

지능형철도선형계획 프로그램(ei-Rail) 기반의 단선철도 복선화 계획 기술개발

김정현*

Kim, Jeong Hyun*

Development of Planning Method for Double-Tracking of Single Track Railroad based on the Intelligent Rail Alignment Planning Program (ei-Rail)

ABSTRACT

The "Intelligent Railroad Alignment Design Program (ei-Rail) developed in 2013 has been adopted in the planning and the evaluation/validation of design results of overseas railroad construction projects. Target countries of Korean railroad industries requires the operating speed increase with alignment improvement and the double tracking of prevailing single track railroads as well as new railroad construction. This study is to develop an additional module for double tracking project of prevailing single track railroads in the ei-Rail. The developed method is based on the geometrics of prevailing railroad, and the definition of planned project determines the project cost based on the unit cost by work type, and provides the draft design of double track. The module was validated with a overseas case. It is then expected for overseas railroad double tracking project more efficiently in planning and the evaluation of design results.

Key words : Double tracking project, Intelligent railroad alignment design, Overseas railroad project, Railroad construction cost, Automization of railroad design

초록

2013년에 개발된 지능형 철도선형계획 프로그램(ei-Rail)은 주로 해외의 신규 철도건설사업 사전 기획 분석 및 설계 결과 검증 등에 활용되어왔다. 그러나 한국 철도산업의 해외 진출 대상국인 개발도상국에서는 대규모 비용이 소요되는 신규 철도건설사업 보다는 기존 철도의 선형개량을 통한 증속, 또는 단선철도의 복선화 등의 사업이 보다 필요하고 실행가능성이 높은 것으로 판단되며, 이런 유형의 사업수요가 지속적으로 발생하고 있다. 이에 본 연구에서는 기존의 신규 철도건설 사업 분석기능 중심의 ei-Rail 프로그램에 철도 복선화 사업 분석기능을 추가하고자, 철도 복선화사업 모듈을 개발하였다. 기존에 운영 중인 철도 선형자료를 기반으로 복선화 사업의 종류와 규모를 반영하고 대상 지역별 공종 단가를 적용하여 공사비를 산출하고 설계도면 제작을 자동화할 수 있도록 하였다. 그리고 해외의 사례 적용을 통하여 ei-Rail의 복선화 사업 분석기능을 검증하였다. 향후 해외를 대상으로 하는 철도 복선화 사업의 기획 및 분석결과 검증을 보다 효율적으로 수행할 수 있을 것으로 기대한다.

검색어 : 철도복선화, 지능형 철도선형계획, 해외 철도사업, 철도건설비, 철도설계 자동화

* 종신회원 · 교신저자 · 한국철도기술연구원 책임연구원 (Corresponding Author · Korea Railroad Research Institute · kimjh@krrri.re.kr)

Received August 17, 2022/ revised August 25, 2022/ accepted August 25, 2022

1. 서론

우리나라 철도산업이 발전하고 대외적 위상이 높아지면서 국내 철도산업의 해외진출 기회가 확대되고 있으며, 현재 다수의 신규 사업이 추진되고 있다. 전 국토에 대한 수치지도가 제공되고 현장 조사 및 분석이 용이한 국내 사업과는 달리 해외 철도는 현장 조사 및 분석, 그리고 적절한 노선대안 설정 등에 한계가 있다. 이에 대한 대안으로 지능형철도선형계획 프로그램(ei-Rail)은 해외 신규 사업 개발의 초기 단계에서 최적의 노선과 사업비 대안을 도출하여 사업성 분석의 자료로 활용되고 있으며, 최종 설계의 검증의 도구로 활용되었다. 현재의 프로그램은 신규 사업의 노선 개발의 기능만을 가지고 있으나, 실제로 해외 철도사업 대상국의 주요 현안은 철도의 선형개량을 통한 기존선 증속 및 단선철도의 복선화 사업을 다수 포함하고 있다. 본 연구는 기존의 지능형철도선형계획 프로그램에 기존 단선철도의 복선화 사업에 대한 분석기능을 추가할 수 있는 방법을 개발하고자 한다.

2. 기존 기술 검토

2.1 ei-Rail

ei-Rail은 수치지도를 기반으로 유전자 알고리즘을 이용하여, 철도 노선의 시점, 종점 및 필수 통과(정차) 지점과 노선통과 불가지역을 고려한 모든 가능 노선을 분석하여 최적의 노선대안 및 공사비를 제시할 수 있도록 개발되었다. 기존의 철도 노선계획 및 공사비 산출에 필요한 시간을 1/10 수준으로 절감할 수 있다(Shin et al., 2015). Fig. 1은 이러한 ei-Rail의 선형탐색 및 설계과정, 그리고 최종 성과품을 표현하고 있다.

2.2 기타 관련 프로그램

대부분의 철도선형계획 자동화 관련 프로그램 역시 신규 철도사업을 대상으로 하고 있다. 2007년 (주)평화데이터시스템에서 개발한 AutoCAD 기반의 RD SmartPros, 서영엔지니어링의 Tacoma, 삼안 연구개발원의 Blue Track 등이 현장에서 설계 지원도구로 활용된

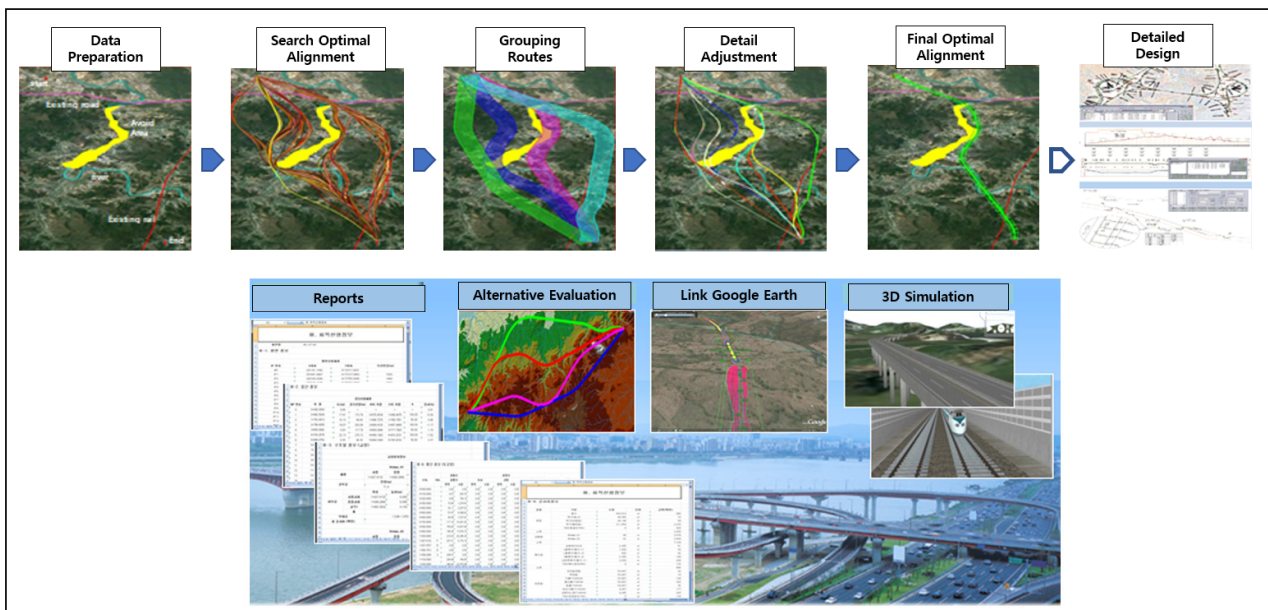


Fig. 1. Overview of ei-Rail

Table 1. Comparison between Railway Design Programs

Programs	Characteristics
ei-Rail	Vertical alignment, Horizontal Curve Design, 3D Simulation, Optimal Design, Google earth Map ex/import, Automated Data Import, Cost Estimation, Easy learning
Tacoma	Highway (Road) Design, Hard to learn
Blue Track	Highway (Road) Design, Long Term Training Period
Bentley Rail Track	Vertical alignment, Horizontal Curve Design, 3D Simulation, Optimal Design, Automated Data Import
Quantm	Information folding

바 있다. 해외에서는 Trimble사가 Quantm Desktop 프로그램을 활용하여 철도선형설계를 지원하고 있다(KRRI, 2013; KRRI, 2014).

Table 1에 각 프로그램의 특징을 비교한 바와 같이, Tacoma는 해외설계시 유동적인 설계기준 적용이 불가능하며, 평면선형, 지반고, 중단 선형 데이터를 수동 입력하여야 하는 불편함이 있으며 횡단설계 및 계획평면도를 제공하지 못하는 한계도 있다. Blue Track도 해외설계시 유동적인 설계기준 적용이 불가능하고 중단 설계를 위하여 압선 데이터를 수동으로 입력하여야 한다. 횡단설계에서는 횡단구조물 삽입시 오류가 자주 발생하는 것으로 알려져 있으며 토공 수량 산출이 부정확한 것으로 평가된다. 계획평면도에서 터널, 교량, 각종 시설물의 표현이 불가능한 것도 한계로 지적된다. Bentley Rail Track은 설계기준 작성시 설계기준의 세세한 내용까지 설계자가 입력하도록 되어 있어 사용자 편의성이 부족하고 표준횡단면도 및 횡단구조물 작성이 어렵고 적용시 오류 자주 발생한다고 평가된다. 계획평면도에서 전체적인 표현은 가능하나 한국의 도면 디테일과는 상당한 차이가 있어 한국 기준으로 도면이 작성되어야 할 경우 노선 외 모든 작업에 대해 별도 작업 필요하다.

ei-Rail은 상기된 기존 프로그램의 한계를 보완하여, 사업별 설계기준을 사용자가 입력함으로써 모든 국가 및 지역의 설계기준에 부합하는 분석이 가능하며, 평면, 중단, 횡단 설계도면을 사업비 분석결과와 함께 제공할 수 있다.

현재 상용화된 모든 철도선형계획 프로그램은 신규노선을 대상으로 하고 있으며, 복선화 또는 선형개량과 같은 기존 철도 개량사업에 대한 분석기능은 미비하다. 하지만 실제로 신규 철도노선의 건설 못지 않게 철도 복선화 사업에 대한 분석수요는 다수 발생하므로, 이에 대한 분석기능을 확보할 경우 철도 개량사업의 효율적 계획과 분석에 많은 도움이 될 수 있을 것이다.

3. 복선화 계획 방법론 개발

3.1 평면생성

기존선형을 분석하거나 기존선형을 개량 최적화하는 사업인 경우 기존 선형에 대한 분석이 필수적이다. 기존선형의 기하구조 값을 준공도등에서 구할 수가 있으면 수월하게 입력이 가능하고 또 선형에 대한 분석이 용이하나, 기하구조의 수치값(IP좌표, 곡선반경 등)을 구할 수가 없으면 구글맵 등 기존 철도의 선형이 표시된 공개 지도 등에서 기하구조 값을 찾아내야 한다.

이를 위해서는 Fig. 2와 같이 공개된 맵에서 마우스 등을 이용하여 선형을 디지털화한 후 이것을 KML로 저장하고, 저장된 KML을 읽어들이 CAD 파일의 폴리라인 엔티티로 변환한 후 이 변환된 폴리라인을 입력데이터로 읽어서 기하구조를 추출한다. 평면생성 모듈은 이러한 기능을 수행한다. 즉, 입력데이터로 디지털화된

폴리라인을 사용하여, IP좌표, 각 IP별 곡선반경을 계산하여 출력하며, 이 과정은 Fig. 3에 나타나 있다.

3.2 KML 변환

구글 등 공개맵에서 디지털화되어 만들어진 KML 데이터를 활용하기 위해서는 KML 데이터를 캐드데이터로 또 캐드데이터를 KML 데이터 변환하는 모듈이 있어야 공개맵에서 구한 데이터들을 효율적으로 활용할 수 있다.

KML 변환은 양방향 즉, KML → UTM (WGS84좌표체계), UTM (WGS84좌표체계) → KML으로 변환이 가능해야 한다.

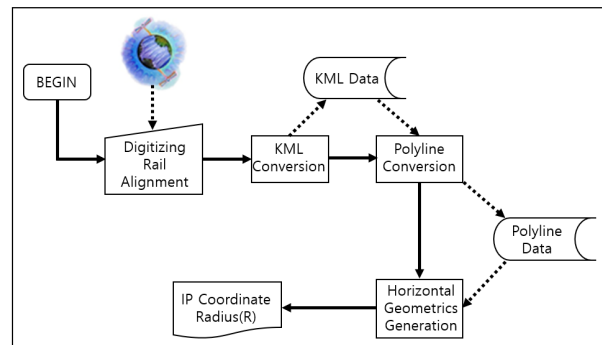


Fig. 2. Flowchart: Horizontal Geometrics Generation

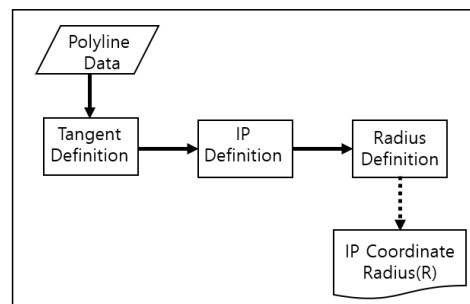


Fig. 3. Flowchart: Determination of IP and Radius

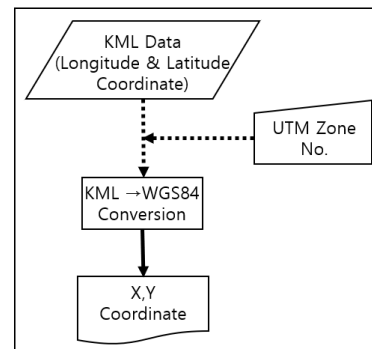


Fig. 4. Flowchart: KML Conversion

KML은 경위도좌표만을 가지고 있다. 이 경위도좌표를 세계좌표계로 사용하는 WGS84 좌표체계로 변환하여야 하는데, 이를 위해서는 지구전체를 경도 6도 로 나누어 UTM zone 번호를 사용하여 각 존에 맞게 WGS84 좌표를 계산함으로써 CAD에서 인식할 수 있는 X,Y 좌표가 구해진다(Fig. 4).

또한, 철도선형의 특성상 선형이 좌우로 긴 경우가 많아 2개 이상의 Zone에 걸쳐있는 경우가 발생한다. 이럴 경우 사용자가 원하는 zone을 선택하여야 한다. 선택한 zone 번호를 기억하고 변환시 입력하여야 정확한 변환이 가능하다.

3.3 복선화 계획 분석

3.3.1 구간별 유형 분류

기존 단선철도의 구간에 따라 협궤, 표준궤, 광궤로 구분되며, 구간에 따라 공사비 단가는 상이하다. 본 연구에서는 궤도의 종류를 단선, 복선, 2복선 등 3개 유형으로 분류하고, 구간에 따라 협궤, 표준궤, 광궤 등 3개 구간을 고려하여, 총 9개의 철도 유형을 고려할 수 있도록 하였다(Table 2). 궤도의 종류별 제원은 상이하며, 가장 일반적인 표준궤의 상세제원은 Fig. 5와 같다. 궤간의 유형에 대한

Table 2. Track Width

No. of Track (s)	Gauge		
	Narrow	Standard	Wide
Single	6 m	8 m	7.5 m
Double	9 m	12 m	12.85 m
Double-Double	18 m	24 m	25.7 m

정의는 분석 시작단계의 사업 개요 입력과정에서 이를 정의하도록 하였다(Fig. 6).

3.3.2 공사비 단가 입력

공사비 단가는 공중에 따라 토공공사비, 구조물공사비(교량, 터널), 배수공사비, 궤도, 시스템 등을 구별하여 반영한다(Fig. 7).

3.3.3 공사비 분석 보고서

기존 단선철도의 현황과 복선화 사업의 유형, 공종별 공사비 단가 등을 정의한 후 ei-Rail의 복선화 사업옵션을 선택하여 수행하면 다음과 같은 공사비 보고서와 설계도를 취득할 수 있다(Fig. 8).

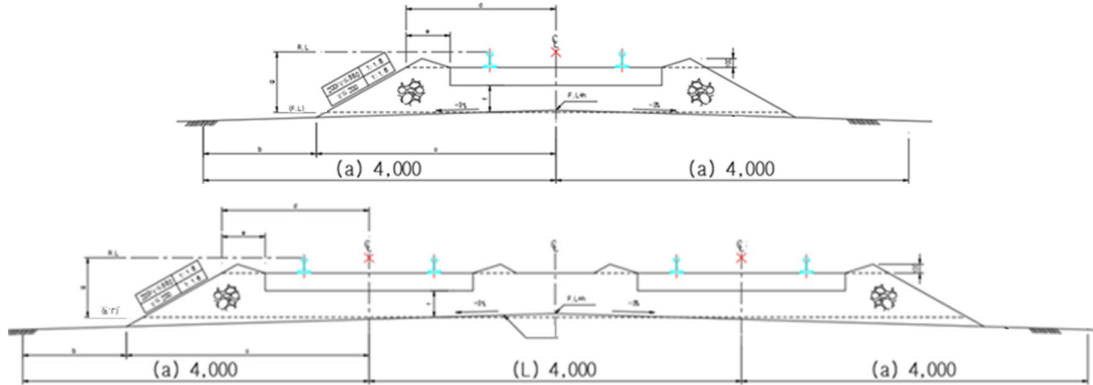


Fig. 5. Cross-section of Rail Track (Standard Gauge)

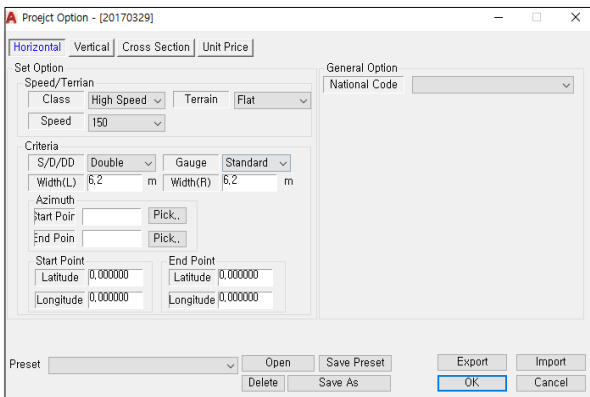


Fig. 6. Definition of Project

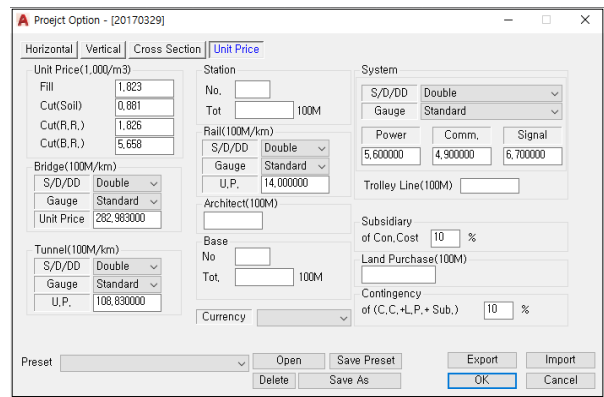


Fig. 7. Unit Cost by Work Type

Comparison Report						
Work	Cls	Unit	serro-20170905_w-e_0001		serro-20170905_w-e_0001_(2)	
			Q'ty	Cost(Mil)	Q'ty	Cost(Mil)
Soil Work	Fill	m³	2,463,980	4492	2,846,127	5,188
	Cut(Soil)	m³	3,301,314	2908	3,457,387	3,046
	Cut(Ripping Rock)	m³	4,142,035	7563	4,665,576	8,519
	Cut(Blasting Rock.)	m³	8,116,272	45922	8,906,028	50,390
	Soft Ground	m³		0		0
	Etc.(15% of Soil work)	m³		9133		10,072
Subtotal				70,018		77,215
Bridge Work	Bridge	m	8,705,50	232,698	9,143,80	244,414
Tunnel Work	Tunnel	m	1,500,00	17,625	1,200,00	14,100
Drainage Work				14,981		14,657
Station	Station	Nos	0	0	0	0
Rail	Rail	m	75,93	106,308	74,70	104,576
Architect	Architect	set		62,315		62,315
Vehicle Base	Vehicle Base	Nos	0	0	0	0
System	Power	m	75,93	42,523	74,70	41,830
	Communication	m	75,93	37,208	74,70	36,602
	Signal	m	75,93	50,876	74,70	50,047
	Trolley line	set		0		0
Subtotal				564,534		568,541
Total				634,552		645,756
Subsidiary Work	of Con. Cost		10,00%	60,190	10,00%	61,364
Land Purchase				0		0
Contingency	Con. Cost + Land + Subsidiary		10,00%	66,209	10,00%	67,500
Total Cost				760,951		774,620

Fig. 8. Result of Project Analysis

Table 3. Prevailing Condition of Railway Section for Validation

Length	45 km
Track	Single Track / Narrow Gauge
Design Speed	100 km/h
Min. Radius of Horizontal Curve	2,000 m
Max. Gradient	12 %
Track Width	6 m

Table 4. Unit Construction Costs

Type	Cost
Earth Work	1,520 (won/m³)
excavation (earth/sand)	960 (won/m³)
excavation (weathered rock)	1,920 (won/m³)
excavation (soft/sound rock)	24,960 (won/m³)
Bridge	35,600 mil (won/km)
Tunnel	13,400 mil (won/km)
Track	1,400 mil (won/km)
Electricity	560 mil (won/km)
Communication	490 mil (won/km)
Signal	670 mil (won/km)

4. 철도 복선화사업 사례 분석

4.1 분석의 개요

ei-Rail의 복선화사업 분석기능에 대한 검증을 위하여, 기존에 단선으로 운행 중인 해외의 1개 철도구간을 선정하였다. 분석구간의 개요는 Table 3과 같다.

분석에 적용된 공종별 적용단가는 검증 구간의 현지 공사비를 반영한 결과 Table 4와 같다. 공사비 단가는 ei-Rail의 실행 과정에서 현지 단가에 따라 달리 적용할 수 있다.

4.2 분석결과

ei-Rail의 복선화 옵션을 통하여 분석구간에 대하여 Fig. 9와 같이 30개의 최적화된 복선화 선형을 도출한 후 3개 대안을 선정하고, 공사비를 기준으로 최적의 선형대안을 선택한 결과, 총 공사비 1,980.5억원이 소요되는 선형대안을 최적대안으로 선정할 수 있었다(Table 5).

5. 결론

2013년에 지능형 철도선형계획 프로그램(ei-Rail)이 개발된 이후, 프로그램 성능개선을 통하여 ei-Rail의 활용성과 신뢰성을

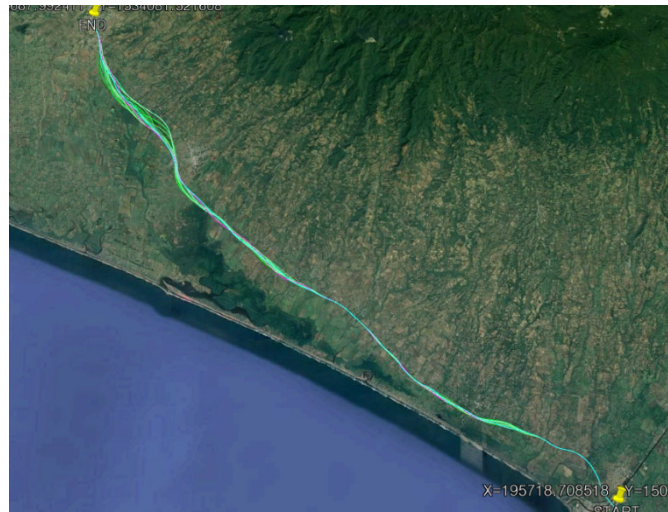


Fig. 9. Optimized Alignment Alternatives

Table 5. Result of Analysis

Alternative	Length (km)	Total Cost (mil. Won)	Earth Work Cost (mil. Won)	Length of Bridges (m)	Bridge Cost (mil. Won)	Length of Tunnels
No. 9	44.029	201,871	4,362	394	15,421	0
No. 16	44.098	200,694	4,407	367	14,368	0
No. 18	43.837	198,059	3,891	347	13,604	0

제고하여 왔으며, 기술이전을 통하여 다수의 해외사업 추진에 활용하고 있다. 그러나 기존의 ei-Rail 프로그램은 신규사업에 적합하도록 개발되어, 신남방지역의 ASEAN 회원국에서 계획, 검토되고 있는 기존 노선의 현대화 및 고속화를 고려한 선형개량 및 단선철도의 복선화 사업에는 활용할 수 없는 한계가 있었다. 한국 철도산업의 해외 진출 대상국 대부분의 철도 인프라 수준은 표정속도 100 km/h 이하이며, 이 경우 현실적으로 대상국이 계획하고 있는 최고 속도 200 km/h급의 고속화 철도는 운영능력의 한계등으로 인하여 사실상 불가함을 현지 철도 전문가들도 인정하고 있으며, 복선화 또는 선형개량 등을 통하여 표정속도를 상향하여 운영경험을 축적한 후에 고속화 철도를 건설, 운영하는 것이 바람직한 것으로 보고 있다.

본 연구는 이러한 사업수요에 부합하도록 ei-Rail 프로그램에 철도 복선화 사업에서 최적을 선형을 도출하고 사업비를 산출할 수 있는 기능을 추가하였다. 복선화 사업을 구성하는 공종별 단가는 현지 상황에 따라 사용자가 조정하여 입력할 수 있도록 하여 실용성을 확보하였다.

이러한 성능 보원을 기반으로 국내외 철도사업의 수요에 부합하는 도구로서의 활용성이 보다 증가할 것으로 기대되며, 철도 복선화 사업을 보다 효율적으로 추진할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업 “뉴 노멀 시대 대응을 위한 모빌리티 분석기술 및 정책지원 연구(A study for the rail-centered mobility technology to adapt to a new normal era)” 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

Korea Railroad Research Institute (KRRI) (2013). *Development of intelligent railroad alignment design program-phase I* (in Korean).
 Korea Railroad Research Institute (KRRI) (2014). *Development of intelligent railroad alignment design program-phase II* (in Korean).
 Shin, Y. H., Kim, J. H. and Oh, J. T. (2015). “Implementation and analysis of railway design model using ei-rail with Joong-Ang and Seo-Hae lines.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 35, No. 2, pp. 407-415 (in Korean).