에 의해 발생한다. 아래의 그림에서 a_y 는 횡가속도이며 F_y 는 타이어 횡력이다. 고마찰노면에서 타이어 횡력 F_y 가 큰 상황에서 a_y 가 크게 가해지는 경우 차량이 전복된다. 만약 저마찰노면에서 타이어 횡력 F_y 가 작다면 차량은 전복이 되지 않고 미끄러져 버린다. 차량의 차체무게 m_s 도 영향을 미친다. 동일한 횡가속도에 대해 차체의 무게가 무거운 경우 더 큰 힘이 차량을 밀게 된다. 무게중심의 높이 h 도 큰 영향을 미치는데 높이가 높을수록 더욱 쉽게 전복된다.

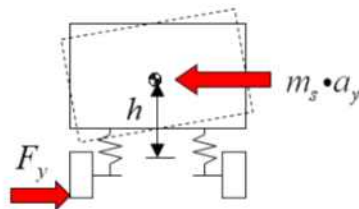


그림 2-2-19 SUV의 트랩 측면 충돌 시뮬레이션(TCRP C-17 보고서, 2008)

차량 전복에 영향을 미치는 요인들

- 아래의 식은 횡가속도 a_y 의 수학적 정의이다. 이 식에서 알 수 있듯이 횡가속도는 차량의 속도 v_x 와 요율(yaw rate) g 에 의존한다. 따라서 차량의 속도가 빠를수록, 그리고

급격한 조향에 의해 요율이 증가할수록 횡가속도가 커지게 된다.

$$a_y = \dot{v}_y + v_x \cdot \gamma$$

- 일반적으로 차량 전복이 일어나는 조건은, 아래의 그림과 같이, 횡가속도가 큰 상황에서 차량의 진행 방향, 즉 도로의 방향과 차량이 직각이 될 때 발생한다. 이러한 상황은 급격한 조향으로 인해 차량이 방향 안정성을 상실할 때 발생한다. 일반적으로 차량의 전복을 방지하는 가장 좋은 방법은, 아래의 그림에서 보는 바와 같이, 자세제어장치(Electronic Stability Control: ESC)를 이용하여 phase 2에서 차량이 방향 안정성을 잃지 않게 제어하는 것이다. 이러한 방법을 사용할 때 실제 상황에서는 제어장치를 사용하지 않고도 운전자의 조작으로도 차량의 전복을 방지할 수 있다.

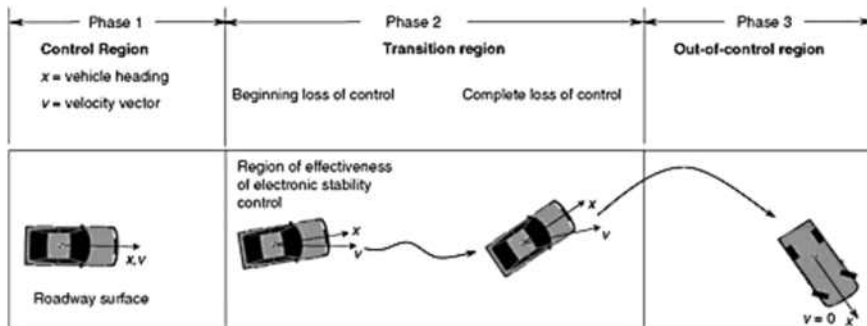


그림 2-2-20 차량의 횡방향 안정성 상실에 따른 전복 메커니즘

- 차량의 전복은 차량의 형상과도 관련이 있다. 일반적으로 폭이 좁고 높이가 높은 차량들이 쉽게 전복된다. 이러한 사실을 나타낸 것이 다음과 같은 정적 안정도지표(static stability factor: SSF)이다. 이 값은 차량의 폭(T)의 1/2값을 무게중심의 높이(H)로 나눈 값이다. 이 값은 간단하지만 매우 정확하게 차량의 전복경향성을 나타낸다.

$$SSF = \frac{T}{2H}$$

- 운전자의 급격한 조향이 아닌 정상상태에서도 전복이 발생하는데 가장 중요한 이유는 도로의 곡률이다. 도로의 곡률은 도로의 선회반지름(R)의 역수로 정의된다. 도로의 곡률(r)이 클수록 차량은 급하게 선회하게 되어 요율이 증가하고 이에 따라 횡가속도가 증가하여 전복이 발생한다. 일반적으로 횡가속도와 곡률 사이의 관계는 아래의 식과 같다. 즉, 차량의 속도 V가 일정할 때 횡가속도는 도로의 곡률에 비례한다.

$$a_y = Vr = \frac{V^2}{R}$$

- 아래의 그림과 같이 tractor-trailer, Super BRT와 같은 차량들은 trailer의 후미가 먼저 tip-up이 일어난다. 더욱 심각한 것은 trailer가 완전히 tip-up이 일어났는데도 tractor는 아무런 이상도 없다는 것이다.

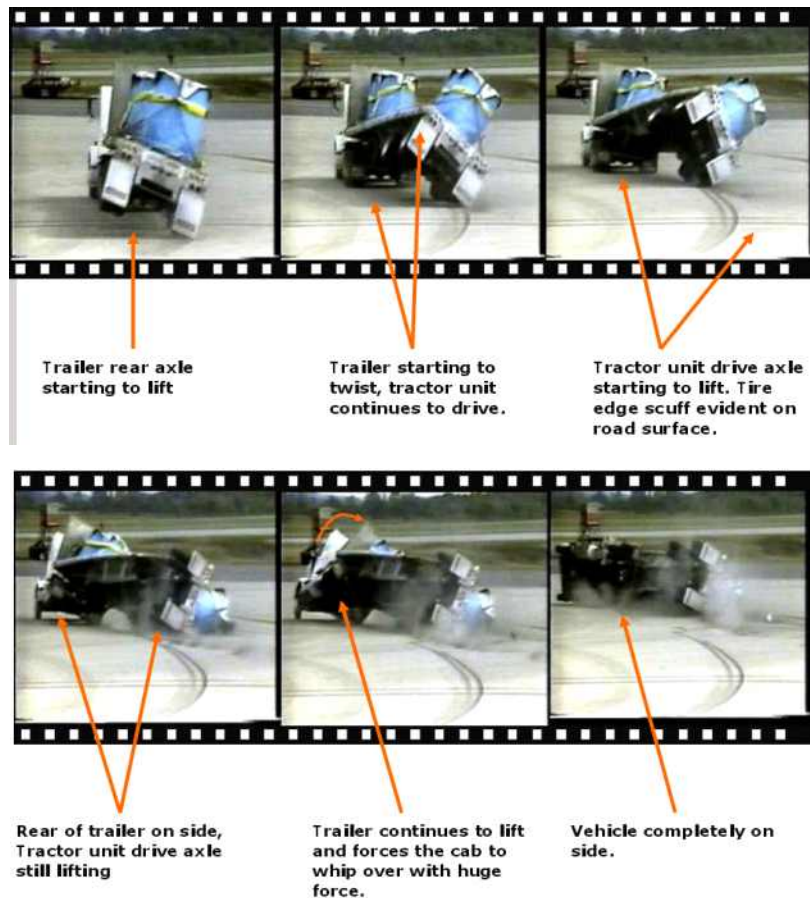


그림 2-2-21 tractor-trailer에서 trailer가 먼저 전복되는 전형적인 사례

연결차량(articulated vehicle)의 trailer 부분이 tractor보다 더 쉽게 전복되는 이유는 다음의 그림으로 설명할 수 있다. 아래의 그림은 선회하는 연결차량을 보여 준다. 아래의 그림에서 tractor보다 trailer가 더 선회반지름이 작아지며 이에 따라 곡률은 커지고 동일속도에서 횡가속도가 tractor보다 더 증가하게 된다. 따라서 tractor보다는 trailer가 더 쉽게 전복된다.

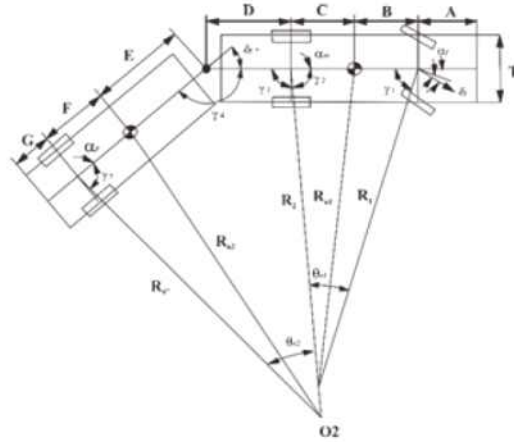


그림 2-2-22 tractor-trailer의 선회시 tractor와 trailer의 선회반지름

- 대형트럭과 같은 상용차의 rollover에서 또 하나의 중요한 인자는 적재물이다. 적재물은 대부분 trailer에 적재되는데 그 결과 trailer의 무게중심의 높이를 높이는 역할을 한다. 따라서 적재물이 있는 trailer는 더 쉽게 전복된다. 또한 적재물은 차체의 무게를 증가시켜 횡가속도가 더욱 크게 작용하게 한다. 적재물 중에서도 액체 적재물은 특히 더 위험하다. 액체의 경우 차량의 선회로 인해 발생하는 횡가속도가 액체를 좌우방향으로 가진하여 trailer를 더 쉽게 전복되게 만든다.

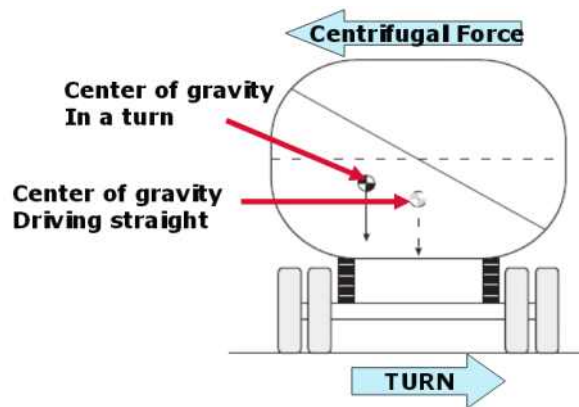


그림 2-2-23 적재물에 의한 횡방향 가진으로 인해 원심력이 강화되는 현상

- 차량별로 전복이 발생하는 한계 횡가속도는 다음과 같다.
 - 승용차 1.2~1.3g : 이 값은 실제 차량에서 나올 수가 없다.
 - SUV 0.8~1.0g : 이때 문제가 되는 것이 차량의 무게이다. 일반적인 모노코크 샤시를 가지는 차량은 차가 가벼워서 0.7g만 되어도 전복된다. 이에 비해 프레임온바디 차량은 하부 프레임이 무거워서 쉽게 전복되지 않는다.
 - Van 0.6g : 이러한 형태의 차량은 차량의 폭에 비해 무게중심의 높이가 높아서 작은 횡가속도에서도 전복된다.

Fully loaded truck 0.4g가 경우 적재물의 무게가 차량의 전복을 어느 정도 막아주지만 적재물에 의해 무게중심의 높이가 높아지고 차체의 무게가 증가해서 쉽게 전복된다.

연결차량(articulated vehicle)의 경우 앞서 설명한대로 tractor에 비해 회전반경이 작아 곡률이 크고 적재물로 인해 무게중심의 높이가 높아지고 차체의 무게가 증가하므로 trailer는 0.3g에서도 전복된다.

차량의 전복을 방지하기 위해 횡가속도를 줄이는 방법은 횡가속도를 줄이는 방법, 도로의 곡률을 줄이는 방법, 적재물을 줄이는 방법 등이 있지만 이들 중에서 제어할 수 있는 것은 횡가속도를 줄이는 방법 뿐이다. 횡가속도를 줄이는 데에는 다음의 두 가지 방법 밖에 없다.

(1) 속도를 줄인다.

(2) 조향각을 줄인다.

또 다른 방법은 롤각을 줄이면 전복은 방지되지만 여기에는 다음과 같은 문제가 있다.

(1) 구동기가 없다. 특히 상용차의 경우 상용화된 구동기가 아예 없다. 실험용으로 linear type의 active anti-roll bar가 있지만 연구용으로만 개발되었고 실제 차량에는 적용되지 않았다.

(2) 롤 운동을 제어하면 차가 옆으로 밀리면서 횡방향 안정성이 상실된다. 따라서 자세제어장치(Electronic Stability Control:ESC)가 반드시 필요하다.

일반적으로 연결차량은 수학적으로 모델링하기에는 너무 복잡하다. 또한 수학적인 모델을 구성하는 데에 너무 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 그리고 구성된 모델을 검증하는 것도 쉽지 않으며 해석 결과도 신뢰성이 떨어진다. 따라서 차량전복 해석에는 ADAMS, RECURDYN, DAFUL과 같은 다물체동역학시뮬레이션 프로그램을 사용하거나 TruckSim, CarSim, CarMaker와 같은 lumped mass 모델을 이용한 시뮬레이션 프로그램을 사용한다.

이 논문에서는 4자유도 모델과 RECURDYN을 이용한 Virtual Prototyping Model을 구축하여 일정한 조향입력에 대해 속도별 롤각을 구하였다. 여기서 얻은 데이터를 이용하여 4자유도 모델의 정확성을 검증하였다.

- 수학적 모델을 사용한다면 아래의 그림과 같이 bicycle model을 2개 붙여서 사용한다. 다만 bicycle model은 단순화된 모델이므로 해석 결과에 신뢰성이 떨어진다. 이 모델은 기존 연구에서 현재의 조향각과 속도가 일정하다는 가정하에 전복도달시간(time-to-rollover:TTR)을 계산하는데 이용되었다. 아래와 같은 bicycle model은 제어기 설계용으로는 충분한 신뢰도를 보인다.

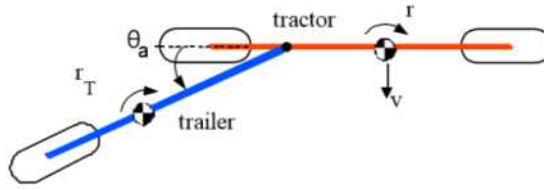


그림 2-2-24 자전거 모델을 결합한 3자유도 모델

- 해석모델이 정확하다는 전제 하에 다양한 주행 시나리오와 속도, 조향각에 대해 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션 결과를 이용하여 아래의 그림과 같이 전복이 일어나는 속도와 조향각을 2차원 그래프로 그리면, 즉 x축은 속도, y축은 조향각을 그리면 한계속도와 한계조향각을 구할 수 있다. 이것을 전복한계선도(rollover threshold plot)라고 하자.

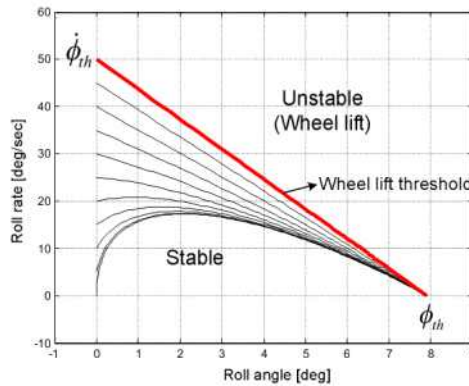
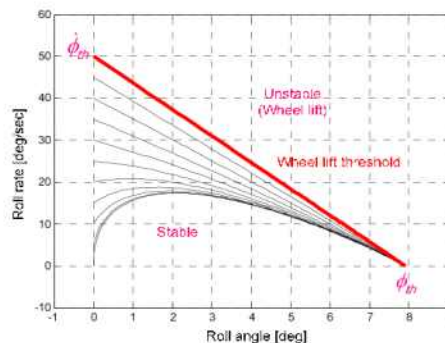


그림 2-2-25 롤각과 롤각속도를 이용하여구성한 전복한계선도

이 논문에서는 단순한 1자유도 롤 모델과 articulated vehicle을 모델링하는 2자유도 자전거모델을 결합하여 차량모델을 구성하고 차량의 속도와 조향각이 일정하다는 가정 하에 구축된 모델을 시뮬레이션하여 전복도달시간(Time-to-Rollover:TTR)을 계산하였다. 이 논문에서는 롤각과 롤각속도, 그리고 횡가속도를 이용하여 아래의 그림과 같이 차량의 전복지수를 정의하고 이를 차량 전복방지 제어에 적용하는 방법을 제안하였다.



Wheel lift threshold in phase plane.

그림 2-2-26 차량의 전복지수

2) 연결차량의 전복 방지 제어

- 일반적으로 승용차/상용차를 위한 차량전복 방지제어에는 요운동 제어 및 롤운동 제어가 있다.
- 상용차의 전복 방지 제어에 사용할 수 있는 구동기가 극히 제한되어 있다. 상용차의 롤운동 제어를 위한 능동 현가장치는 없으며 연구용으로는 선형 반능동 안티롤바가 사용되었지만 연구용이며 이마저도 극히 드문 실정이다. 상용차용으로 제작되어 실제 차량에 장착된 구동기는 아예 없다. 따라서 대부분의 상용차 전복방지제어는 제동을 사용한다.
- 롤운동 제어에서는 선형 반능동 안티롤바를 용하여 횡가속도가 커지며 현가장치를 딱딱하게 함으로써 롤운동을 억제한다. 롤운동이 억제되면 전복이 발생하지 않는다, 다만 차량의 횡방향 안정성이 상실되어 미끄러지거나 스핀에 빠지게 된다. 따라서 이 경우에는 반드시 제동을 사용하는 자세제어장치가 반드시 함께 사용되어야 한다.

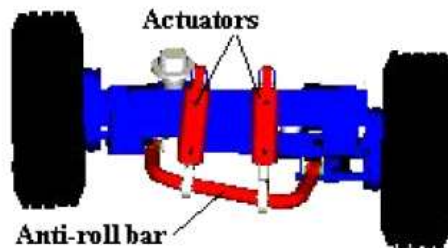


그림 2-2-27 선형 능동안티롤바

이 연구에서는 tractor-trailer에 대해 4자유도 모델을 구성하고 선형모델과 최적제어 방법론인 LQR을 적용하였다. 이 연구에서는 구체적인 구동기를 제시하지 않으며 제어력인 롤모멘트가 차축에 가해진다고 가정하였다. 이 연구에서는 아래의 그림과 같은 tractor-semitrailer 차량의 롤운동을 1자유도 모델을 이용하여 모사하고 다양한 전복지수(rollover index)를 결합하여 출력행렬을 정의한 후 최적제어 방법인 LQR을 적용하여 차량의 전복을 방지하는 방법을 제시하였다. 구동기는 능동안티롤바를 사용하였는데 (전륜),(후륜),(전륜/후륜)의 3가지 조합에 대해 평가하였다.

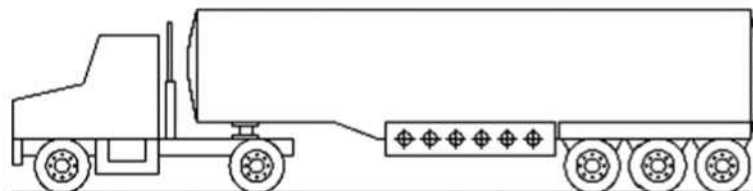


그림 2-2-28 차량전복방지

이 연구에서는 articulated vehicle을 5자유도 모델을 이용하여 모사하고 PID 제어와 LQR을

적용하였다. 구동기는 유압으로 구동되는 안티롤바이다.

- 승용차와 비교하여 상용차의 요운동 제어는 단순한 속도제어인데 제동을 사용한다. 승용차의 경우 제동과 조향을 동시에 제어하지만 상용차의 경우 자동화된 조향장치가 아직까지 개발되어 있지 않다. 유압브레이크를 사용하는 승용차의 경우 ESC와 같이 매우 발달된 장치가 있지만 공압 브레이크를 사용하는 상용차의 경우 공압 브레이크의 응답이 느리고 좌우바퀴의 제동을 독립적으로 적용하는 ESC의 개발이 쉽지 않다. 다만 앞서 언급했듯이 속도를 줄이면 횡가속도가 감소하여 차량의 전복이 발생하지 않으므로 운전자가 제동입력을 가하여 차량의 전복을 방지할 수 있다.

- 차량의 전복을 방지하기 위해 볼보의 XC90은 간단한 로직을 사용한다. 아래 그림과 같이 차량이 일정한 속도에서 선회시 안쪽 경로로 선회한다면 요율이 커지면서 횡가속도가 함께 증가하여 차량이 전복된다. 여기서 차량의 선회방향 외측 바퀴에 제동력을 가하면 차량은 아래 그림에서 바깥쪽 경로로 선회한다. 이렇게 되면 차량의 속도와 요율이 함께 감소하고 그에 따라 횡가속도도 감소하게 되면서 전복을 방지할 수 있다. 볼보에 의하면 외측 바퀴에 제동을 가했을 때 기존 경로에 비해 50cm 더 벗어난다고 한다. 이러한 제어 방법은 매우 유용한데 제어장치가 아닌 운전자가 이러한 방법을 사용해도 어렵지 않게 전복을 방지할 수 있다. 다만 운전자의 조작에 의한 전복 방지는 선회 경로를 크게 함으로써 부차적인 사고를 유발할 수 있으므로 주의해야 한다.

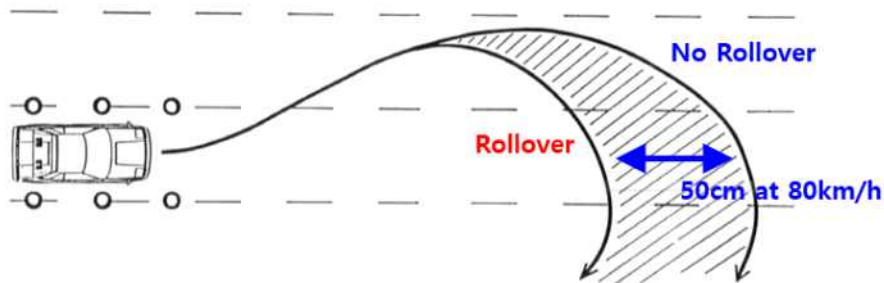


그림 2-2-29 Volvo의 XC90에 적용된 전복 방지 제어 로직

이 연구는 articulated vehicle에 대해 조향으로 인해 전복이 발생하는 경우 아래의 그림과 같이 tractor의 왼쪽 또는 오른쪽 바퀴와 trailer의 뒤쪽 바퀴 모두에 제동입력을 가하는 방법을 제안하였다. 이 연구에서 주목할만한 점은 운전자의 조작에 의한 차량 전복이 가능함을 보였다는 데에 있다.

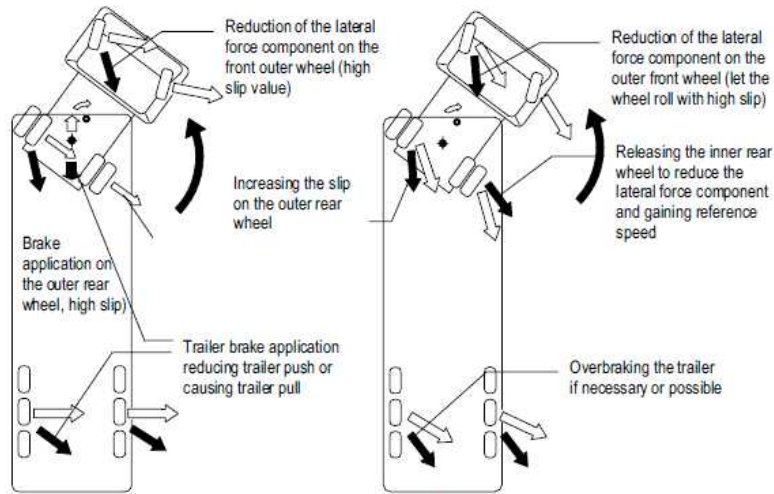


그림 2-2-30 운전자 조작에 의한 차량전복

이 연구는 자세제어장치(VDC)를 이용하여 articulated vehicle의 전복을 방지하는 방법에 관한 연구이다. 이 연구는 모델을 사용하지 않고 요율 신호만을 사용하여 제어기를 설계하였으며 구동기로는 제동을 사용하였다.

이 연구에서는 요운동을 제어하기위해 다음의 그림과 같은 휠로더에 대해 선형 시변 모델을 구성하고 Lyapunov 안정성 이론을 바탕으로 제어기를 설계하여 전복방지를 위해 적용하였다. 제어기의 성능을 검증하기위해 ADAMS를 이용하여 Virtual Model을 구성하였으며 후륜에서 좌우측 바퀴에 구동력과 제동력을 가하는 방식으로 요 모멘트를 생성하였다.

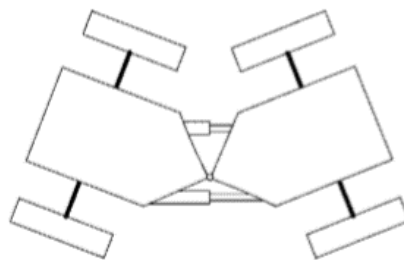


그림 2-2-31 Virtual model

- 앞서 설명했듯이 횡가속도가 차량의 전복을 일으킨다. 따라서 차량의 전복을 방지하기 위해서는 차량의 속도를 줄이거나 요율을 줄여야 한다. 그런데 요율은 운전자의 조향에 의해 생겨나며 이는 운전자의 의지를 나타내므로 운전자의 의지에 반하여 함부로 줄일 수는 없다. 그래서 차량의 전복을 방지하기 위해서, 특히 상용차의 전복을 방지하기 위해서는 차량의 속도를 줄여야 한다. 제어장치가 아니라 운전자가 속도만 줄여도 대부분의 차량 전복을 방지할 수 있다. 여기에 더해서 차량의 선회방향에 따라 외측 바퀴에 제동 입력을 가하면 요율을 감소시킴으로써 횡가속도를 감소시켜 차량의 전복을 방지할 수 있다. 다만 이러한 경우에는 해당 상용차에 좌우 독립제동이 가능한 구동기가

장착되어 있어야 한다.

- 앞서 해석분야에서 해석 또는 실험을 통해 한계속도와 한계조향각을 구했다고 했을 때 특정 조향조건에서 운전자에 의한 조향각을 제한해서 전복을 방지하는 것이 가장 일반적인 접근방법이다. 조향각은 운전자의 의지를 나타내므로 함부로 제한하기 어렵다. 따라서 속도를 줄이는 것이 가장 효과적인 방법이다. 결론적으로 해석으로 전복한계선도를 구한 후 제동을 이용하여 차량 속도가 한계속도를 넘지 않도록 제동을 제어해야 한다.

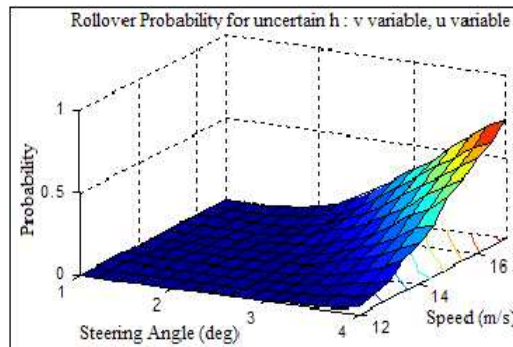


그림 2-2-32 차량의 속도와 조향에 따른 전복확률

5. S-BRT 도로운행 안전기술의 동향

차량방호 도로안전시설 관련 연구는 ‘도로안전시설설치 및 관리 지침-차량방호 안전 시설 편(2001)’에 의거하여 차량방호 안전시설의 성능을 평가하기 위한 충돌시험장이 한국도로공사 도로교통연구원과 교통안전공단 자동차성능시험연구소에 설치되어 운영되고 있다. 각 기관은 국토교통부로부터 차량방호 안전시설 성능시험기관으로 지정을 받았으며, 국토교통부의 ‘차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람(2016. 12)’에 따라 성능을 검증한다. 시설의 설치에는 ‘도로안전시설 설치 및 관리 지침(통합편)’(2016.12)에 따라 설치한다.

특히, 충격흡수시설은 CC1 등급, CC2 등급, CC3 등급, CC4 등급으로 구분되며, 충돌 속도 60km/h, 80km/h, 100km/h, 120km/h로 구분되어 수행된다. 900kg, 1300kg의 차량 중량에 대한 6가지 충돌 시험을 수행하여 충격흡수시설의 성능을 검증한다.

충돌피해 최소화를 위해 차량 충돌시 탑승자의 안전도를 만족하는 형태의 표지주, 가로등, 무인카메라 지주 등은 아직 국내에 기준이 마련되어 있지 않은 상태이다. 국가 R&D인 ‘교통 환경 개선 기술 개발’의 세부 연구인 ‘충돌피해 최소화를 위한 지주 및 단부 고정 장치 개발’을 통해, 소형 지주에 대해서만 충격시 지주 하단부가 빠지거나 부러지는 형태의 지주로 설계, 시공하는 기술이 개발되었다.

또한, 국가 R&D인 ‘도로변 수직구조물 충돌사고 및 도로 작업자 위험도 경감기술 개발’ 과제를 통해 차량이 지주 시설물에 충격시 충격을 흡수하여 탑승자를 보호하는 형

태의 연구성과품을 개발하였다. 그러나, 기준 미비 및 적용 범위가 넓지 않아 아직 현장에 적용되지 못하고 있다. 따라서, 다른 형태 및 규모의 충격흡수 지주를 개발할 경우 그 적용 범위가 넓어 기존 개발 기술과 더불어 널리 활용될 수 있을 것을 판단된다.

AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)에서는 도로 설계시 주어진 여건에서 도로변 안전을 도모하기 위한 도로변 주변 시설물에 대해 다음과 같이 처리 대책을 언급하고 있다. 노변 위험물을 제거, 차량이 지나가도 문제가 없도록 노측 장애물 자체를 재설계, 시설물이 부딪칠 위험이 적은 곳으로 이전 설치, 부러지는 지주 시설물 등을 이용하여 충돌 시 위험도 경감, 노변 시설물의 제거, 이전 설치, 특별한 장치의 설계가 어려운 경우에는 시설물 주변에 종방향 방호울타리 설치를 포함하여 상기 대안의 적용이 어려울 경우 시인성 확보를 위한 시설을 설치한다.

미국 등 북미지역에 적용되는 설계지침에는 “NCHRP Report 350, Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluations of Highway Features”, “Manual for Assessing Safety Hardware” 등이 존재한다. 미국 등에서 사용되는 부러지는 지주의 개념을 유럽에서는 유사하게 Passive Safety 개념으로 사용하고 있으며, Passive Safety의 개념은 차량 충돌시 차량의 에너지 감소를 최소화하는 것이다. 이러한 기준을 바탕으로 미국 등 북미지역에서는 “Roadside Design Guide(2011)” 을 준용하여 사용하고 있다.

유럽의 RISER(Roadside Infrastructure for Safer European Roads, 2005) 프로젝트에서도 도로변 안전을 확보하는 방법을 AASHTO의 방법과 유사한 방법을 제시하고 있다. 유럽은 유럽표준화위원회(European Committee for Normalization, CEN)에서 작성한 EN-1317에 규정되어 있다. 일본의 경우는 “도로방호책 설치요령” 등에 그 기준이 정립되어 있다.

간선급행버스(BRT)란 버스가 갖고 있는 유연성을 살리면서 동시에 고속성을 보장하고 저비용으로 양질의 서비스를 제공하는 시스템으로 정의되며, 구체적인 기반시설로는 전용차량, 전용차로, 환승시설, 버스운영관리시스템 등이 있다.

간선급행버스(BRT-Bus Rapid Transit) 시스템은 버스운행에 철도시스템 개념을 도입한 새로운 대중교통시스템으로서 도시와 도시를 연결하는 주요 간선도로에 버스 전용차로를 설치하고 급행으로 버스를 운행시키는 교통시스템을 의미한다. 간선급행버스(BRT)의 운영을 통해 도시교통문제의 해결 열쇠, 타 신교통수단에 비해 효과/비용 면에서 유리, 환경 및 CO2 규제, 기존 버스산업과의 연계성 및 사업 모형 개발 가능성, 국내 여건에 적합한 대책, BRT 차량 산업의 육성에 대한 장점을 가지고 있다. BRT는 평균운행속도(51.5km/h)가 경전철(26.9km/h)에 비해 높으며, 통행시간이 감소와 탑승객이 증가하며, 시행이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 대중교통시설별 시간당 수송 능력을 다음 표에 제시하였다.

표 2-2-5 대중교통시설별 시간당 수송 능력

사례도시	교통수단	시간당 수송능력(명)
Sao Paulo East Line	지하철	60,000
Santiago La Moneda	지하철	36,000
London Victoria Line	지하철	25,000
Sao Paulo 9 de julho	BRT	35,000
Bogota transMilenio	BRT	33,000
Porto Alegre Assis Brasil	BRT	28,000
Curitiba Eixo Sul	BRT	15,000
Dallas, Texas	경전철	38,000
Strasbourg	경전철	18,000

해외에서 운영되고 있는 간선급행버스의 사례(멕시코, 인도, 브라질, 중국, 아르헨티나) 및 양방향에서 하나의 버스정류장을 이용하고 있는 사례, 대용량 BRT 및 BRT정류장 운영 사례를 제시하였다.



멕시코



인도



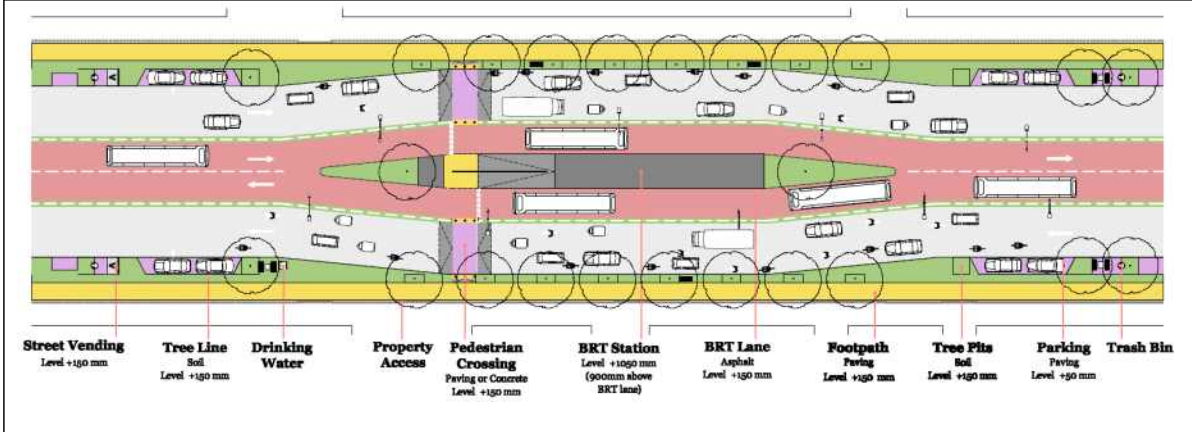
브라질



중국



콜롬비아



콜롬비아

페루



호주

터키



멕시코



중국



중국



중국

가. 미국 캘리포니아

미국 캘리포니아주의 버스전용차로 BRT 포장의 단면설계 기준에 대해 UC Buckley에서 연구를 수행하였으며, 세 종류의 포장구조를 제안하였다. UC. Buckley의 연구에서 제안한 포장구조를 검토해보면, 아스팔트 포장으로 구성된 버스전용차로, 아스팔트와 콘크리트를 함께 사용한 복합포장, 그리고 프리캐스트 슬래브를 적용한 포장체로 구성되어 있음을 알 수 있다. 특이사항은 모든 표층은 고무아스팔트를 사용한 저소음 배수성 포장을 기본으로 적용하고 있는 것이다.

아스팔트포장의 경우 표층을 제외하고도 30cm의 상대적으로 두꺼운 포장단면을 설계 기준으로 제시하고 있다. 이는 버스전용차로의 경우 버스가 중차량에 해당하고, 파손이 발생할 경우 교통통제를 실시하기가 어려워 장수명 포장으로 설계를 하고 있는 것으로 판단되고, 표층은 소음저감을 위해 저소음포장을 기본적으로 적용하고 있다.

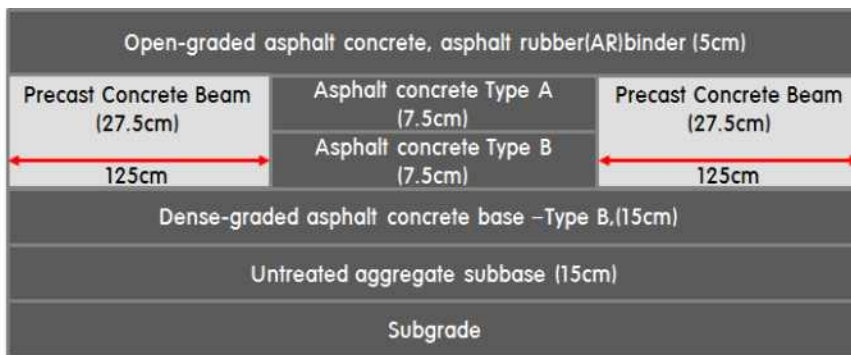
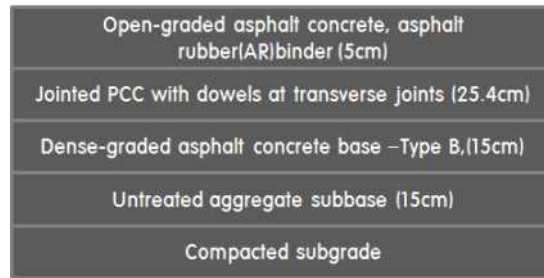
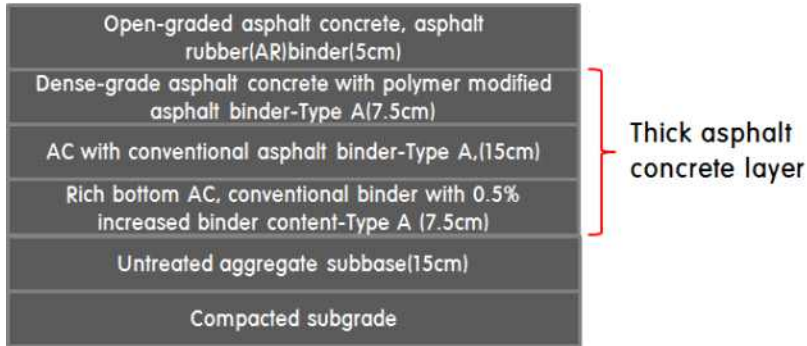


그림 2-2-33 캘리포니아주 버스전용차로의 포장형식 및 단면구조

나. 영국 런던

영국 런던의 경우 버스전용포장의 표층 재료로 다양한 재료가 적용되고 있다. 아스팔트 포장의 경우, 15년의 공용수명을 예측하고 있으며, 블록포장은 25년, 시멘트 콘크리트 포장은 40년 공용수명을 적용하고 있다. 국내의 경우, 아스팔트 표층의 공용수명을 일반적으로 10년을 보고 있는데 영국의 경우 버스전용차로에서 15년을 보고 있다. 표층에 사용되는 SMA는 최대 골재입경 10mm에 개질아스팔트 바인더를 사용하도록 규정하고 있다.

표 2-2-6 런던의 버스전용차로에 적용된 공법(표층)

Surface Type	Estimate of life to replacement or extensive maintenance (yrs)
Asphalt : Thin surfacing, Macadam, SMA, HRA	15
Concrete Bolcks and clay pavers on sand (flexible lay) Herringbone pattern	25
Stone setts on fine concrete (rigid lay)	30
Concrete pavement (lightly reinforced) (rigid)	40

다. 캐나다 켈거리

캐나다 켈거리의 도로포장 구조는 아래와 같다. 버스가 운영되는 도로와 버스가 운영되지 않는 도로에 대한 아스팔트 포장 두께를 다르게 적용하고 있다. 버스가 운영되는 도로가 운영되지 않는 도로보다 포장두께가 2cm 정도 두꺼운 것을 알 수 있으며, 일반 거주지역 도로 포장두께는 버스주행도로 포장두께의 50%를 적용하고 있다. 이를 통해 캐나다 켈거리에서는 대형차량인 버스하중의 영향을 고려하여 아스팔트 포장두께를 결정하는 것을 알 수 있었다. 또한, 버스전용차로 포장에 시멘트 콘크리트 포장을 적용할 수도 있다. 시멘트 콘크리트 포장의 품질기준을 만족해야 하며, 최소 포장 두께는 225mm 이상이어야 한다.

표 2-2-7 켈거리 버스전용차로의 포장 두께

구분	아스팔트층 최소 두께 (mm)	입상 기층 최소 두께 (mm)	보조기층 최소 두께 (mm)
버스가 다니는 왕복 2차로	160	100	300
버스가 다니지 않는 왕복 2차로	140	100	200
거주지역 부근 도로	80	100	200

라. 호주 골드코스트

호주 버스전용차로 구간에 적용하는 포장단면 구조와 재료는 다음 그림과 같다. 그림

에서처럼 호주에서는 표층 및 중간층의 단면두께는 45mm로 동일하고, 아스팔트 바인더는 폴리머 개질 아스팔트 바인더를 사용하도록 하고 있다. 한 가지 특이 사항은 표층과 중간층 사이에 폴리머 개질 텍코트제를 사용하도록 규정하고 있다. 기층의 두께는 사용 재료에 따라서 두께를 결정하도록 되어있다. 기층 재료로는 시멘트 안정처리 재료를 사용할 경우에는 한번 타설두께가 최소 200mm 이상으로 규정되어 있다. 또한, 안정처리재로는 시멘트 75%와 플라이 애쉬 25%를 사용해서 재령 7일 강도가 3MPa 이상 발휘되어야 한다고 규정하고 있다.



그림 2-2-34 호주 골드코스트 버스전용차로의 포장재료 및 포장단면

마. 남아프리카 공화국

다음은 남아프리카 공화국에서 버스전용차로 포장으로 적용되고 있는 포장공법들을 소개하고 있다. 표에서 제시된 공법 중 UTCRP와 HiMA 두 공법은 현재 국내에 적용되고 있지 않은 공법이다. HiMA 포장 공법은 일반도로에서는 박층 재료도 적용되고 있는 포장 공법으로, 일반 개질아스팔트는 SBS 폴리머를 7~8%를 사용하지만, HiMA는 이보다 더 많은 SBS 폴리머를 사용한 개질 아스팔트이다. HiMA는 폴리머 함량의 증가로 인하여 피로저항성과 소성변형 저항성이 크게 증가되고, 이에 따른 포장단면 두께를 줄일 수 있는 특징을 지니고 있다.

표 2-2-8 남아프리카 공화국 버스전용차로의 포장 공법

콘크리트 포장	아스팔트 포장
<ul style="list-style-type: none"> • 연속철근 콘크리트 포장(CRCP) • 무근 콘크리트 포장(JCP) • 초박형 철근 콘크리트 포장(UTCRCRCP) 	<ul style="list-style-type: none"> • 일반 아스팔트 포장 • 개질 아스팔트포장 • HiMA(Highly modified asphalt)

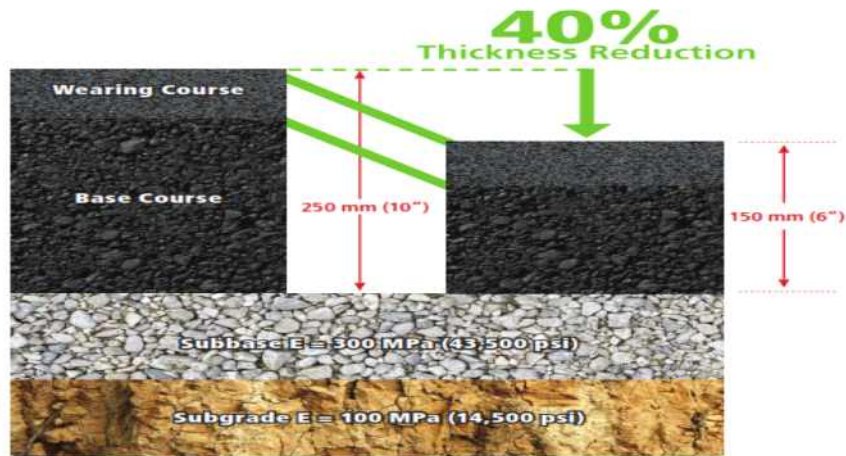


그림 2-2-35 HiMA 적용 포장

바. 서울특별시

서울시에서는 버스전용차로 및 교차로 구간에서 주로 발생하는 소성변형을 줄이기 위해 SMA 또는 개질 SMA 혼합물의 적용을 확대하고 있다. 외국의 경우에도 소성변형이 주된 파손일 경우, 교통량에 따라 일반 아스팔트 바인더보다 PG등급을 한단계 또는 두단계 상향한 바인더를 적용하고 있으므로 이러한 기준을 도입하여 적용하고 있다. 또한 SMA 이외에도 섬유혼입 혼합물, 그리드 포장, 프리캐스트 포장 등 다양한 포장공법을 시험적으로 적용하고 이에 대한 효과를 분석하여 버스전용차로 및 교차로에 적용가능한가에 대한 검토를 수행중이다. 하지만 버스전용차로 도로포장 재료에 대한 기준이 정립되어 있지 않으므로, 향후 연구를 통해 이러한 기준을 정립할 필요가 있다.

또한 서울시 도로포장은 30년 이상 노후화된 포장이 대부분으로 현재의 교통량 대비 포장단면 두께가 부족한 경우가 많으며, 특히 버스전용차로 및 교차로 구간은 대부분 현재 포장두께 보다 증가시켜야하는 구간이 많을 것으로 예상된다. 그러나 실제 시공에 있어서 아스팔트층을 제거하고 일부 보조기층까지 제거하기에는 시공여건상 굉장히 어려워 이를 해소할 수 있는 대안이 필요하다. 프랑스를 비롯한 유럽의 일부 국가들은 고강성 포장재를 개발하여 포장의 단면두께를 줄일 수 있는 공법을 적용하고 있어 서울시에서도 포장의 단면두께를 축소할 수 있는 고강성, 고내구성 포장재료를 개발할 필요가 있다.

2. 버스전용차로 적용가능 도로포장 기술 분석

가. 프리캐스트 콘크리트 포장 공법

프리캐스트 공법은 공장에서 제작된 프리캐스트 패널을 현장에서 조립식으로 시공하는 포장공법이다. 서울시에서도 버스정류장과 같이 소성변형이 많이 발생하는 일부 구간에 프리캐스트 콘크리트 공법을 시험 적용하였다. 프리캐스트 콘크리트 포장 공법의 장점으로서는 공장에서 제작되어 품질이 우수하며 현장양생 기간이 필요치 않아 신속한 시공 및 유지보수가 가능하다. 교통량이 적은 심야에 급속시공을 통하여 교통 차단 시간을 감소시키며 사용자의 불편 최소화 할 수 있다. 또한, 슬래브간의 하중전달을 위하여 다웰바(Dowel Bar)와 다웰 포켓(Dowel Pocket) 방식을 사용하여 시공이 편리하고 포켓 연결 방식은 다웰바 및 타이바의 위치가 설계와 정확히 일치하지 않더라도 포켓의 크기가 다소 크기 때문에 약간의 제작 오차 수용 가능한 장점을 지니고 있다. 하지만, 프리캐스트 콘크리트 포장공법을 현장에 시공하기 위해서는 하부지반의 평탄화 작업이 중요하며, 평탄화 작업에 많은 작업시간이 소요되는 단점이 있다. 또한, 다웰바(Dowel Bar)와 다웰 포켓(Dowel Pocket) 방식을 사용하여 시공 완료 후 포켓의 빈 공간을 그라우팅 재료로 충전하는 작업에서 그라우팅 체적의 과다로 인한 공사비 증가 및 시공시간 증가 문제가 가끔 보고되고 있다. 프리캐스트 콘크리트 연결에 사용되는 포켓 연결 방식에서는 포켓의 크기가 다소 크기 때문에 포켓부 그라우팅 체적이 증가하여 경제성과 시공성이 저하되는 문제점들이 보고되고 있다. 프리캐스트의 초기 공사비는 서울시 시공된 사례를 기준으로 25cm 설계단면을 적용할 경우 7,556만원/a으로서 동일두께의 일반 밀입도 아스팔트포장의 공사비 596만원/a에 비해 11배 이상 고가이다.



그림 2-2-36 프리캐스트 콘크리트 시공 및 준공 전경

나. Fiber Reinforced Asphalt(FRA)

아스팔트 포장의 내구성을 증진하기 위한 일반적인 방법으로는 아스팔트 바인더의 점착강도 또는 골재간 결합력 증진을 위한 아스팔트 바인더 개질화 방법이 널리 사용되고 있다. 반면 FRA 혼합물은 아스팔트 혼합물 생산 시 섬유를 투입하여 아스팔트 혼합물의 내구성을 향상시킨다. FRA 혼합물의 장점으로는 인장 능력 강화로 인한 균열 저항성 향상 및 혼합물 수평 유동성 제약을 통한 소성변형 저항성과 마모 저항성을 향상시키는 장점을 지니고 있다.

그림은 유리섬유를 첨가하였을 때, 아스팔트 혼합물 내 3차원으로 섬유가 분산되는 형상을 보여주고 있다. FRA 혼합물의 단점으로는 섬유 간 뭉침 현상 발생으로 인하여 섬유 분산이 잘 안되는 문제점이 발생하고 있으며, 뭉침 현상을 최소화하기 위하여 폴리프로필렌 재료로 일정량의 섬유를 코팅한 후 아스팔트 생산시 투입을 하는 번거로움이 있다. 또한, 섬유 뭉침을 방지하기 위한 아스팔트 플랜트의 혼합시간 증가로 인하여 아스팔트 바인더의 산화가 가중되는 단점이 있다. 섬유 추가로 인하여 일반 아스팔트 가격에 비하여 상대적으로 가격이 비싸다는 단점이 있다. 서울시 시공된 사례를 기준으로 FRA 혼합물을 적용한 구간에 대한 초기 공사비(5cm 절삭 및 덧씌우기 기준)는 179만원/a로 일반

밀입도 혼합물의 공사비 162만원/a 대비 약 1.1배 높은 것으로 분석되었다.



그림 2-2-37 아스팔트 혼합물 내부의 섬유 분포

다. Crumb Rubber Modifier (CRM) Asphalt

ASTM D8-88에서는 아스팔트 시멘트, 재활용 고무 그리고 일정 첨가물의 블렌드로서 고무 성분이 전체 성분의 중량비로 최소 15%로 구성되어 있고 고무 입자가 아스팔트 시멘트 속에서 팽창하도록 충분히 반응이 되어 있는 것을 고무 아스팔트로 정의하고 있다.

고무아스팔트는 페타이어를 재활용하며, 고온에서 높은 점도를 가져 교통하중에 의해 발생하는 높은 응력과 변형에 대해 저항이 강한 것이 장점이다. 또한, 신축성으로 인하여 반사균열에 좋은 효과가 있고 페타이어 내에 존재하는 카본블랙은 아스팔트 산화를 방지하는 기능이 있어서 아스팔트 포장의 장기노화를 저감시키는 효과가 있다. 또한, 고무아스팔트는 일반아스팔트 보다 탄성회복량을 40~50% 정도 증가시키는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점과 달리, 고무아스팔트는 포설된 후 한 번의 겨울이 지나면 표층에 박리 현상이 발생하면서 공용수명이 단축되는 문제점들이 보고되고 있으며, 고무분말의 부피가 증가하는 팽창현상으로 점도가 저하되는 단점에 대한 보완이 필요하다. 경제적인 측면에서 분석한 결과 서울시 시공된 사례를 기준으로 CRMA 혼합물을 적용한 구간에 대한 초기 공사비(5cm 절삭 및 덧씌우기 기준)는 193만원/a로 일반 밀입도 아스팔트 포장의 공사비 162만원/a 대비 약 1.2배 단가가 높은 것으로 분석되었다.

라. 섬유그리드 포장 공법

섬유그리드 공법은 아스팔트의 구조적인 포장 파손을 예방하기 위하여 아스팔트 표층 부 아래 5cm 위치에 유리섬유 그리드를 설치하는 공법이다. 섬유그리드 공법은 포장체 하부에서 발생하는 인장응력을 섬유그리드가 분산시킴으로서 균열발생 저감 및 반사균열 지연효과가 있다. 또한 여름철 교통하중에 의하여 아스팔트 혼합물은 밀림현상으로 인한 소성변형이 발생하게 된다. 섬유그리드가 아스팔트 혼합물의 이동을 억제함으로써 소성 변형 저항성이 우수하다는 장점을 지니고 있으며, 해외에서는 교차로 구간에 섬유그리드 공법을 많이 활용하고 있다. 경제적인 측면에서 분석한 결과 서울시 시공된 사례를 기준으로 SMA 혼합물과 섬유그리드를 적용한 구간에 대한 초기 공사비(5cm 절삭 및 덧씌우기 기준)는 378만원/a로 일반 밀입도의 162만원/a 대비 2.3배 높은 단가를 보인다.

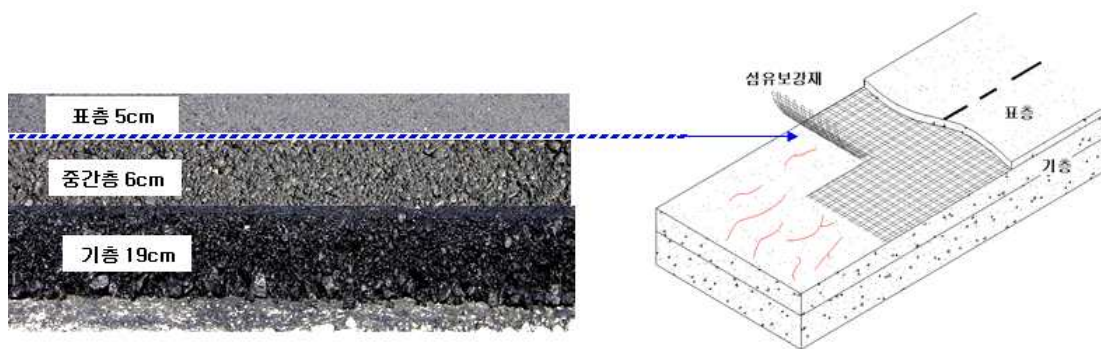


그림 2-2-38 섬유그리드 공법 개념도

마. 고강성 기층용 아스팔트 혼합물(High Modulus Base, HMB)

프랑스와 유럽의 일부국가에서는 아스팔트층의 설계단면 두께를 축소하기 위하여 1980년대부터 강성이 높은 아스팔트 바인더를 사용한 고강성 기층 혼합물을 개발하여 사용하고 있다. 고강성 기층 혼합물의 동탄성계수는 일반 아스팔트 혼합물에 비해 50% 이상 증가되어 상대적으로 단면두께가 축소되어도 교통하중을 효과적으로 지지할 수 있는 장점이 있다. 국내에서도 고강성 아스팔트 혼합물에 대한 연구를 수행하여 설계단면 두께 축소가 가능하다는 연구결과를 보고한 사례도 있다. 따라서 서울시에서도 기존 포장의 아스팔트층 두께가 부족하여 설계단면을 키워야할 경우 고강성 기층 혼합물을 적용하여 단면두께 증가 없이도 설계수명을 확보할 수 있는 대안 마련이 필요하다.

프랑스의 경우 침입도가 낮은 아스팔트 바인더를 아스팔트 기층에 적용하여 아스팔트 하부층의 강성을 증가시켜 아스팔트층 하단에 발생하는 인장 변형률을 억제하는 개념을 적용한 설계를 표준으로 채택하고 있고, 영국에서도 설계수명 40년 이상의 장수명 아스팔트포장에서는 고강성 기층 혼합물의 적용을 일반화 하고 있다. 고강성 기층 혼합물을 적용할 경우 재료비 및 시공비를 절감할 수 있어 경제적인 뿐만 아니라 환경적인 측면에서

도 유리한 장점이 있다.

국내연구를 통해 고강성 아스팔트 기층에 대한 물리 역학적 물성 평가를 통해 고강성 기층의 경우 일반 밀입도에 비해 동탄성계수가 약 50% 이상 증대되었으며 수분손상 저항성은 10% 가량 향상되었고, 소성변형 저항성이 2배 이상 우수한 것으로 평가되었다. 피로저항성 역시 5~10배 정도 증대된 결과를 발표되었다. 또한 현장 공용성을 검토하기 위해 도로현장에 직접 시험시공을 실시하였으며 이를 바탕으로 경제성 분석을 실시한 결과 기존 포장에 비해 생애주기비용 측면에서 경제적인 것으로 평가되었다.

마. SMA(Stone Mastic Asphalt) 아스팔트 혼합물

SMA 혼합물의 구성은 다량의 굵은 골재와 그 사이를 채워줄 수 있는 결합재로서 매스틱(mastic)이 사용된다. 이러한 매스틱은 아스팔트, 부순 모래, 채움재 및 셀룰로오스 화이버로 구성되는데 골재와 골재 사이의 공극을 채워주고, 결합시켜 주는 페이스트(paste)로서 작용한다. 아스팔트 혼합물의 경우 차량의 바퀴에 의해 가해지는 수직의 압축력과 전단력에 저항하는 힘은 아스팔트 바인더의 점착력과 골재 사이의 표면의 접촉에 의한 마찰력 그리고 골재간의 맞물림(interlocking)에 의해서 발생된다. 일반 밀입도 아스팔트 혼합물과 SMA 혼합물의 가장 큰 차이점은 골재의 사용 측면에서는 굵은 골재가 다량 사용되고, 이에 따른 탈리 및 균열 저항성을 향상시키기 위해 상대적으로 많은 양의 아스팔트가 사용된다. 아스팔트의 블리딩(bleeding)을 방지하기 위해 섬유첨가재(cellulose fiber)와 다량의 채움재(filler) 역시 사용된다. 그림은 밀입도와 SMA 혼합물에 수직력이 작용하였을 때의 아스팔트 혼합물의 응력 전달 개념을 보여준다. 밀입도 혼합물의 전단저항 특성은 골재의 맞물림보다는 골재 사이의 마찰력과 아스팔트 바인더의 점성에 의존한다는 개념이며, SMA 혼합물의 소성변형에 대한 저항성은 다량 함유된 굵은 골재 사이의 맞물림에 의해서 발현되는 특성을 보여준다.

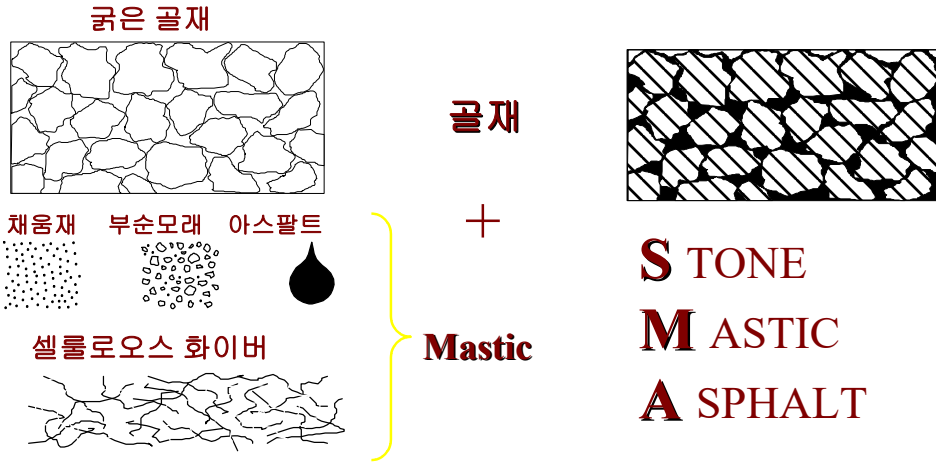


그림 2-2-39 SMA 혼합물의 조성

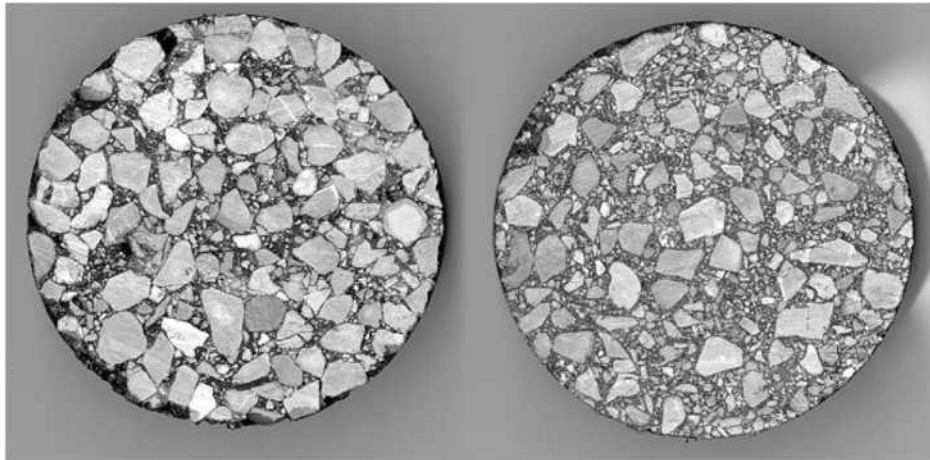


그림 2-2-40 SMA(왼쪽)와 밀입도 아스팔트(오른쪽)의 단면 비교

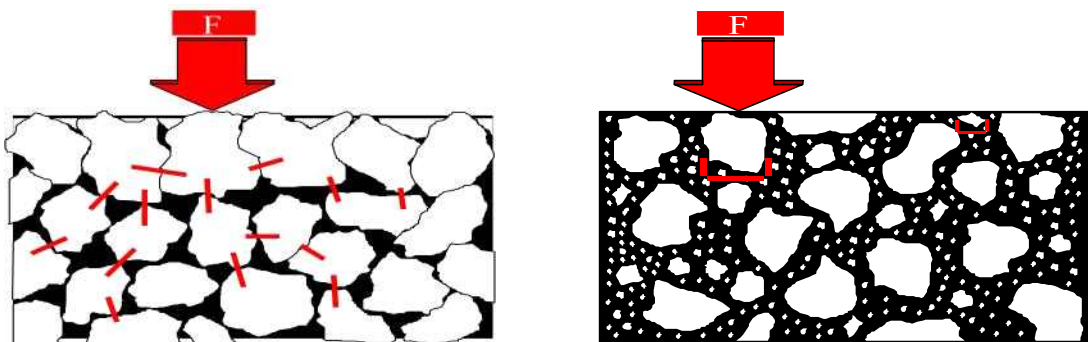


그림 2-2-41 SMA 혼합물과 일반 밀입도의 응력전달 개념 비교

6. 특허 분석 범위

가. S-BRT 차량 기술

- S-BRT 기술의 전체적인 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 311건의 특허가 출원되고 있으며, 2000년대 중반부터 국가별 年 평균 3~6건 이상의 특허가 꾸준히 출원되고 있음
- 기술분류에 따른 유효특허를 살펴본 결과 국가별 출원현황을 보면 일본이 126건 (41%)로 최다 출원국이며, 미국, 유럽, 중국, 한국의 순서로 출원이 이루어지고 있음
- 최다 출원국인 일본은 2006년 11건을 정점으로 특허출원이 다소 정체상태에 있는 반면, 중국은 전체 특허의 80%이상을 2007년 이후에 출원하고 있어 최근 기술 상승세가 매우 높게 나타나고 있음
- 우리나라는 출원 건수가 다소 낮은 수준이지만, 최근 들어 특허가 지속적으로 출원되고 있어 관련 분야 관심이 증가하고 있다고 판단할 수 있음

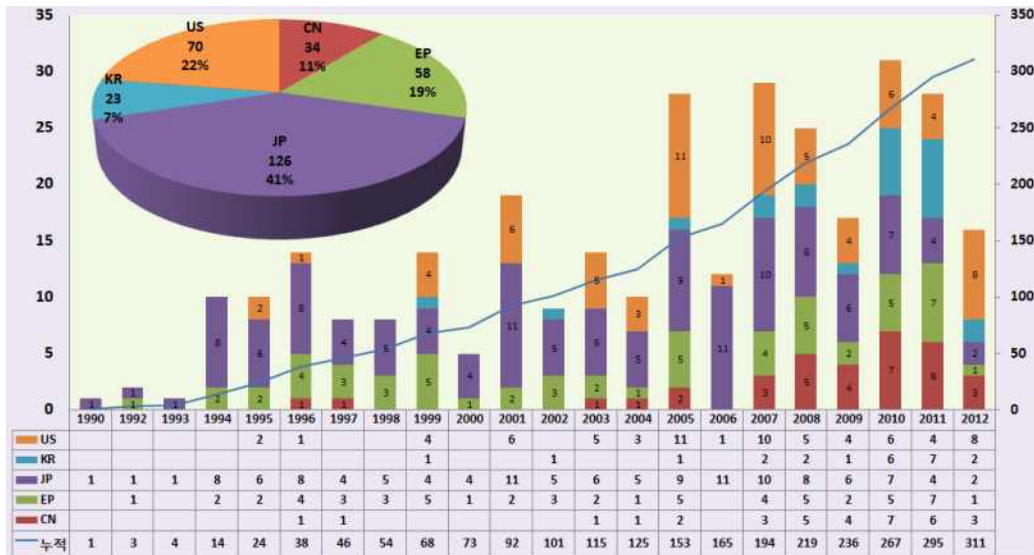


그림 2-2-42 출원년도 및 국가별 출원추이

- 특허 차상용 에너지 저장장치 시스템(B기술) 분야가 특허 출원건수가 가장 많으며, 최근에도 他 기술 대비 높은 수준의 특허 출원건수를 유지하고 있음
- 주요 출원인을 분석해 보면 무가선 트램 기술 분야 전반에 걸쳐 많은 특허를 출원한 상위 10개의 출원인을 분석한 결과, 美 GE, 日 HITACHI 및 KAWASAKI, 獨 SIEMENS, 佛 Alstom 등의 회사들이 출원을 많이 하고 있음
- 특허 출원 성향을 보면 미국, 프랑스, 독일 회사들은 자국뿐 아니라 유럽, 중국, 일

본 등에 다양하게 출원하고 있으나, 일본 회사들은 대부분 자국을 중심으로 특허를 출원함.

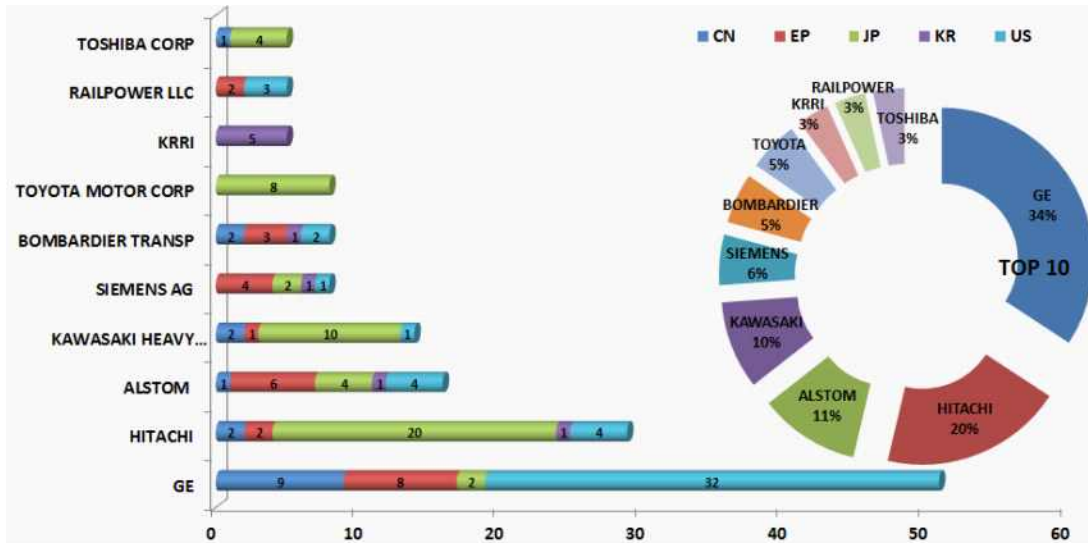


그림 2-2-43 주요 출원국 및 출원기관 동향

- 주요 출원인의 연도별 특허출원을 보면, 가장 많은 출원을 하고 있는 GE와 HITACHI는 2000년 초반부터 꾸준히 특허를 출원하고 있는 반면, SIEMENS 등은 2000년대 중반 이후 특허출원이 주춤하고 있는 상황임

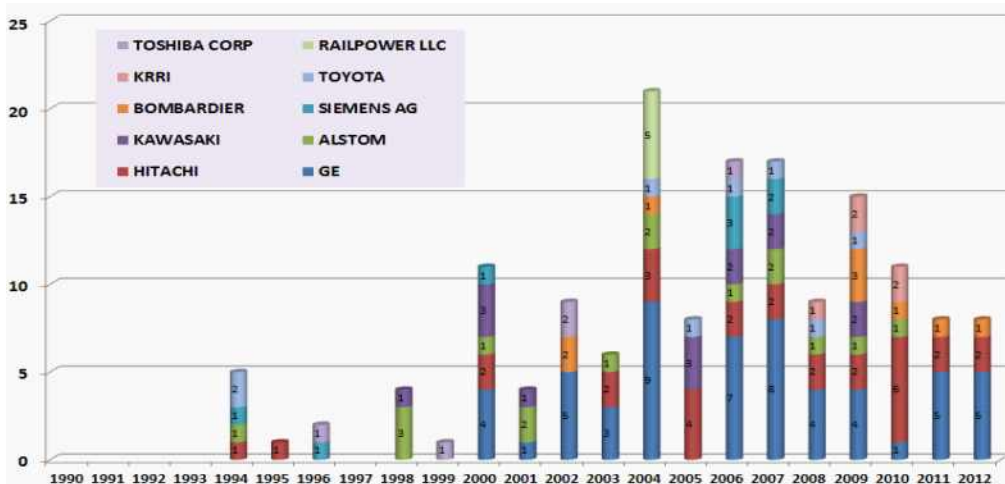


그림 2-2-44 연도별 주요 출원인 동향

- 차상용 에너지 저장장치 시스템 분야에 대한 GE사의 미국 등록 특허 “Hybrid energy power management system and method”, US6615118B2건의 피인용 건수가 82건으로 가장 많고, 다음으로 HITACHI사의 하이브리드 철도 차량의 엔진과 에너지 저장장치의 제어 장치에 관련된 일본특허 “ROLLING STOCK”의 피인용건수가 많음

○ 핵심특허 심층분석

- 피인용수가 가장 많은 GE사의 미국 등록특허 US6615118B2건은 기차의 전기 에너지 저장과 전송을 관리하는 하이브리드 에너지 시스템에 관한 특허임
- 2001년 12월 26일 출원 후 2003년 9월 2일 등록 되어 있으며 패밀리 특허 수 46개로 향후 연구 분야 설정 또는 침해대상특허 조사 등에 있어서 미국특허를 면밀히 검토하는 것이 필요함.

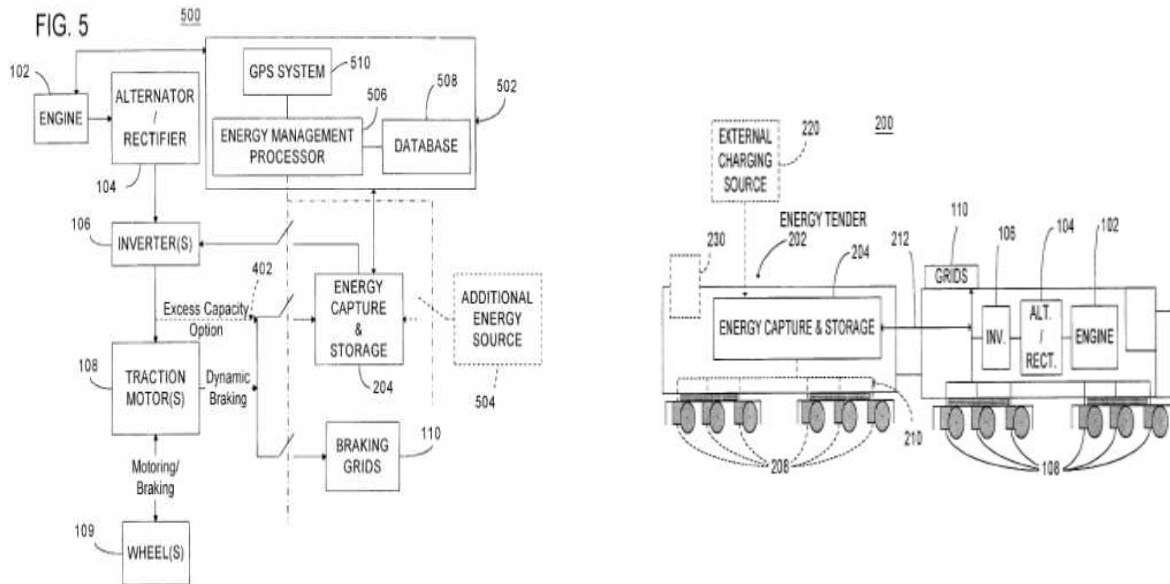
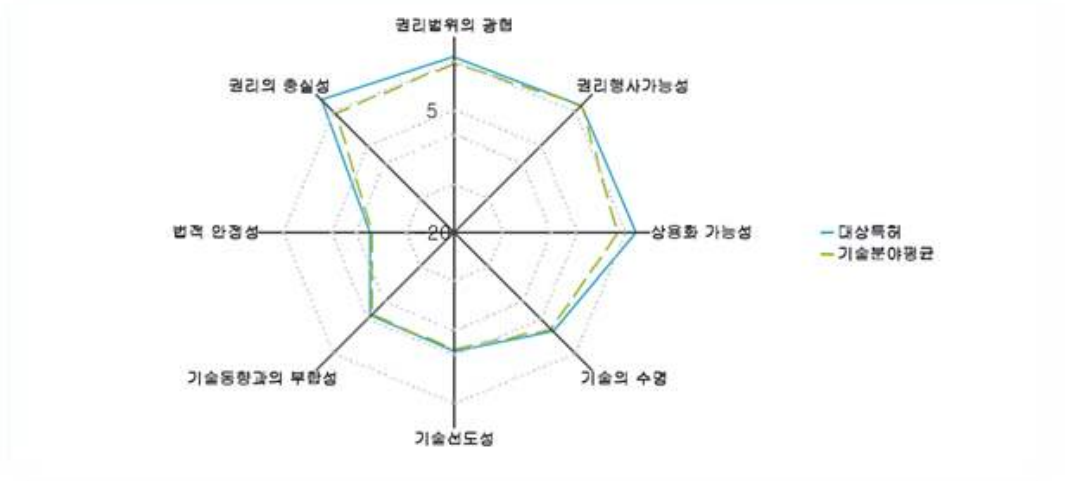


그림 2-2-45 핵심특허 도면

- 특허청 발명진흥회의 특허분석 평가시스템(SMART3)를 활용하여, 미국 등록특허 US6615118B2에 대해 상세분석한 결과, 종합평가점수가 82.6 점으로 AAA로 평가되었음
- 전체 미국 등록특허 기계분야 중 상위 0.7%에 위치하는 우수특허임. 특히 명세서가 우수하게 작성되어 있으며, 청구항 수가 41개로 많아 다양한 기술적 관점을 권리화하였음.
- 미국 내 패밀리특허가 43건, 미국 외의 해외 패밀리특허가 35건으로 시장확보력도 높게 평가됨
- 권리성 31.7점, 기술성 17.0점, 활용성 33.9점으로 기계분야 평균인 권리성 24.7점, 기술성 15.3점, 활용성 29.8점에 비하여 모두 높게 평가되었으며 활용성은 33.9점으로 특히 높게 평가되었으며, 기술성이 17.0점으로 상대적으로 낮게 평가됨

평가지표	점수	등급	대분류(기계)			중분류(기계)			소분류(운송)		
			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차
관리성 (40점)	31.7	AAA	1.2	24.7	2.7	1.0	24.7	2.6	0.9	24.7	2.5
기술성 (20점)	17	AA	4.4	15.3	0.9	4.1	15.3	0.9	4.1	15.3	0.9
활용성 (40점)	33.9	AAA	1.4	29.8	1.4	1.2	29.8	1.4	0.8	29.8	1.3
총점 (100점)	82.6	AAA	0.7	69.8	4.0	0.5	69.7	3.8	0.5	69.5	3.6



※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치

그림 2-2-46 핵심특허(US6615118B2) 평가결과

- S-BRT과 관련하여 지능형센서 사고예방기술과 관련한 사고방지, 차량검지, 우선신호 알고리즘, 도료교통신호와의 연동 등
- 신호 기술에 대한 시장 성숙도 수준을 분석한 결과, 신호 기술은 성숙기를 지나 퇴조기에 진입하고 있는 것으로 판단됨

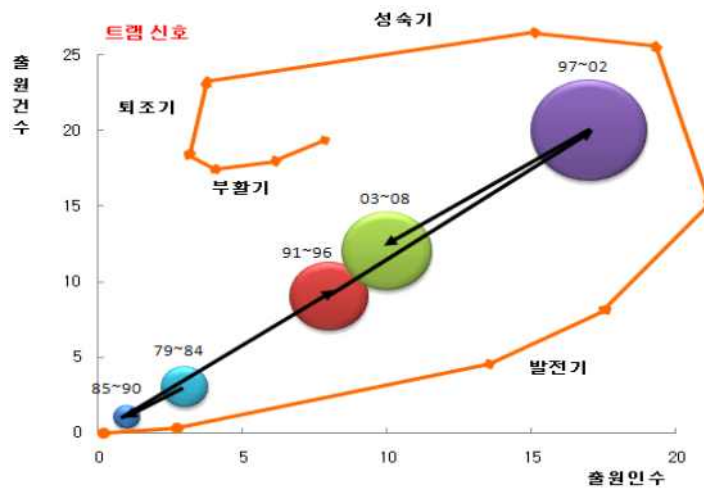
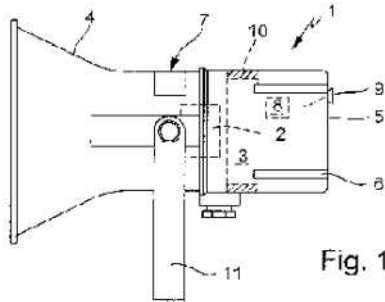


그림 2-2-47 신호기술의 시장성숙도

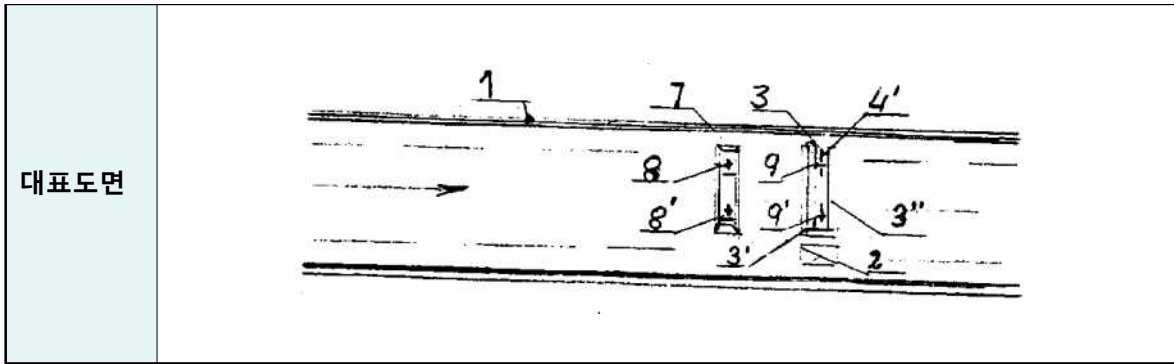
표 2-2-9 핵심특허 기술내용 분석

No	출원번호	세부분류	기술 내용
1	DE10208070	교차로사고방지방안	단방향 또는 양방향으로 상호 의존하는 컨트롤러를 사용하여 트래픽 제어 시스템의 위험을 감소
2	DE10338539	지상안전장치-1	노면에 위치하고 컴퓨터로 제어되는 경고음을 내는 소리 신호 발생기
3	FR97010836	지상안전장치-2	경고 신호를 보지 못해 발생하는 교차로에서의 충돌을 방지하기 위해, 특정 시점에서 노면 아래에 있는 장벽이 위로 올라옴
4	US10358549	지상안전장치-3	노상의 안전 기구로, 차량이 해당 기구에 의해 결정되는 보호 구역에 위치한 사람들의 안전을 보장해 주기 위한 수단을 제공
5	DE19646074	트램 교차로 안전장치	보행자 구역에서 트램과 교통의 방향을 가리키는 빛과 소리 신호 시스템으로, 노면에 해당 기기가 심어짐
6	E P 9171048	트램 회차감시	레일길이나 트램라인의 회전을 모니터링하기 위하여, 레이저 디바이스에서 레이저 빔이 반대편 레일을 마주보는 레일의 지역에 쏘아지며, 레이저 디바이스들은 레일을 따라 이동함
7	FR98013141	트램위치검지-1	버스나 트램의 위치를 추적하는 시스템으로, 해당 차량에 고정되어, 프로세서, 메모리, 인터페이스, 안테나 연결 등을 보유
8	FR98013142	트램위치검지-2	버스나 트램의 위치를 추적하는 시스템으로 이론적으로 저장된 위치를 실제 위치와 비교하여 해당 위치를 산출
9	JP200204329 6	트램위치검지-3	기계적 접촉기 없이 트램 위치를 파악하기 위하여, GPS 시스템으로 부터 신호를 수신하여 현재위치를 알아내고 이를 중앙으로 송출함
10	E P 2022751	트램위치검지 (우선신호)	트램의 통행을 검지하는 방법으로, 트램의 교통량이 변동 주기와 차량의 교통량 변동 주기를 조정하기위한 목적으로 사용
11	DE69918582	트램통신장치-1	트램 등을 위한 라디오 통신 기기로, 트램을 검지하여, 트램의 교통량이 변동 주기와 차량의 교통량 변동 주기를 조정
12	E P 99830151	트램통신장치-2	트램 등을 위한 라디오 통신 기기로, 종래의 케이블을 대체
13	JP200422932 8	트립 운영방안	재발진을 감소시키고 승차감을 향상시키기 위하여, 저장된 노선 및 교통 신호 정보와 실시간으로 파악된 해당 정보를 근거로 운전 패턴을 산출하여 이를 출력

표 2-2-10 주요특허 기술 심층분석

기술분류	트램 신호 / 지상안전장치-1		
출원번호	DE10338539	출원일	2003-08-19
공개번호	DE10338539A1	공개일	2005-03-31
출원인	EBE Elektro-Bau-Elemente GmbH	발명자	Demuth, Michael, 70435 Stuttgart, DE
명칭	Acoustic signal generator producing warning tone that is positioned by road lanes and is coupled to control computer		
기술의 목적/효과	The acoustic signal generator has a main horn section (4) and a housing (7) with a loudspeaker (2) that receives output from a signal generator (3). This has an associated memory (8) programmed with sound data. The unit has an interface (9) for connection to a computer.		
권리범위	1. Signal generator (1) for streetcars and such, in		
대표도면			

기술분류	트램 신호 / 지상안전장치-2		
출원번호	FR97010836	출원일	1997-08-27
공개번호	FR2767342A1	공개일	1999-02-19
출원인	EYER CHARLES	발명자	EYER CHARLES
명칭	Prevention of collision at crossings caused by failure to observe warning signals		
기술의 목적/효과	Collision is prevented by a barrier which is normally set below road level, and is raised either as the signal lights (2) turn from orange to red or when a vehicle is detected entering the protected area after the warning lights have been activated. The barrier (3) is formed from a net (4') supported on telescopic columns. The columns are at either side of the road so the net spans the road.		
권리범위	1. Device according to claim (1) characterized in that the following device appears (1) installed near fires (2), being with dangerous passages, like the crossing of the roads by freight vehicles joint, trams, etc.		



기술분류	트램 신호 / 교차로사고방지방안		
출원번호	DE10208070	출원일	2002-02-25
공개번호	DE10208070A1	공개일	2003-09-04
출원인	Fendt, Gnter, 86529 Schrobenhausen, DE	발명자	Fendt, Gnter, 86529 Schrobenhausen, DE
명칭	Reducing risk of accidents in traffic control system with traffic-light controlled junction and railway level crossing, by using controllers with unidirectional or bidirectional interdependence		
기술의 목적/효과	Two controllers/program controllers have a unidirectional or bidirectional dependence on each other. One controller controls the traffic flow at the road junction, and the other controller controls the level crossing area. The latter controller may be given higher priority. The program flow of the controller of higher priority is synchronized with the controller of lower priority to increase the personal safety.		
권리범위	<p>1. Procedure for a device (1) for the traffic control for the decrease of the accident risk within a traffic light-regular crossing range or inlet range of a traffic guidance,</p> <ul style="list-style-type: none"> with this in zuordenbarer proximity a traffic light-steer/barrier-steered rail transition it is, by the fact characterized that both controls/program controls are in a certain unidirectional or bi-directional dependence. 		
대표도면			

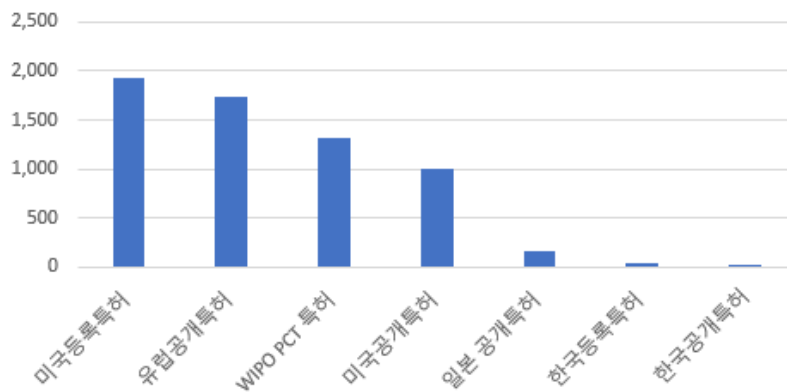
차량 동적성능 평가분야는 차량동역학 및 제어 분야의 한 분야로서 차량 전복 방지 또는 조향 불안정성 방지 분야로 분류 가능함. 전복방지 관련 연구의 대부분은 승용 SUV/Van, 단일 트럭에 관한 연구이며 연결차량(articulated vehicle) 전복에 관한 연구는 극히 적음.

Super BRT와 같은 연결차량 또는 굴절차량 관련 조향 메커니즘 설계, 구동 메커니즘 설계, 회전 반경 감소를 위한 토크 분배 등과 같은 연구가 수행되어 왔는데 대부분의 연구는 한국철도기술연구원에서 수행한 것임. 2010년 바이모달형 저상굴절 차량의 승차감을 평가하는 연구를 수행하였음. 한국철도기술연구원에서는 2014년 노면교통시스템 다편성 구현을 위한 기술 개발 방향에 대해 논의하였고 이후 바이모달트램의 중련주행 특성을 해석하기 위해 다물체 동역학 해석을 수행하였음

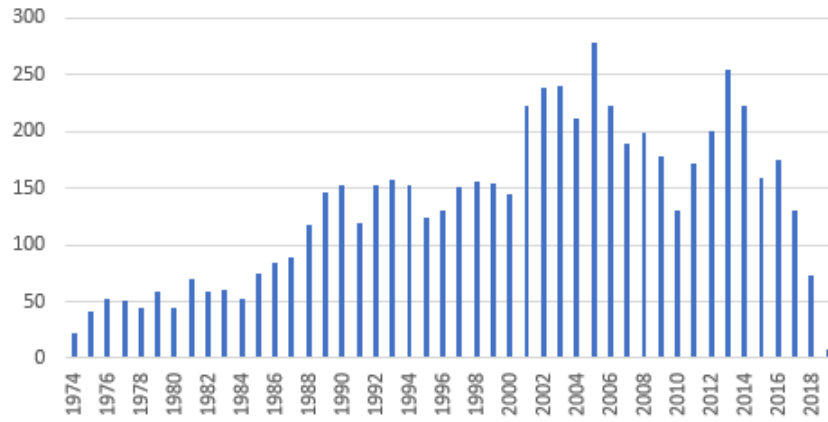
국내에 비해 해외의 연구는 그나마 활발한 편임. 다만 대부분의 연구는 tractor-trailer와 같이 화물차에 관련된 연구이며 Super BRT와 같이 굴절버스 또는 중련주행에 관한 연구는 극히 드문실정임. 연결차량을 위한 전복 방지 제어에 관한 연구는 앞서 연결차량의 전복 방지 제어에서 제시하였음

NDSL에서 articulated vehicle로 검색하여 구한 결과 6,180개의 특허가 검색되었다. 이를 분류별로 정리하면 다음과 같다. NDSL에서 articulated vehicle rollover로 검색하여 구한 결과 14개의 특허가 검색되었다. 특허의 수가 매우 적으므로 국가별, 출원연도별 특허현황만 제시한다.

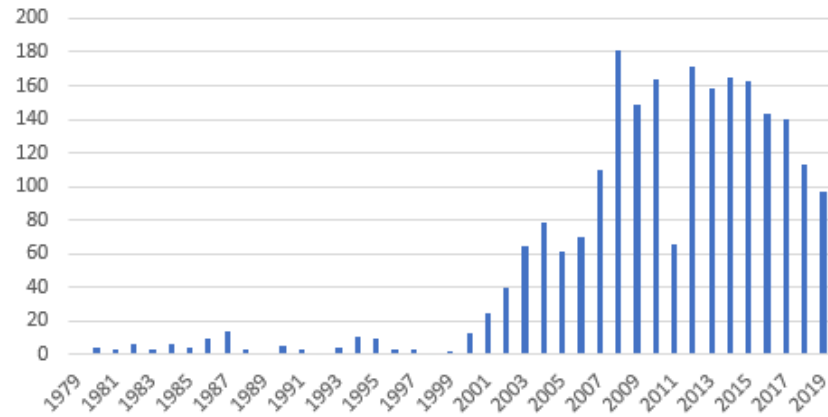
국가별 특허 현황



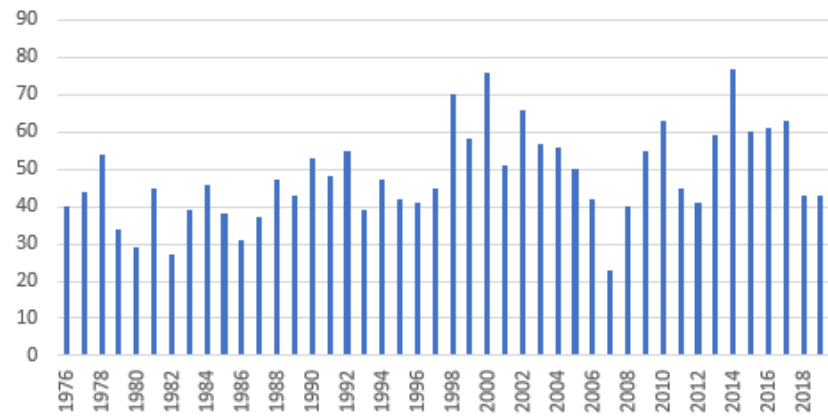
출원연도별 특허현황



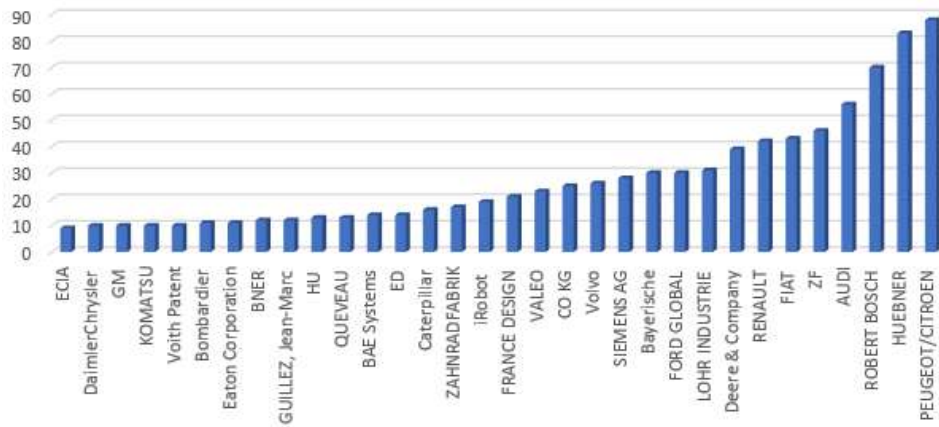
공개연도별 특허현황



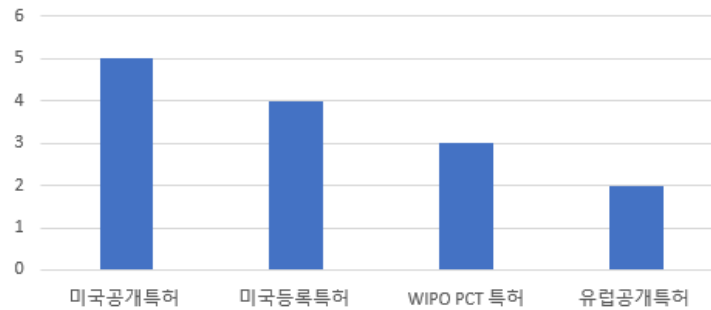
등록연도별 특허현황



회사별 특허현황



국가별 특허 현황



출원연도별 특허현황

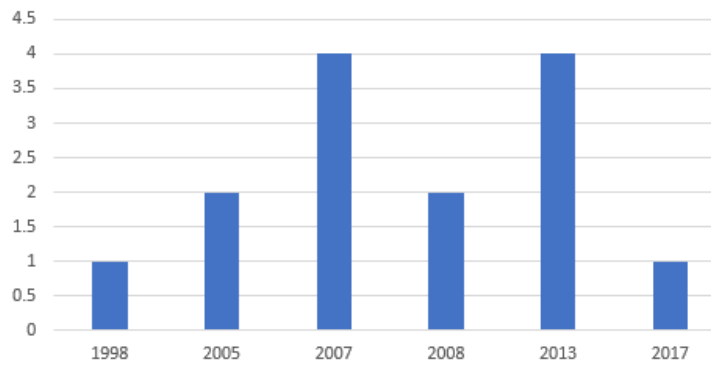


그림 2-2-48 차량전복관련 특허현황

나. S-BRT 도로 운행 안전기술

주요 국가별 세부기술 특허분포를 검토한 결과, ‘인프라 연계 능동형 사고방지 및 피해경감 기술 개발’ 및 ‘도로 인프라 안전 성능 향상 기술 개발’ 분야에 대한 출원 활동이 수행되었으며, 국가별 기술 분포 현황을 제시하였다.

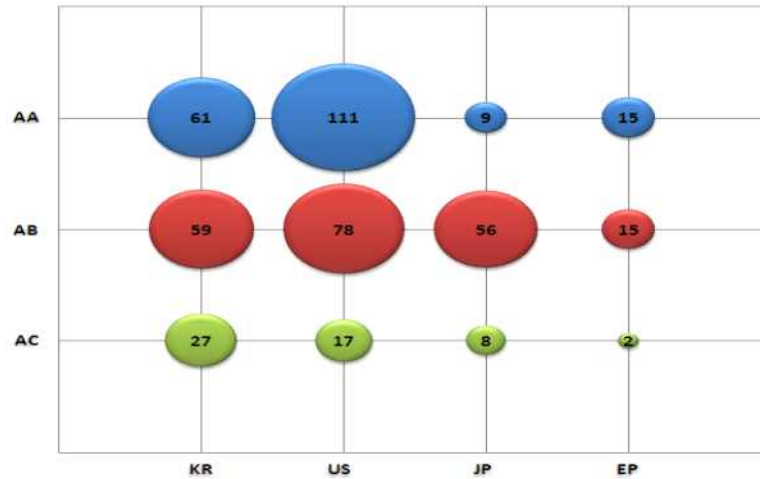


그림 2-2-49 국가별 ‘인프라 연계 능동형 사고방지 및 피해경감 기술 개발’ 출원 건수

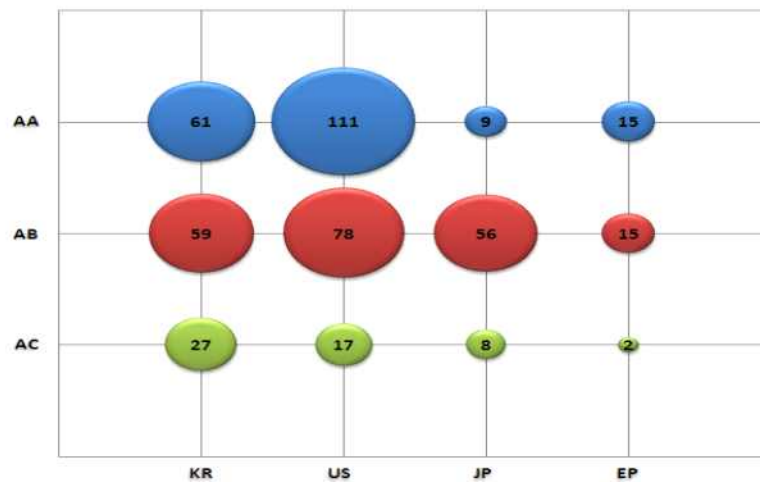


그림 2-2-50 국가별 ‘도로 인프라 안전 성능 향상 기술 개발’ 출원 건수

주요 시장국의 연도별 특허동향, 특허 출원 주요기관 현황, 세부기술별 특허 출원 추세와 핵심기술의 특허내용분석을 실시하고, 한국, 미국, 일본, 유럽의 공개특허를 분석 범위로 선정하였다. 또한, 차량 충돌 2차 사고 피해 경감 및 차량-도로시설 충돌 피해 경감을 위한 충격 완화 기술과 도로인프라 안전 성능 향상을 구분하였다. 특허 검색 툴은 FOCUST를 사용 했으며, 한국, 일본, 미국, 유럽에서 1975년 이후에 등록, 공개된 특허를 대상으로 동향을 분석하였다.

대분류	중분류	세부기술
A. Infra 연계 능동형 사고방지 및 피해경감 기술 개발	AB. 차량 충돌 2차 사고 피해 경감 및 차량-도로시설 충돌 피해 경감을 위한 충격 완화 기술	AB1. 충돌 회피 조향 (Post Crash Maneuver)
		AB2. 사고 후 진단 (Post Crash Diagnosis)
		AB3. 사고 후 처리 (Post Crash)
		AB4. 충돌 방호울타리 (Crash Cushion)
		AB5. V2X 기반 사고 후 처리 (Post crash V2X)
		AB6. 주변 환경 인지 (Environment Recognition)
	AC. 다중 센서 및 V2X 기반 도심 대중교통 차량-보행자 충돌 방지 및 주행 안전지원 기술	AC1. 도심 안전 시스템 (Urban Safety System)
		AC2. 센서 융합 (Sensor Fusion)
		AC3. 충돌 회피 (Collision Avoidance)
		AC4. 운전자 성향 분석 (Driver Tendency Analysis)
B. 도로인프라 안전 성능 향상 기술 개발	BA. 통합도로안전관리 시스템 개발	BA1. 도로안전성 조사 (Road Safety Audit)
		BA2. 교통사고 예측 (Traffic Accident Prediction)
		BA3. 도로설계 및 운영단계 안전진단 통합 안전평가 (Road Safety Evaluation)
		BA4. 경제성 분석 기반 안전 대안 도출 (Safety Measure/Priority)
	BB. 안전한 도로환경 향상 기술 개발	BB1. 도로시설 안전도 향상 (Road/Highway safety facility improvement)
		BB2. 도로노측 안전도 향상 (Road side facility safety improvement)

또한, 도로 노변의 안전도 향상을 위한 관련된 발명의 명칭 및 주요 내용을 제시하였다.

등록번호	발명의 명칭	특허권자	주요내용
10-1358754	도로시설물용 지주	(주)원기업	지주를 이중의 재질로 형성시켜 상하로 분리시켜 상하를 분리하여, 운반/설치/보수가 용이하며, 2차 사고를 예방하는 도로용 지주
10-0458020	도로 안전구조물	박영식	낙석이나 차량의 충돌시에 발생하는 충격하중으로부터 와이어로프나 지주를 보호할 수 있는 새로운 구조의 도로 안전구조물에 관한 것
10-0577930	도로 안전 방호대의 반발 방지 장치	(주)우전그린	차량충돌로 후퇴하면서 충격에너지를 흡수한 완충유닛의 복원력에 의해 차량이 도로상으로 튕겨 나가는 것을 방지하여 2차 추돌 우려 최소화 하는 장치
10-1379607	차량 방호 울타리	이갑기	차량의 충돌흡수와 이탈방지를 위한 차량 방호 울타리에 관한 것
10-1217832	직,간접 고정방식의 개방형 차량 방호 울타리	건화	차량이 충돌하는 높이에 따라 가드 레일의 변형이 달라지도록 가드 레일의 높이에 따른 결합방식을 선택적으로 하여 차량의 종류에 따른 충격 흡수를 보다 효과적으로 할 수 있도록 하는 직, 간접 고정방식의 개방형 차량 방호 울타리
10-1001199	이종소재로 이루어진 방호 울타리	포항산업과학연구원	방호 울타리의 강도 성능과 충격 흡수 성능 향상을 위한 이종 소재를 조합한 방호 울타리

7. 논문동향 분석

□ S-BRT 안전관리 전략 개발 및 체계 구축

○ S-BRT 도입에 따른 법/제도적 문제점과 투자 의사결정방법의 한계 등 사업추진을 위한 개선방안 제시

- 최근 신교통수단 도입을 통한 도시교통체계 개편 및 기존교통수단과의 연계성 향상 등을 이점으로 트램 도입에 대한 필요성 제기
- 1960년 서울시 노면전차 폐지이후 트램운영사례가 전무하여 투자평가를 위한 기초자료, 운영방안 등의 자료가 부재한 상황
- 이러한 상황을 고려하여 트램 사업의 평가방법론, 운영상 문제점에 따른 개선방안 등의 연구가 지속되고 있는 상황

구 분	내 용
엄진기 외 3명 (2009)	<ul style="list-style-type: none"> • 바이모달트램의 도입검토를 위해 인구규모를 기준으로 4단계로 구분하고, 트램 수송분담률을 시나리오로 설정하여 교통수요예측 및 경제성 분석 시행 • 바이모달트램의 적정도입지역을 연장 10km이상, 수단분담율 7.5% 이상, 35,000명/15km의 일일 수요가 발생하는 지역으로 제시함.
안정화 · 김훈 (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 트램도입 관련 여건을 분석하여 시사점을 도출하고, 트램도입 관련제도 정비방안을 제시 • 트램사업의 운영비와 교통수요분석 등 경제성 분석 측면과 법/제도 측면의 개선방안을 제시
안정화 (2013)	<ul style="list-style-type: none"> • 트램사업 투자평가지 교통수요추정, 편익산정, 비용산정의 문제점을 제시하고, 프랑스 사례를 통해 트램사업 투자평가방법론의 개선방안을 제시
이상국 외 2명 (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • 부산광역시 철도교통 현황과 장래 경전철 계획 추진의 실효성을 검토하고, 노면전차 도입노선의 최적노선과 경제성을 분석 • 노면전차 도입시 도로교통과의 상충문제, 안전성 확보, 우선신호 도입 등의 문제점을 제시하고 개선방안을 마련
김재영 외 3명 (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • 국내외 트램 법령체계, 운영사례, 트램 사업 동향 및 평가방법론을 검토하여 신교통수단의 사업 평가방법 개선방안을 마련

○ S-BRT 충돌안전에 관련한 논문 동향은 다음과 같음

구분	제목	저자	연월
철도 안전 관리 체계	철도안전관리체계 비교 연구	정병헌 문대섭	2003.10
	철도안전법에 근거한 철도안전관리 개선방안	손명선	2005.10
	국내 철도 안전관리체계 개선을 위한 국내외 비교 연구	강철 김사길 변승남	2007.5
	철도차량 안전관리체계에 대한 연구	이관섭	2007.11
	안전관리규정과 철도종합안전심사결과분석을 통한 국내 철도안전관리체계 개선에 관한 연구	오인택 팽정광 장성용	2008.6
	철도안전기술개발사업의 추진과 안전관리체계(SMS) 구축 방안	김상암 조연옥	2009.12
	SMS(안전관리체계)에 대한 국내 철도 안전관리자 교육훈련 요구 분석	김정호 김상암 변승남	2009.5
	철도안전관리체계에 대한 교육훈련 요구분석에 관한 연구	김정호 변승남	2009.12
	안전관리체계(SMS)기반의 철도종합안전심사 방안에 관한 연구	이지웅 이종석 박홍규 김만웅	2010.10
	국내 철도안전관리 체계화를 위한 안전승인제도 구축 방안	정일영	2013.12
	철도종합안전심사 결과분석을 통한 철도차량 관리체계 개선	송보영 최양규 엄득중	2014.5
	철도안전관리 수준 진단을 위한 평가분야 및 항목설정	임광균 엄득중 김선미	2014.10
	철도안전관리 수준진단을 위한 평가 모형 개발	임광균 허남규 엄득중	2015.5
철도 종합 시험 운영	철도시스템의 종합시험운행을 통한 철도안전 확보방안	김영우 이희성	2007.2
	인천공항 시범노선 자기부상열차 종합시험운영계획	김봉섭 박정웅 한형석 조귀곤 안효권	2012.5
	도시형자기부상열차 철도종합시험운행을 위한 신호 시험항목 연구	김유호 김진철 이부현 최경선 안효권 이수환	2012.5
	무가선 저상트램을 위한 신호 점검항목 연구	김유호 이수환 이부현 임무열 최경선 황현철	2013.11
	철도종합시험운영 결과검토 도입에 따른 철도노선 안정성 강화에 대한 연구	윤경철 엄범규 허남규 이용상	2014.10
	한국형 트램 시험평가를 위한 법규분석	황현철 김유호 이수환 임무열 박혜란	2014.10
	철도종합시험운영 결과검토 제도의 효율적 추진방안에 대한 연구	엄범규 이화섭 김재학 박홍규 송병호	2015.10
	철도종합시험운영 제도의 추진체계 개선방향 연구	윤경철 이용상	2015.10

제3장

연구개발과제 구성 및 추진전략

제1절 비전 및 목표

제2절 연구개발과제 구성 및 주요내용

제3절 연구추진체계

제4절 기술/성과 로드맵

제5절 최종성과물 성능목표 및 활용방안

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제1절 비전 및 목표

1. 연구 비전

< 비 전 >

이용자의 편리성과 안전성이 강화된 S-BRT의 시스템을 구축하여
효율적인 대도시권 광역교통망 확보

< 전략 목표 >

- S-BRT 신호 운영기술 및 안전 관리 기술 개발
 - S-BRT 신호 운영기술 및 차량설계 해석기술 개발
 - S-BRT 안전기준 및 교통사고 피해저감 기술 개발
- S-BRT 시스템 도로 안전성 확보 기술
 - S-BRT 전용차로 인프라 안전시설 기술 개발
 - S-BRT 전용차로 인프라 설계 요소기술 개발

2. 연구 목표

연구과제 목표는 ‘S-BRT의 신호운영기술과 이용자의 안전성을 위한 안전기술 및 도로 운행안전 확보기술에 대한 연구항목 도출’ 임

제2절 연구개발과제 구성 및 주요 내용

연구개발과제는 총 2개 세부과제로 구성하고 있으며 ‘1세부 :S-BRT 신호운영기술 및 교통사고 피해저감 기술 개발’, ‘2세부 : 급행간선버스 시스템 도로 안전성 확보 기술’ 임

1. 1세부: S-BRT 신호운영기술 및 교통사고 피해저감 기술 개발

가. 주요 내용

1세부 과제는 “S-BRT차량 설계해석 기술 및 신호운영 기술개발” 과 “S-BRT의 교통사고 피해 저감 기술 개발” 로 구성되어있으며 주요 연구내용은 다음과 같음

1) S-BRT차량 운영 시스템 기술 개발

- S-BRT차량 운영 전략 수립 및 표준체계 확보
 - S-BRT 통합정보수집 표준화 기술
 - 전용도로/차선 기반 노선별 운영 전략 수립 (유형1: 대도시권 광역·도시철도 보완, 유형2: 지방중소도시의 간선교통 담당)
 - 자율주행을 대비한 S-BRT 시스템 호환 및 운영 전략 연계 기준
 - 차량내 혼잡도 완화를 위한 실시간 배차 편성기술
- 센터 기반 S-BRT차량 운행관리 및 제어 기술 개발
 - S-BRT 우선신호 및 신호운영 최적화 기술
 - 실시간 S-BRT 차량 유고정보기반 대체 교통 서비스 제공 기술
 - 이용자 승하차 편의성 확보를 위한 S-BRT 차량 설계 및 추진, 조향 제어 기술
 - S-BRT 연계·환승을 위한 회차형 환승 정류장 설계 기술
- S-BRT차량 시범 운영 및 실증 기술 개발
 - S-BRT 시범 적용 노선 선정 및 거버넌스 표준 체계 제시
 - S-BRT 통합운영시스템 구축 및 시범운영

2) S-BRT 차량의 교통사고 피해 저감 및 안전기술 개발

- S-BRT차량의 피해사고 안전 기술기준 도출
 - 공공 대중교통 관점의 충돌안전 기술기준 분석 및 안전 기술기준(안) 도출
 - 가상시뮬레이션 기법 개발 및 교통사고 시나리오별 해석 플랫폼 구축
- S-BRT 차량의 안전장치 시제 개발 및 검증 시험
 - S-BRT차량의 충돌안전장치 요구성능 도출 및 시제품 제작
 - 실물시험을 통한 검증 및 보완
- 안전시나리오에 의한 S-BRT의 주행안전성 기준(안) 도출

- 단일 또는 복합운행에 따른 S-BRT의 주행안전성 및 성능 평가
- 피해 시나리오에 의한 차량 안전성 평가 기준(안)

나. 최종 성과물

- S-BRT 차량운영시스템(센터설비, 현장설비, 우선신호체계) 시제품
- S-BRT 신호운영시스템 구축 표준가이드라인(안)
- S-BRT 차량 설계 기준 및 표준 매뉴얼
- S-BRT 차량용 안전장치 시제품

2. 2세부: S-BRT 시스템 도로 안전성 확보 기술

가. 주요내용

2세부 과제는 ‘S-BRT 인프라 안전시설 개발’ 과 ‘S-BRT 전용차로 인프라 설계 요소기술 개발’ 로 구성되어있으며 주요 연구내용은 다음과 같음

1) S-BRT 전용차로 인프라 안전시설 기술 개발

- 기존 버스전용차로 운용과 관련된 교통사고 자료 분석
 - 기존 BRT 및 버스전용차로 교통사고 분석
 - 기존 중앙버스전용차로 정류장 및 횡단시설 설치현황 및 문제점 분석
 - 교통사고 원인별 안전 대안 제시 및 필요 시설 도출
- S-BRT용 인프라 안전시설 개발
 - S-BRT용 정류장 안전시설 설계
 - 일반 차로와 버스전용차로 분리를 위한 방호시설 설계
 - 각 부재별 실내 실험(정적, 동적 실험)
 - 설계된 안전시설 시뮬레이션 분석 및 보완
 - 실차량 중량과 목표 주행속도를 고려한 실물 충돌 실험 (정면 충돌, 각도 충돌)
- S-BRT 안전시설 기준(안) 개발
 - 버스와 타 교통류와의 상충 방지 안전시설 기준(안) 개발
 - 버스정류장 충돌 피해를 최소화할 수 있는 안전시설기준(안) 개발

2) S-BRT 전용차로 인프라 설계 요소기술 개발

- S-BRT 전용차로 기하구조 설계 기준(안) 개발
 - S-BRT 전용차로 횡단선형 설계 요소 도출

- S-BRT와 일반 차량 교차 지점 교차로 설계 요소 도출
- 안전 및 운영 효율화를 위한 S-BRT 기하구조 설계 기준(안) 마련
- S-BRT 정류장 용량 산정 및 설계 요소 도출
 - S-BRT 용량 산정 방법론
 - S-BRT 정류장 설계 요소 도출(승강대, 대기공간 등)
 - 용량에 따른 정류장 분류 설계 및 정류장 형식(환승, 단일 사용)에 따른 설계 요소 도출
 - 안전 및 운영 효율화를 위한 S-BRT 정류장 설계 기준(안) 마련
- S-BRT 전용도로 고내구성 포장 설계 기법 개발
 - 교통량, 버스하중, 하부조건을 고려한 주행구간의 포장단면 설계기법 개발
 - 안전성 향상을 위한 고내구성 아스팔트 포장 및 표면처리기술 개발
 - 정류장 및 교차로 등 가감속구간의 적용기술 개발
 - 기존 도로 포장 활용 기법 개발
- 기존 도로 및 신설도로 S-BRT 적용 방안 제시

나. 최종 성과물

- S-BRT 정류장 및 분리 차로 안전시설
- S-BRT 운영에 필요한 안전시설 기준(안)
- S-BRT 보행자 횡단시설 및 정류장 설계기준(안)
- S-BRT시스템 적용 고내구성 포장 설계 기법

제3절 연구추진체계

- 일반과제로 구성하여 총괄주관기관 책임 하에 2개의 세부내용에 대해 관련 전문인력과 기술능력을 보유한 연구소, 대학 및 기업을 참여기관으로 하는 산·학·연 공동연구 수행
 - 주관기관 : 연구 내용과 연구비를 총괄하여 기획, 관리하는 인력과 시스템을 구비하고 있으며, 최종성과물에 대한 성과를 확산시키는 능력을 확보한 기관
 - 참여기관 : 관련 연구인력 및 전문 기술 개발 능력을 보유한 연구소, 대학, 기업 등 으로서, 공동연구, 위탁연구, 자문 형식으로 참여 가능

- 기술 개발 참여기업의 Matching-fund 분담(대기업 50%, 중소기업 25%)

연구단(총괄)	
과제명	Super BRT 차량의 신호운영, 설계기술 및 차량-인프라 안전 관리 기술 개발
(1세부) S-BRT 차량운영기술과 S-BRT교통사고 피해저감 기술 개발	(2세부) S-BRT시스템 도로 안전성 확보 기술 개발
<ul style="list-style-type: none"> ○ S-BRT차량 운영기술 및 제어기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 센터 기반 S-BRT차량 운행관리 및 제어 기술 개발 - S-BRT차량 시범 운영 및 실증 기술 개발 - 실시간 S-BRT 신호 운영시스템의 연계 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ S-BRT 전용차로 인프라 안전시설 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 버스전용차로 운용과 관련된 교통 사고 자료 분석 - S-BRT용 인프라 안전시설 개발 - S-BRT 안전시설 기준(안) 개발
<ul style="list-style-type: none"> ○ S-BRT의 교통사고 피해 저감 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - S-BRT차량의 피해사고 안전기술기준도출 - S-BRT 차량의 안전장치 시제 개발 및 검증 시험 - 안전시나리오에 의한 S-BRT의 주행안전성 기준(안) 도출 	<ul style="list-style-type: none"> ○ S-BRT 전용차로 인프라 설계 요소기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - S-BRT 전용차로 기하구조 및 정류장 설계 기준(안) 개발 - S-BRT용 포장 설계 기법 개발 - 기존 도로 및 신설도로 S-BRT 적용 방안 제시

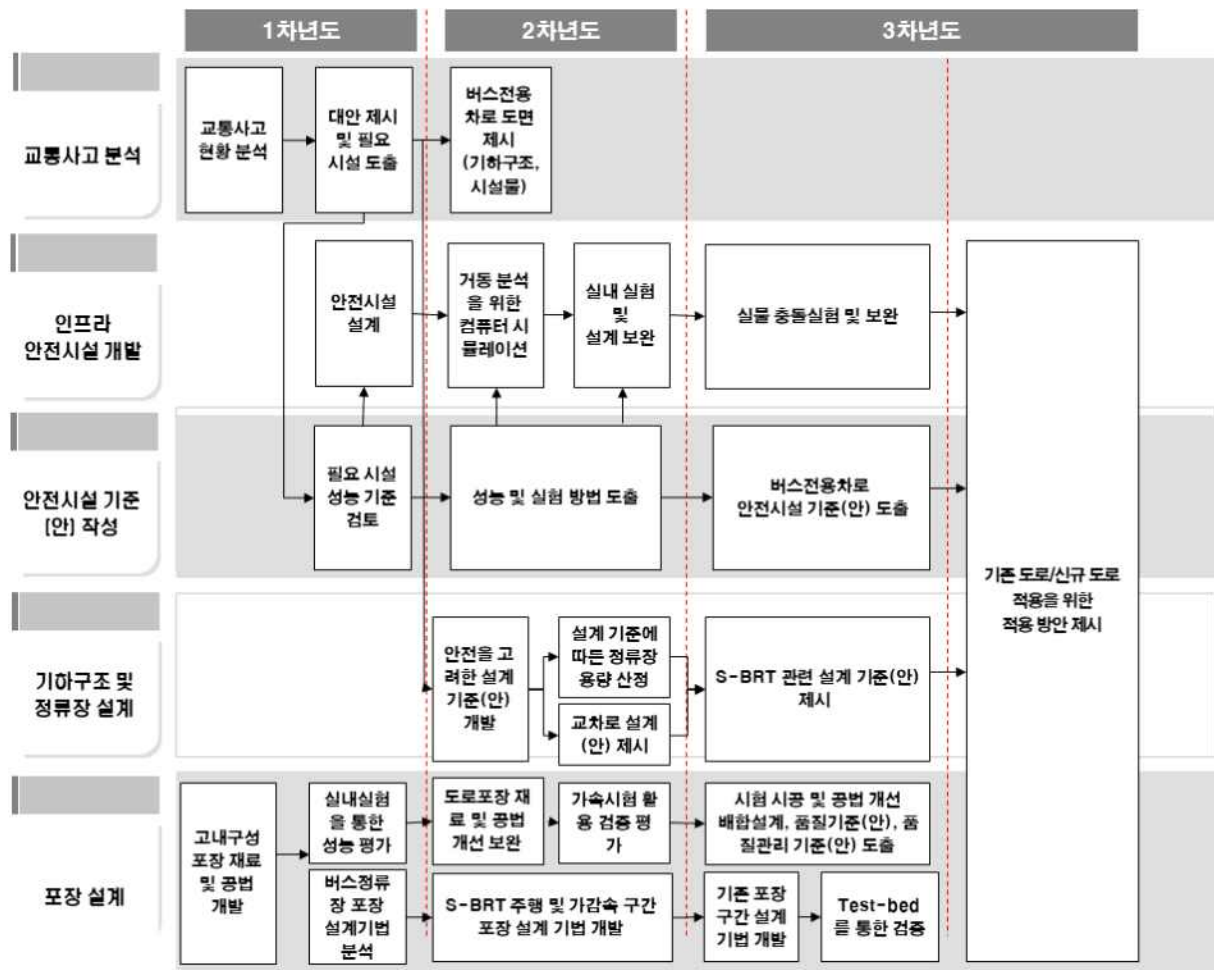
제4절 기술/성과 로드맵

○ 1 세부

	1년차	2년차	3년차
센터내 실시간 S-BRT 운영시스템 및 표준가이드라인 개발	실시간 S-BRT 운영시스템 설계	실시간 S-BRT 운영시스템 초도품 개발	현장시험 및 개선
	표준가이드라인 방향수립		
센터기반 실시간 S-BRT 신호교차로 우선신호기술 및 표준가이드라인 개발	실시간 S-BRT 우선신호기술 설계	실시간 S-BRT 우선신호 알고리즘 개발	현장시험 및 개선
	표준가이드라인 방향수립		
실시간 S-BRT 우선신호 현장시스템 및 표준가이드라인 개발	실시간 S-BRT 운영시스템 설계	실시간 S-BRT 현장시스템 초도품 개발	현장시험 및 개선
	표준가이드라인 방향수립		

	1년차	2년차	3년차
S-BRT차량 개념설계 및 요구성능 해석 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> S-BRT 개념 구조설계 및 승객이동해석 S-BRT 운행방식에 따른 수요분석 	<ul style="list-style-type: none"> 구조설계에 의한 차량개조 및 동적성능 해석 S-BRT 차량의 문제점 피드백 	<ul style="list-style-type: none"> S-BRT 차량의 성능 개선 (안) 및 표준화(안)
S-BRT 노선의 피해 사고 시나리오 분석 및 S-BRT 안전 기술 기준 도출	<ul style="list-style-type: none"> 국내외의 BRT 교통사고 사례 조사 분석 경량차량기반 도로교통수단 기술 기준 검토 사고시나리오에 의한 주행 안전성 평가항목 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 교통사고 시나리오 후보 선정 가상시뮬레이션 기법 개발 및 기반 구축 교통사고 시나리오별 해석 플랫폼 구축 사고 시나리오에 의한 내구성 평가 실물 시험 평가 및 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 표준 시나리오 선정 S-BRT 안전기술기준 도출 S-BRT 안전성 평가 기준 (안)
S-BRT 경충돌안전장치 개발 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> 경충돌 안전장치 요구성능 도출 	<ul style="list-style-type: none"> 경충돌안전장치 시제품 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 실물충돌시험을 통한 검증 및 보완
S-BRT 실증화를 위한 시범 적용기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 적용구간/연계구간분석 및 관련 법제사항 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 실증시험을 위한 S-BRT차량, 정류장, 인프라 시뮬레이션 및 평가 항목 분석 	<ul style="list-style-type: none"> S-BRT실증 시험(차량 정류장, 안전시설, 신호운영) S-BRT 실증시험 피드백에 의한 표준 모델 기준(안)

○ 2 세부



제5절 최종성과물 성능목표 및 활용방안

1. 최종성과물 성능 목표

가. 최종 성과물

- S-BRT 신호운영시스템(센터설비, 현장설비, 우선신호체계) 시작품
- S-BRT 신호운영시스템 구축 표준가이드라인(안)
- S-BRT 차량기술 안전 기준(안) 및 S-BRT용 안전장치 시제품
- S-BRT 정류장 및 분리 차로 안전시설
- S-BRT 운영에 필요한 도로 안전시설 기준(안)
- S-BRT 보행자 횡단시설 및 정류장 설계기준(안)
- S-BRT 시스템 적용 고내구성 포장 설계 기법

나. 최종 성과물 성능 목표

- 국가적으로 관리하는 우선신호관련 표준 가이드를 제시하여 시스템 호환성, 안전성 확보
- 우선신호관련 국가적 표준 기술제시를 위해 실물에 의한 표준 검증
- S-BRT 신호운영시스템(센터설비, 현장설비, 우선신호체계) 시작품 제작, S-BRT 신호운영시스템 구축 표준가이드라인(안), S-BRT 차량기술 안전 기준(안) 도출
- 버스정류장 전방에 설치되는 안전시설 기준 검토와 급행간선버스 시스템 적용 고내구성 포장공법 및 설계기준(안) 도출

2. 활용방안

- 센터기반 S-BRT 신호운영기술은 시스템 설계, 제작, 검증을 통해 우선신호기술을 완성하고 국가적으로 표준가이드라인으로 제시되어 세종시 등 국내외 도입예정인 BRT노선에 활용도록 추진
- 급행간선버스 시스템에 적용 가능한 경충돌안전장치는 유사한 형태의 버스, 트럭 등의 도로교통수단의 충돌안전도 향상을 위하여 장착 및 활용이 가능함
- 급행간선버스 시스템 적용 가능한 도로안전시설물은 국토교통부 뿐 아니라 지자체, 민간기업 등에서 활용이 가능하며, 고속도로, 일반도로 등 다른 도로에도 적용 가능함
- 도로인프라에 설치되는 시설의 경우 설치 근거(기준, 매뉴얼 등)이 중요하므로 과제 진행시 지침, 매뉴얼, 시방서 등의 제정을 통해 현장 설치할 수 있도록 근거 마련

제4장

자원투입 계획

제1절 연구시설 및 장비 투입계획

제2절 인력 및 소요예산 투입계획

제4장 자원투입계획

제 1절 연구시설 및 장비 투입계획

- 철도 연구개발을 위한 실대형 시험설비 10종 보유
 - 대차동특성주행시험기, 추진장치성능시험설비, 제동성능시험기, 스프링시험기, 레일체결장치 다축 피로시험장비, 드라이빙기어시험기, ATC시험기, 견인전동기, 팬티그래프시험기, 실대형 통합성능시험시스템 등



드라이빙기어시험기



스프링/댐퍼 시험기



견인전동기 시험기



다축피로시험기

그림 5-1-1 연구시설 장비

- 철도차량 구성품, 완성차, 실선로 성능시험을 위한 244종의 시험장비 구축
- 상시감시진단기술 성능시험을 위한 주행조점 모사시험장비 보유. 철도차량의 주행안정성, 진동성능, 승차감 등 기본적인 동적특성을 시험 평가하는 대차동특성주행시험기(Bogie Dynamic Simulator)를 보유하고 있어 실제선로에서의 시험이 어려운 여러 동적성능시험을 수행하기 위한 충분한 인프라를 갖추고 있음

○ 연구 실험시설 인프라 - 철도차량 실물충돌시험설비

- 철도차량 실물충돌시험설비는 국토부 R&D를 통해 2010년 고속철도 영동기지 내에 아시아권 최초로 구축되었음
- 구축된 실물충돌시험설비는 2010년 이래 연간 10 프로젝트 이상, 100회 이상의 충돌시험을 수행하였으며, 철도차량 외에도 도로교통용 충격흡수장치, 탱크컨테이너 충격시험 등 다양한 분야에 걸쳐 활용되고 있음
- 가능한 시험 규격으로 유럽의 EN 15227, 북미의 49 CFR 238, 탱크컨테이너 충격시험 관련 규격인 ISO 1496-3, 철도차량용 버퍼 기준인 EN 15551 등이 있음
- 보유 장비
 - 충돌고정벽 : L×W ×H (21m ×13 m ×12 m)의 크기로 강화콘크리트 구조
 - 시험차량 : 20톤, 37~47톤, 40~80톤, 80톤 충돌시험 차량 보유
 - 궤도모터카 : 최대 40 km/h 의 충돌시험 가능, 자동연결기해방장치 포함
 - On-board DAS(Data Acquisition System) : 차량에 탑재하여 하중, 가속도 등을 측정, 내충격 설계
 - 고속카메라 : 1000 fps의 성능을 가지며 내충격 설계
 - 인체모형(dummy) : 탑승객 인체상해치 평가를 위한 더미로 총 8종 보유
 - 가속도계 : 최대 2000g까지 측정 가능한 piezo-type 가속도계
 - 로드셀 : 300 tonf dynamic 로드셀 10개

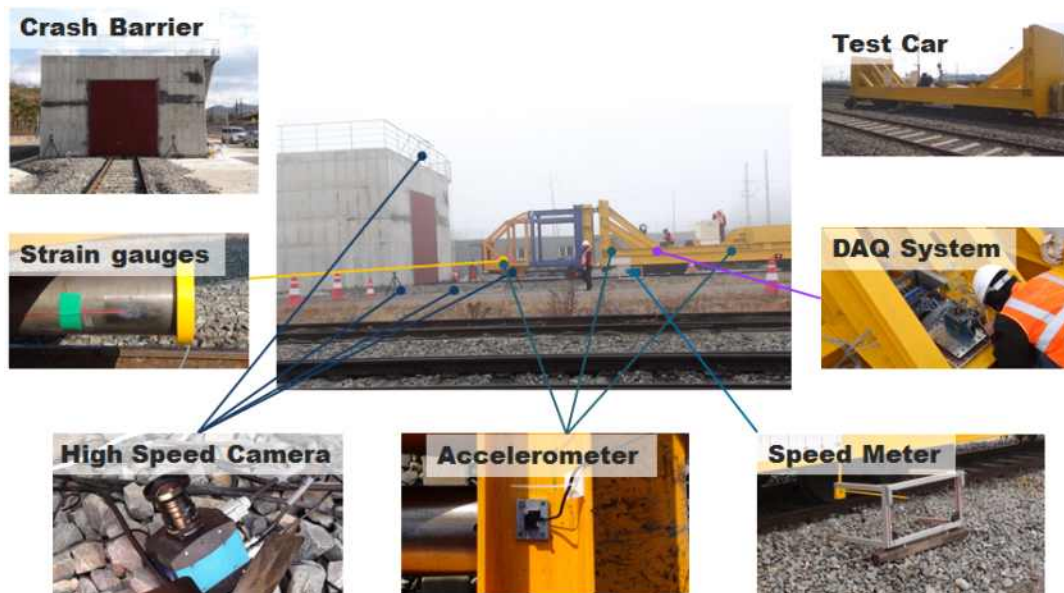


그림 5-1-2 철도차량 실물충돌시험설비

제2절 인력 및 소요예산 투입계획

연구내용별 인력투입계획은 표 5-2-1, 연구비 투입계획은 표 5-2-2와 같다. 1차년도에는 센터내 실시간 S-BRT 운영시스템 설계 및 초도품 개발 착수, 센터기반 실시간 S-BRT 신호교차로 우선신호전략 개발, 표준가이드라인 개발 방향 수립 및 초안 작성 착수, 실시간 S-BRT 우선신호 현장시스템 설계 및 초도품 개발 착수, 국내외 S-BRT 교통사고 사례조사, 공공교통 기반 도로교통수단 기술기준 검토, 안전장치 요구성능 도출, 피해 시나리오에 의한 S-BRT 안전기준 항목 분석 안전시설 설계 및 필요 성능 기준 검토, 파손 현황 분석, 포장 공법, 품질 기준 검토, 배합설계 및 실내 실험 성능 평가에 인력이 집중 투입된다.

2차년도에는 센터내 실시간 S-BRT 운영시스템 설계 및 초도품, 센터기반 실시간 S-BRT신호교차로 우선신호알고리즘개발, 실시간 S-BRTT 우선신호 현장시스템 설계 및 초도품 개발, 표준가이드라인 개발,교통사고 시나리오 후보 선정, 가상시뮬레이션 기법 개발 및 기반 구축, 교통사고 시나리오별 해석 플랫폼 구축, 안전장치 시제품 제작, 피해 시나리오에 의한 S-BRT 안전기준 분석, 실내 정적, 동적 실험 결과서, 안전시설 시뮬레이션 결과서, 고내구성 표면처리 기술 개발 및 실내 실험 평가, S-BRT 주행구간 포장 설계 기법 개발에 인력이 투입될 계획이다.

3차년도에는 시스템 통합 및 현장시험, 보완,표준가이드라인 의견수렴, 고시지원,표준시나리오 선정, S-BRT 안전 기술기준 도출, 실물충돌시험을 통한 검증 및 보완, 개발 시설 실물차량 충돌실험 결과서, 피해 시나리오에 의한 S-BRT 주행안전성 기준(안) 도출, 버스 전용차로 안전시설 기준(안), 고내구성 포장기술 품질기준 및 품질관리 기준(안) 도출, S-BRT 포장단면 설계기법 유지보수관리체계(안) 분야에 인력이 투입이 필요하다.

표 5-2-1 인력 투입 계획(단위: 명)

연구 내용	1차년도	2차년도	3차년도	소계
S-BRT차량 운영 기술 및 제어기술 개발, S-BRT 교통사고 피해저감 기술 개발	24	25	23	72
S-BRT 시스템 도로 안전성 및 내구성 확보 기술	22	29	36	87
소 계				159

직접비중 핵심기술별 소요예산은 표 5-2-3과 같다. “센터기반 S-BRT 신호운영기술 및 교통사고 피해저감 기술 개발” 분야에 약 50억원, “급행간선버스 시스템 도로 안전성 확보 기술” 분야에 약 50억원 이 소요된다. 총 3년간 각각 50억원이 소요된다 .

표 5-2-2 연구비 투입 계획

연구 내용	1차년도 ('20)	2차년도 ('21)	3차년도 ('22)	합계 (백만원)
S-BRT 차량설계 해석기술 및 신호 운영기술	<ul style="list-style-type: none"> • 실시간 BRT 운영시스템 설계 및 초도품 개발 착수 • 센터기반 실시간 BRT 신호교차로 우선신호전략 개발 • 실시간 BRT 우선신호 현장시스템 설계 및 초도품 개발 착수 • 표준가이드라인 개발 방향 수립 및 초안 작성 착수 • 적용구간/연계구간분석 및 관련 법제사항 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 센터내 실시간 BRT 운영 시스템 설계 및 초도품 • 센터기반 실시간 BRT 신호교차로 우선신호알고리즘 개발 • 실시간 BRT 우선신호 현장시스템 설계 및 초도품 개발 • 표준가이드라인 개발 • 실증시험을 위한 S-BRT차량, 정류장, 인프라 시뮬레이션 및 평가 항목 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 통합 및 현장시험, 보완 • 표준가이드라인 의견수렴, 고시지원 • S-BRT실증 시험(차량, 정류장, 안전시설, 신호운영) • S-BRT실증시험 피드백에 의한 표준 모델 기준(안) 	2,800
S-BRT 교통사고 피해저감 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • S-BRT 개념 구조 설계 및 승객 이동해석 • 국내외외 BRT 교통사고 사례조사피해 시나리오에 의한 S-BRT 안전기준 항목 분석 • 경량차량기반 도로교통수단 기술기준 및 경충돌안전장치 요구성능 도출 • S-BRT 운행방식에 따른 수요분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 교통사고 시나리오 후보 선정 및 교통사고 시나리오별 해석 플랫폼 구축 • 가상시뮬레이션 기법 개발 및 안전장치 시제품 제작 • 피해 시나리오와 내구성 평가 실물시험 및 S-BRT안전기준 분석 • 구조설계에 의한 차량개조, 동적성능 해석 및 문제점 피드백 	<ul style="list-style-type: none"> • 표준시나리오 선정 및 피해 시나리오에 의한 S-BRT충돌안전 기술기준 도출 • 실물충돌시험을 통한 검증 및 보완 • S-BRT 차량의 성능 개선(안) 및 표준화(안) 	2,200
S-BRT 시스템 도로 안전성 확보 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 교통사고 분석결과에 따른 안전시설 도출 • 안전시설 설계 및 필요 성능 기준 검토 	<ul style="list-style-type: none"> • 실내 정적, 동적 실험 결과서 • 안전시설 시뮬레이션 결과서 	<ul style="list-style-type: none"> • 개발 시설 실물차량 충돌 실험 결과서 • 버스전용차로 안전시설 기준(안) • 버스전용차로 안전시설 시제품 	2,500
	<ul style="list-style-type: none"> • 파손 현황 분석, 포장 공법, 품질 기준 검토 • 배합설계 및 실내 실험 성능 평가 	<ul style="list-style-type: none"> • 고내구성 표면처리 기술 개발 및 실내 실험 평가 • S-BRT 주행구간 포장 설계기법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 고내구성 포장기술 품질기준 및 품질관리 기준(안) 도출 • S-BRT 포장단면 설계기법 유지보수관리체계(안) 	2,500
합계	2,500	4,000	3,500	10,000

제5장

과제공모 방안

제1절 과제제안 요구서

제5장 과제공모 방안

제1절 과제제안 요구서

< 공고안내서 RFP 참조 >

참고문헌

1. 한국철도기술연구원, 대용량 BRT 자동운전 및 전기동력 시스템 실증연구 기획, 2017.10
2. 국토교통부, 간선급행버스체계(BRT) 종합계획(2018~2027)
3. 국토교통부, BRT 자동운전 및 전기동력 시스템 실증연구 기획 최종보고서, 2017
4. 건설교통부, 간선급행버스 설계지침, 2006
5. 행정중심복합도시건설청 · 한국토지주택공사, 행복도시권 광역BRT 개선종합계획 수립방안 연구
7. 최은진, 도로교통공단 교통과학연구브리프(통권 제18호), Vol.5, No.3, 2018.9.30.
8. 2015 국토교통 R&D 동향조사 : 도로교통분야, 국토교통과학기술진흥원, 2015.12
9. Road Safety Market Analysis, Market Size, Application Analysis, Regional Outlook, Competitive Strategies, And Segment Forecasts, 2015 To 2022
10. <http://www.cnews.co.kr/uhtml/read.jsp?idxno=201206151641512190060>
11. <http://www.grandviewresearch.com>
12. Institute for Transportation & Development Policy, 2003
13. http://www.goyang.go.kr/www/www03/www03_5_2/www03_5_2_tab1.jsp
14. Institute for Transportation & Development Policy, The BRT Planning Guide, 2017
15. Institute for Transportation & Development Policy, BRT Standard 2016 Edition, Institute for Transportation & Development Policy, BRT in Chennai-Towards a new paradigm in urban mobility
16. 김부일, 이문섭, 전성일, 김상규, Falling Weight Deflectometer를 이용한 섬유보강 아스팔트 및 폴리머 개질 아스팔트 포장의 비용 효과 분석, 한국도로학회 논문집, 제11권 제4호 153~160, 2009
17. 국토교통부, 교통사고 및 사망자 최소화를 위한 사고없는 안전교통(Safe Mobility) • 로드맵 수립(도로이용자 교통사고 위험도 경감 기술개발 기획 보고서), 2013
18. 국토교통부, 도로안전시설 설치 및 관리 지침(통합편), 2016
19. 국토교통부, 차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람, 2001
20. 국토교통부, BRT 자동운전 및 전기동력 시스템 실증연구 기획 최종보고서, 2017
21. 배운신 등, 서울시 중앙버스전용차로 포장방법 개선방안 연구, 한국도로학회 논문집, 제16권 제4호, 11-19, 2014
22. 서울특별시, 서울시 포장도로 조사 및 분석용역, 2013
23. 서울특별시, 서울형 아스팔트 도로포장 설계법, 2015
24. 서울특별시, 차도혁신 종합대책 추진현황 및 개선방안, 2016

25. 서울특별시, 포장도로 유지보수 기법 및 적용기준 개발 용역 보고서, 2017
26. 엄병식, 포장상태 지수간의 상관모형 개발 및 국도 포장 보수보강 공법 선정 논리 개선 연구, 2016
27. 엄병식, 유평준, 함상민, 서영찬, 유리섬유 보강 아스팔트 혼합물의 현장 적용성 평가, 한국도로학회 논문집, 제18권 제3호 67~74, 2016
28. 이경하, CRM아스팔트의 바인더특성 분석, 한국도로포장공학회 논문집 제2권 제1호 123~133, 2000
29. 이정훈, 고강성 아스팔트 혼합물을 적용한 장수명포장 연구, 2007
30. 일본 국토교통성, 제10차 교통안전기본계획(안), 2016
31. 황주환, 프리캐스트 콘크리트 포장 공법 요소기술 개발 및 초기 공용성 분석, 2011
32. Australian Capital Territory, 2007. Design Standards for Urban Infrastructure, Chapter 6 Pavement Design, Edition 1 Revision 0, Australian Capital Territory
33. Austroads Ltd(2014), High Modulus High Fatigue Resistance Asphalt (EME2) Technology Transfer, Technical Report AP-T283-14
34. EMBARQ, Busway and Traffic Safety
35. Institute for Transportation &Development Policy, 2003
36. Institute for Transportation &Development Policy, BRT Standard 2016 Edition
38. Institute for Transportation &Development Policy, BRT in Chennai-Towards a new paradigm in urban mobility, 2011
39. OECD/ITF, Road Safety Annual Report, OECD/ITF, 2015
40. Road Safety Market Analysis, Market Size, Application Analysis, Regional Outlook, Competitive Strategies, And Segment Forecasts, 2015 To 2022
41. <http://www.cnews.co.kr/uhtml/read.jsp?idxno=201206151641512190060>
42. <http://www.grandviewresearch.com>
43. http://www.goyang.go.kr/www/www03/www03_5/www03_5_2/www03_5_2_tab1.jsp
44. 강상욱 외(2016년), 『세종시 대중교통체계 개편방안 수립 연구』, 세종특별자치시·한국교통연구원
45. 건설교통부(2007), 『행정중심복합도시 광역도시계획』
46. 경기도(2006), 『경기도 대중교통종합계획수립 연구』, Vol. 5.
47. 경기평택항만공사 홈페이지(2018)
<http://www.gppc.or.kr/gppc/content/info.do?type=info&dataId=10306&cms_site_id=KOR>
(2017.6.1.)
48. 과학기술정보통신부(2017.12.7.), 「국제과학비즈니스벨트 거점지구(신동·둔곡) 개발계획 변경(4차) 고시」 관계부처 합동(2015.12.8.), “제3차 환경친화적자동차 개발 및 보급 기본계획”

49. 고준호·이신해(2015), 『서울시 간선급행버스시스템 해외 도시와 비교평가』, 서울연구원
50. 국가법령정보센터(2017a), “공공시설물 디자인 가이드라인”
<http://www.law.go.kr/admRulSc.do?menuId=1&p1=&subMenu=1&nwYn=1§ion=&tabNo=&query=#liBgcolor0> (2017.05.30.)
52. 국가법령정보센터(2017b), “환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률” <<http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=188079#0000>> (2017.11.10.)
53. 공주시(2014a), “산성동 시내버스 정류장, 현대화된 시설로 재탄생”, 보도자료<http://www.gongju.go.kr/cop/bbs/selectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR_000000000095&nttId=263029&pageIndex=1&searchCnd=0&searchWrd=시내버스>(2017.07.06.)
54. 국토교통부(2017), “전자지도.” TMS 교통량 정보제공 시스템 <<http://www.road.re.kr/elecmap/>> (2017.4.14.)
55. 국토교통부(2016), 『간선급행버스체계시설의 기술기준』
56. 국토교통부(201b), 『2016 도로업무편람』
57. 국토교통부(2010), 『간선급행버스체계(BRT) 설계지침』
58. 김도운(2008.3.3.), “철도도시 대전驛’초라한 증축’”, 충청투데이 <<http://www.cctoday.co.kr/?mod=news&act=articleView&idxno=264316>> (2017.4.19.)
59. 행복도시권 218 광역BRT 종합계획 수립방안 연구
60. 김민성(2017), “Sejong BRT Daedeok Industrial Complex Station Platform Southbound” <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Daedeok_Industrial_Complex_Station_Platform_Southbound.jpg> (2017.05.30.)
60. 김원철.(2017). “세종시~공주시 BRT 개설을 위한 정책논리 개발.” 『현안과제연구 Issue Report』. 충남연구원
61. 노왕섭(2017.3.30.), “세종시, 조치원역광장 경관개선...’만남의 장소’로 조성” ,뉴스시스<http://www.newsis.com/view/?id=NISX20170330_0014798852&cID=10818&pID=10800> (2017.5.10.)
62. 대구경북연구원(2012), “신교통수단 바이모달트램을 이용한 BRT시스템 도입으로 친환경 대중교통 중심도시 만들자”, 『대경 CEO Briefing』 제344호
63. 대전광역시(2017a), “VDS 월별통계(도로별, 차로당)” <[http://210.99.67.17/ibmcognos/cgi-bin/cognos.cgi?b_action=cognosViewer&ui.action=run&ui.object=storeID\(%27ib0448eaad5a74c748f206e356d21c0f9%27\)&CAMUsername=GUEST1&CAMPassword=GUEST1](http://210.99.67.17/ibmcognos/cgi-bin/cognos.cgi?b_action=cognosViewer&ui.action=run&ui.object=storeID(%27ib0448eaad5a74c748f206e356d21c0f9%27)&CAMUsername=GUEST1&CAMPassword=GUEST1)> (2017.4.14.)
64. 대전도시철도공사(2016), “역정보” <<http://www.djet.co.kr/kor/stationInfo.do?menuIdx=38>> (2017.4.14.)

65. 도로교통공단(2016), “2015년도 교통량 조사 자료”
 <<http://www.cjtgis.go.kr/tgis/cs/yearvmtcbbs/selectInfo.do?seq=4>> (2017.4.17.)
66. 미래창조과학부(2015.8.26.), 「국제과학비즈니스벨트 기본계획(2012~2021)」
67. 모석봉(2016.2.4.), “설 명절, 귀경길 대전역~세종시 BRT도로 이용하면 빠르다” ,
 아주경제 <<http://www.ajunews.com/view/20160204141852796>> (2017.4.19.)
68. Chen and Peng, Rollover Warning for Articulated Vehicles based on a
 Time-To-Rollover Metric, ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and
 Control, Vol.127, Sep. 2005, pp.406-414.
69. J. Yoon and K. Yi, A rollover mitigation control scheme based on rollover index,
 2006 American Control Conference.
70. D.J.M. Sampson and D. Cebon, An Investigation of Roll Control System Design for
 Articulated Heavy Vehicles, 4th Int'l Symposium on Advanced Vehicle Control, 1998.
71. H-H. Huang , R. K. Yedavalli and D. A. Guenther (2012) Active roll control for
 rollover prevention of heavy articulated vehicles with multiple-rollover-index
 minimisation, Vehicle System Dynamics, 50:3, 471-493, 2012.
72. D. Oberoi, Enhancing Roll Stability and Directional Performance of Articulated Heavy
 Vehicles based on Anti-roll Control and Design Optimization, Master Thesis,
 University of Ontario Institute of Technology, Canada, 2011.
73. L. Palkovics , A. Semsey and E. Gerum Roll-Over Prevention System for Commercial
 Vehicles - Additional Sensorless Function of the Electronic Brake System, Vehicle
 System Dynamics, 32:4-5, 285-297, 1999.
74. D.D. Eisele and H. Peng, Vehicle Dynamics Control with Rollover Prevention for
 Articulated Heavy Vehicles, 5th Int'l Symposium on Advanced Vehicle Control, 2000.
75. Nasser Lashgarian Azad , Amir Khajepour & John Mcphee (2007) Robust state
 feedback stabilization of articulated steer vehicles, Vehicle System Dynamics, 45:3,
 249-275, 2007.
76. Z. Yao, G. Wang, X. Li, J. Qu, Y. Zhang and Y. Yang, Dynamic simulation for the
 rollover stability performances of articulated vehicles, Proceedings of Institues of
 Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, Vol. 228, No. 7,
 pp.771-783, 2014.

KRRI 연구 2019-

광역교통체계 효율화를 위한 친환경 안전
Super BRT의 기획 연구

발행인 나희승

발행일 2019년 4월 20일

발행처 한국철도기술연구원

우(16105) 경기도 의왕시 철도박물관로 176

전화 : (031)460-5000 팩스 : (031)460-5159

홈페이지 : <http://www.krri.re.kr>

ISBN :

본 보고서의 내용은 無斷轉載·譯載·複寫를 금함.