

양산지역 도시철도 환승체계 최적노선망 구축에 관한 연구

A Study on the Construction for Optimal Network of Metro Transfer System in Yangsan Area

최양원*

Choi, Yang Won

Abstract

Recently, the management of metro business in large cities has become more difficult because of increased construction and operation costs. The purpose of this paper presents the construction of transfer system to resolve about recent tendency to decrease of metro-users and diminution of use efficiency which are serious problems of Busan metro. To cope with this situation, it is necessary to examine the methods of obtaining returns on development profits of land value rises that occur due to transfer system construction between Busan metro line #1 and line #2 in Yangsan area. Therefore, it was made use of research on metro utilization to presuppose service improvement, as an alternative, in the transfer system construction between metro and metro which might be powerful influence over metro-users. In this research, it was examined the actual situation of rises in land values brought about by the transfer system construction of metro line #1 and line #2 in Yangsan area with application of four (4) methods, and have calculated a basis of the development profits produced by the transfer system construction of metro line. According to the economical efficiency analysis, the total construction cost amount to 4,827.1 billion won of case #1 based on single track, and evaluate economically as B/C to 1.013, NPV to 72.7 billion, IRR to 5.614 percent.

Keywords : metro, B/C, NPV, IRR, transfer system

요 지

근래 도시철도의 운영비와 건설비의 증가로 인하여 대도시에서의 도시철도사업 운영은 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 특히 부산도시철도의 당면 문제점인 이용 승객의 감소추세와 이용효율의 저하를 개선하고자 도시철도 중심의 환승체계의 구축이 요구되어지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 양산 지역내 부산도시철도 1호선과 2호선을 연결시키는 환승체계 구축의 필요성이 제기되었다. 따라서 양산시와 부산시와의 활발한 이동량과 사송지구 택지개발사업의 시행, 부산 도시철도 2호선 양산선 개통 등으로 양산시와 부산 도시철도 1호선과의 연결을 통한 도시철도망 환승체계 구축 필요성이 크게 대두됨에 따라, 부산 도시철도 1호선 양산선(노포~양산역~북정) 연장에 따른 도시철도 환승체계 구축 방안은 다방면으로 건설하는 노선1을 최적노선 대안으로 선정함으로써 지역주민의 편리한 이용과 경제성은 물론 지역발전의 원동력이 될 수 있을 것으로 기대된다. 특히 2개 노선을 4가지 방법에 의한 경제성 분석 결과 노선1의 건설에 필요한 총 사업비는 단선 건설시 4,827.1 억원으로 산정되었으며, 사업비중 순 공사비가 가장 많은 비용을 차지하고 있고, 다음으로 차량구입비, 예비비, 용지보상비, 부대비 순으로 나타났으며, 노선1 단선건설시 경제성 분석결과 편익/비용비(B/C)가 1.013, 순현재가치(NPV)가 72.7억원, 내부수익율(IRR)이 5.614%로 분석되어 경제성이 있는 것으로 평가되었다.

핵심용어 : 도시철도, 편익/비용비, 순현재가치, 내부수익율, 환승체계

1. 서 론

1.1 연구배경과 목적

본 연구의 배경으로 양산시는 부산·울산광역시에 인접하여 일일생활권을 형성하고 있으며, 지역 내 주요 광역교통시설로서는 경부선 철도가 남측지역을 동서방향으로 통과하고 있고, 경부고속철도는 2010년을 개통예정으로서 공사 중에 있다. 통과하는 주요도로로서는 경부고속국도와 중앙고속국도 지선, 국도7·35호선, 국가지원지방도60·69호선, 지방도

1022·1028·1051·1077호선이 관통하고 있다.

현재 양산지역 거주인구는 약 25만명으로 중앙동, 삼성동, 강서동 지역 주변의 양산·어곡 지방산업단지, 산막·북정 공업지구와 웅상지역 지역의 소주·용당 산업단지, 덕계 농공단지 등 대규모 산업단지가 조성되어 있어, 출퇴근하는 5만여 공단근로자들이 도로상의 교통수단으로 주로 사용하고 있다.

양산 물금신도시, 부산대학교 양산캠퍼스(부산대학교 병원), 서창지구 택지개발, 북정지구 택지개발, 신기지구 등 개발사업 및 각종 공동주택사업과 그 외 각종 개발계획들이 활발

*정회원 · 영산대학교 교통시스템학과 부교수 (E-mail : ywchoi@ysu.ac.kr)

하게 진행되고 있어 양산시 인구는 계속 증가될 전망이다.

따라서 본 연구의 목적은 양산지역내 부산 도시철도 2호선 양산선(호포~양산)의 개통에 따라 양산지역 도시철도망인 부산 도시철도 1호선과 2호선의 환승체계 구축을 위해 노선 연장의 필요성이 대두되어 적극적으로 검토됨에 따라 노포역~양산역~북정역간의 합리적인 수요예측 및 경제성 분석 등을 통하여 도시철도 환승체계 구축을 위한 최적노선 대안 제시를 목적으로 한다.

1.2 연구방법

본 연구의 연구방향은 공간적 범위를 직접영향권과 간접영향권으로 구분하여 직접영향권은 부산 도시철도 1호선 연장(노포~양산역~북정)약 14.2km구간과 해당지역인 양산시와 부산광역시 금정구 및 북구를 포함한 영향권을 설정하였으며, 간접영향권으로는 부산광역시권과 울산 광역권을 포함하였다. 연구 대상기간은 기준연도를 2008년으로 기준하여 목표연도는 2014년(개통연도), 2020년, 2030년, 2040년으로 4단계로 분류하여 개통 후 30년(2014년~2043년)까지 분석하였다

연구방법으로는 도시철도 시스템의 특성과 종류를 조사하고, 국내 기 건설사례를 검토한 후 도시철도 환승체계 구축을 위한 효율적인 노선 대안을 제시하였다.

도시철도망 환승체계에 적합한 차량시스템 선정을 위해 해당지역의 수송수요 예측과 적용가능 시스템의 우월한 측면을 감안하여 노선 대안을 제시하였다. 또한 도시철도망 환승

체계 구축을 위해 수단별 통행량과 통행배정 결과에 따라 경제적 분석을 위해 편익 및 비용산출 항목을 고려한 편익/비용분석법과 순현재가치법 그리고 내부수익율법 등을 통하여 경제성 분석결과를 도출하였다.

특히 양산지역 도시철도망 환승체계 구축 방안은 해당지자체의 노력과 시민의 적극적인 협력이 요구되는 정책이므로 유일한 저탄소 녹색교통수단으로 시민의 대중교통수단으로의 역할이 증시되고 양산지역 녹색환경도시 발전이 가속화될 수 있는 주요 요인이 될 수 있음을 강조하고자 한다.

2. 도시철도 시스템의 특성

2.1 도시철도의 개념

도시철도란 도시간을 운행하는 지역간 철도와 대비되는 개념으로서 도시교통권역내에서 건설·운영하는 궤도에 의한 교통수단을 말하며, 통상적으로 대도시의 지하철, 수도권 지역의 지하철 및 중·소도시에서 추진하고 있는 경량전철이 이에 해당된다.

표 1은 대중교통수단 간의 특성을 상호 비교한 것이다.

2.2 경전철의 특성

경전철은 크게 시스템방식에 따라 지지방식, 유도방식, 구동방식, 제어방식으로 분류하고 있으며, 표 2는 시스템별로 분류한 종류와 특징이다.

표 1. 도시철도, 버스 및 경량전철의 상호 비교

구분	도시철도(重量전철)	경량전철	BRT	버스
수송용량(시간·방향당)	2만명 이상	5천~2만명	2.7천명~1만명	1~5천명
차량편성	6~10량	1~6량	1~2대	1대
차량정원	150~160명/량	40~80명/량	80~150명/대	30~80명/대
운행간격	2~3분	30초~2분	2~3분	7~9분
회전반경	최소 200m	최소 40~80m	최소 9m	
등판능력	최대 2.5%	최대 6~9%	최대 15%	
표정속도	30~35km/h	30~40km/h	-	18.35km/h(서울)
건설비	900~1,000억원/km	400~600억원/km	5~150억원/km	-

주 : BRT 건설비용은 차로, 정류장의 공사비용과 차량구입비용 등이 포함됨.

자료 : 「BRT 편람, 2005, 건설교통부, 한국건설기술평가원」, 「대중교통기본계획 2006.6, 건설교통부」

표 2. 경전철 시스템 분류

적용 기술		분류 기준	적용 시스템
지지방식 (Support)	Rail system	• 차량의 바퀴와 운행하는 선로의 표면과 접촉하는 방식	철제차륜 AGT, 노면전차
	Rubber-tyred		고무차륜 AGT, 모노레일
	자기부상		초전도 및 상전도식 자기부상열차
유도방식 (Guidance)	Rail system	• 차량이 안전하게 운행될 수 있도록 인도하는 것	철제차륜 AGT, 노면전차
	모노레일		모노레일
	Rubber-tyred guide wall		고무차륜 AGT
	Magnetic Guide		자기부상열차
구동방식 (Propulsion)	Electric Motor	• 차량을 움직이기 위한 구동기관과 견인력을 전달하는 방법	철제차륜·고무차륜 AGT, 노면전차 등
	Linear Induction Motor		LIM, 자기부상열차
제어방식 (Control)	Driver Controlled	• 차량의 운행을 제어 또는 통제하는 방식	노면전차, 모노레일
	Non Driver Controlled		철제차륜·고무차륜 AGT 등

표 3. 도시철도 건설 국내 사례

노선명	부산 도시철도 4호선, 반송선	부산·김해 경전철	대구지하철 3호선	에버라인(용인선)
노선연장	12.7km	23.5km	23.9km	18.4km
사업구간	미남~안평	사상~신명	칠곡~범물	구갈역~전대리
노선형태	무인자동운전(복선)	무인자동궤도주행(복선)	무인자동운전(복선)	무인자동운전(복선)
적용차량	K-AGT (고무차륜)	AGT (철제차륜)	모노레일 (일본 히타치 모델)	경전철 차량(LIM) (봄바르디어 모델)
편성·정원	6량 1편성(1량당 52명)	2량 1편성(1량당 92명)	3량 1편성(1량당 88명)	1~2량 1편성(1량당 226명)
정거장수	14개소(지하8, 고가6)	21개소(고가)	30개소(고가)	15개소(고가)
개통시기	2011년 1월	2011년 4월	2014년 10월	2010년 6월
건설기관	부산교통공사	부산·김해경전철	대구시 지하철건설본부	용인경전철
사업비	10,492억원(826억원/km)	7,742억원(330억원/km)	7,940억원(332억원/km)	6,970억원(379억원/km)

2.3 국내 도시철도 환승체계 구축 사례

2.3.1 도시철도 단선 건설 사례

서울 메트로 6호선 응암순환선은 2000년 12월 15일 개통하였으며, 역에서부터는 단선으로 건설되어 응암→역촌→불과→독바위→연신내→구산→응암 순으로 운행되고 있다.

특히 응암순환선은 단선역(장암, 까치산 등)을 제외한 서울시 메트로의 유일한 단선구간으로서, 6호선 종착역인 봉화산역에서 응암역으로 가는 열차는 '응암순환'이라는 행선지를 사용하며, 응암역에 도착하면 열차 번호와 함께 행선지를 '봉화산'으로 변경하고 응암순환선을 따라 운행한 뒤 봉화산으로 향하며, 별도의 정차시간은 두지 않고 있는 독특한 시스템이다.

2.3.2 도시철도 건설 사례

국내에 건설중인 도시철도 건설사례는 부산 도시철도 4호선, 부산·김해 경전철, 대구지하철 3호선, 에버라인(용인선) 등이 있으며, 이 중 부산 도시철도 4호선 반송선은 국내 최초의 공공사업 경전철로서 국내 경전철 표준사업인 K-AGT(고무차륜)을 적용하고 있으며, 2011년 개통 예정이다.

표 3은 국내에서 건설되고 있는 도시철도의 개요이다.

3. 노선대안의 설정

3.1. 수송수요의 예측

장래 예측해 본 노선 대안의 수송수요 예측결과와는 2030년에 북정행 수송인원이 1일 30,767명/방향으로 침두시 집중률(K)을 0.08적용시 시간당·방향당 수송인원은 2,461명/시간·방향으로 부산 도시철도 1호선의 중량전철 도입보다 경량전철을 도입하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

표 4는 제시된 노선 대안의 1일 수송수요를 예측한 것이다.

앞에서 제시된 경전철의 시스템 특성 비교를 토대로 경전철 시스템 중에서 다음과 같이 경제성 측면, 접근 및 이용 편리성 측면, 수송능력 측면, 도시미관 및 민원 측면, 기술적 측면 등을 고려하여 적용 가능한 시스템으로 선정해야 한다.

3.1.1 경제성 측면

시스템별 건설비는 AGT 철제차륜이 km당 355.1억으로 가장 많고, AGT 고무차륜이 km당 340.2억, 노면전차가 km

표 4. 노선 대안 평일 수송수요 예측

구분	수송인원 (명/일)	방향	수송인원 (명/일·방향)
2014년	15,445	북 정 행	7,781
		노 포 행	7,663
2020년	56,507	북 정 행	29,052
		노 포 행	27,456
2030년	59,372	북 정 행	30,767
		노 포 행	28,605
2040년	59,270	북 정 행	30,756
		노 포 행	28,515
구분		침두시 집중률 (K)	수송인원 (명/시간·방향)
장래 침두시 최대 수송인원		0.08	2,461

당 219.3억원으로 가장 낮은 것으로 표 6에서 나타났다.

3.1.2 접근 및 이용 편리성 측면

AGT는 전용구조물로 노선이 건설되어 정차장으로서의 계단이나 에스컬레이터 등의 접근시설을 통해 이용이 가능하며, 노면전차나 궤도버스의 경우 일반 도로상에 건설되어 바닥 높이가 낮아 정차장 계단이 필요 없어 교통약자의 이용에 편리한 시스템이다.

3.1.3 수송능력 측면

시스템별 수송능력을 살펴보면 노면전차가 3,000~15,000명으로 가장 적고, AGT 철제차륜이 5,000~25,000명으로 가장 많으며, 노선대안의 수송수요가 시간당 2,461명인 점을 감안하면, 경전철 시스템에는 다소 미흡하나, 장래 도시발전 가능성 등을 고려하면 모든 시스템이 적용 가능할 것으로 판단된다.

표 7은 시스템별 수송능력을 표시한 것이다.

3.1.4 도시 미관 및 민원 측면

고가 구조물이 수반되는 AGT시스템 및 모노레일의 경우 공사비가 다소 과다하며, 도심내에 고가구조물 설치로 소음, 미관 등의 민원이 예상되므로, 노선 선정시 도시미관 저해 및 구조물을 최소화 할 수 있는 방안이 필요하다. 다만, 노면전차의 경우 고가구조물은 수반되지 않으나, 차로 잠식 및

표 5. 수송능력에 따른 적용방향

구분	수송인원	분류	국내실적
승객수송능력 (명/시간·방향)	4만이상	重量전철 (HRT)	서울, 수도권
	2~4만	中量전철 (MRT)	부산, 대구, 대전, 광주, 인천
	0.5~2만	輕量전철 (LRT)	김해, 광명, 의정부, 인천공항

표 6. 경전철 시스템별 km당 건설비용

구분	노면전차	AGT(철제차륜)	AGT(고무차륜)
km당 건설비	219.3억원	355.1억원	340.2억원

자료 : 「마·창·진 광역도시철도 사전예비타당성 조사, 2003.12, 경상남도」

표 7. 시스템별 수송능력

구분	노면전차	AGT(철제차륜)	AGT(고무차륜)	모노레일
승객정원(명/량)	30~100	75~100	60~90	40~80
차량수(편성)	2~7	2~4	2~6	2~6
수송능력(명/시간·방향)	3,000~15,000	5,000~25,000	5,000~20,000	4,000~13,000

자료 : 「경상남도 도시철도 기본계획, 2009.1, 경상남도」

도로 교통소통에 저해요소가 적용되는 문제점이 있다.

판단된다.

3.1.5 기술적 측면

시스템 선정시 고려하여야 할 중요 요소로서 기술적 측면과 기술이전, 국산화 가능성 등을 검토하여야 하며, 경전철 시스템의 운행에 따라 고장 및 응급시 등 여러 가지 기술적인 문제가 발생할 수 있으므로 이러한 경우를 대비한 운행의 안전성, 유지보수의 용이성이 확보된 시스템을 도입하여야 한다.

또한, 노면전차, AGT, 모노레일 등은 현재 세계 각국 도시에서 운행 중인 시스템으로 운행의 안전성이 보장된 시스템이고, 응급시의 대처방안도 해외도시의 풍부한 운영 경험을 참고하여 국내에 도입하면 될 것으로 판단된다.

특히 부산·경남권 지역 중에 부산 도시철도 3호선 반송선은 K-AGT 고무차륜 시스템을 적용하였고, 부산·김해 경전철은 AGT 철제차륜 시스템을 적용하여 현재 건설 중으로 완공을 앞두고 있음에 따라 AGT 시스템의 도입이 기술적 측면에서는 가장 유리할 것으로 판단된다.

3.1.6 종합의견

앞선 언급된 시스템 별로 경제성, 접근 및 이용편리성, 수송능력, 도시미관 및 민원측면, 기술적 측면을 고려해 볼 때, 본 과업 노선에 적용 가능한 시스템 중 부산 도시철도 4호선 반송선 적용 시스템인 K-AGT 고무차륜이 적정할 것으로 판단되며, 노선 대안에서는 K-AGT 고무차륜 시스템을 적용하되, 고가 구조물을 최소화하기 위하여 사송 택지개발사업 지구내 통과구간은 완충녹지를 활용한 지상노반으로 건설하고, 복선 건설시와 단선 건설시로 구분하여 건설비용을 추정하는 것이 경제적 타당성 분석에서 매우 유리한 방안이라고

3.2 노선 대안의 설정

노선 대안은 부산 도시철도 1호선 종착역인 노포동역을 시점으로 사송, 다방, 부산 도시철도 2호선 양산역을 경유하여 북정까지 연결하는 노선으로서, 정거장은 총 7개소로 노포, 사송, 내송, 다방, 양산, 신기, 북정역이고, 이 중 노포동역은 부산 도시철도 1호선, 양산역은 부산 도시철도 2호선과 각각 환승될 수 있다.

또한 노선 대안은 양산 시가지 통과구간에 대한 비교노선을 검토하였고, 사송택지개발지역의 경우 고속국도와 일반도로 사이의 완충녹지(B=50m이상)를 활용하여 지상 건설(L=2.5km)을 유도하였으며, 건설비용의 절감을 위해 각 노선별 단선으로 건설할 경우 복선 정거장은 시·종점 정거장 및 스위칭 정거장을 2개소로 가정한 결과 복선구간 거리는 2.1km로 산정되었다.

표 8와 9는 노선 대안의 정거장별 노선 건설형태를 나타

표 8. 복선·단선 건설별 정거장 형태

정거장	복선 건설시	단선 건설시	비고
[101] 노포	교량 복선	교량 복선	부산 도시철도 1호선 환승
[102] 사송	교량 복선	교량 단선	-
[103] 내송	지상 복선	지상 복선	-
[104] 다방	교량 복선	교량 단선	-
[105] 양산	교량 복선	교량 복선	부산 도시철도 2호선 환승
[106] 신기	교량 복선	교량 단선	-
[107] 북정	교량 복선	교량 복선	-

표 9. 단선 건설시 복선구간 길이 산정

구 분	정거장	가변구간	주박공간/ 차량기지연결	복선구간 길이 합 계
교량구간	45m×3=135m	300m×4=1,200m	100m×2=200m	1,535m≒1.5km
지상구간	45m×1=45m	300m×2=600m	-	645m≒0.6km
계	-	-	-	2.1km

표 10. 부산 도시철도 1호선 양산선(노포~북정) 연장 노선대안 비교

구 분	노선 1		노선 2	
	복선	단선	복선	단선
노선대안	다방천변에 건설		남부동 아파트단지 통과	
적용차량	K-AGT(고무차륜)		K-AGT(고무차륜)	
종단선형	교량 및 지상(사송택지) 구간		교량 및 지상(사송택지) 구간	
노선연장	14.2km		13.6km	
교량복선	11.7km	1.5km	11.1km	1.5km
교량단선	-	10.2km	-	9.6km
지상복선	2.5km	0.6km	2.5km	0.6km
지상단선	-	1.9km	-	1.9km
정거장수	7개소		7개소	
고가복선	6개소	3개소	6개소	3개소
고가단선	-	3개소	-	3개소
지상복선	1개소	1개소	1개소	1개소
차량기지 ¹⁾	27,000	27,000	27,000	27,000
총 투자비용	6,097.4억원	4,827.1억원	5,920.5억원	4,712.3억원
1km당 건설단가	429.4억원/km	339.9억원/km	435.3억원/km	346.5억원/km

주 : 1) 차량기지 면적=소요차량수×902m², 도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침(제4판) p.73

표 11. 노선 대안별 정거장간 거리

역 명	노선 1			노선 2		
	거리(km)	도보시간(분)	경전철시간(분)	거리(km)	도보시간(분)	경전철시간(분)
주박공간	0.100	-	-	0.100	-	-
노포~사송	2.966	35.59	5.08	2.966	35.59	5.08
사송~내송	1.722	20.66	2.95	1.722	20.66	2.95
내송~다방	3.305	39.66	5.67	3.643	43.72	6.25
다방~양산	2.610	31.32	4.47	1.661	19.93	2.85
양산~신기	2.200	26.40	3.77	2.200	26.40	3.77
신기~북정	1.224	14.69	2.10	1.224	14.69	2.10
차량기지연결	0.100	-	-	0.100	-	-
계	14.227	168.32	24.05	13.616	160.99	23.00

낸 것이다.

표 10과 같이 노선 대안별 검토결과 노선1은 양산시가지 통과시 다방천변으로 우회하여 건설하는 노선으로 총 연장은 14.2km이고, 노선2는 남부동 아파트단지의 35m도로를 통과하는 노선으로 총 연장은 13.6km이다.

노선 대안의 차량시스템인 K-AGT(고무차륜)의 표정속도를 35km/h로 가정할 때, 노선1의 일방향 운행시간은 24.05분, 노선2는 23.00분으로 추정되었다(표 11 참조).

그림 1은 노선 대안별 검토결과를 나타낸 것이다.

4. 대상지역 수단별 통행량 예측 결과

장래 수단별 통행량 중 철도통행량은 「2020년 양산도시기본계획, 2008.11」에서 기 예측된 읍면동별 철도 통행량을 사업시행 후 철도역이 존재하는 교통존에 재배분한 철도 수단분담율을 기준으로 예측하였다.

표 12와 같이 예측된 철도 통행량을 기준으로 승용차, 버스, 택시의 수단통행량을 비율에 맞게 가·감하는 방법으로 사업 시행시 수단별 통행량을 예측하였으며, 수단별 통행량 예측결과 장래 최종목표연도인 2040년 지하철 수단분담율은 미시행시 4.1%에서 시행시 9.7%로 철도의 수단분담율은

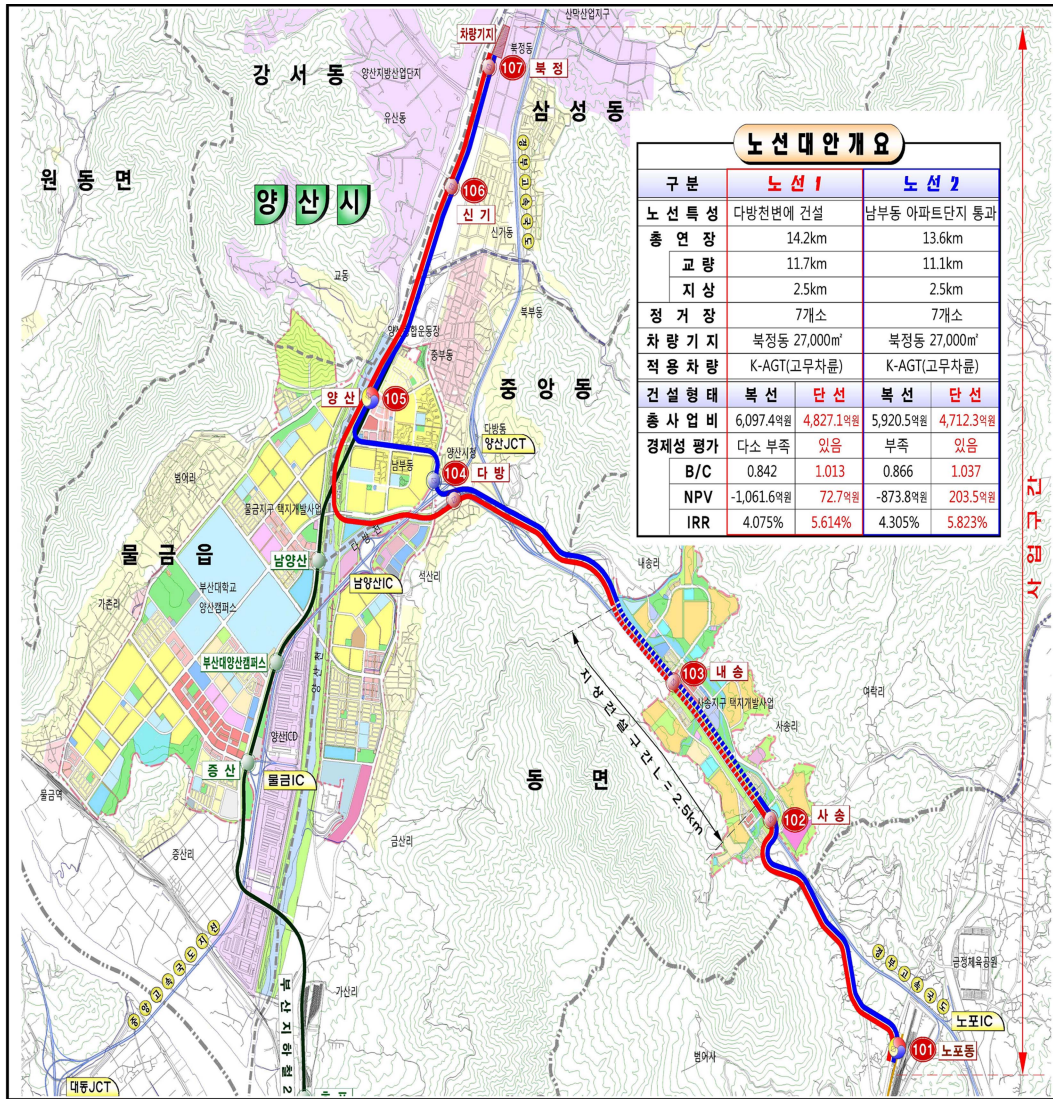


그림 1. 양산지역 도시철도망 환승체계 최적노선 대안

5.7%증가하는 것으로 나타났다.

4.1 도로통행배정 결과

장래 2040년 주요 간선도로 통행배정 결과를 살펴보면, 표 13과 같이 노선 대안의 경쟁노선인 국도 35호선, 지방도 1077호선의 교통량이 현저히 감소하는 것으로 분석되었다.

4.2 지하철 통행배정 결과

도시철도 통행배정 결과, 표 14와 같이 1호선 연장구간의 총 승차인원은 개통연도인 2014년 15,445인/일, 최종목표연도인 2040년에 59,270인/일로 예측되었다.

본 연구에서 기 노선인 도시철도 2호선 호포~양산구간의 경우 표 15와 같이 양방향 승차인원은 최종목표연도 2040년 기준 1일 53,833인/일이며, 양산역의 환승인원은 25,640인/일로 예측되었다(표 16 참조).

5. 도시철도 환승체계 구축 방안

5.1 경제성 분석 방법

경제성 분석 방법의 종류로는 편익/비용분석법(Benefit/Cost analysis), 대차대조표작성(Balance Sheet Approach), 비용/효

과분석법(Cost/Effectiveness Analysis), 목표달성분석법(Goal Achievement Analysis) 등이 있다.

본 연구의 분석과정에서 평가자의 주관이 개입될 여지가 적고 균일한 척도로 비교해야 하므로 교통사업의 경제성 분석에 적합한 편익/비용분석법을 적용하였으며, 구체적인 평가기법으로 편익·비용비율, 순현재가치, 내부수익율이 있다.

따라서 일반적으로 이해가 용이하고, 사업규모의 고려가 가능한 B/C분석 기법을 많이 사용하며, 본 과업에서는 편익/비용비, 순현재가치, 내부수익율을 모두 적용하여 경제적 타당성을 분석하였다.

5.1.1 편익/비용비(Benefit/Cost Ratio, B/C)

편익/비용비(B/C)란 운영 후 연도별 발생하는 편익과 투입되는 비용(사업비 및 유지관리비)을 적정 할인율로 할인하여 기준연도 가격으로 환산한 금액의 비율을 말하며, 일반적으로(편익/비용비)≥1이면 경제성이 있다고 판단하고 있다.

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (1)$$

여기서, B_t : t연도의 편익
 C_t : t연도의 비용

표 12. 양산시 수단별 통행발생량 예측 결과

구 분		미시행시		시행시		증 감	
		발생량 (통행/일)	비율 (%)	발생량 (통행/일)	비율 (%)	발생량 (통행/일)	비율 (%)
2014년	승용차	317,487	46.5	311,089	45.6	-6,398	-0.9
	버 스	285,045	41.8	282,039	41.3	-3,006	-0.4
	철 도	11,360	1.7	22,479	3.3	11,119	1.6
	택 시	68,744	10.1	67,029	9.8	-1,716	-0.3
	계	682,636	100.0	682,636	100.0	-	-
2020년	승용차	329,572	44.1	309,543	41.4	-20,029	-2.7
	버 스	291,627	39.0	280,346	37.5	-11,281	-1.5
	철 도	33,129	4.4	73,572	9.8	40,443	5.4
	택 시	93,665	12.5	84,532	11.3	-9,133	-1.2
	계	747,993	100.0	747,993	100.0	-	-
2030년	승용차	347,478	44.2	325,835	41.4	-21,643	-2.8
	버 스	306,780	39.0	293,995	37.4	-12,785	-1.6
	철 도	32,067	4.1	76,685	9.7	44,618	5.7
	택 시	100,352	12.8	90,161	11.5	-10,191	-1.3
	계	786,676	100.0	786,676	100.0	-	-
2040년	승용차	347,478	44.2	325,824	41.4	-21,654	-2.8
	버 스	306,780	39.0	294,004	37.4	-12,776	-1.6
	철 도	32,067	4.1	76,681	9.7	44,615	5.7
	택 시	100,352	12.8	90,166	11.5	-10,185	-1.3
	계	786,676	100.0	786,676	100.0	-	-

표 13. 주요 간선도로 통행배정 결과(2040년)

도로명	구간	차로수 (양방향)	미시행시		시행시		증감	
			교통량 (pcu/일)	V/C	교통량 (pcu/일)	V/C	교통량 (pcu/일)	V/C
경부고속국도	노포IC~양산JCT	6	99,967	0.59	96,069	0.57	-3,898	-0.02
중앙지선고속국도	남양산IC~물금IC	4	95,529	0.85	95,472	0.85	-57	-
국도7호선	남산~노포	8	41,448	0.55	40,462	0.54	-986	-0.01
국도7호선	노포~법기	6	68,082	1.88	67,609	1.87	-473	-0.01
국도35호선	호포~동면	4	17,494	0.53	15,319	0.45	-2,175	-0.08
국도35호선	동면~남부	6	33,803	0.61	28,024	0.50	-5,779	-0.11
국도35호선	남부~신기	6	59,835	1.07	54,265	0.99	-5,570	-0.08
국도35호선	신기~북정	6	46,223	0.82	45,830	0.81	-393	-0.01
지방도1077호선	다방~내송	6	39,929	0.71	37,700	0.68	-2,229	-0.03
지방도1077호선	내송~사송	6	39,750	0.71	37,612	0.68	-2,138	-0.03
지방도1077호선	사송~법기	6	30,422	0.56	29,955	0.56	-467	-
지방도1077호선	사송~노포	6	15,664	0.30	13,577	0.25	-2,087	-0.05

r : 할인율(이자율)

n : 교통사업의 내구연도(분석기간)

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

여기서, B_t : t연도의 편익

C_t : t연도의 비용

r : 할인율(이자율)

n : 교통사업의 내구연도(분석기간)

5.1.2. 순현재가치(Net Present Value, NPV)

○ 순현재가치(NPV)란 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준연도의 현재가치로 할인하여 총 편익에서 총 비용을 제 한 값이며 (순현재가치)≥0 이면 경제성이 있다고 판단하고 있다.

5.1.3 내부수익율(Internal Rate of Return, IRR)

○ 내부수익율(IRR)은 현재가치로 환산한 편익과 비용의 값

표 14. 목표연도별 과업노선 수송인원 예측결과 (단위 : 인/일)

구 분		노포→북정			북정→노포			역별승·하차합계	
연도	역명	승차	하차	재차	승차	하차	재차	승차	하차
2014년	노포	3,191	-	3,191	-	2,519	-	3,191	2,519
	내송	321	82	3,430	48	289	2,519	368	370
	사송	584	154	3,861	93	528	2,760	677	681
	다방	1,006	451	4,416	391	1,047	3,195	1,397	1,498
	양산	2,670	3,554	3,532	3,020	3,272	3,851	5,689	6,826
	신기	10	848	2,694	985	10	4,103	994	857
	북정	-	2,694	-	3,128	-	3,128	3,128	2,694
	계	7,781	7,781	-	7,663	7,663	-	15,445	15,445
2020년	노포	11,227	-	11,227	-	7,590	-	11,227	7,590
	내송	1,647	422	12,453	185	1,471	7,590	1,833	1,893
	사송	3,016	788	14,681	362	2,702	8,876	3,378	3,490
	다방	4,569	2,297	16,953	2,017	5,028	11,216	6,586	7,325
	양산	8,567	13,089	12,431	11,055	10,639	14,227	19,622	23,728
	신기	25	2,983	9,473	3,315	25	13,811	3,340	3,009
	북정	-	9,473	-	10,521	-	10,521	10,521	9,473
	계	29,052	29,052	-	27,456	27,456	-	56,507	56,507
2030년	노포	11,441	-	11,441	-	7,352	-	11,441	7,352
	내송	1,803	441	12,802	148	1,599	7,352	1,951	2,040
	사송	3,292	829	15,265	300	2,928	8,802	3,592	3,757
	다방	4,849	2,434	17,680	2,081	5,357	11,430	6,931	7,790
	양산	9,353	13,699	13,334	11,457	11,341	14,706	20,810	25,041
	신기	29	3,200	10,163	3,502	29	14,590	3,531	3,229
	북정	-	10,163	-	11,117	-	11,117	11,117	10,163
	계	30,767	30,767	-	28,605	28,605	-	59,372	59,372
2040년	노포	11,407	-	11,407	-	7,259	-	11,407	7,259
	내송	1,815	438	12,783	137	1,603	7,259	1,951	2,041
	사송	3,314	824	15,273	278	2,934	8,725	3,592	3,758
	다방	4,836	2,431	17,678	2,090	5,355	11,381	6,926	7,786
	양산	9,356	13,698	13,335	11,392	11,335	14,646	20,747	25,033
	신기	29	3,200	10,164	3,501	29	14,589	3,530	3,229
	북정	-	10,164	-	11,117	-	11,117	11,117	10,164
	계	30,756	30,756	-	28,515	28,515	-	59,270	59,270

이 같아지는 할인율 r 을 구하는 방법으로 일반적으로 내부수익율이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단하고 있다.

$$IRR: \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (3)$$

여기서, B_t : t연도의 편익
 C_t : t연도의 비용
 r : 내부수익율
 n : 교통사업의 내구연도(분석기간)

5.2 경제성 분석 결과

용지보상비는 최종분석연도에 잔존가치를 반영하였으며, 공

사비 및 차량비는 대체투자비와 잔존가치를 반영하여 분석하였다. 표 17과 같이 경제성 분석결과 노선1과 노선2의 단선 건설시 편익비용비(B/C)가 각각 1.013, 1.037로 경제성이 있는 것으로 분석되었다.

5.3 도시철도망 환승체계 구축을 위한 최적노선 대안 제시

본 연구의 도시철도망 환승체계 구축을 위한 최적노선 대안은 표 18과 같이 장·단점 분석결과 다방천변에 건설하는 노선1(단선)로 제시되었다.

제시된 노선 대안은 양산지역 도시발전과 지역주민의 편의를 고려하여 조속히 완공되어야 할 것이며, 성공적인 사업추진을 위하여 과업의 장점과 문제점을 지역주민과 사전 공유하고, 추진과정의 투명성 및 공정성을 확보해야만 성공적으로 추진될 수 있다.

표 15. 부산 도시철도 2호선 호포~양산 구간 승·하차 인원 예측결과

(단위 : 인/일)

구 분	2014년		2020년		2030년		2040년		
	승차	하차	승차	하차	승차	하차	승차	하차	
2호선 양산행	호포	667	665	1,181	1,257	1,251	1,295	1,250	1,297
	증산	1,322	1,040	4,597	3,213	4,867	3,234	4,856	3,241
	부산대양산	1,533	1,586	5,272	4,977	5,587	5,033	5,573	5,042
	남양산	1,568	2,035	5,352	6,504	5,675	6,611	5,660	6,621
	양산	-	6,551	-	20,384	-	21,692	-	21,673
	소계	5,089	11,878	16,403	36,335	17,379	37,865	17,339	37,873
2호선 호포행	양산	7,235	-	22,348	-	23,430	-	23,464	-
	남양산	1,795	1,750	5,589	6,081	5,541	6,422	5,556	6,414
	부산대양산	1,376	1,692	4,177	5,910	4,096	6,241	4,110	6,233
	증산	889	1,435	2,641	5,053	2,566	5,334	2,576	5,327
	호포	488	549	815	988	787	1,039	788	1,038
	소계	11,783	5,426	35,569	18,033	36,420	19,035	36,494	19,012
합 계	16,872	17,304	51,972	54,368	53,800	56,900	53,833	56,885	

표 16. 양산역 환승인원

(단위 : 인/일)

구 분	2014년	2020년	2030년	2040년
2호선→1호선(양산선)	3,075	11,060	11,733	11,716
1호선(양산선)→2호선	4,153	13,188	13,923	13,924
합 계	7,228	24,248	25,656	25,640

표 17. 경제성 분석 결과 (단위 : 억원)

구 분	노선 1 (다방천변에 건설)		노선 2 (남부동 아파트단지 통과)	
	복선 건설시	단선 건설시	복선 건설시	단선 건설시
비 용	용지보상비	-	-	-
	부대비	305.7	231.1	295.0
	공사비	5,068.5	3,864.0	4,897.6
	예비비	508.2	392.7	492.1
	차량비	299.1	299.1	299.1
	운영비	3,801.0	3,801.0	3,726.0
	합 계	9,982.5	8,587.9	9,709.8
	현재가치	6,713.4	5,579.1	6,525.6
편 익	통행시간 절감	9,699.5	9,699.5	9,699.5
	차량운행비용 절감	5,420.6	5,420.6	5,420.6
	교통사고비용 절감	772.1	772.1	772.1
	환경비용 절감	506.0	506.0	506.0
	주차비용 절감	520.2	520.2	520.2
	합 계	16,918.5	16,918.5	16,918.5
	현재가치	5,651.8	5,651.8	5,651.8
편익/비용비(B/C)		0.842	1.013	0.866
순현재가치(NPV)		-1,061.6	72.7	-873.8
내부수익율(IRR)		4.075%	5.614%	4.305%
				5.823%

6. 결 론

본 연구는 양산지역 도시철도망 환승체계 구축을 위한 부산 도시철도 1호선과 2호선을 연계하는 양산선(노포~양산역~북정)연장 건설사업으로서 양산시와 부산시의 도시 교통문

제를 근본적으로 해결하고, 도시철도의 환승체계를 구축하기 위하여 교통체계 운영상의 효율성을 제고하기 위한 목적으로 추진되었다.

양산시와 부산시와의 활발한 이동량과 사송지구 택지개발 사업의 시행, 부산 도시철도 2호선 양산선 개통 등으로 양

표 18. 노선별 장·단점 분석

구 분	노선 1		노선 2	
노선개요	• 다방천변에 건설		• 남부동 아파트단지 통과	
노선연장	• 14.2km(지상건설구간 2.5km 포함)		• 13.6km(지상건설구간 2.5km 포함)	
적용차량	• 경전철(K-AGT : 고무차륜)		• 경전철(K-AGT : 고무차륜)	
건설형태	복선	단선	복선	단선
총사업비	6,097억원	4,827억원	5,920억원	4,712억원
경제성평가(B/C)	0.842	1.013	0.866	1.037
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 노선이 주로 하천변을 따라 건설 → 민원발생 우려 적음 → 공사시 교통소통 저해 최소화 • 양산 JCT 구조물 통과 다소 용이 • 단선건설시 B/C가 1.013으로 경제성 있음 		<ul style="list-style-type: none"> • 노선연장이 짧아 공사비가 적음 • 단선 건설시 B/C가 1.037로 비교 대안중 가장 높음 	
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 양산역~다방역간 노선연장이 직선거리에 비해 다소 길어 통행시간 증가 • 노선2와 비교시 다방역의 접근성이 다소 떨어짐 		<ul style="list-style-type: none"> • 기 형성된 아파트단지 통과로 민원발생 우려(소음, 경관 등) • 국도35호선 일부구간 및 남부동 도로상 건설로 인한 교통소통 불편 예상 • 도시미관 저해 	
노선선정	노선1(단선)			
종합평가	<ul style="list-style-type: none"> • 부산 도시철도 1호선과 2호선 연결노선인 양산선의 최적노선 대안은 민원발생 우려 및 교통소통, 도시미관 저해가 적은 노선1로 선정함. • 부산시와 양산시는 일일생활권에 속하여 많은 이동량을 보임에 따라 지역 주민의 편의를 위해 본 과업노선의 건설을 조기에 완공되어야 할 것으로 사료됨. • 원활한 사업추진을 위하여 경전철의 도입으로 제기될 수 있는 장점과 문제점을 지역 주민과 사전에 공유하여, 지역주민의 절대적인 동의를 구해야 할 것임. 			

산시와 부산 도시철도 1호선과의 연결을 통한 도시철도망 환승체계 구축 필요성이 크게 대두됨에 따라, 부산 도시철도 1호선 양산선(노포~양산역~북정) 연장에 따른 도시철도 환승 체계 구축 방안은 다방천변으로 건설하는 노선1을 최적노선 대안으로 선정함으로써 지역주민의 편리한 이용과 경제성은 물론 지역발전의 원동력이 될 수 있을 것으로 기대된다.

특히 노선1의 건설에 필요한 총 사업비는 단선 건설시 4,827.1억원으로 산정되었으며, 사업비중 순 공사비가 가장 많은 비용을 차지하고 있고, 다음으로 차량구입비, 예비비, 용지보상비, 부대비 순으로 나타났으며, 노선1 단선건설시 경제성 분석결과 편익/비용비가(B/C)가 1.013, 순현재가치(NPV)가 72.7억원, 내부수익률(IRR)이 5.614%로 분석되어 경제성이 있는 것으로 평가되었다.

또한 본 연구에서 제시된 최적노선 대안을 민간투자사업으로 시행할 경우 사업성을 높이는 방안이 강구되어야 하며, 경전철 사업이 건설되는 기간뿐만 아니라 향후 운영하는 과정에서 성공적인 사업이 되기 위해서는 사업계획(안)에 따라서 양산시가 건설의 주무관청이 되어 부산교통공사와 긴밀히 협조하여 민간투자유치계획을 세밀하게 수립하여야만 경제적 효과가 극대화 될 수 있다.

현재 부산 도시철도 2호선 양산선(호포~양산)의 개통으로 양산시와 부산시는 더욱 더 밀접해 졌으며, 양산시는 물금신도시 및 사송지구 택지개발사업 등 대규모 개발계획이 진행되고 있어 장래 부산시와의 통행량은 급격히 증가할 것으로 예상되는바, 양 시의 상호 공존과 발전을 위해서는 본 연구

에서 제시된 최적노선 대안이 양산지역내 도시철도망 환승 체계 구축에 매우 효율적임을 알 수 있다.

따라서 도시철도는 유일한 저탄소 녹색교통수단으로서 인식되고 있으며, 서민생활과 밀접한 관계로 형성되어 있어 경제성 및 수익성 측면보다도 서민 교통여건을 개선하는 대중교통수단으로서 더 큰 의의가 있다고 인정되고 있다.

참고문헌

건설교통부(2006) 대중교통기본계획.
 건설교통부(2007) 교통시설 투자평가지침.
 경상남도(2003) 마·창·진 광역도시철도 사전예비타당성 조사.
 경상남도(2009) 경상남도 도시철도 기본계획.
 대한건설협회(2008) 건설통계연보.
 부산광역시(2009) 부산광역시 도시철도기본계획(안).
 양산시(2006) 양산시 도시교통정비기본계획.
 양산시(2008) 양산시 지방대중교통기본계획.
 양산시(2008) 2020년 양산도시기본계획.
 한국건설기술평가원(2005) BRT 편람.
 한국교통연구원(2008) 2007년 국가교통DB구축사업.
 C, Chi-Gook, S. Young Eun and J. Hun-Young (2001) *Formulation of strategies for boosting the usage of Busan metro system*, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 4, No. 6.
 Liu, R., Pendyala, Rm., and Polzin, S. (1997) *Assessment of Inter-model Transfer Penalties Using Stated Preference Data*, Transportation Research Record 1607.

(접수일: 2009.12.1/심사일: 2009.12.8/심사완료일: 2009.12.8)