

工學碩士 學位論文

도시철도(경량전철) 시스템 및 사업비 분석을
통한 건설방향

Direction Through the Construction of Urban Rail(LRT)
System and Project Cost Analysis



指導教授 慶 甲 秀

2012 年 2 月

韓國海洋大學校大學院

土木環境工學科

이 상 학

本 論文을 이상학의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

委員長 工學博士 金 度 三



委 員 工學博士 金 泰 亨



委 員 工學博士 慶 甲 秀



2012 年 2 月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

土 木 環 境 工 學 科

목 차

목차	i
표 목차	ii
그림 목차	v
ABSTRACT	vi
요약	vii
 1장. 서론	 1
1.1 연구 배경 및 목적	1
1.2 연구 내용 및 범위	3
 2장. 경량전철 시스템별 특성 및 분석	 5
2.1 경량전철 시스템 분석	5
2.2 국내·외 경량전철 건설 및 운영현황 분석	14
2.3 시스템별 차량규격 분석	18
2.4 경량전철 시스템 비교·검토	19
 3장. 건설 사업비 분석 및 타당성 검토	 27
3.1 예비타당성 지침 사업비 분석	27
3.2 부산도시철도 4호선 사업비 분석	29
3.3 건설 사업비 비교·검토	40
3.4 건설 사업비 타당성 검토	42
 4장. 경량전철 운영비 분석	 52
4.1 운영비 추정과정	52
4.2 예비타당성 지침 운영비 분석	54
4.3 부산도시철도 4호선 운영비 분석	59
4.4 운영비 분석결과	62
 5장. 결론	 63
5.1 결 론	63
5.2 향후 과제	64
 참고문헌	 65

표목차

표 1-1. 시스템 선정을 위한 평가항목	3
표 2-1. 경량전철 시스템 분류	5
표 2-2. 적용 기술별 상용 시스템	6
표 2-3. 경량전철의 특성	7
표 2-4. 고무차륜AGT 주요제원	8
표 2-5. 철제차륜AGT 주요제원	9
표 2-6. 모노레일 주요제원	10
표 2-7. LIM 주요제원	11
표 2-8. 자기부상 주요제원	12
표 2-9. 노면전철 주요제원	13
표 2-10. 국내 경량전철 운영 및 건설 현황	14
표 2-11. 국내 도시별 경량전철 계획 현황	15
표 2-12. 국내 경량전철 시스템 적용사례	15
표 2-13. AGT 운행현황	16
표 2-14. LIM 운행현황	17
표 2-15. 모노레일 운행현황	17
표 2-16. 기타시스템 운행현황	17
표 2-17. 경량전철 시스템별 차량 규격	18
표 2-18. 국내 기술수준 비교	23
표 2-19. 평면선형 적용성 비교	23
표 2-20. 건설 형식의 다양성 비교	24
표 2-21. 안전성 비교	24
표 2-22. 이용객 편의성 비교	25
표 2-23. 무인운전의 적용성 비교	25
표 2-24. 시스템 종합평가	26
표 3-1. 예비타당성 지침 단위사업비	28

표 3-2. 토목 본선 사업비	30
표 3-3. 토목 정거장 사업비	31
표 3-4. 차량기지 사업비	32
표 3-5. 건축 정거장 사업비	32
표 3-6. 건축 차량기지 사업비	33
표 3-7. 궤도 본선 사업비	33
표 3-8. 궤도 차량기지 사업비	33
표 3-9. 기계 본선 사업비	34
표 3-10. 기계 정거장 사업비	34
표 3-11. 기계 차량기지 사업비	34
표 3-12. 전기 본선 사업비	35
표 3-13. 전기 정거장 사업비	35
표 3-14. 전기 차량기지 사업비	35
표 3-15. 신호 본선 사업비	36
표 3-16. 신호 차량기지 사업비	36
표 3-17. 통신 본선 사업비	36
표 3-18. 통신 차량기지 사업비	37
표 3-19. AFC 정거장 사업비	37
표 3-20. 검수 차량기지 사업비	37
표 3-21. 종합사령실 사업비	38
표 3-22. 차량구입비	38
표 3-23. 부산도시철도 4호선 단위사업비	39
표 3-24. 건설 단위사업비 비교	40
표 3-25. 총 건설 사업비 비교	41
표 3-26. 용호선 전체고가 사업비 분석	43
표 3-27. 용호선 전체 개착지하 사업비 분석	44
표 3-28. 용호선 전체 지하터널 사업비 분석	45
표 3-29. 용호선 고가+개착지하 사업비 분석	46

표 3-30. 용호선 고가+터널 사업비 분석	47
표 3-31. 용호선 개착지하+터널 사업비 분석	48
표 3-32. CASE별 용호선 사업비 분석 결과	49
표 3-33. 지하 본선개착 단면 비교	50
표 3-34. 지하 본선터널 단면 비교	50
표 3-35. 고가 단면 비교	51
표 4-1. 정거장별 인원 산정 결과	54
표 4-2. 종합사령 인원 산정 결과	54
표 4-3. 승무인원 산정 결과	55
표 4-4. 기술 유지보수인원 산정 결과	55
표 4-5. 차량 유지보수인원 산정 결과	55
표 4-6. 운영인원 세부 집계표	56
표 4-7. 연간 인건비 산정 결과	57
표 4-8. 전력소모량	58
표 4-9. 단위 전력비	58
표 4-10. 전체 동력비 산정 결과	58
표 4-11. 유지관리비 산정 결과	58
표 4-12. 연간 운영비 산정 결과	59
표 4-13. 부서별 업무분장	60
표 4-14. 인건비 분석	60
표 4-15. 연간 인건비 산정 결과	60
표 4-16. 연간 동력비 산정 결과	61
표 4-17. 유지관리비 산정 결과	61
표 4-18. 연간 운영비 산정 결과	62
표 4-19. 연간 운영비 산정 결과 비교표	62

그림목차

그림 1-1. 이용자 밀도와 수송거리를 고려한 교통수단 선정	2
그림 2-1. 고무차륜 조향장치	8
그림 2-2. 고무차륜 구조	8
그림 2-3. 철제차륜 대차구조	9
그림 2-4. 철제차륜 차륜구조	9
그림 2-5. 모노레일 대차구조	10
그림 2-6. 모노레일 안내륜구조	10
그림 2-7. LIM 차량하부	11
그림 2-8. LIM 리액션플레이트	11
그림 2-9. 자기부상 대차구조	12
그림 2-10. 선형유도 전동기	12
그림 2-11. 노면전철의 주행로 설치방식	13
그림 2-12. 국내 경량전철 시스템 선정비율	15
그림 2-13. 곡률반경에 따른 사유지 침범 유무	21
그림 2-14. 국내 기술수준 평가	23
그림 2-15. 평면선형 적용성 평가	24
그림 2-16. 건설 형식의 다양성 평가	24
그림 2-17. 안전성 평가	24
그림 2-18. 이용객 편의성 평가	25
그림 2-19. 무인운전 적용성 평가	25
그림 3-1. 부산도시철도 4호선 노선현황도	29
그림 3-2. 용호선 노선도	42
그림 4-1. 운영비 추정 흐름도	52
그림 4-2. 운영 조직도	53
그림 4-3. 부산도시철도 4호선 운영 조직도	59

Direction Through the Construction of Urban Rail(LRT) System and Project Cost Analysis

by

Lee, Sang-Hag

Department of Civil & Environment Engineering
Graduate School Korea Maritime University

ABSTRACT

In the circumstances of Enlargement of cities, we are now faced to an era of new concept of LRT(Light Rapid Transit) system to resolve traffic saturation in the city. LRT could accommodate traffic demands going along not just inner city but the local distribution axis.

This system makes train possible to pass the sharp curves and steep slopes. To decide types of LRT, we have to figure out what kind of system is most acceptable to our local circumstances comparing with commercialized ones in the world. As a result of this studies, I have found that 'rubber tire and rail system AGT(Automated Guideway Transit) is the most competitive LRT system in Korea which is developed by Korean technology and acceptable to our topography. So considering all aspects, this could be the most available system.

In this report, I quoted 'The guidelines of preliminary feasibility by Ministry of strategy and finance' and suggested economical and reasonable construction of LRT with analysis of costs of 'Busan metro 4 line'.

The costs of civil works are considered as the main aspect causing a variety of total cost and for this reason, it is desired for us to build viaduct tracks causing cutting costs up to 67% in accordance with the initial purpose of accepting LRT.

도시철도(경량전철) 시스템 및 사업비 분석을 통한 건설방향

이 상 학

한국해양대학교 대학원
토목환경공학과

요 약

지속적인 도시발달로 인해 도로교통망의 포화와 도심지내의 지하철 운영을 뛰어 넘어, 이젠 도심지의 보조 간선축을 따라 이동하는 교통인구를 수용할 수 있는 신개념 경량전철의 시대를 맞이하게 되었다. 경량전철은 도심지 선형인 급곡선, 급구배를 가능하게 하는 시스템으로써, 시스템 선정시 전 세계의 실용화된 시스템을 비교·분석하여 현지 여건에 가장 부합되는 시스템을 선정하여야 한다.

국내에서 계획중인 경량전철 조사 및 본 연구에서 자체 작성한 시스템 평가 결과 고무차륜과 철제차륜 AGT가 가장 경쟁력 있는 시스템으로 선정되었다. 이는 국내의 지형에 맞고 국내 기술력이 확보된 시스템으로써 여러 가지 건설 여건을 고려시 가장 활용성이 높은 시스템이다.

또한, 합리적이고 경제적인 경량전철 건설 사업을 위해 「예비타당성 지침」과 최근에 개통한 「부산지하철 4호선」과의 사업비 비교·분석을 통하여 향후 경량전철 건설 사업을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

사업비 분석 결과 토목공사비가 전체사업비의 증감 요인으로 분석되었으며, 향후 경량전철의 목적에 부합되고 경제적인 도시철도 건설을 위해서는 지하공사비의 약 67% 정도로 건설 가능한 고가형식건설이 바람직할 것이다.

1장. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

2.2 연구 내용 및 범위



1장 서론

1.1 연구 배경 및 목적

사회의 발달에 따라 인간의 이동거리, 이동속도는 증가 추세에 있으며, 한정된 공간 내에서 좀더 효율적인 교통수단의 요구에 따라 교통수단도 함께 발달하였고 인구의 도시 집중화 및 생활수준의 향상에 따라 자동차 대수의 증가와 함께 도로 혼잡으로 인해 노면교통의 주행속도는 점점 낮아지고 있으며, 특히 도심지 도로는 한정된 반면 날로 늘어나는 교통인구로 심각한 교통문제를 야기하고 있다.

도시 대중교통 수단인 버스 및 지하철은 교통수단별로 고유한 특성이 있으며 도시 대중교통 체계상에서 상호보완적인 관계를 유지하고 있다. 버스의 경우 회전반경, 등판능력 등의 차량 운행능력은 우수하지만, 수송용량과 정시성 확보 측면에서 지하철에 비해 열세에 있으며, 지하철의 경우 수송용량과 정시성 확보면에서는 버스에 비해 상당한 우위를 점하고 있으나 천문학적인 사업비로 인해 건설에 상당한 애로가 발생하고 있다.

버스와 지하철과는 달리 경량전철은 현대의 도심에서 노면교통시설로의 한계를 극복하기 위한 신교통 시스템으로 수송능력과 수송거리 측면에서 기존의 대중교통수송과는 큰 차이가 있다. 중장거리 교통수단인 지하철과 수송거리에 큰 영향을 받는 버스와는 차별화되며, 수송거리 상으로 중거리 이하, 이용자 밀도 상으로 버스보다 높은 이용자 수요 환경에 적합하기 때문에 기존 교통수단에 의해 배제되었던 고밀도, 중/단거리 노선에 적합한 수송 인프라라고 특징지을 수 있다.

국가마다 경량전철 시스템의 개념을 조금씩 다르게 정의하고 있으나, 국내의 경우 지하철보다 작은 시스템이면서 선진화된 운송수단을 경량전철이라고 부르고 있으며, 기존 노면교통에 비하여 정시성 및 안정성이 우수하며, 친환경적 특성을 가지고 있다. 경량전철의 특징은 차량규모나 수송용량이 기존의 지하철보다는 작으나 버스보다는 큰 새로운 개념의 도시철도로서, 버스과 지하철의 중간규모 교통수요처리에 효과적인 교통수단이다. 수송용량이 지하철과 버스의 중간규모이면서도 시스템에 따라 교통수요 처리능력이 다양하여 기존 지하철의 지선, 중소도시의 간선, 대도시 및 위성도시를 연결하는 교통수요 처리에 적합하다.

또한, 기존 도로변이나 도로위에 지상이나 고가로 건설할 수 있고 차량회전반경, 등판능력, 가·감속 및 차량운행간격 등에서 성능이 뛰어나며, 접근성 향상, 소음 및 대기오염 감소, 무인운전 등도 가능하여 건설·운영 및 수송효율, 환경보존

측면에서 효율적이며, 기존 지하철에 비해 건설비 또한 저렴하여 도심 활성화를 극대화 할 수 있는 교통수단이다.



그림 1-1 이용자 밀도와 수송거리를 고려한 교통수단 선정

이상과 같은 장점으로 인해 현재 각 지자체별로 경량전철 사업이 활발히 추진되고 있는 실정이다. 그러나 초기 기본계획단계에서 예측한 경량전철 사업비와 실제 건설시의 사업비를 비교하면 물가상승분을 제외하고도 많게는 200% 이상 증가는 경우가 발생한다.

이는 현행 국내법상 도시철도 건설사업은 각 지자체에서 기초타당성 조사를 시행한 후 기획재정부에 예비타당성조사를 신청하고, 사업 타당성이 인정되면 기획재정부에서 예산배정(60%지원)이 되어 본타당성조사(기본계획)를 시행하게 된다. 이때 본타당성조사에서 예비타당성조사 총사업비의 20%를 초과할 경우에는 다시 예비타당성 재검증의 대상이 되므로 지자체에서는 본타당성조사에서의 사업비를 낮추어서 신청하는 것이 현실이다. 이로 인하여 예비타당성 조사시의 사업비가 실제 사업비에 미치지 못하는 경우가 빈번하게 발생한다.

이러한 원인으로는 지반조건의 불확실성, 보상비 증가 및 사업비 산정의 기초자료인 「예비타당성 지침」 표준사업비의 현실과의 괴리로 추측된다. 이러한 영향 요인 가운데 본 연구에서는 향후 경전철 건설의 효율성 제고를 목적으로 예비타당성 지침의 표준사업비와 실제 완공한 사업을 대상으로 사업비 비교·분석을 통해 향후 추진하는 사업에서의 보다 경제적이고 효율적인 건설방향의 제시를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

1.2 연구내용 및 범위

경량전철의 시스템을 분석하기 위해서 원조격인 전기철도의 역사를 먼저 살펴보면, 전기철도의 효시는 1879년 5월 독일의 지멘스 할지스(SIEMENS HALSICE) 회사가 세계산업박람회에 출품한 전기기관차라 할수 있으며, 그 후 1881년 전기철도를 최초로 상용화한 것이다. 국내에서는 1899년 노량진~청량리간 개통한 노면전철이 최초로 운영되었으나 1968년 11월 육상교통의 혼잡으로 철거되었다.

그 후 외국의 경우 산업의 발달로 현재 경량전철은 약 50개 국가에서 대략 350여개의 노선이 운행되고 있으며, 국내의 경우에도 부산도시철도 4호선, 부산~김해 경전철 등 2개의 노선이 현재 운영 중에 있다.

경량전철의 시스템은 고무차륜AGT, 철제차륜AGT, 모노레일, LIM(Linear Induction Motor), 자기부상, 노면전철 등으로 구분이 되며, 시스템의 선정시 계획노선의 특성, 지리적 환경, 지역적 특성 등 매우 광범위하고 다양한 조건으로 인해 시스템별 직접 비교·검토는 어려우나 표 1-1에 나타난 것과 같이 기본적인 6가지 항목을 선정하여 가장 효율적인 시스템을 선정할수 있도록 한다.

표 1-1 시스템선정을 위한 평가항목

평가 항목	1945 선정 사유
국내 기술수준 측면	• 국내기술수준, 국산화 개발 가능성 평가
평면선형 적용성 측면	• 도심지공사 특성에 따른 최소 평면선형 평가
건설 형식의 다양성 측면	• 고가, 지상, 지하의 적용성 평가
안전성 측면	• 비상시 승객의 안전성 평가
이용승객 편의성 측면	• 이용승객의 편의성 평가
무인운전 적용성 측면	• 운영비를 고려한 평가

위의 평가 항목은 일반적인 조건에서의 평가이므로, 실제 시스템 선정시에는 분야별 가중치를 주어 좀더 세밀한 검토를 실시하는 것이 필요하다.

최적의 경량전철 선정 후 사업비는 건설비와 운영비로 이루어지며, 건설비는

다시 본선, 정거장, 환기구, 정거장, 궤도, 건축, 시스템, 차량기지, 종합사령실 및 차량으로 이루어진다. 이것에 기초하여 예비타당성조사 지침에서 각 구성항목별의 표준공사비를 제시하고 있다. 그러나 이들 공사비는 특정 지역 및 조건에 따른 공사비가 아닌 일반적 조건에서의 공사비 이므로 특정 사업과는 차이가 발생할 수 밖에 없다. 이는 아직 국내에서의 시공 실적이 충분치 않아 자료 축적이 불충분한 것이 하나의 원인으로 생각된다.

그러므로 향후 표준공사비 개정을 위해서는 경량전철 시스템별 사업비 분석에 기초한 조정이 필요할 것으로 생각된다. 그러므로 본 연구에서는 보다 현실적이고 합리적인 사업비 비교를 통한 표준공사비 분석 등을 위하여 현재 공사완료 후 운영중인 「부산도시철도 4호선」의 사업비와 「예비타당성 지침」의 사업비를 비교·검토하고 공사비 중 주요 공종 선정·분석을 실시하여 향후 경제적인 도시철도건설을 위한 방향제시에 기초자료로 활용하는 것을 목적으로 한다.



2장. 경량전철 시스템별 특성 및 분석

2.1 경량전철 시스템 분석

2.2 국내·외 경량전철 건설 및 운영현황 분석

2.3 시스템별 차량규격 분석

2.4 경량전철 시스템 비교·검토



2장 경량전철 시스템별 특성 및 분석

2.1 경량전철 시스템 분석

2.1.1 경량전철의 개요

경량전철(Light Rail Transit : LRT)의 정의는 국가마다 약간씩 다르나 차량의 설계축중 하중이 13.5톤 이하로 경량이고, 시간당 방향당 최대 수송용량 pphpd(passengers per hour per direction)이 약 5,000~30,000으로 일정한 궤도를 따라 주행하는 교통수단을 의미한다.

경량전철은 운행공간에 따라 고가, 지상, 지하로 분류될 수 있고, 타 교통기관과의 분리 정도에 따라 전용타입, 부분공용타입, 공용타입으로 분류되기도 하며, 궤도방식에 따라 유궤도방식, 무궤도방식, 특수궤도방식으로 분류되기도 한다.

또한 적용 기술별로 지지방식, 유도방식, 구동방식, 제어방식에 따라 보다 구체적으로 분류하고 있다.

표 2-1에 경량전철 시스템 분류 및 표 2-2에 적용 기술별 상용 시스템을 나타내었다.

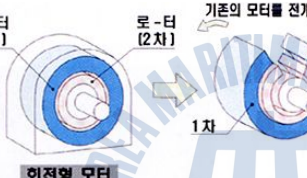
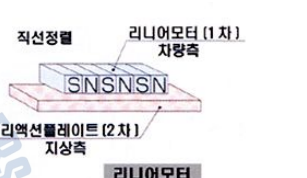
표 2-1 경량전철 시스템 분류

적용기술		분류기준	적용 시스템
지지방식 (Support)	Rail system	차량의 바퀴와 운행하는 선로의 표면과 접촉하는 방식	철제차륜AGT ⁽¹⁾ , 노면전철
	Rubber-tired		고무차륜AGT, 모노레일
	자기부상		초전도 및 상전도식 자기부상열차
유도방식 (Guidance)	Rail system	차량이 안전하게 운행될 수 있도록 인도하는 방식	철제차륜AGT, 노면전철
	모노레일		모노레일
	Rubber-tired guide wall		고무차륜AGT
	Magnetic guide		자기부상열차
구동방식 (Propulsion)	Electric Motor	차량을 움직이기 위한 구동기관과 견인력을 전달하는 방식	철제·고무차륜AGT, 노면전철 등
	Linear Induction Motor		LIM ⁽²⁾ , 자기부상열차
제어방식 (Control)	Driver Controlled	차량의 운행을 제어 또는 통제하는 방식	노면전철, 모노레일
	Non Drive Controlled		철제차륜AGT 고무차륜AGT

주 : 1) AGT : Automated Guideway Transit

주 : 2) LIM : Linear Induction Motor System

표 2-2 적용 기술별 상용 시스템

구분	적용기술					
지지 방식	Rail system		Rubber-tired		자기부상	
						
유도 방식	Rubber-tired guide wall		Rail system		모노레일	
						
구동 방식	Electric Motor			Linear Induction Motor		
	 회전형 모터			 리니어모터		
제어 방식	Non-Driver Controlled			Driver Controlled		
						
상용 시스템	고무차륜AGT	철제차륜AGT	모노레일	LIM	자기부상	노면전철
						
적용 기술	Rubber-Tired Guide-Wall	Rail-system	Rubber-Tired Monorail	Rail-system	Maglev-system	Rail-system
	Electric Motor	Rail-system	Electric Motor	Linear Induction Motor	Mgnetic guide	Electric Motor
적용 사례	Non-Driver Controlled	Non-Driver Controlled	Driver Controlled	Non-Driver Controlled	Non-Driver Controlled	Driver Controlled
	• 프랑스 릴 VAL208 • 일본 동경 유리카모메 • 타이페이 VAL256	• 영국 런던 도크랜드 • 덴마크 코펜하겐 • 독일 켈른	• 일본 동경 • 말레이시아 KL • 호주 시드니 • 미국 시애틀	• 미국 디트로이트 • 캐나다 밴쿠버 • 말레이시아 쿠알라룸푸르	• 독일 뮌헨 • 중국 상하이	• 프랑스 리옹 • 미국 포트랜드 • 오스트리아 비엔나

2.1.2 경량전철 시스템별 특성

경량전철은 새로운 교통수요에 대한 처리를 목적으로 이미 해외에서는 주요 대도시권역에서 도입되어 건설, 운영 중인 신교통시스템으로서 기존의 대중교통 시스템과는 차별화된 특징을 가지고 있으며, 국내에서도 현재 운영, 건설 및 계획중으로 그 활용성이 입증된 상태이다.

경량전철의 대표적 특성으로는 표 2-3과 같다.

표 2-3 경량전철의 특성

구 분	내 용	비고
운행 시격	• 현대인의 생활패턴 및 취향에 맞는 배차가능	
수송 수요	• 버스와 지하철의 중간용량인 5,000~30,000pphpd ⁽¹⁾ 의 수송용량으로 중소도시 지역간 연결에 대한 수요에 적합	
무인 운전	• 무인 자동운전시스템을 통한 열차 운영의 직접제어로 승객 수송수요 변화에 신속한 대처 가능	일부 시스템 제외
동력 전달 방식	• 일반 지하철의 원형모터 방식에 비해 해당지역의 지형 및 노선 여건에 따라 원형모터, 선형모터, 자기부상식 등 다양한 운영 가능	
건설/운영비	• 도시지형 특성을 감안한 급구배, 급곡선 주행능력이 우수하며, 정거장 및 차량기지의 소규모화로 인해 건설/운영비의 절감 가능	
시스템 성능	• 급곡선, 급구배, 가감속 능력, 쾌적성 등이 우수하여 현재의 대중교통시스템과는 차별화된 시스템 성능을 보유	
환경적 영향	• 디젤, 가솔린 엔진으로 운행하는 자동차와는 달리 전기를 이용한 운행으로 대기오염 감소 가능	

주 : 1) pphpd(passengers per hour per direction) : 방향별 시간당 이용객

경량전철의 시스템 특성에 따른 종류는 고무차륜AGT(Automated Guideway Transit), 철제차륜AGT, 모노레일, LIM(Linear Induction Motor), 자기부상, 노면전철 등이 있다.

1) 고무차륜AGT

일반 자동차와 유사한 고무타이어를 부착한 경량차량이 전용주행로의 안내궤도(가이드웨이)를 따라 주행하는 시스템으로 고무바퀴 사용으로 철제차륜AGT에 비해 승차감 및 소음·진동에 유리하며, 국내 고무차륜AGT의 예로서 부산도시철도 4호선에 적용하여 운영 중이다.

고무타이어 및 스티어링 구조를 사용하며 마찰계수가 크기 때문에 가감속 능력이 우수하고 알루미늄의 안전바퀴가 내장되어 있어 펑크나 돌발 상황에서도 안전하게 주행할 수 있으며, 고무차륜AGT의 조향장치 및 고무차륜의 구조는 그림 2-1 및 그림 2-2와 같으며, 주요제원은 표 2-4에 나타내었다.



그림 2-1 조향장치



그림 2-2 고무차륜 구조

표 2-4 고무차륜AGT 주요제원

구 분	K-AGT	CX-100	VAL 208	Crystal Mover
외 형				
차량제원(m)/량 (W×H×L)	2.40×3.50×9.14	2.85×3.38×12.75	2.08×3.68×13.07	2.69×3.62×11.84
최고속도(km/h)	70	56	80	80
승객정원(명)	114	77	130	70
최소 편성수	2량 1편성	1량 1편성	2량 1편성	1량 1편성
공차하중(ton)	12.0	14.8	15.6	15.5
최소곡선반경(m)	40	22.9	40	30
최급기울기(%)	58	80	100	60
가속도(km/h/s)	1.0	1.0	1.3	1.0
운전방식	무인운전	무인운전	무인운전	무인운전
제 작 사	우진산전 (한국철도기술연구원)	BOMBARDIER	STEMENS	미쓰비시
국내도입	부산도시철도4호선 신립선, 동북선	-	의정부선 (건설중)	인천국제공항 (스타라인)

2) 철제차륜AGT

철제차륜과 강재레일을 이용하여 차량을 지지하고 안내하는 방식으로 독일, 영국 등지에서 기존의 중량전철을 보완하여 경량화 함으로써 효율적인 도심교통수단으로 발전시킨 시스템이며, 국내 철제차륜AGT의 예로서 부산~김해경전철에 적용하여 운영 중이다.

일반철도와 동일한 시스템이나 차량 크기가 작고 무인운전으로 운영되는 시스템으로 차륜과 레일간의 소음저감을 위해 고무패드층이 내장된 철제탄성차륜을 적용하고 차량간 연결부 하단에는 관절대차를 설치하여 주행성을 향상시켰으며, 철제차륜AGT의 대차구조 및 차륜의 구조는 그림 2-3 및 그림 2-4와 같으며, 주요제원은 표 2-5에 나타내었다.



그림 2-3 대차구조



그림 2-4 차륜구조

표 2-5 철제차륜AGT 주요제원

구 분	ROTEM 고유모델	B90	Ansaldo-Breda
외 형			
차량제원(m) (W×H×L)	2.65×3.4×13.5	2.65×3.40×14.0	2.65×3.60×13.0
최고속도(km/h)	80	80	80
승객정원(명)	184	175	200
편 성 수	2량 1편성	2량 1편성	3량 1편성
공차하중(ton)	23.3	18.3	16.8
최소곡선반경(m)	50	38	50
최급기울기(‰)	60	43	60
가감속도(m/s/s)	1.1	1.1	1.0
운전방식	무인운전	무인운전 (안전요원 탑승)	무인운전 (안전요원 탑승)
제 작 사	ROTEM	Bombardier	AnsaldoBreda
국내도입	부산~김해 경전철	-	-

3) 모노레일

1개의 독립된 콘크리트 궤도 또는 철제빔 형태의 궤도를 따라 고무타이어 차량이 주행하는 시스템으로 차량이 궤도위로 안내되어 주행하는 과좌식(Straddle Type)과 궤도하부에 달려 주행하는 현수식(Suspended Type) 방식이 있다.

고가구조를 원칙으로 하고 있으며 용지 점유면적 및 구조물 폭원이 작아 공사비가 저렴하고 도시내 한정된 공간에 효율적으로 설치할 수 있으며, 모노레일의 대차구조 및 안내륜 구조는 그림 2-5 및 그림 2-6와 같으며, 주요제원은 표 2-6에 나타내었다.

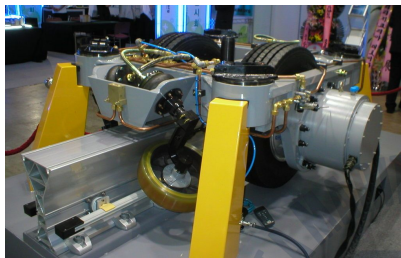


그림 2-5 대차구조

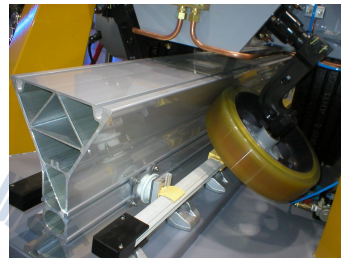


그림 2-6 안내륜구조

표 2-6 모노레일 주요제원

구 분	과좌식 모노레일		현수식 모노레일	
	KL Monorail	Hitachi 대형	뮌헨 모노레일	Sky Train
외 형				
차량제원(m) (W×H×L)	3.0×4.3×10.6	2.98×3.49×15.1	2.2×2.7×12.0	2.24×2.62×9.2
최고속도(km/h)	90	65	56	50
승객정원(명)	131	148명	356	80
편 성 수	2량 1편성	4량 1편성	2량 1편성	2량 1편성
공차하중(ton)	11.3	26.5	11.1	8.45
최소곡선반경(m)	70	70	75	45
최급기울기(%)	60	60	40	100
가감속도(m/s/s)	1.0	1.0	1.0	1.0
운전방식	1인 운전	1인 운전	1인 운전	무인운전
제 작 사	MTrans	Hitachi	Siemens & Halske	Siemens
국내도입	-	대구도시철도3호선	-	-

4) LIM(Linear Induction Motor)

기존의 원형회전모터 대신 선형유도모터를 적용하여 차량과 가이드웨이(Guideway)간의 전자력으로 추진하는 시스템으로 자기부상열차와 추진방식이 동일한 개념이나 자기부상열차는 차체를 띄운 상태에서 운행하지만 LIM은 차체를 띄우지 않고 운행하며, 차륜 형태는 일반 철제차륜과 동일하나 구동대차가 없고 차륜은 단지 상부의 하중을 레일에 전달하는 역할만 하므로, 철제차륜에 의한 지지와 선형유도모터에 의한 추진방식의 이점을 동시에 가진다.

LIM의 차량하부 구조 및 리액션플레이트는 그림 2-7 및 그림 2-8과 같으며, 주요제원은 표 2-7에 나타내었다.

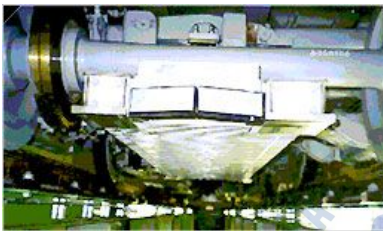


그림 2-7 LIM 차량하부



그림 2-8 리액션플레이트

표 2-7 LIM 주요제원

구 분	ART MK-II	194ART MK-I	오에도 12호선
외 형			
차량제원(m) (W×H×L)	2.65×3.44×16.85	2.50×3.13×12.70	2.50×3.15×132.0
최고속도(km/h)	90	100	80
승객정원(명)	223	141	780
편 성 수	1량 단독, 2량 1편성	2량 1편성	8량 1편성
공차하중(ton)	22.0	14.4	-
최소곡선반경(m)	70	-	100
최급기울기(‰)	54	63	55
가감속도(m/s/s)	1.0	1.2	-
운전방식	무인운전	무인운전	1인 운전
제 작 사	Bombardier	Bombardier	미쯔비시외
국내도입	용인선	-	-

5) 자기부상

차체가 전자석에 의해 부상하고, 선형유도모터에 의해 추진하는 시스템으로 차량 바퀴가 없으므로 접촉지지에 의한 소음이 없고 공기저항 외에는 주행저항이 없기 때문에 고속주행이 가능하다.

차량이 궤도를 감싸고 주행하므로 일반 철제차륜 시스템과는 달리 탈선의 우려가 적어 안전한 주행이 보장되는 이점이 있고, 자기부상 열차의 대차구조 및 선형유도전동기는 그림 2-9 및 그림 2-10과 같으며, 주요제원은 표 2-8에 나타내었다.

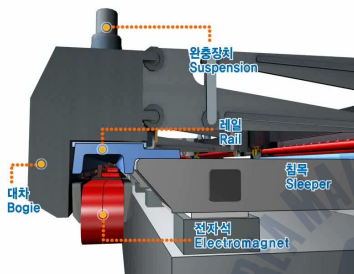


그림 2-9 대차구조



그림 2-10 선형유도전동기

표 2-8 자기부상 주요제원

구 분	UTM-01	UTM-02	LINIMO
외 형			
차량제원(m) (W×H×L)	2.85×3.50×13.5	2.85×3.50×13.5	2.6×3.45×14.0
최고속도(km/h)	110	110	110
승객정원(명)	60~120	270	287
편 성 수	2량 1편성	2량 1편성	3량 1편성
공차하중(ton)	22.0~28.0	22.0	17.5
최소곡선반경(m)	60	60	-
최급기울기(‰)	60	80	70
가감속도(m/s/s)	-	3.6	1.1
운전방식	무인운전	무인운전	무인운전
제 작 사	한국기계연구원	ROTEM	HSST
국내도입	대덕연구단지(시험선)	대전 과학관(시험선)	-

6) 노면전철(Tram)

일반적으로 도로상에 레일을 부설하여 자동차와 철도차량이 동시에 주행하는 시스템으로 노면에 정거장을 설치하여 수평 이동동선을 확보함으로써 접근성이 우수하며, 전력공급은 주로 가공 전차선으로 급전을 받아 운행하므로 배연 및 소음·진동이 없는 친환경적인 시스템이다.

노면전철은 도로에 부설되는 특성상 도로망에 지배를 받으므로, 기존 도로를 활용할 수 있는 도입공간 확보가 필요하며, 자동차와 비슷한 가감속 능력, 급구배, 급곡선 주행능력을 갖추어야 하며, 노면전철의 주행로 설치방식은 그림 2-11과 같으며, 주요제원은 표 2-9에 나타내었다.

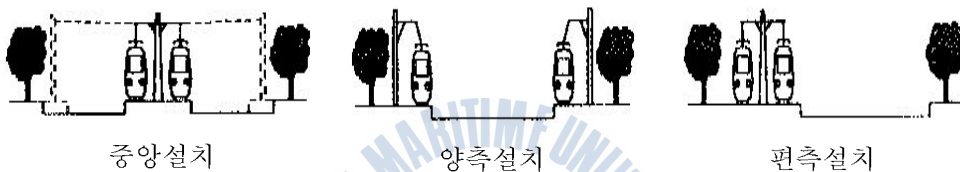


그림 2-11 노면전철의 주행로 설치방식

표 2-9 노면전철 주요제원

구 분	EuroTram	Translohr	Sirio
외 형			
차량제원(m) (W×H×L)	2.40x3.10x33.10	2.20x2.89x8.00	2.40x3.40x5.03
최고속도(km/h)	60	70	70
승객정원(명)	290	158	285
편 성 수	4량 1편성	4량 1편성	5량 1편성
최소곡선반경(m)	25	12	25
최급기울기(‰)	6	70	6
차륜형식	철제차륜	고무타이어	철제차륜
운전방식	1인운전	1인운전	1인운전
제 작 사	Adtranz	Translohr	Sirio
국내도입	-	-	-

2.2 국내·외 경량전철 건설 및 운영현황 분석

2.2.1 국내 경량전철 건설 및 운영현황

전 세계적으로 도시철도의 기본적인 방향은 기존의 지하철에서 다양하고 새로운 신교통수단으로 발전을 해 나가고 있고, 향후에도 지속적인 발전이 기대된다.

한편 국내에서도 국가연구기관을 주축으로 신교통과 관련된 조사 및 연구를 1990년대 초반부터 추진하여 현재는 일정수준의 기술적, 산업적 인프라가 구축되어 있는 단계에 이르렀다.

현재 서울 및 지방에서 대중교통수단으로 경량전철시스템을 도입하여 건설 중이거나 운영 중이며, 각 도시발전과 더불어 경량전철의 수요가 급증하여 구상단계까지 포함하면 약 80여개 노선이 계획되고 있다.

시장수요의 급증에 따라 전 세계의 수많은 경전철시스템 기업이 국내시장 진출을 모색하고 있어 다양한 시스템에 대한 선정의 자유도 면에서는 선택의 폭이 넓어지고 다변화되는 추세가 이루어지고 있다.

그러나, 국내실정을 보았을 때 국산화한 시스템이 있음에도 불구하고 기술적, 산업적 인프라 건설 및 운영경험 부족 등으로 인해 경쟁력이 떨어지는 것으로 파악된다. 따라서 경량전철 사업에 대한 국가 경쟁력을 높이기 위해 보다 적극적인 정책적 육성이 필요할 것이며, 국내 경량전철 운영 및 건설현황은 표 2-10과 같으며, 국내 도시별 경량전철 계획 현황, 적용사례 및 선정비율을 표 2-11, 표 2-12, 그림 2-12에 각각 나타내었다.

표 2-10 국내 경량전철 운영 및 건설 현황

구 분	부산4호선	김해경전철	인천공항	대구3호선	용인경전철
차량형식	고무차륜	철제차륜	자기부상	모노레일	LIM방식
차량형상					
차량제작사	우진산전	현대로템	현대로템	Hotachi (우진산전)	봄바디어
차량 제원 (W×H×L)	2.4×3.5×57.84	2.65×3.4×27.0	2.7×3.45×24.0	3.0×3.9×46.5	3.2×3.94×17.6
차량 편성	6량 1편성	2량 1편성	2량 1편성	3량 1편성	1량 1편성
최대정원	504명	304명	186명	349명	226명
최고 속도	70km/h	80km/h	110km/h	80km/h	80km/h
최소곡선반경	40m	50m	50m	80m	100m
전원 전압	DC 750V	DC 750V	DC 1500V	DC 1500V	DC 750V
유도 방식	측방유도	철제레일	자기부상	철제레일	모노레일
진행현황	운영중	운영중	건설중	건설중	건설완료

표 2-11 국내 도시별 경량전철 계획 현황

No.	광역권 계획 노선수		지방권 계획 노선수	
	자자체	계획 노선수	지자체	계획 노선수
1	서울특별시	14	경기도	19
2	부산광역시	11	경상남도	9
3	인천광역시	5	경상북도	3
4	대전광역시	4	전라남도	2
5	광주광역시	2	제주도	1
6	대구광역시	3	충청남도	3
7	울산광역시	1	강원도	1

표 2-12 국내 경량전철 시스템 적용사례

구분	건설방식	시스템	차량제작사	비고
부산초읍선	민자제안	고무차륜	독일, 지멘스	1998년
김해	민자	철제차륜	국내사, 현대로템	2001년
용인	민자	LIM	캐나다 봄바디아	2002년
의정부	민자	고무차륜	독일, 지멘스	2002년
서울 우이~신설	민자	철제차륜	국내사, 현대로템	2002년
광명	민자	고무차륜	일본, 미쓰비시	2003년
인천국제공항 내부셔틀(IAT)	재정	고무차륜	일본, 미쓰비시	2004년
서울 면목선	민자제안	철제차륜	국내사, 현대로템	2005년
수원	민자제안	고무차륜	독일, 지멘스	2005년
서울 목동선	민자제안	고무차륜	일본, 미쓰비시	2005년
부산 4호선	재정	고무차륜	국내사, 우진산전	2005년
서울 신림선	민자제안	고무차륜	국내사, 우진산전	2006년
천안선	민자제안	고무차륜	국내사, 우진산전	2006년
서울 서부선	민자제안	고무차륜	국내사, 우진산전	2007년
서울 동북선	민자제안	고무차륜	국내사, 우진산전	2007년
고양	민자제안	모노레일	일본, 히다치	2007년
대구 3호선	재정	모노레일	일본, 히다치(우진산전)	2007년
인천 2호선	재정	철제차륜	국내사, 현대로템	2007년
인천 시범노선	연구개발	자기부상열차	국내사, 현대로템	2007년

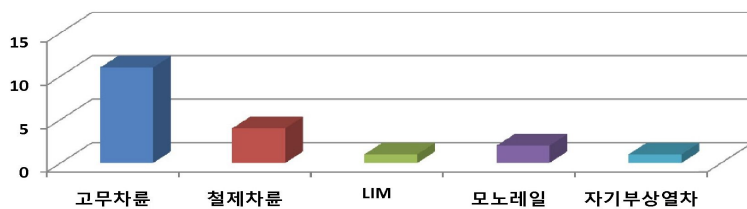


그림 2-12 국내 경량전철 시스템 선정비율

2.2.2 해외 경량전철 건설 및 운영현황

해외 경전철시장(인프라 제외) 규모는 연간 1조4천억 원 수준(2006년 기준)으로 매년 6% 내외의 증가를 보이고 있다.

노면전차는 유럽(독일, 러시아 등), 모노레일은 일본, AGT는 각 대륙의 선진국을 중심으로 활성화되어 있다. 2006년 기준으로 20여개의 고가·지하궤도 경전철노선이 건설 중이며, 10여개의 노선이 제안된 상태이다. 노면전차는 100여개 노선이 건설 중이다.

2006년 기준으로 해외에서 운영되고 있는 운행노선을 시스템별로 표 2-13 AGT 운행현황, 표 2-14 LIM 운행현황, 표 2-15 모노레일 운행현황, 표 2-16 기타 시스템 운행현황으로 각각 살펴보면 다음과 같다.

표 2-13 AGT 운행현황

국 가	도 시 (노선명)	노선수
미 국	마이애미(Mini Metro 외 1개 노선), 라스콜리나스, 시카고(O'Hare 공항), 텍사스(Dallas/Fort 국제공항), 샌프란시스코(샌프란시스코 국제공항), 라스베가스(McCarran 국제공항), 덴버(덴버 국제공항), 피치버그(피치버그 국제공항), 올랜도(Orlando 국제공항), 시애틀(Tacoma 국제공항), 휴스턴(휴스턴 국제공항외 1개 노선), 플로리다(Tampa 국제공항), 아틀란타(Hartsfield Atlanta 공항), 워싱턴(Dulles 공항)	16
프랑스	파리(Metro14외 2개 노선), 릴(Line 1, 2호선), 툴루스(A선외 2개 노선), 렌, 리옹(Metro D), 마르세이유(Line 1, 2)	12
영 국	런던(Dockland, Gatwick 국제공항, Standsted 국제공항)	3
독 일	에센(U-11), 프랑크푸르트(Fraport 국제공항)	2
덴마크	코펜하겐(Metro)	1
이탈리아	로마(Leonardo Da Vinci), 투린, 브레시아	3
스페인	마드리드(Barajas 공항)	1
그리스	데살로니키(Line 1)	1
스위스	로젠(M2)	1
싱가폴	싱가폴(부킷-판장, Changi 공항, Sengkang Line, Punggol Line)	4
말레이시아	쿠알라룸푸르(쿠알라룸푸르 공항)	1
중 국	베이징(베이징 국제공항), 홍콩(첵랍콕 국제공항)	2
대 만	타이페이(Mucha Line, Neihu Line)	2
태 국	방콕(BTS)	1
일 본	도쿄(유리카모메 외 2개 노선), 오사카(남항포트타운선 외 1개 노선), 고베(간사이공항 외 2개 노선), 히로시마(히로시마신교통), 아이치(도카다이선), 요코하마(쓰사이드선), 세이부(야마구치선), 오미야(사이다마이선)	13

자료: 건설교통부(2006), 도시형 자기부상열차 실용화사업 타당성 조사

표 2-14 LIM 운행현황

국 가	도 시 (노선명)	노선수
미 국	디트로이트(DPM), 뉴욕(JFK공항-Airtrain)	2
캐나다	밴쿠버(Sky Train Expo Line, Sky Train 밀레니엄 Line), 토론토(Scarborough SRT)	3
말레이시아	쿠알라룸푸르	1

표 2-15 모노레일 운행현황

국 가	도 시 (노선명)	노선수
영 국	Staffordshire(Alton Towers), Chester(Chester Zoo)	2
독 일	뷔퍼탈(Schwebbahn), Dortmund(H-Bahn), Dusseldorf(Dusseldorf 공항), Rust(Europa Park), Magdeburg(Federal Garden)	4
러시아	모스크바	1
이탈리아	레바나	1
미 국	라스베가스, 시애틀, 잭슨빌, 플로리다(Tampa 국제공항 외 2개 노선), 뉴저지(Newark 국제공항), 캘리포니아(디즈니랜드), 매 직 마운틴, 하와이(Peral Bridge)	10
싱가폴	싱가폴(Sentosa Express, Jurong Birdpark)	2
말레이시아	쿠알라룸푸르(KL-Monorail, Sunway City), Purajaya(Purajaya 1, 2)	4
중 국	중경, 셴젠, 심천(Window on the World)	3
인도네시아	자카르타	1
태 국	방콕(Future World)	1
일 본	동경(동경-하네다선 외 4개 노선), 쇼난, 기타큐슈, 지바, 오사 카(오사카 외 1개 노선), 타마, 오키나와	12
호 주	골드 코스트(Seaworld Gold Coast 외 1개 노선), 시드니	3
브라질	리오데자이로(Barra Shopping Center)	1

표 2-16 기타시스템 운행현황

국 가	도 시 (시스템)	노선수
영 국	카디프(PRT), 버밍햄(Cable AGT)	2
독 일	Mannheim(Cable AGT), Emsland(자기부상), 뮌헨(자기부상)	3
포르투갈	OEIRAS(공기부상 AGT)	1
스위스	취리히(공기부상)	1
미 국	모건타운(PRT), Minneapolis(공기부상), 아틀란타(Cable AGT)	3
캐나다	토론토(Cable AGT)	1
중 국	상하이(자기부상), 중경(Cable AGT)	2

2.3 시스템별 차량규격 분석

경량전철의 제원 및 성능은 시스템 제작사 및 설치 노선에 따라 상이하므로 고무차륜AGT, 철재차륜AGT, 모노레일, LIM, 노면전철은 국토해양부에서 고시한 『경량전철 차량 표준규격(2010.1 철도기술안전과)』를 적용하였고, 자기부상은 도시형 자기부상열차 실용화사업단의 자료를 인용하여 검토하였으며, 그 규격은 표 2-17 경량전철 시스템별 차량 규격에 나타내었다.

표 2-17 경량전철 시스템별 차량 규격

구분	고무차륜 AGT	철재차륜 AGT	모노레일	LIM	자기부상	노면전철
차량사진						
차량규격/량 W×H×L	2.4×3.5×9.14	2.65×3.6×13.5	3.08×3.82×14.5	2.65×3.2×13.5	2.9×3.5×13.5	2.4×3.4×6.4
전기방식	제3궤조	제3궤조	제3궤조	제3궤조	제3궤조	가공전차선
최소 편성수	2량 1편성	2량 1편성	2량 1편성	2량 1편성	2량 1편성	5량 1편성
승객정원 /편성	114명	184명	208명	180명	186명	172명
최고속도	70km/h	80km/h	80km/h	80km/h	110km/h	70km/h
가속도	3.50km/h/s	3.96km/h/s	3.50km/h/s	3.50km/h/s	4.00km/h/s	3.96km/h/s
공차중량 /량	12.0ton	23.5ton	31.8ton	25.5ton	20.0ton	14.0ton
궤 간	1,700mm	1,435mm	-	1,435mm	1,850mm	1,435mm
최소 곡선반경	40m	50m	80m	100m	50m	50m
최급구배	58‰	48‰	60‰	60‰	70‰	60‰
운전방식	무인	무인	무인	무인	무인	유인

2.4 경량전철 시스템 비교·검토

경량전철 시스템 선정 방법에는 여러 가지가 있으나 통상 다음과 같이 14가지 항목을 기준으로 평가하고 있다.

1) 이용자 측면

- ① 신속성 : - 차량최고속도 및 표정속도를 고려한 시스템 선정
- 침두 수요를 바탕으로 운행시간 산출 및 평가
- ② 소음도 : - 시스템별 운행중 차내외 발생소음 및 반사소음의 전달율
- ③ 안전성 : - 운행시 일반적 상황에 대한 안전성
- 주행시 긴급 상황에 대한 안전성
- ④ 정시성 : - 정시출발 및 도착이 가능한 시스템 선정
- ⑤ 편리성 : - 승하차의 편리성, 정거장 및 차량의 안락성
- 장애인 이용편리성 및 환승의 편리성 등
- ⑥ 접근성 : - 지역조건을 감안한 정거장 접근성
- 타 교통수단 이용시 접근의 편의성

2) 운영자 측면

- ⑦ 수송수요 : - 침두시 최대 재차인원을 처리할 수 있는 시력과 용량 수용
- ⑧ 재원조달 : - 건설비, 운영비, 차량구입비 등을 최소화 할 수 있는 시스템
- ⑨ 주행능력 : - 지리적 특성을 감안한 평면 및 종단에 순응할 수 있는 시스템
- ⑩ 곡선반경 : - 기존 도심 및 개발계획지역의 토지이용 계획을 감안한 곡선
주행 능력

3) 사회적 측면

- ⑪ 환경성 : - 건설 및 운행 중 소음, 진동영향(환경피해) 최소화
- ⑫ 미관성 : - 기존 도심 및 신도시 지역의 도시미관과 조화되는 시스템

4) 국가적 측면

- ⑬ 투자효과 : - 신교통 도입시 사회, 경제적 파급효과 분석
- 경제적 타당성, 토지이용 극대화, 대중교통 활성화 및 에너지
절감 등
- ⑭ 기술이전 : - 국내 기술수준, 국산화 가능성 및 향후 시스템 기술개발 가능성

상기의 평가 항목은 지리적 환경, 지역적 특성, 계획노선의 특성 등의 매우 광범위하고 다양한 조건으로 인해 하나의 정해진 조건에 따른 시스템별 비교·검토

는 어려움이 따른다.

따라서 본 검토는 경량전철 건설이 가능한 일반적인 도심지 조건으로 가정하여 비교적 동등하다고 인정되는 ①신속성, ②소음도, ④정시성, ⑤편리성, ⑪환경성, ⑫미관성 및 ⑬투자효과와 첨두시 수송수요, 차량 편성수, 시격 및 차량당 가격에 따라 전혀 다른 평가 결과가 나타나는 ⑦수송수요 항목은 평가 대상에서 제외하였다.

객관적인 판단이 가능한 ⑭기술이전 중 국내의 기술수준 측면, ⑩곡선반경 중 평면선형 적용성 측면, ⑨주행능력 중 구조물 형식의 다양성 측면, ③안전성 중 비상시 안전성 측면, ⑥접근성 중 이용승객 편의성 측면, ⑧재원조달 중 운영비에 효과적인 무인운전 적용 측면으로 총 6항목을 선정하여 비교·검토 후 평가기준에 따라 항목별로 우수, 보통, 미흡으로 차등을 두어 평가하였다.

유지관리의 편의성 또한 중요한 평가 대상이 될 수 있는 항목이나, 각 시스템별 구조상 차이가 있어 유지관리에 각각의 장·단점이 있고, 구조물에서는 모노레일이 다소 유리한 측면이 있으나, 각 운행 시스템에 적합한 유지보수체계 구축, 유지관리의 전산화 및 상시 긴급보수체계를 유지하고 있으므로 전체적인 유지관리의 편의성 측면에서는 모두 큰 차이가 없는 것으로 판단되므로 본 평가항목에서는 제외하였다.

2.4.1 평가기준 항목

1) 국내의 기술수준 측면

국내의 기술수준과 기술이전 가능성 검토는 국가경제발전, 효율적 운영 및 향후 유사사업 추진 등에서 볼 때 매우 중요한 사항이다. 따라서 본 검토에서는 국내 경량전철 사업을 기준으로 국책사업 유무, 국산화 개발상태 수준 및 영업노선 건설, 운영경험 등으로 그 평가기준으로 삼았다.

또한, 건설 및 운영경험은 시행착오에 따른 노하우 축적에 있어서 여러 평가기준에서도 매우 중요하므로 평가기준 대상으로 선정하였으며, 운영 중 발생하는 문제점에 대한 위기대처 능력 등을 감안할 때 건설경험은 있으나 운영경험이 없는 경우는 한단계 저평가 하였다. 등급별 평가항목에서의 주요내용은 다음과 같다.

- 우수 : 국책 사업, 국산화 개발 완료, 영업노선 건설 및 운영경험 있음
- 보통 : 국산화 개발 중, 영업노선 건설경험 있음(건설 중 포함)
- 미흡 : 국책사업 아님, 수입의존, 영업노선 건설 및 운영경험 없음

2) 평면선형 적용성 측면

도로망이 형성되어 있는 도심지 특성상 민원, 보상비 등으로 인해 주 노선이 기존 도로를 이용해야 할 수 밖에 없는 실정으로 도시철도 건설에 많은 제약이 따른다.

따라서, 도심지 내의 도로를 통과하기 위해서는 시스템별로 허용하는 최소 평면 곡선반경이 중요하므로, 30.0m의 도로폭원에 도로 중앙의 중앙분리대를 이용하는 조건으로 곡선부에 대한 사유지 침범 여부를 그 평가기준으로 삼았다.

등급별 평면선형의 곡률반경에 따른 사유지 침범 유무를 그림 2-13에 나타내었다.

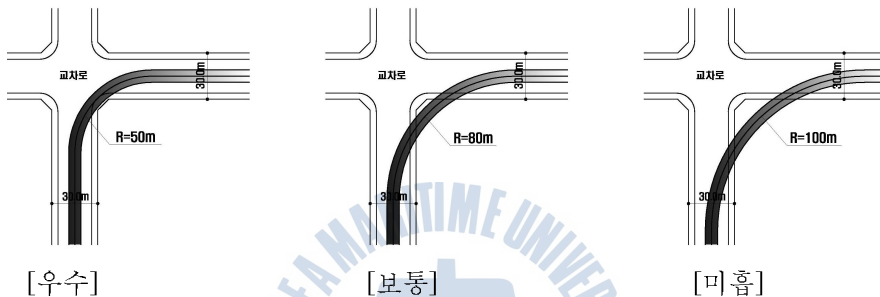


그림 2-13 곡률반경에 따른 사유지 침범 유무

3) 건설 형식의 다양성 측면

도심지에 설치되는 도시철도는 기존 도로의 폭원, 지상·지하 지장물 및 주변 시설물 등에 의해 고가, 지상, 지하로 다양하게 건설될 수 있으므로 평가 항목으로 선정하였으며, 일반적으로 적용되는 시스템 형식을 바탕으로 등급별 평가항목 기준을 다음과 같이 평가하였다.

- 우수 : 고가, 지상, 지하 3가지 가능
- 보통 : 고가, 지상, 지하 2가지 가능
- 미흡 : 고가, 지상, 지하 1가지 가능

4) 안전성 측면

차량운행에 따른 안전성과 주행시 화재 및 전철의 기계적 결함에 따른 정지 등 긴급 상황에 따른 비상시 안전성을 들 수 있으나 차량 운행에 따른 안전성은 전 세계적으로 이미 실용화되어 있기 때문에 동등하다고 판단되므로, 평가기준을 안전성 측면으로 국한시켜 비상시 승객 대피가 용이한지의 여부를 평가하였다.

- 우수 : 비상시 즉각적인 대피가 가능한 경우
- 보통 : 비상시 즉각적인 대피가 불가능한 경우

5) 이용승객 편의성 측면

예전에는 경제발전 등의 이유로 차선 확보를 위해 보도폭을 축소한다던가 교통소통의 흐름을 원활히 하기위해 횡단보도를 없애고 육교를 설치하는 등 교통중심으로 도심지 도로를 형성하였으나, 현재는 육교를 철거하고 횡단보도를 설치하는 등 보행자 위주의 사람 중심으로 전환해 나가고 있다.

도시철도를 이용하는 이용자 측면에서도 계단이나 엘리베이터 등 수직 동선이 아닌 버스처럼 평지에서 바로 접근 가능한 수평동선이 이용객에게는 편의 측면에서는 유리하므로 정거장 접근의 편의성을 평가 항목으로 선정하였다.

- 우수 : 지상에서 바로 탑승이 가능한 시스템
- 보통 : 계단, E/S, E/L 등 수직 동선을 이용하여 탑승이 가능한 시스템

6) 무인운전 적용성 측면

열차의 운전방식은 열차신호에 의해 결정되어 지며, 경량전철의 장점 중 하나는 무인운전을 들 수 있다. 역사 안전설비의 미비 또는 대중교통으로서의 승객에 대한 불안감 해소 등의 이유로 1인 운전을 하고 있는 경우는 있으나 대부분의 경량전철은 무인운전이 가능한 ATO(Automated Train Operation) 기능을 확보하고 있으므로 기술적으로 무인운전이 가능한 시스템이라 할 수 있다.

따라서 운영비 측면에서 유리한 무인운전 가능 여부를 평가 항목으로 선정하였다.

- 우수 : 무인운전이 가능한 시스템
- 보통 : 무인운전이 어려운 시스템

2.4.2 조건별 시스템 비교

1) 국내 기술수준 측면

국내에 적용된 경전철 시스템을 대상으로 국내 기술수준을 표 2-18에서 비교하였고, 국내 기술수준 평가를 그림 2-14에 나타내었다.

표 2-18 국내 기술수준 비교

구 분	고무차륜AGT	철제차륜AGT	모노레일	LIM	자기부상	노면전철
국책사업 유무	국책사업	국책사업	-	-	국책사업	-
평 가	우수	우수	미흡	미흡	우수	미흡
국산화	국산화 개발완료	국산화 개발 중	수입의존	수입의존	국산화 개발 중	수입의존
평 가	우수	보통	미흡	미흡	보통	미흡
영업노선 건설운영	건설완료 운영중	건설완료 운영중	건설중	건설완료	건설중	-
평 가	우수	우수	보통	보통	보통	미흡
사례	부산도시철도 4호선	부산~김해 경전철	대구도시철도 3호선	용인경전철	인천공항 자기부상열차	-
총평가	우수	우수	미흡	미흡	보통	미흡

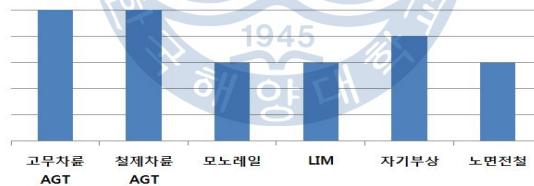


그림 2-14 국내 기술수준 평가

2) 평면선형 적용성 측면

표 2-19에 평면선형 적용성을 비교하여 그림 2-15에 평면선형 적용성 평가를 나타내었다.

표 2-19 평면선형 적용성 비교

구 분	고무차륜AGT	철제차륜AGT	모노레일	LIM	자기부상	노면전철
최소 곡선반경	40m	50m	80m	100m	50m	50m
평 가	우수	우수	보통	미흡	우수	우수

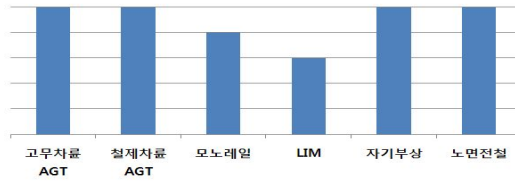


그림 2-15 평면선형 적용성 평가

3) 건설 형식의 다양성 측면

표 2-20에 건설 형식의 다양성을 비교하여 그림 2-16에 건설 형식의 다양성 평가를 나타내었다.

표 2-20 건설 형식의 다양성 비교

구 분	고무차륜AGT	철재차륜AGT	모노레일	LIM	자기부상	노면전철
적용성	고가+지상+지하	고가+지상+지하	고가	고가+지상+지하	고가	고가+지상+지하
평 가	우수	우수	미흡	우수	미흡	우수

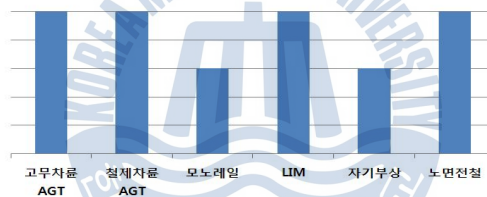


그림 2-16 건설 형식의 다양성 평가

4) 안전성 측면

표 2-21에 안전성을 비교하여 그림 2-17에 안전성 평가를 나타내었다.

표 2-21 안전성 비교

구 분	고무차륜AGT	철재차륜AGT	모노레일	LIM	자기부상	노면전철
탈출구조	대피통로	대피통로	별도지상차량	대피통로	대피통로	지상탈출
평 가	우수	우수	보통	우수	우수	우수

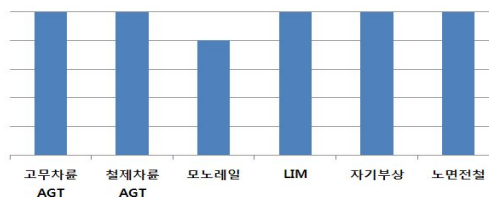


그림 2-17 안전성 평가

5) 이용승객 편의성 측면

표 2-22에 이용승객 편의성을 비교하여 그림 2-18에 이용승객 편의성 평가를 나타내었다.

표 2-22 이용승객 편의성 비교

구 분	고무차륜AGT	철제차륜AGT	모노레일	LIM	자기부상	노면전철
이용동선	수직동선	수직동선	수직동선	수직동선	수직동선	수평동선
판 정	보통	보통	보통	보통	보통	우수

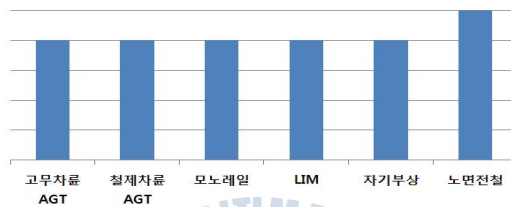


그림 2-18 이용객 편의성 평가

6) 무인운전 적용성 측면

표 2-23에 무인운전 적용성을 비교하여 그림 2-19에 무인운전 적용성 평가를 나타내었다.

표 2-23 무인운전 적용성 비교

구 분	고무차륜AGT	철제차륜AGT	모노레일	LIM	자기부상	노면전철
운전방식	무인운전	무인운전	무인운전	무인운전	무인운전	유인 운전
판 정	우수	우수	우수	우수	우수	보통

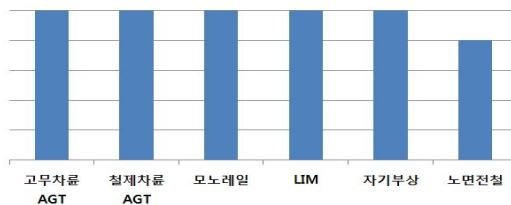


그림 2-19 무인운전 적용성 평가

※ 노면전철의 경우는 도로 교통체계를 따라야 하기 때문에 기본적으로 1인운전 채택

2.4.3 시스템 종합평가

6가지 평가 항목을 비교·분석한 시스템 종합평가는 표 2-24와 같다.

표 2-24 시스템 종합평가

구 분	고무차륜 AGT	철제차륜 AGT	모노 레일	LIM	자기 부상	노면 전철
국내 기술수준	우수	우수	미흡	미흡	보통	미흡
평면선형 적용성	우수	우수	보통	미흡	우수	우수
건설형식의 다양성	우수	우수	미흡	우수	미흡	우수
안전성	우수	우수	보통	우수	우수	우수
이용승객 편의성	보통	보통	보통	보통	보통	우수
무인운전 적용성	우수	우수	우수	우수	우수	보통
평 가	17	17	11	13	12	15

※ 우수:3, 보통:2, 미흡:1

시스템 종합평가 결과 고무차륜 및 철제차륜 AGT가 국내 적용성이 가장 우수한 것으로 평가되었으며, 다음으로 노면전철, LIM, 자기부상, 모노레일 순으로 평가되었다.

본 평가는 지형여건, 검토항목 및 중요도에 따른 배점비율 등 선정조건에 따라 전혀 상이한 결과가 나올 수 있으므로 실제 노선에 대한 시스템 선정시에는 노선 특성에 부합되는 면밀한 시스템 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3장. 건설 사업비 분석 및 타당성 검토

3.1 예비타당성 지침 사업비 분석

3.2 부산도시철도 4호선 사업비 분석

3.3 건설 사업비 비교·검토

3.4 건설 사업비 타당성 검토



3장 건설 사업비 분석 및 타당성 검토

도시철도 건설사업은 타 사업과 마찬가지로 각 지자체에서 기초타당성 조사를 실시한 후, 기획재정부에 예비타당성조사를 신청하고 사업 타당성이 인정되면 기획재정부에서 예산배정이 되어 본타당성조사(기본계획)를 시행하게 된다. 이때 본타당성조사에서 예비타당성조사 총사업비의 20%를 초과하게 되면 예비타당성 재검증 대상이 되므로 초기 사업비 산출은 사업 시행에 매우 중요한 단계이다.

정확한 건설비용 산출은 노선별, 공법별 세부적인 설계인 실시설계를 수행해야만 가능하므로 모든 경우에 맞는 사업비 추정은 사실상 불가능하다.

따라서, 이 장에서는 보다 현실적이고 합리적인 사업비 산출을 위해 기 건설된 도시철도 사업비를 분석하고자 현재 건설완료 후 운영중인 『부산도시철도 4호선』을 선정하고 『도로·철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』(한국개발연구원, 2008.12, 이하 예비타당성 지침)과 비교하여 사업비 적정성을 검토, 향후 적용성 방안을 검토하고자 한다.

본 연구에서의 사업비 분석 기준년도는 예비타당성 지침에서와 동일한 2007년을 적용하였다.

3.1 예비타당성 지침 사업비 분석

3.1.1 지침분석

예비타당성 지침을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 토목 본선 토공 및 교량에서 연약지반일 경우에는 별도로 산출해야 한다.
- 토목 본선 터널은 도심지 발파 기준으로 보장비는 별도 할증해야 한다.
- 토목 본선 환기구 공사비에는 송풍기, 전동기 등 기계설비 공사비가 포함된다.
- 건축 정거장 공사비에는 각종 전기 및 기계설비 공사비가 포함된다.
- 차량기지 공사비에는 토목, 궤도, 건축, 검수설비 및 시스템분야 공사비가 포함된다.
- 시스템 공사비 중 전기 공사비에는 변전설비 공사비(33억원/2.4km)가 포함된다.
- 시스템 공사비 중 신호공사비에는 종합사령실 공사비가 포함되어 있지 않으므로 종합사령실 공사비 61억원은 별도 계상해야 한다.
- 시스템 공사비 중 통신 공사비에는 종합사령실 공사비가 포함되어 있지 않으므로 종합사령실 공사비 139억원은 별도 계상해야 하며, AFC 공사비는 포함된다.

3.1.2 예비타당성 지침 단위사업비 결과

『도로·철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』에 제시된 예비타당성 공종별 단위사업비 분석 결과를 표 3-1에 나타내었다.

표 3-1 예비타당성 지침 단위사업비

(단위 : 억원)

공 종			단위	표준공사비	비 고
본선	토공		km	54.0	연약구간의 경우 별도 산출
	교량		km	134.0	
	U-TYPE		km	81.0	
	개착	심도 10m이하	km	363.0	
		심도 20m이하	km	409.0	
		심도 30m이하	km	535.0	
	터널	NATM	km	215.0	보강비 별도 할증
정거장	고가	2층, L=70m	개소	36.0	
	지하	2층, L=70m	개소	121.0	
	지하	3층, L=70m	개소	145.0	
환기구	-		개소	63.0	기계설비 공사비 포함
궤도	본선	고무차륜	km	16.8	
건축	지상		m ²	0.028	전기, 기계설비 공사비 포함
	고가	-	m ²	0.035	
	지하	-	m ²	0.016	
시스템	전기		km	39.7	변전설비 공사비 포함
	신호		km	27.5	
	통신		km	14.0	
차량기지	중수선 (1,215m ² /량, 10.35억/량)		m ²	0.007	토목, 궤도, 건축, 검수, 시스템 공사비 포함
종합사령실	-		개소	200	신호 + 통신
차량	-		량	15~21	

주 : 1) 차량기지 별도 계상, 2) 종합사령실 별도 계상, 3) 부가세 제외
자료 : 도로·철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)

3.2 부산도시철도 4호선 사업비 분석

3.2.1 사업개요

국내 최초의 영업노선인 경량전철로 1995년 기본계획용역을 시작으로 건설교통부로부터 1996년 2월에 건설·운영 기본계획 승인을 득하였다.

1999년 4월에 경량전철 고무차륜형식으로 시스템을 선정하였으며, 2003년 12월에 토목공사를 착공하여 시운전기간을 거쳐 2011년 4월 개통하였으며, 주요 노선 개요는 다음과 같다.

- 시스템 : K-AGT(고무차륜), 6량 1편성(12편성+예비5편성), 무인운전
- 전체 연장 = 12.7km (지하=7.2km, 고가=5.5km)
- 주요 경유지 : 3호선 미남역~1호선 동래역~충렬사~석대화훼단지~안평
- 정거장 : 14개소 (지하:8개소, 지상:1개소, 고가:5개소), 환승역 2개소
- 차량기지 : 1개소
- 지하광장 및 연결통로 : 1개소 (미남로타리)

부산도시철도 4호선 노선현황은 그림 3-1에 나타내었다.



그림 3-1 부산도시철도 4호선 노선현황도

3.2.2 토목분야

1) 본 선

부산도시철도 4호선에 대한 토목 본선 사업비를 표 3-2에 나타내었다.

표 3-2 토목 본선 사업비

(단위 : 백만원)

구 분		구 간	연장(m)	사업비	비 고
지 하 구 간	NATM	동래역~수안역	611.0	24,841	환기구 1개소 포함
	NATM	수안역~낙민역	611.0	24,845	환기구 1개소 포함
	NATM	낙민역~충렬사역	651.0	26,275	환기구 1개소 포함
	NATM	충렬사역~명장역	653.0	26,351	환기구 1개소 포함
	NATM	명장역~서동역	964.0	37,534	환기구 1개소 포함
	NATM	서동역~금사역	722.0	28,831	환기구 1개소 포함
	소 계		4,212	168,677	환기구:28.7억/개소
	개착BOX	금사역 본선환기#2 ~ 반여농산물시장역	304.0	13,316	심도20m 이하
	소 계		343.0	13,316	
고 가 구 간	강합성교	석대역~영산대역	1,323.0	24,919	
	강합성교	영산대역~동부산대학역	1,047.0	19,712	
	강합성교	동부산대학역~고촌역	695.0	13,091	
	강합성교	고촌역~안평역	1,025.0	19,307	
	강합성교	안평역~본선 종점	373.0	7,022	
	소 계		4,463	84,051	

표 3-2를 사용하여 토목 본선에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

① 터널(NATM)

$$(168,677\text{백만원} - 2,870\text{백만원} \times 6\text{개소}) \div 4,212\text{m} = 36.0\text{백만원/m} \rightarrow 360\text{억원/km}$$

② 개착 BOX

- 심도20m 이하: $13,316\text{백만원} \div 343.0\text{M} = 38.8\text{백만원/m} \rightarrow 388\text{억원/km}$

- 심도10m 이하: $38.8\text{백만원} \times 70\% = 27.2\text{백만원/km} \rightarrow 282\text{억원/km}$

(※ 심도10m 이하는 기존 중전철 지하 심도에 따른 비율 70% 적용)

③ 고가(강합성교)

$$84,051\text{백만원} \div 4,463\text{m} = 18.8\text{백만원/m} \rightarrow 188\text{억원/km}$$

④ 환기구

$$28.7\text{억원/개소}$$

2) 정 거 장

부산도시철도 4호선에 대한 토목 정거장 사업비를 표 3-3에 나타내었다.

표 3-3 토목 정거장 사업비

(단위 : 백만원)

구 분		구 간	연 장(m)	사업비	비 고 (정거장 L=65.0m)
지하 구간	지하 4층	동래역	103.0	27,896	전, 후 본선환기 포함 (38.0m)
	지하 3층	수안역	105.0	22,159	전, 후 본선환기 포함 (40.0m)
	지하 3층	낙민역	117.0	21,310	전, 후 본선환기 포함 (52.0m)
	지하 3층	충렬사역	136.0	19,609	전, 후 본선환기 포함 (71.0m)
	지하 3층	명장역	129.0	18,800	전, 후 본선환기 포함 (64.0m)
	지하 3층	서동역	129.0	16,614	전, 후 본선환기 포함 (64.0m)
	지하 3층	금사역	117.0	17,503	전, 후 본선환기 포함 (52.0m)
	소 계		836m (7개소)	143,891	본선환기 총 연장 = 381.0m
고가 구간	지상 2층	석대역	65.0	5,203	
	지상 2층	영산대역	65.0	5,682	
	지상 2층	동부산대학역	65.0	5,714	
	지상 2층	고촌역	65.0	5,253	
	지상 2층	안평역	65.0	5,463	
	소 계		325m (5개소)	27,315	

표 3-3을 사용하여 토목 정거장에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

① 지하구간 (70.0m 기준)

※ 순수 역 총공사비(정거장 전, 후 본선환기 공사비 공제 및 70m 기준)

$$= [143,891 \text{ 백만원} - (381.0\text{m} \times 143,891 \text{ 백만원} \div 836.0\text{m})] \div 65.0 \times 70.0 = 84,337 \text{ 백만원}$$

• 지하4층 : $[27,896 \text{ 백만원} - (38.0\text{m} \times 27,896 \text{ 백만원} \div 103.0\text{m})] \div 65.0 \times 70.0$

$$= 18,959 \text{ 백만원} \rightarrow 189.6 \text{ 억원/개소}$$

• 지하3층 : $(84,337 - 18,959) \text{ 백만원} \div 6 \text{ 개소} = 10,896 \text{ 백만원/개소} \rightarrow 109.0 \text{ 억원/개소}$

• 지하2층 : $10,896 \text{ 백만원} \times 80\% = 8,717 \text{ 백만원/개소} \rightarrow 87.2 \text{ 억원/개소}$

(※ 지하2층에 대한 공사비는 기존 중전철 층수에 따른 비율 80% 적용)

② 고가구간 (70.0m 기준)

$$(27,315 \text{ 백만원} \div 65.0 \times 70.0) \div 5 \text{ 개소} = 5,883 \text{ 백만원/개소} \rightarrow 58.8 \text{ 억원/개소}$$

3) 차량기지

부산도시철도 4호선에 대한 토목 차량기지 사업비를 표 3-4에 나타내었다.

표 3-4 차량기지 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	면적(m ²)	사업비	비 고
지상구간	안평차량기지	91,387	14,558	
소 계		91,387	14,558	

표 3-4를 사용하여 토목 차량기지에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$14,558\text{백만원} \div 91,387\text{m}^2 = 0.159\text{백만원/m}^2 \rightarrow 0.00159\text{억원/m}^2$$

3.2.3 건축분야

1) 정 거 장

부산도시철도 4호선에 대한 건축 정거장 사업비를 표 3-5에 나타내었다.

표 3-5 건축 정거장 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	면적(m ²)	사업비	비 고	
지 하 구 간	지하 4층	동래역	6,820	4,300	22.0m×77.5m×4
	지하 3층	낙민역	4,050	2,874	18.0m×75.0m×3
	지하 3층	충렬사역	4,207	2,606	18.7m×75.0m×3
	지하 3층	명장역	3,646	2,220	18.7m×65.0m×3
	지하 3층	서동역	3,646	2,313	18.7m×65.0m×3
	지하 3층	급사역	3,256	2,368	16.7m×65.0m×3
	소 계		25,625m ²	16,681	
고 가 구 간	지상 2층	영산대역	2,236	3,385	17.2m×65.0m×2
	지상 2층	동부산대학역	2,236	4,421	17.2m×65.0m×2
	지상 2층	고촌역	2,236	4,422	17.2m×65.0m×2
	지상 2층	안평역	2,236	4,298	17.2m×65.0m×2
	소 계		8,944m ²	16,526	

표 3-5를 사용하여 건축 정거장에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

① 지하구간

$$16,681\text{백만원} \div 25,625\text{m}^2 = 0.65\text{백만원/m}^2 \rightarrow 0.0065\text{억원/m}^2$$

② 고가구간

$$16,526\text{백만원} \div 8,944\text{m}^2 = 1.85\text{백만원/m}^2 \rightarrow 0.0185\text{억원/m}^2$$

2) 차량기지

부산도시철도 4호선에 대한 건축 차량기지 사업비를 표 3-6에 나타내었다.

표 3-6 건축 차량기지 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	면적(m ²)	사업비	비 고
지상구간	안평차량기지	91,387	15,008	
소 계		91,387	15,008	

표 3-6을 사용하여 건축 차량기지에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$15,008\text{백만원} \div 91,387\text{m}^2 = 0.164\text{백만원/m}^2 \rightarrow 0.00164\text{억원/m}^2$$

3.2.4 궤도분야

1) 본 선

부산도시철도 4호선에 대한 궤도 본선 사업비를 표 3-7에 나타내었다.

표 3-7 궤도 본선 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	연장(m)	사업비	비 고
본선+정거장	지하+고가	12,250	30,722	
소 계		12,250	30,722	

표 3-7을 사용하여 궤도 본선에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$30,722\text{백만원} \div 12,250\text{M} = 2.5\text{백만원/m} \rightarrow 25.0\text{억원/km}$$

2) 차량기지

부산도시철도 4호선에 대한 궤도 차량기지 사업비를 표 3-8에 나타내었다.

표 3-8 궤도 차량기지 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	면적(m ²)	사업비	비 고
차량기지	-	91,387	6,269	
소 계		91,387	6,269	

표 3-8을 사용하여 궤도 차량기지에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$6,269\text{백만원} \div 91,387\text{m}^2 = 0.069\text{백만원/m}^2 \rightarrow 0.00069\text{억원/m}^2$$

3.2.5 기계분야

1) 본 선

부산도시철도 4호선에 대한 기계 본선 사업비를 표 3-9에 나타내었다.

표 3-9 기계 본선 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	개 소	사업비	비 고
지 하	-	24	6,097	본선 환기구 개소
소 계		24	6,097	

표 3-9를 사용하여 기계 본선에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$6,097\text{백만원} \div 24\text{개소} = 253\text{백만원/개소} \rightarrow 2.53\text{억원/개소}$$

2) 정 거 장

부산도시철도 4호선에 대한 기계 정거장 사업비를 표 3-10에 나타내었다.

표 3-10 기계 정거장 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	개 소	사업비	비 고
지 하	-	14	26,600	미남광장 포함
소 계		14	26,600	

표 3-10을 사용하여 기계 정거장에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$26,600\text{백만원} \div 14\text{개소} = 1,900\text{백만원/개소} \rightarrow 19.0\text{억원/개소}$$

① 지하구간 (건축 지하정거장 면적 참조)

$$1,900\text{백만원} \div (25,625\text{m}^2 \div 6\text{개소}) = 0.44\text{백만원/m}^2 \rightarrow 0.0044\text{억원/m}^2$$

② 고가구간 (건축 고가정거장 면적 참조)

$$1,900\text{백만원} \div (8,944\text{m}^2 \div 4\text{개소}) = 0.849\text{백만원/m}^2 \rightarrow 0.0085\text{억원/m}^2$$

3) 차량기지

부산도시철도 4호선에 대한 기계 차량기지 사업비를 표 3-11에 나타내었다.

표 3-11 기계 차량기지 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	면적(m ²)	사업비	비 고
지 상	-	91,387	4,935	
소 계		91,387	4,935	

표 3-11을 사용하여 기계 차량기지에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$4,935\text{백만원} \div 91,387\text{m}^2 = 0.054\text{백만원/m}^2 \rightarrow 0.00054\text{억원/m}^2$$

3.2.6 전기분야

1) 본 선

부산도시철도 4호선에 대한 전기 본선 사업비를 표 3-12에 나타내었다.

표 3-12 전기 본선 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	연장(m)	사업비	비 고
지하 + 고가	-	11,855	35,700	12,700m-65m×13
소 계		11,855	35,700	

표 3-12를 사용하여 전기 본선에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$35,700\text{백만원} \div 11,855\text{m} = 3.011\text{백만원/m} \rightarrow 30.1\text{억원/km}$$

2) 정 거 장

부산도시철도 4호선에 대한 전기 정거장 사업비를 표 3-13에 나타내었다.

표 3-13 전기 장거장 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	개 소	사업비	비 고
지하 + 고가	-	14	10,721	미남광장 포함
소 계		14	10,721	

표 3-13을 사용하여 전기 정거장에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$10,721\text{백만원} \div 14\text{개소} = 766\text{백만원/개소} \rightarrow 7.7\text{억원/개소}$$

① 지하구간 (건축 지하정거장 면적 참조)

$$766\text{백만원} \div (25,625\text{m}^2 \div 6\text{개소}) = 0.179\text{백만원/m}^2 \rightarrow 0.0018\text{억원/m}^2$$

② 고가구간 (건축 고가정거장 면적 참조)

$$766\text{백만원} \div (8,944\text{m}^2 \div 4\text{개소}) = 0.343\text{백만원/m}^2 \rightarrow 0.0034\text{억원/m}^2$$

3) 차량기지

부산도시철도 4호선에 대한 전기 차량기지 사업비를 표 3-14에 나타내었다.

표 3-14 전기 차량기지 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	면적(m ²)	사업비	비 고
지 상	-	91,387	23,680	
소 계		91,387	23,680	

표 3-14를 사용하여 전기 차량기지에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$23,680\text{백만원} \div 91,387\text{m}^2 = 0.259\text{백만원/m}^2 \rightarrow 0.00259\text{억원/m}^2$$

3.2.7 신호분야

1) 본 선

부산도시철도 4호선에 대한 신호 본선 사업비를 표 3-15에 나타내었다.

표 3-15 신호 본선 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	연장(m)	사업비	비 고
지하 + 고가	-	11,855	35,774	12,700m-65m×13
소 계		11,855	35,774	

표 3-15를 사용하여 신호 본선에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$35,774\text{백만원} \div 11,855\text{m} = 3.02\text{백만원/m} \rightarrow 30.2\text{억원/km}$$

2) 차량기지

부산도시철도 4호선에 대한 신호 차량기지 사업비를 표 3-16에 나타내었다.

표 3-16 신호 차량기지 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	연장(m ²)	사업비	비 고
지하 + 고가	-	91,387	38,758	
소 계		91,387	38,758	

표 3-16을 사용하여 신호 차량기지에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$38,758\text{백만원} \div 91,387\text{m}^2 = 0.424\text{백만원/m}^2 \rightarrow 0.00424\text{억원/m}^2$$

3.2.8 통신분야

1) 본 선

부산도시철도 4호선에 대한 통신 본선 사업비를 표 3-17에 나타내었다.

표 3-17 통신 본선 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	연장(m)	사업비	비 고
본선 + 정거장	-	12,250	35,908	
소 계		12,250	35,908	

표 3-17을 사용하여 통신 본선에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$35,908\text{백만원} \div 12,250\text{m} = 2.93\text{백만원/m} \rightarrow 29.3\text{억원/km}$$

2) 차량기지

부산도시철도 4호선에 대한 통신 차량기지 사업비를 표 3-18에 나타내었다.

표 3-18 통신 차량기지 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	면적(m ²)	사업비	비 고
지 상	-	91,387	3,263	
소 계		91,387	3,263	

표 3-18을 사용하여 통신 차량기지에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$3,263\text{백만원} \div 91,387\text{m}^2 = 0.036\text{백만원/m}^2 \rightarrow 0.00036\text{억원/m}^2$$

3.2.9 AFC(역무자동화)분야

1) 정 거 장

부산도시철도 4호선에 대한 AFC 정거장 사업비를 표 3-19에 나타내었다.

표 3-19 AFC 정거장 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	개 소	사업비	비 고
지하 + 고가	-	13	10,595	미남광장 제외
소 계		13	10,595	

표 3-19를 사용하여 AFC 정거장에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$10,595\text{백만원} \div 13\text{개소} = 815\text{백만원/개소} \rightarrow 8.2\text{억원/개소}$$

$$10,595\text{백만원} \div 11,855\text{m} = 0.894\text{백만원/m} \rightarrow 8.94\text{억원/km}$$

3.2.10 검수분야

1) 차량기지

부산도시철도 4호선에 대한 검수 차량기지 사업비를 표 3-20에 나타내었다.

표 3-20 검수 차량기지 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	구 간	면적(m ²)	사업비	비 고
지하 + 고가	-	91,387	18,500	
소 계		91,387	18,500	

표 3-20을 사용하여 검수 차량기지에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

$$18,500\text{백만원} \div 91,387\text{m}^2 = 0.202\text{백만원/m}^2 \rightarrow 0.00202\text{억원/m}^2$$

3.2.11 종합사령실

부산도시철도 4호선에 대한 종합사령실 사업비를 표 3-21에 나타내었다.

표 3-21 종합사령실 사업비

(단위 : 백만원)

구 분	수 량	사업비	비 고
신호분야	1 식	5,112	
통신분야	1 식	7,967	
역무설비	1 식	2,200	
전기분야	1 식	2,619	
기계분야	1 식	188	
소 계		18,086	

표 3-21을 사용하여 종합사령실에 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

18,086백만원/개소 → 180.9억원/개소

3.2.12 차량분야

1) 차량구입비

부산도시철도 4호선에 대한 차량구입 사업비를 표 3-22에 나타내었다.

표 3-22 차량 구입비

(단위 : 백만원)

총편성수	1편성당 차량수	총 차량수	사업비	비 고
17편성 (운행12, 예비5)	6량	102량	172,380	

표 3-22를 사용하여 차량 대한 단위 공사비를 분석하면 다음과 같다.

172,380백만원 ÷ 102량 = 1,690백만원/량 → 16.9억원/량

3.2.13 부산도시철도 4호선 단위사업비 분석 결과

부산도시철도 4호선에 대한 분야별, 공종별 단위 사업비 분석결과를 표 3-23에 나타내었다.

표 3-23 부산도시철도 4호선 단위사업비

(단위 : 억원)

공 종			단위	단위공사비	비 고
본선	교량		km	188.0	
	개착	심도 10m이하	km	282.0	
		심도 20m이하	km	388.0	
	터널	NATM	km	360.0	
정거장	고가	2층, L=70m	개소	58.8	
	지하	2층, L=70m	개소	87.2	
	지하	3층, L=70m	개소	109.0	
	지하	4층, L=70m	개소	189.6	
환기구	-		개소	31.23	기계 본선(2.53억원) 포함
궤도	본선	-	km	25.0	
건축	고가	-	m ²	0.0304	정거장 기계(0.0085억원), 전기(0.0034억원) 포함
	지하	-	m ²	0.0127	정거장 기계(0.0044억원), 전기(0.0018억원) 포함
시스템	전기		km	30.1	
	신호		km	30.2	
	통신		km	38.24	AFC(8.94억원)포함
차량기지	토목		m ²	0.00159	중수선 (896m ² /량)
	건축		m ²	0.00164	
	궤도		m ²	0.00069	
	기계		m ²	0.00054	
	전기		m ²	0.00259	
	신호		m ²	0.00424	
	통신		m ²	0.00036	
	검수		m ²	0.00202	
	계		m ²	0.01367	
종합사령실	-		개소	180.9	
차량	-		량	16.9	

3.3 건설사업비 비교·검토

3.3.1 건설 단위사업비 대비 결과

예비타당성 지침과 부산도시철도 4호선에 대한 단위 사업비 대비 결과를 표 3-24에 나타내었다.

표 3-24 건설 단위사업비 비교

(단위 : 억원)

공 중			단위	단위공사비		대비 (2)/(1)
				예비타당성 지침(1)	부산도시철도 4호선(2)	
본선	교량		km	134.0	188.0	△40.38%
	개착	심도 10m이하	km	363.0	282.0	▼-22.31%
		심도 20m이하	km	409.0	388.0	▼-5.13%
	터널	NATM	km	215.0	360.0	△67.44%
정거장	고가	2층, L=70m	개소	36.0	58.8	△63.33%
	지하	2층, L=70m	개소	121.0	87.2	▼-27.93%
	지하	3층, L=70m	개소	145.0	109.0	▼-24.83%
환기구	-		개소	63.0	31.23	▼-50.43%
궤도	본선	-	km	16.8	25.0	△48.81%
건축	고가	-	m ²	0.035	0.0304	▼-13.14%
	지하	-	m ²	0.016	0.0127	▼-20.63%
시스템	전기		km	39.7	30.1	▼-24.18%
	신호		km	27.5	30.2	△9.82%
	통신		km	14.0	38.24	△173.14%
차량기지	중수선		m ²	0.007	0.01367	△95.28%
종합사령실	-		개소	200.0	180.9	▼-9.55%
차량	-		량	18.0	16.9	▼-6.11%

예비타당성 지침과 부산도시철도 4호선에 대한 사업비 대비 결과 교량은 전구간 말뚝기초 및 강구조 형식에 따른 공사비 증가 요인이 발생한 것으로 분석되며, 4호선의 지반조건이 대체로 토사 및 풍화암으로 구성되어 개착구간은 사업비 감소의 효과를 보이는 반면 터널구간은 보강비 등으로 사업비가 증가하는 것으로

로 분석되었다. 그 외 시스템분야는 편차 범위가 -5.13% ~ +173.14%로써 다소 차이가 발생하는 것으로 분석되었는데, 이는 단위사업비 분배 과정에서 분야별 세부 항목을 어떤 공종에 귀속시키는가에 따른 분석방법의 차이에서 발생하는 것으로 파악된다.

부산도시철도 4호선 전체 구간에 대해 예비타당성 지침 단위공사비와 4호선 단위공사비를 근거로 비교해 보면 표 3-25와 같다.

표 3-25 총 건설 사업비 비교(2007년 기준)

(단위 : 억원)

공 종			단위	수량	공 사 비		대비 (2)/(1)
					예비타당성 지침(1)	부산도시철도 4호선(2)	
본선	교량		km	5.110	685	961	
	개착	심도 20m이하	km	0.340	139	132	
	터널	NATM	km	5.860	1,260	2,110	
정거장	고가	2층, L=65m	개소	6	216	328	
	지하	3층, L=65m	개소	8	1,160	648	
환기구	-		개소	24	1,512	750	
궤도	본선	-	km	12.250	189	306	
건축	고가	-	m²	2,600	85	79	
	지하	-	m²	3,900	58	50	
시스템	전기		km	11.855	471	357	
	신호		km	11.855	326	358	
	통신		km	12.250	172	468	
차량기지	중수선		m²	91,387	640	1,249	
종합사령실	-		개소	1	200	181	
차량	-		량	102	1,836	1,724	
총 공사비			-	-	8,494	9,701	14.2% 증가

부산도시철도 4호선에 대한 총 공사비 분석 결과 예비타당성 지침 적용 공사비에 비해 약 14.2% 증가하는 것으로 분석되며, 이는 “3.3.1 건설 단위사업비 대비 결과”에서 언급하였듯이 교량 형식 및 지층 조건에 따른 보강비 등으로 인해 증가 요인이 발생하므로, 실제 사업시 항시 발생 가능한 부분으로 예비타당성 지침 표준 공사비의 현실화가 필요한 것으로 판단된다.

3.4 건설 사업비 타당성 검토

3.4.1 실제 모델을 적용한 사업비 분석

부산도시철도 기본계획 재정비(부산광역시, 2010) 적용 노선 중 용호선에 대해 각 CASE별 건설 사업비를 재분석하였으며, 용호선의 주요 노선개요는 다음과 같다.

- 경성대·부경대 ~ 오륙도 SK뷰 아파트
- 전체 연장 : 5.400km • 차량 : 15량 (3량 1편성)
- 정거장 : 8개소 (B=20.0m, L=35.0m)
- 차량기지 : 1개소(40,000m²) • 종합사령실 : 1개소

용호선 노선현황은 그림 3-2에 나타내었다.



그림 3-2 용호선 노선도

1) CASE - 1 (전체 고가)

용호선 전체를 고가로 건설할 경우 사업비 분석을 표 3-26에 나타내었다.

표 3-26 용호선 전체 고가 사업비 분석

(단위 : 억원)

공 종			단위	수량	건설사업비	
					예비타당성 지침	부산도시철도 4호선
본선	교량		km	5.12	686.1	962.6
	개착	심도 10m이하	km	-	-	-
		심도 20m이하	km	-	-	-
	터널	NATM	km	-	-	-
정거장	고가	2층, L=35m	개소	8	72.0	117.6
	지하	2층, L=35m	개소	-	-	-
	지하	3층, L=35m	개소	-	-	-
환기구	-		개소	-	-	-
궤도	본선	-	km	5.4	90.7	135.0
건축	고가	-	m ²	11,200	392.0	340.5
	지하	-	m ²	-	-	-
시스템	전기		km	5.4	214.4	162.5
	신호		km	5.4	148.5	163.1
	통신		km	5.4	75.6	206.5
차량기지	중수선		m ²	40,000	280.0	546.8
종합사령실	-		개소	1	200.0	180.9
차량	-		량	15	270.0	253.5
계	-		식	-	2,429.3	3,069

사업비 분석결과 전체 고가 적용시 예비타당성 지침에 비해 부산도시철도 4호선 공사비가 약 26.3% 증가되었다.

이는 부산도시철도 4호선 토목 고가 공사비가 예비타당성에 비해 약 40% 증가한 것이 주 원인으로 분석된다.

2) CASE - 2 (전체 지하 - 개착 지하)

용호선 전체를 개착 지하로 건설할 경우 사업비 분석을 표 3-27에 나타내었다.

표 3-27 용호선 전체 지하개착 사업비 분석

(단위 : 억원)

공 종			단위	수량	건설사업비	
					예비타당성 지침	부산도시철도 4호선
본선	교량		km	-	-	-
	개착	심도 10m이하	km	2.35	853.1	662.7
		심도 20m이하	km	2.35	961.2	911.8
	터널	NATM	km	-	-	-
정거장	고가	2층, L=35m	개소	-	-	-
	지하	2층, L=35m	개소	4	242.0	174.4
	지하	3층, L=35m	개소	4	290.0	218.0
환기구	-		개소	21	1323.0	655.8
궤도	본선	-	km	5.4	90.7	135.0
건축	고가	-	m ²	-	-	-
	지하	-	m ²	14,000	224.0	177.8
시스템	전기		km	5.4	214.4	162.5
	신호		km	5.4	148.5	163.1
	통신		km	5.4	75.6	206.5
차량기지	중수선		m ²	40,000	280.0	546.8
종합사령실	-		개소	1	200.0	180.9
차량	-		량	15	270.0	253.5
계	-		식	-	5,172.5	4,448.8

사업비 분석결과 전체 지하(개착) 적용시 예비타당성 지침에 비해 부산도시철도 4호선 공사비가 약 14.0% 감소하였다.

이는 부산도시철도 4호선 토목 개착 공사비가 예비타당성에 비해 약 29% 감소한 것이 주 원인으로 분석된다.

3) CASE - 3 (전체 지하 - 터널)

용호선 전체를 지하터널로 건설할 경우 사업비 분석을 표 3-28에 나타내었다.

표 3-28 용호선 전체 지하터널 사업비 분석

(단위 : 억원)

공 종			단위	수량	건설사업비	
					예비타당성 지침	부산도시철도 4호선
본선	교량		km	-	-	-
	개착	심도 10m이하	km	-	-	-
		심도 20m이하	km	-	-	-
	터널	NATM	km	4.7	1010.5	1692.0
정거장	고가	2층, L=35m	개소	-	-	-
	지하	2층, L=35m	개소	-	-	-
	지하	3층, L=35m	개소	8	580.0	436.0
환기구	-		개소	21	1323.0	655.8
궤도	본선	-	km	5.4	90.7	135.0
건축	고가	-	m ²	-	-	-
	지하	-	m ²	16,800	268.8	213.4
시스템	전기		km	5.4	214.4	162.5
	신호		km	5.4	148.5	163.1
	통신		km	5.4	75.6	206.5
차량기지	중수선		m ²	40,000	280.0	546.8
종합사령실	-		개소	1	200.0	180.9
차량	-		량	15	270.0	253.5
계	-		식	-	4,461.5	4,645.5

사업비 분석결과 전체 지하(터널) 적용시 예비타당성 지침과 부산도시철도 4호선 공사비는 약 5% 이내로 비슷하게 산정되었다.

이는 터널 공사비는 부산도시철도 4호선 공사비가 예비타당성에 비해 약 67% 증가한 반면 개착인 환기구 공사비에서 약 50% 감소하여 사업비 균형을 이룬 것으로 분석된다.

4) CASE - 4 (고가 + 개착 지하 → 50%식 적용)

용호선 건설 형식을 고가+개착 지하로 연장 대비 각각 50%식 건설할 경우 사업비 분석을 표 3-29에 나타내었다.

표 3-29 용호선 고가+개착 지하 사업비 분석

(단위 : 억원)

공 종			단위	수량	건설사업비	
					예비타당성 지침	부산도시철도 4호선
본선	교량		km	2.56	343.0	481.3
	개착	심도 10m이하	km	1.19	432.0	335.6
		심도 20m이하	km	1.19	486.7	461.7
	터널	NATM	km	-	-	-
정거장	고가	2층, L=35m	개소	4	36.0	58.8
	지하	2층, L=35m	개소	2	121.0	87.2
	지하	3층, L=35m	개소	2	145.0	109.0
환기구	-		개소	9	567.0	281.1
궤도	본선	-	km	5.4	90.7	135.0
건축	고가	-	m ²	-	-	-
	지하	-	m ²	12,600	201.6	160.0
시스템	전기		km	5.4	214.4	162.5
	신호		km	5.4	148.5	163.1
	통신		km	5.4	75.6	206.5
차량기지	중수선		m ²	40,000	280.0	546.8
종합사령실	-		개소	1	200.0	180.9
차량	-		량	15	270.0	253.5
계	-		식	-	3,611.5	3,623

사업비 분석결과 고가 + 지하(개착) 적용시 예비타당성 지침과 부산도시철도 4호선 공사비는 그의 동일하게 산정되었다.

이는 교량과 개착 공사비가 서로 상반되는 상태에서 교량과 개착 비율을 50% 적용함에 따라 사업비 균형을 이룬 것으로 분석된다.

5) CASE - 5 (고가 + 터널 → 50%씩 적용)

용호선 건설 형식을 고가+터널로 연장 대비 각각 50%씩 건설할 경우 사업비 분석을 표 3-30에 나타내었다.

표 3-30 용호선 고가+터널 사업비 분석

(단위 : 억원)

공 종			단위	수량	건설사업비	
					예비타당성 지침	부산도시철도 4호선
본선	교량		km	2.56	343.0	481.3
	개착	심도 10m이하	km	-	-	-
		심도 20m이하	km	-	-	-
	터널	NATM	km	2.38	511.7	856.8
정거장	고가	2층, L=35m	개소	4	36.0	58.8
	지하	2층, L=35m	개소	-	-	-
	지하	3층, L=35m	개소	4	290.0	218.0
환기구	-		개소	9	567.0	281.1
궤도	본선	-	km	5.4	90.7	135.0
건축	고가	-	m ²	-	-	-
	지하	-	m ²	14,000	224.0	177.8
시스템	전기		km	5.4	214.4	162.5
	신호		km	5.4	148.5	163.1
	통신		km	5.4	75.6	206.5
차량기지	중수선		m ²	40,000	280.0	546.8
종합사령실	-		개소	1	200.0	180.9
차량	-		량	15	270.0	253.5
계	-		식	-	3,250.9	3,722.1

사업비 분석결과 고가 + 지하(터널) 적용시 예비타당성 지침에 비해 부산도시철도 4호선 공사비가 약 14% 증가하였다.

이는 교량 및 터널을 제외한 대부분의 공사비가 감소한 반면 토목 공사비 중에서도 터널공사비가 예비타당성 지침에 비해 상대적으로 큰 폭으로 증가한 것이 주요 원인으로 분석된다.

6) CASE - 6 (개착 지하 + 터널 → 50%식 적용)

용호선 건설 형식을 개착 지하+터널로 연장 대비 각각 50%식 건설할 경우 사업비 분석을 표 3-31에 나타내었다.

표 3-31 용호선 개착 지하+터널 사업비 분석

(단위 : 억원)

공 종			단위	수량	건설사업비	
					예비타당성 지침	부산도시철도 4호선
본선	교량		km	-	-	-
	개착	심도 10m이하	km	1.175	426.5	331.4
		심도 20m이하	km	1.175	480.6	455.9
	터널	NATM	km	2.35	505.3	846.0
정거장	고가	2층, L=35m	개소	-	-	-
	지하	2층, L=35m	개소	4	242.0	174.4
	지하	3층, L=35m	개소	4	290.0	218.0
환기구	-		개소	21	1323.0	655.8
궤도	본선	-	km	5.4	90.7	135.0
건축	고가	-	m ²	-	-	-
	지하	-	m ²	14,000	224.0	177.8
시스템	전기		km	5.4	214.4	162.5
	신호		km	5.4	148.5	163.1
	통신		km	5.4	75.6	206.5
차량기지	중수선		m ²	40,000	280.0	546.8
종합사령실	-		개소	1	200.0	180.9
차량	-		량	15	270.0	253.5
계	-		식	-	4,770.6	4,507.6

사업비 분석결과 지하 개착 +터널 적용시 예비타당성 지침과 부산도시철도 4호선 공사비는 약 6% 이내로 비슷하게 산정되었다.

이는 토목 공사비와 시스템 공사비가 상호 보완 작용을 하여 사업비 균형을 이룬 것으로 분석된다.

3.4.2 실제 모델을 적용한 사업비 분석 결과

실제 용호선 노선을 CASE별로 분석한 결과를 표 3-32에 나타내었다.

표 3-32 CASE별 용호선 사업비 분석 결과

CASE-1(전체 고가) 4호선:3,069억원 / 예타:2,429억원 26.3% 증가	CASE-1(전체 개착지하) 4호선:4,449억원 / 예타:5,173억원 14.0% 감소
CASE-3(전체 터널) 4호선:4,646억원 / 예타:4,462억원 4.1% 증가	CASE-4(고가+ 개착 지하) 4호선:3,623억원 / 예타:3,612억원 0.3% 증가
CASE-5(고가+ 터널) 4호선:3,722억원 / 예타:3,251억원 14.5% 증가	CASE-6(개착 지하+ 터널) 4호선:4,508억원 / 예타:4,771억원 5.5% 감소

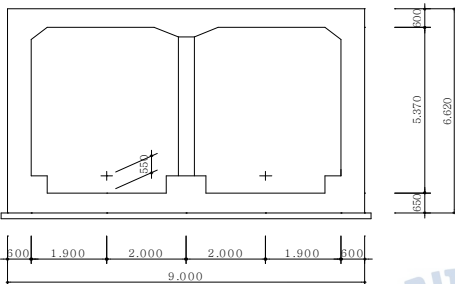
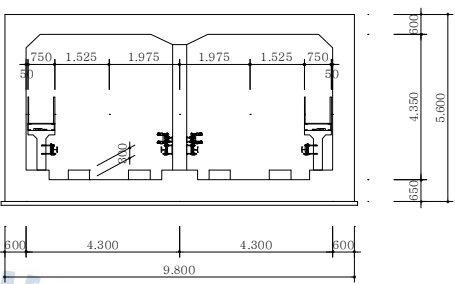
예비타당성 지침과 부산도시철도 4호선간의 공사비는 다소 차이를 보이나 공통적인 사항은 토목 공사비가 전체 사업비 증감의 주된 요인으로 작용한다는 것을 알 수 있다. 특히, 고가 비율이 증가할수록 예비타당성 지침 사업비와 4호선 사업비 차이가 가장 크게 발생하며, 고가 사업비는 지하 사업비에 비해 4호선의 경우 약 33% 감소하므로 고가형식 적용시 경제적 타당성 확보에 유리하다.

3.4.3 건설형식에 따른 단면규모 검토

1) 지하 본선개착 비교

중량전철과 경량전철의 지하 본선개착 단면에 대한 분석 결과를 표 3-33에 나타내었다.

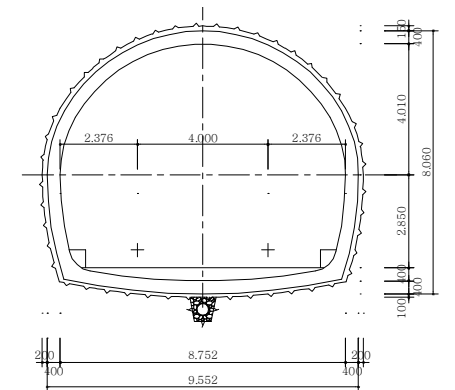
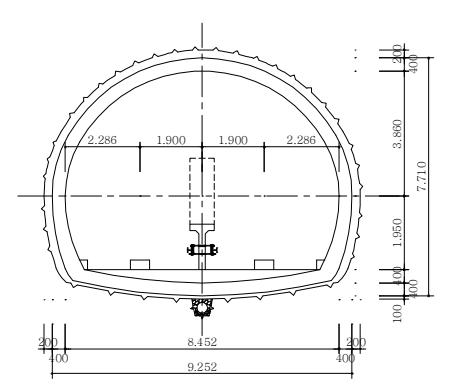
표 3-33 지하 본선개착 단면 비교

중 량 전 철	경 량 전 철
	
- 굴착량 : 127.8m³/m (토피 10m 기준) - 구조물량 : 20.1m³/m	- 굴착량 : 123.9m³/m (토피 10m 기준) - 구조물량 : 20.3m³/m
- 굴착량 비율 : 100.0% - 구조물량 비율 : 100.0%	- 굴착량 비율 : 96.9% - 구조물량 비율 : 101.0%

2) 지하 본선터널 비교

중량전철과 경량전철의 본선 터널 단면에 대한 분석 결과를 표 3-34에 나타내었다.

표 3-34 지하 본선터널 단면 비교

중 량 전 철	경 량 전 철
	
- 굴 착 량 : 68.9m³/m - 구조물량 : 11.4m³/m	- 굴 착 량 : 61.1m³/m - 구조물량 : 11.0m³/m
- 굴착량 비율 : 100.0% - 구조물량 비율 : 100.0%	- 굴착량 비율 : 88.5% - 구조물량 비율 : 96.5%

3) 본선 교량 비교

중량전철과 경량전철의 본선 고가 단면에 대한 분석 결과를 표 3-35에 나타내었다.

표 3-35 고가 단면 비교

중 량 전 철	경 량 전 철
- 강재량 : 4.410tinf/m	- 강재량 : 2.558tonf/m
- 강재량 비율 : 100.0%	- 강재량 비율 : 58.0%

중량전철과 경량전철의 표준단면을 검토한 결과 개착이나 터널의 경우는 경량전철 임에도 불구하고 물량 차이는 거의 미미하다. 그러나 교량구조물의 경우는 약 58% 정도의 절감 효과를 기대할 수 있으므로 사업비 절감에 상당한 효과를 볼 수가 있다. 따라서 사업비 절감을 극대화 하여 도시철도 건설에 따른 타당성 확보를 위해서는 고가형식 비율을 늘이는 것이 바람직하다.

4장. 경량전철 운영비 분석

4.1 운영비 추정과정

4.2 예비타당성 지침 운영비 분석

4.3 부산도시철도 4호선 운영비 분석

4.4 운영비 분석결과



4장 경량전철 운영비 분석

도시철도 운영비는 적용시스템, 열차운전방식(유인, 무인), 종합관리체계, 설비 집중 운영비용 및 시스템의 운영실적 등에 따라 차이가 많으나, 도시철도 건설시 사업추진 결정의 중요한 요소이다. 최근 신규 추진사업의 경우 건설사업비뿐만 아니라 운영비 절감을 위하여 최신 시스템 도입, 운영조직의 슬림화, 다양한 아웃소싱을 통한 경영개선으로 운영비 절감을 추진 중이다.

따라서 이 장에서는 경량전철 운행에 따른 운영비 분석을 현재 건설완료 후 운영중인 『부산도시철도 4호선』과 『도로·철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』(한국개발연구원, 2008.12)과 비교·분석하여, 운영비의 타당성 및 향후 적용성에 대하여 검토하였다.

운영비 분석 기준년도는 예비타당성 지침에서와 동일한 2007년을 적용하였으며, 분석을 위해서는 하나의 모델이 필요하며, 그 모델로 부산 도시철도 4호선의 노선연장 및 역사수 등을 기준으로 분석하였다.

4.1 운영비 추정 과정

운영비 추정은 운행노선의 연장, 차량수송능력 및 장래수요예측과정에서 산정한 수송수요를 이용하여 수요팀과 비용팀이 Feedback을 통하여 차량 수, 운행횟수, 운행거리를 산출하고, 이후에 정거장 및 차량기지 개수를 산정하고 이를 바탕으로 하여 운영비를 추정한다. 운영비 추정 흐름도를 그림 4-1에 나타내었다.

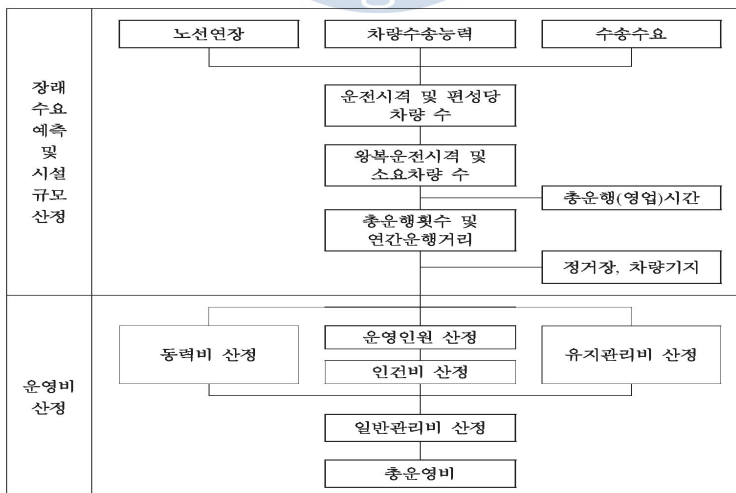


그림 4-1 운영비 추정 흐름도

4.1.1 운영비 추정 항목

운영비 추정 항목으로는 인건비, 동력비, 차량 및 시설유지보수비, 일반관리로 분류하였다.

1) 인건비

인건비 추정은 운영에 필요한 운영인원을 산정한 후에 직원 1인당 평균 임금을 적용하여 산출한다.

2) 동력비

동력비는 전동차의 운행에 필요한 동력비와 역사 및 차량기지에 필요한 동력비로 구분하여 산출하며, 동력비 추정은 본선과 정거장 및 차량기지의 전력 소모량에 kWh당 단위전력비를 곱해서 산정한다.

3) 유지보수비

유지보수비는 인건비를 제외한 순수시설에 대한 유지관리비만을 산출한다. 단, 유지관리비에는 지급수수료 항목으로 차량 유지보수인원 중 검수 및 중정비 용역인원의 인건비는 포함하여 산정한다.

4) 일반관리비

일반관리비는 운영관리 및 사업관리 비용으로 산정한다.

4.1.2 운영인원 산정

운영인원은 크게 영업 및 운영, 유지보수, 업무지원 세 가지로 구분 가능하며, 영업 및 운영에서는 역무인원, 종합사령인원, 승무인원을 산정하고, 유지보수에서는 기술 유지보수인원, 차량 유지보수인원을 산정하고, 업무지원에서는 관리인원을 포함한다.

도시철도의 운영 및 영업을 담당하는 영업/운영 분야, 시설물 및 차량유지관리를 담당하는 유지보수 분야와 행정, 인사, 급여, 구매 등을 담당하는 업무지원 분야로 업무특성에 따라 분류되며, 도시철도 운영조직도를 그림 4-2에 나타내었다.

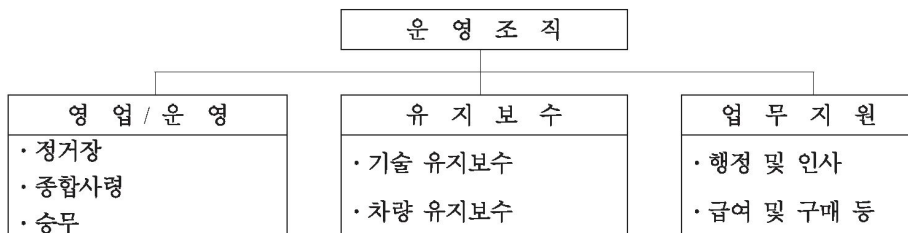


그림 4-2 운영 조직도

4.2 예비타당성 지출 운영비 분석

4.2.1 인건비 산정

1) 운영인원 산정

① 정거장별 인원산정

정거장 인원산정 시에는 정거장을 역무관리소, 보통 정거장, 무인 정거장 등으로 구분하여 산정하며, 정거장별 인원 산정 결과를 표 4-1에 나타내었다.

표 4-1 정거장별 인원 산정 결과

(단위 : 인)

구 분	역무관리소		보통 정거장		무인 정거장	
	직급	인원	직급	인원		
소 요 인 원	소장	1	역장	1	상위 정거장 또는 관리소에서 통합관리 (역무원 비상주)	
	서무	5	부역장	1인 × 3교대 = 3인		
			역무원	매표 외		1인 × 3교대 = 3인
				안전 외		1인 × 3교대 = 3인
합계	6		10		-	

② 종합사령

종합사령은 열차 안전운행에 직결되는 중요한 조직이다. 종합사령 조직은 통합 관리시스템 구축을 통한 인력운영의 효율성 제고 및 관제시스템의 합리적 운영 체계 확보를 위하여 업무특성에 따라 운전, 차량, 신호, 전력, 설비, 통신관제로 구분하였다.

업무에 따른 일반적 관제조직을 제시한 것이므로 기존 관제조직 활용이나 시스템 특성상 관제인력의 조정이 가능한 경우에는 안전이 확보되는 조건에서 관련 관제조직을 통합 및 조정하여 적용할 수 있다. 차량기지 관제업무는 신호분소에서 통합 운영하는 것으로 계상하였으며, 종합사령 인원 산정 결과를 표 4-2에 나타내었다.

표 4-2 종합사령 인원 산정 결과

(단위 : 인)

구 분	사령장	사령원		합 계
소요인원	1	관제 수(개)	6	55
		관제인원	9	

③ 승무원인원

K-AGT 차량시스템은 무인운전 시스템으로 본선운전에 대한 승무원인원은 없으며, 기지운전만 산정하며 승무원인원 산정 결과를 표 4-3에 나타내었다.

표 4-3 승무원인원 산정 결과

(단위 : 인)

구 분	소 요 인 원
기지운전	3인 × 3조 = 9인

④ 기술 유지보수인원

기술 유지보수인원은 시스템(전기, 신호, 통신, 설비, 전자) 유지보수팀과 시설(토목, 건축) 유지보수팀으로 구분하여 운영하며, 노선연장 약 10km 정도마다 한 팀의 분소를 설치하는 것을 기준으로 산정한다. 기술 유지보수인원 산정 결과를 표 4-4에 나타내었다.

표 4-4 기술 유지보수인원 산정 결과

(단위 : 인)

구 분	소 요 인 원
기술본부	본부장 1인
시스템 및 시설유지 보수팀	팀장 각 1인
분소(1개소)	1조당 3인 × 3교대
기술지원부	분소인원의 15%
합 계	{ 3인 + (3인 × 1분소 × 3교대) × 1.15 } = 14인

⑤ 차량 유지보수인원

차량 유지보수인원은 차량기지 내의 차량 검수, 보수와 본선 내 기동출동, 차량 고장조치 등을 수행하며, 국내 운영기관의 운영실적 등을 분석한 결과를 바탕으로 차량정비 시 주요 업무는 직영하고 단순한 일반 작업은 위탁(용역)하는 조건으로 개략적 차량 보수인원을 산정한다. 차량 유지보수인원 산정 결과를 표 4-5에 나타내었다.

표 4-5 차량 유지보수인원 산정 결과

(단위 : 인)

구 분	소 요 인 원
경정비	102량 × 0.25 = 26인
중정비	102량 × 0.06 = 7인

⑥ 관리인원

본사 및 현업의 인사, 회계, 기획 및 서무 등의 관리업무를 수행하는 인원으로 기존 사례 및 국내 기준들을 검토한 결과를 토대로 영업 및 운영 인원, 유지보수 인원 합계의 약 6.3%를 적용하였다.

⑦ 운영인원 산정 결과

연도별 필요 운영인원을 산출한 운영인원 세부 결과는 표 4-6과 같다.

표 4-6 운영인원 세부 집계표

(단위 : 인)

구 분	세 부 항 목				인원	근무 형태	산정 인원
영업/운영	정거장	역무관리소	소장		1	일근	1
			서무		5	일근	5
		보통정거장	역장		1	일근	13
			부역장		1	3교대	39
			역무원	매표 외	1	3교대	39
				안전 외	1	3교대	39
	종합사령	사령장		1	일근	1	
		관제	운전관제		2	3교대	54
			기타관제		1.5	3교대	
	승무인원	소장		1	일근	1	
		본선운전	소요 승무원			교대	
			비상예비 승무원			교대	
		기지운전		3	교대	9	
		승무계획	본선운전 승무의 5%			일근	
	소 계						
유지보수	기술보수	기술본부			1	일근	1
		시스템 유지보수			1	일근	1
		시설 유지보수			1	일근	1
		분소	경량전철		3	3교대	9
		기술지원부	분소인원의 15%				2
		주재소					
	차량보수	경량전철	경정비			3교대	26
			중정비			일근	7
	소 계						
업무지원	관리인원	(영업/운전+유지보수)인원의 6.3%				-	16
총 운 영 인 원 (계)							264

2) 인건비

인건비는 연도별 소요인원에 대해 직원 1인당 평균 임금을 기준으로 산출하며, 국내의 기존 사례를 분석하여 소요인원 수에 대해 평균 임금을 산출하여 적용하도록 한다. 현재 도시철도(지하철) 운영기관인 서울도시철도공사, 부산교통공사, 대구도시철도공사 등 유관기관의 2007년 기준 평균 임금(제수당, 잡급, 퇴직급여, 복리후생비 등 포함)을 조사하여 분석한 결과, 2007년 평균 임금은 57,715천원으로 조사되었으며, 표 4-7에 연간 인건비 산정 결과를 나타내었다.

단, 차량 유지보수인원 중 검수 및 중정비의 용역임금은 지급수수료 항목으로 유지관리비에 포함하여 산정한다.

표 4-7 연간 인건비 산정 결과

평균인당 인건비(천원)	소요인원(인)	연간 인건비(억원)
57,715	264	152.37

4.2.2 동력비 산정

동력비는 전동차의 운행에 필요한 동력비와 역사 및 차량기지에 필요한 동력비로 구분하여 산출한다.

동력비 추정은 본선과 정거장 및 차량기지의 전력 소모량에 kWh당 단위 전력비를 곱해서 산정한다. 동력비 추정식은 다음과 같으며, 전력소모량, 단위 전력비 및 전체 동력비 산정 결과를 표 4-8, 표 4-9, 표 4-10에 각각 나타내었다.

$$\text{동력비} = (\text{본선 동력비} + \text{정거장 동력비} + \text{차량기지 동력비}) \times \text{kWh당 단위 전력비}$$

여기서,

- 본선 동력비 = 연간운행거리 × 편성당 차량 수 × 본선 전력소모량
(kWh/량-km)
- 정거장 동력비 = 정거장당 연간 전력소모량(kWh/년 · m²) × 면적 × 역수
- 차량기지 동력비 = 차량기지 연간 전력소모량 × 차량기지 수
- kWh당 단위 전력비 = 산업용 전력(병) 선택요금(Ⅱ) 고압A 계약전력
1,000kWh이상으로 산정

표 4-8 전력소모량

구 분	본선	정거장	차량기지
AGT 전력소모량	2.0 kwh/차량 · km	150 kwh/년 · m ²	17,287 kwh/일 · m ²

표 4-9 단위 전력비(kwh당 전력비, 2007년 기준)

구 분	기본요금	가중평균	여름	봄, 가을	겨울
전력비	6,072원/월	64.91원/kwh	72.89원/kwh	50.83원/kwh	56.43원/kwh

표 4-10 전체 동력비 산정 결과

구 분	동 력 비	
열차운행	$1,492,690\text{km} \times 6\text{량} \times 2.0\text{ kwh/차량} \cdot \text{km}$	= 17,912,280 kwh
정 거 장	$150\text{ kwh/년} \cdot \text{m}^2 \times 3,900\text{m}^2 \times 13\text{개소}$	= 7,605,000 kwh
차량기지	$17,287\text{ kwh/일} \cdot \text{m}^2 \times 365\text{일} \times 1\text{개소}$	= 6,309,755 kwh
소계		= 31,827,035 kwh
전체 동력비	$31,827,035\text{kwh} \times 64.91\text{원/kwh}$	= 20.66 억원

4.2.3 유지관리비 산정

유지관리비는 시스템별로 편차가 크며 동일 시스템의 경우도 연장 및 개통연도에 따라 차이가 있으므로 원단위의 비용을 도출하기 어려워 현재 운영기관의 경영실적을 분석하여 개략적 유지관리비를 제시하고 있다.

도시철도 운영기관인 도시철도공사, 부산교통공사, 대구도시철도공사 등의 2007년도 경영실적 자료를 조사한 결과 평균 유지관리비용은 약 479,437천원/년 · km(복선)인 것으로 조사되었으며, 유지관리비 산정 결과를 표 4-11에 나타내었다.

표 4-11 유지관리비 산정 결과

총 연 장(km)	연간 km당 유지관리비	연간 총 유지관리비
12.7 km	479.437 백만원/km	60.89 억원

4.2.4 일반관리비 산정

일반관리비는 운영 및 사업관리 비용으로서 운영기관의 실적 자료를 반영하여 인건비, 동력비, 유지관리비 합계의 7~10% 정도를 일반관리비로 규정하고 있으며, 본 검토에서는 평균치인 8.5%를 적용하여 산정한다.

4.2.5 예비타당성 지침 운영비 분석 결과

예비타당성 지침에 따른 연간 운영비 산정 결과는 표 4-12와 같다.

표 4-12 연간 운영비 산정 결과

(단위 : 억원)

인 건 비	동 력 비	유지관리비	일반관리비	합 계
152.37	20.66	60.89	19.88	253.80

4.3 부산도시철도 4호선 운영비 분석

4.3.1 인건비 산정

1) 운영인원 산정

① 부산도시철도 4호선 운영인원 조직구성

현재 건설완료 후 운영중인 부산도시철도 4호선의 운영인원은 총 177명으로 그에 따른 조직도는 그림 4-3과 같다.

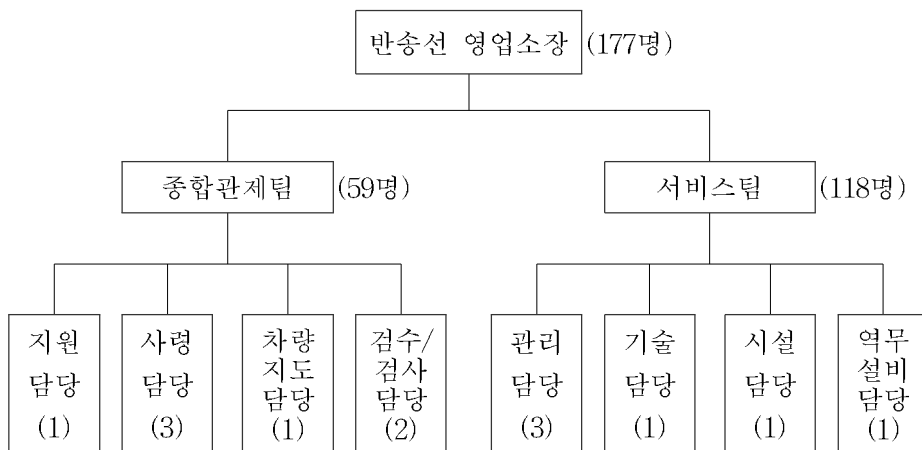


그림 4-3 부산도시철도 4호선 운영 조직도

② 부산도시철도 4호선 부서별 운영인원

부서별 운영인원의 업무분장은 표 4-13과 같다.

표 4-13 부서별 업무분장

(단위 : 인)

구 분		계	복수직렬			관리직	전기직	시설직	차량직	업무직
			①	②	③					
계		177	81	24	1	10	29	3	27	2
종합 관제팀	소 계	59	6	24	-	-	-	-	27	2
	지원담당	8	6	-	-	-	-	-	-	2
	사령담당	24	-	24	-	-	-	-	-	-
	차량지도담당	5	-	-	-	-	-	-	5	-
	검수검사담당	22	-	-	-	-	-	-	22	-
서비스팀	소 계	118	75	-	1	10	29	3	-	-
	관리담당	75	75	-	-	-	-	-	-	-
	기술담당	29	-	-	-	-	29	-	-	-
	시설담당	10	-	-	1	6	-	3	-	-
	역무설비담당	4	-	-	-	4	-	-	-	-

2) 인건비

부산도시철도 1, 2, 3호선의 총 운영인원은 3,480명이며 그에 따른 인건비 분석은 ‘부산교통공사 2007회계년도 결산서’를 참고하여 산정하였으며, 표 4-14에 인건비 분석을 나타내었다.

표 4-14 인건비 분석

(단위 : 백만원)

급여, 제수당	퇴직급여	복리후생비	계	1인당 평균인건비
183,777	21,397	15,862	221,036	63.52

따라서, 부산도시철도 4호선 운영에 따른 연간 인건비 산정 결과는 표 4-15와 같다.

표 4-15 연간 인건비 산정 결과

(단위 : 백만원)

평균인당 인건비(백만원)	소요인원(인)	연간 인건비(억원)
63.52	177	112.43

4.3.2 동력비 산정

부산도시철도 4호선 운행이 금년 4월부터 운영기간이 1년 미만으로 연간 통계분석 자료의 활용이 어려워 월별 동력비를 기초로 하여 연간 동력비를 산정하였으며, 산정 결과는 표 4-16에 나타내었다.

표 4-16 연간 동력비 산정 결과

구 분	동력비(원/km)	주행거리(km)	전기료(원)
4 월	1,150	121,301	139,235,870
5 월	1,120	121,808	135,664,340
6 월	1,160	116,623	134,633,590
7 월	1,600	121,151	193,360,710
8 월	1,430	144,462	205,453,410
9 월	1,260	121,000	152,175,090
평 균	1,290	124,391	160,087,168
연간 동력비	1,290	1,492,690	1,921,046,020 (≍ 19.21억원)

4.3.3 유지관리비 산정

유지관리비는 부산도시철도 4호선의 운영기간이 1년미만으로 통계분석 자료를 활용하기가 어려워 예비타당성 지침에서 규정한 평균 유지관리비용 약 479,437천 원/년·km(복선)을 동일하게 적용하여 표 4-17에 유지관리비 산정결과를 나타내었다.

표 4-17 유지관리비 산정 결과

총 연 장(km)	연간 km당 유지관리비	연간 총 유지관리비
12.7 km	479.437 백만원/km	60.89 억원

4.3.4 일반관리비 산정

일반관리비는 인건비, 동력비, 유지관리비 합계의 8.5%를 적용하여 산정한다.

4.3.5 부산도시철도 4호선 운영비 분석 결과

부산도시철도 4호선 운영에 따른 연간 운영비 산정 결과는 표 4-18과 같다.

표 4-18 연간 운영비 산정 결과

(단위 : 억원)

인 건 비	동 력 비	유지관리비	일반관리비	합 계
112.43	19.21	60.89	16.37	208.90

4.4 운영비 분석 결과

예비타당성 지침과 부산도시철도 4호선에 대한 운영비 대비 결과, 예비타당성 지침에 비해 실제 운영비로 산정한 부산도시철도 4호선의 운영비가 약 17.7% 적게 평가 되었다.

이는 K-AGT의 무인시스템을 적극 활용한 운영계획으로 인건비 절감(39.94억원) 효과로 분석되며, 표 4-19에 연간 운영비 산정 결과 비교표를 나타내었다.

표 4-19 연간 운영비 산정 결과 비교표

(단위 : 억원)

구 분	예비타당성 지침	부산도시철도 4호선	비 고
인 건 비	152.37	112.43	▼ 39.94
동 력 비	20.66	19.21	▼ 1.45
유지관리비	60.89	60.89	-
일반관리비	19.88	16.37	▼ 3.51
합 계	253.80	208.90	▼ 44.90

5장. 결론

5.1 결 론

5.2 향후 과제



5장. 결 론

5.1 결론

이 연구에서는 버스와 지하철의 중간규모로 지하철 지선, 중소도시의 간선, 대도시와 위성도시의 연결 등에 유리한 경량전철의 시스템을 비교 분석하였으며, 경량전철의 사업비 부문에서는 「예비타당성 지침」과 실제 완공 후 운영중인 「부산도시철도 4호선」의 사업비 비교·분석을 하여, 이를 통한 경량전철의 건설방향에 대해 검토하였다. 이 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 전 세계적으로 운행하고 있는 시스템 중에서 대표적인 6가지 시스템을 선정 한 후, 자체 작성한 평가기준 6가지 항목을 기준으로 평가한 결과 고무바퀴 AGT가 가장 높은 점수를 얻었으며, 이는 국내에서 계획중인 대다수 노선의 시스템과도 일치하였다. 고무바퀴 AGT는 여러가지 건설 여건을 고려할 시 활용성이 높은 시스템인 것으로 판단된다.
- (2) 사업비 분석을 위해서 「예비타당성 지침」과 운영중에 있는 「부산도시철도 4호선」을 분석한 결과 지하건설형식의 경우 예비타당성 지침이, 고가건설형식의 경우 부산도시철도 4호선이 비교적 높은 사업비가 필요한 분석되었으며, 지하 및 고가 복합건설인 경우는 양쪽의 편차가 크지 않는 것으로 나타났다.
- (3) 「예비타당성 지침」과 「부산도시철도 4호선」 사업비 차이가 크지 않은 이유는 부산도시철도 4호선은 개착의 경우 양호한 지질조건으로 경제적인 시공이 이루어 졌으며, 터널의 경우는 대부분 풍화암층 통과로 인한 보강비로 공사비 증액요인이 발생되었으며, 고가건설형식의 경우 말뚝기초 및 강구조 교량 형식 선정으로 다소 높은 공사비가 산출된 것으로 분석된다.
- (4) 중량전철과 경량전철의 공사비를 비교한 결과 고가건설형식에서는 차이가 많으나, 지하건설형식의 경우에는 단면 규모가 비슷하여 공사비 차이가 적은 것으로 나타났다. 이는 경량전철의 고가 건설형식은 하중이 중량전철에 비해

상대적으로 적으므로 고가구조물 규모 감소로 공사비가 저렴한 것으로 나타났다.

(5) 운영비를 비교·분석한 결과 「예비타당성 지침」의 경우 258.3억원/년, 「부산 도시철도 4호선」은 208.9억원/년로 부산도시철도의 경우가 약17.7% 낮게 나타났다. 이는 고무차륜 AGT의 무인시스템을 적극 활용한 운영계획으로 분석된다.

(6) 이와 더불어, 경량전철의 지하형식건설과 고가형식건설을 비교한 결과 고가형식의 건설이 50%정도 낮은 사업비가 산정되었다. 따라서 미관을 고려한 슬랜드한 구조물 계획 및 지역주민들의 인식변화가 수반될 경우 고가형식의 경량전철 건설로 경제적이고 합리적인 도시철도건설이 가능할 것이다.

5.2 향후 과제

이 연구는 도심지 대중교통의 대안으로 떠오르고 있는 경량전철의 시스템, 사업비 분석 및 향후 도시철도 건설방안에 대하여 검토하였다. 근래 용인선 등 건설은 이루어졌지만 수송수요 산정의 부정확성 때문에 운영을 하지 못하는 사업이 다수 발생할 것으로 보인다. 그러므로 사회적 문제가 되고 있는 수송수요 산정에 대한 심도 깊은 고찰 및 정확한 사업비 산출이 이루어져야 할 것이다.

또한 지하구간은 대피통로로 인해 중량전철과 비슷한 규모로 도시철도 사업비 증가의 주된 원인으로 작용하고 있으므로 경량전철 지하구간 단면을 최적화 할 수 있는 연구를 병행하는 것이 향후 경제적인 도시철도건설사업의 활성화에 이바지 할 수 있을 것이라 판단된다.

참고문헌

- 건설교통부(2006), 도시형 자기부상열차 실용화사업 타당성 조사
- 국토해양부(2010), 도시철도차량 표준규격
- 대구광역시 지하철 건설본부(2005), 도시철도 3호선 기본계획 및 타당성 조사
- 부산교통공사(2008), 2007회계년도 결산서
- 부산교통공사(2008), 부산도시철도 4호선 설계예산서
- 부산광역시(2010), 부산광역시 도시철도 기본계획 재정비
- 삼보기술단(2005), 세계의 경전철 시스템
- 삼보기술단(2005), 일본의 경전철 시스템
- 서울특별시(2008) 서울시 10개년 도시철도 기본계획
- 선구엔지니어링(2008), 경전철의 이해
- 울산광역시(2008), 울산도시철도 1호선 기본계획
- 이덕영, 이안호(2010), 합리적인 경량전철 시스템 선정방안, 철도저널 제13권 제4호, pp.22~29
- 한국개발연구원(2008), 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구 (제5판)
- 한국철도기술연구원(2001), 경량전철 기술, 도서출판 명신

감사의 글

대학졸업후 상아탑의 문에 다시 들어서서 이 한편의 논문으로 만학의 기쁨을 누리게 되어 무한히 기쁩니다.

학문의 길을 찾아 헤메이던 저를 흔쾌히 문하로 허락하시어 배움의 재충전 기회를 주시고 본 논문이 완성되기까지 열정과 관심으로 지도하여 주신 경갑수 교수님이 없었더라면 오늘의 성과가 있을 수 없었을 것입니다. 다시 한 번 교수님께 진심으로 감사드립니다.

그리고 부족한 저의 논문을 꼼꼼히 검토해 주시고 지도해 주신 김도삼 교수님, 김태형 교수님께 감사드립니다. 앞으로 잊지않고 영원한 학문의 선배님들로 모시도록 하겠습니다.

또한 바쁘신 와중에도 본 논문이 나오기까지 애써주신 구조연구실 여러분에게 고마움을 전합니다.

짧지 않은 기간 중에도 대학원 생활에 충실할 수 있도록 배려와 성원을 보내주신 직장동료 여러분께도 감사를 드립니다.

무엇보다 22년이라는 짧지 않은 시간동안 한결같은 믿음과 격려를 보내준 아내에게 감사를 표하고자 합니다. 사랑하는 아들 유성이와 딸 새솜이에게는 아빠의 이 작은 성과가 우리 아들 딸에게 멋진 꿈과 희망을 가지는 기회가 되기를 기원합니다.

이 결실을 소중히 여기며 항상 충실한 삶을 살아갈 것을 다시 한 번 다짐하면서 오늘의 성과를 바탕으로 더 큰 도약을 하고자 합니다.

2011. 12. 이상학