

전력공급 효율성을 고려한 구미시 트램 도입 방안 연구

김대원*¹, 김민규*², 최은서*³, 이희진**

A Study on the Introduction Plan of the Gumi-city Tram Considering Efficiency of Power Supply

Dae-Won Kim*¹, Min-Gyu Kim*², Eun-Seo Choi*³, and Hee-Jin Lee**

이 연구는 국립금오공과대학교 대학 연구과제비로 지원되었음(2022~2023)

요약

본 연구는 산업단지 밀집 지역인 구미시의 교통체증 완화 및 대중교통 만족도 향상을 위해 구미시 트램 도입 방안 마련 및 공학적인 운용 가능성을 판단해보고자 한다. 국가교통정보센터 데이터 분석을 통해 교통 정체 구간인 국가산업 1단지의 도로교통상황을 고려한 3개의 트램 노선을 구성하였다. 이를 PSCAD를 활용해 트램 전력계통을 구축하여 최대 전압강하 측정을 통한 전력계통 효율성 분석을 하였다. 이를 기반으로 트램 및 트램용 변전소 개수에 따른 시나리오를 선정하고 시뮬레이션을 3차례 진행하였다. 출·퇴근시간(RH)의 전력계통에서 트램용 변전소 4개가 설치될 때 각 노선의 최저 측정 전압이 트램 정상 구동 범위(500~900V)에 도달한 것을 통해 구미시 트램 운용이 가능한 것으로 판단되며, 구미시 교통 환경 개선 및 최소화된 변전소 운용을 통해 경제적 이점을 도출해 낼 수 있었다.

Abstract

In order to alleviate traffic congestion and improve public transportation satisfaction in Gumi-city, an industrial complex-dense area, this study aims to establish a plan to introduce a tram in Gumi-city and determine the engineering possibility. Through the analysis of data from the National Traffic Information Center, three tram routes were constructed that took into account the road traffic conditions of the National Industrial Complex 1, which is a section of traffic congestion. To analyze the efficiency of the power system through the measurement of the maximum voltage drop by constructing a tram power system using PSCAD, simulations according to the number of tram and tram substations were conducted three times. When four tram substations are installed in the power system during commuting time(RH), it is judged that the minimum measurement voltage of each route has reached the normal tram driving range(500-900V), and economic advantages can be derived by improving the traffic environment in Gumi and operating a minimized substation.

Keywords

operability, route, substation, tram, transfer system, voltage drop

* 국립금오공과대학교 전자공학부 학사과정
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7871-4236>
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5841-1445>
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5906-3255>
** 국립금오공과대학교 전자공학부 교수(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1306-8771>

· Received: Mar. 19, 2024, Revised: Apr. 15, 2024, Accepted: Apr. 18, 2024
· Corresponding Author: Hee-Jin Lee
Dept. of Electronic and Electrical Engineering of Kumoh National
Institute of Technology, 61 Daehak-ro, Gumi-si, Gyeongbuk, Korea
Tel.: +82-54-478-7437, Email: jinlee@kumoh.ac.kr

1. 서 론

2050년까지 탄소중립을 목표로 국내에서는 친환경 교통수단인 트램을 도입하려고 하고 있다[1].

트램은 전기를 공급원으로 구동되는 교통수단으로서 화석연료를 사용하는 다른 수단에 비해 대기 오염물질 배출이 적어 친환경 교통수단으로 정의된다. 교통수단별 대기오염물질 배출의 지표에 따르면 2016년 기준, 도로 교통수단이 전체 분류(도로, 해운, 항공, 철도, 기타)의 95.7%를 차지한다. 이는 도로 부문에서 발생하는 온실가스 등 화학연료의 배출원이 대기 환경과 더불어 많은 문제를 야기하는 주원인으로 작용한다는 의미이다.

국가적 탄소중립의 목표 성립을 위해 도로 부문의 자동차 이용률을 줄일 수 있는 친환경 대중교통 수단인 트램의 도입은 환경적 의의를 지닌다. 2024년 말 대구권 광역철도 개통을 앞두고 트램과의 연계 환승 시스템을 구축하여 구미시의 교통 환경 개선 방안으로 제안한다.

대구권 광역철도는 2014년 예비 타당성 조사를 시작으로 구미-경산을 잇는 총연장 61.9km의 광역 철도이며, 이는 구미, 왜관, 대구, 동대구, 경산역과 추가로 4개의 신설역(사곡, 왜관공단, 서대구, 원대역)을 정차하며 운행할 예정이다.

트램 운행 장소를 선정하는 기준으로 산업 특화 단지를 지니고 있으며 출퇴근 시간 및 평상시의 유동인구의 차이가 크게 나타날 수 있는 점을 고려할 때 구미시가 이에 적합하다고 판단하였다.

구미시의 정차역은 구미역과 사곡역이 있으며, 기존 운행 중인 구미역의 월평균 승·하차 인원은 2022년 12월 기준 약 16만 명으로 추산된다. 이는 경상북도 내에서 환승 시스템이 체계적으로 갖추어져 있는 동대구역 다음으로 높은 비율을 차지한다. 2023년 2월 기준 구미시의 인구(40.72만 명) 대비 대구광역시 인구(236만 명) 격차를 고려하였을 때, 구미역을 이용하는 유동 인구 비율이 높은 것으로 판단된다.

구미시에서 제공하는 2018년 유동 인구 데이터에 의하면, 구미시 전체 유동 인구(188만 명) 중 구미 국가산업 1단지가 포함된 공단동의 유동 인구

(126,364명)가 6.72%를 차지하며 구미시 내에서 세 번째로 높은 유동 인구를 보인다. 또한, 구미 국가산업 1단지는 2022년 4분기 기준 2,128개의 가동 기업과 81,029명의 고용 인원을 보유하고 있다.

구미역의 월평균 승·하차 인원과 구미 국가산업 1단지의 고용 인원을 종합적으로 고려하였을 때 출퇴근 시간 구미 내외의 국가산업 1단지로 향하는 유동인구가 많은 것으로 추산된다. 교통 환경의 구축 수준이 높은 수도권 지역 대비 비수도권 지역의 한정된 교통 환경은 높은 유동 인구를 수용하는 것에 한계가 있으며, 교통 체증을 일으킬 주된 요소로 작용한다.

구미의 현 교통 환경에 대한 정확한 지표를 판단하기 위해 조사한 국가통계포털 KOSIS의 2021년 거주 지역 대중교통 만족도 결과에 따르면, 대구광역시와 구미시의 대중교통 만족 부문 경우 구미시 비율은 24.4%로 대구시의 비율 대비 약 2.24배 낮다. 반면 대중교통 불만족 부문의 경우 구미시의 비율이 31.5%로 약 4.5배 높은 것으로 보인다[2]. 그림 1은 대중교통 만족도 조사 결과에 대한 내용을 시각적 나타낸 통계 그래프이다.

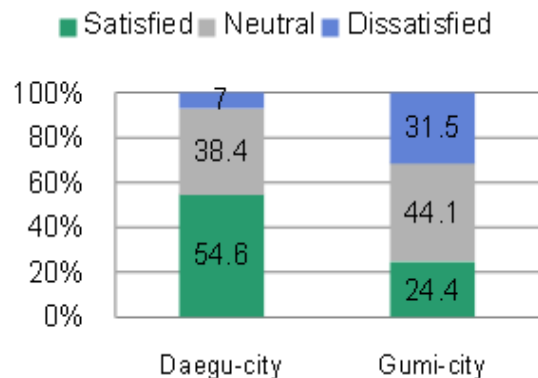


그림 1. 대중교통 만족도 조사 결과[2]
Fig. 1. Public transportation satisfaction survey results[2]

통계에 대한 원인으로 교통 시설이 체계적으로 구축되어 있는 광역시 대비 구미시 대중교통의 다양성 및 정시성이 부족한 것으로 확인된다[3]. 이를 통해 대중교통 대비 자가용을 이용하는 구미 시민의 비율이 높을 것으로 판단되며, 출·퇴근 시간대의 유동 인구 비율에 따른 정체 구간이 발생한다.

구미시의 신설역인 사곡역을 기점으로 대구권 광역철도와의 트램 연계환승시스템을 도입했을 시, 국토교통부에서 발표한 ‘트램 차량 표준 규격’에 기재된 가선 트램 승차정원 약 120인(2.5인/m²)의 대규모 인구수용 특성을 활용해 산업단지 내의 높은 유동인구로 인한 출·퇴근 시간의 교통체증을 완화할 수 있다[4]. 또한, 구미 시민들의 대중교통 만족도 향상을 위한 추가적인 대중교통 수단의 도입으로 다양성 및 정시성 실현에 기여할 수 있다.

본 논문에서는 구미시 거주민의 교통환경 개선을 위한 트램 도입의 기본구상과 PSCAD 프로그램을 활용한 전압강하 특성 분석으로 트램의 실제 운용 가능성을 공학적으로 판단해보고자 한다. 또한 시뮬레이션을 통해 변전소 설치 개수를 최소화하는 방안을 제안하여 경제성 향상을 도모한다.

II. 교통 데이터 기반 트램 노선 선정

2.1 산업단지 주변 교통망 분석

그림 2는 ITS 국가교통정보센터의 교통지도이며, 2023년 5월 2일 오전 8시 30분 경인 출근 시간의 교통정보를 나타낸다[5].

A 구역 및 B 구역은 표 1을 통해 구미시에서 인구 밀도가 높은 상위 거주지 양포동 및 인동동에 속하며, 다른 지역과 달리 4만 명 이상의 인구 지표를 보인다. 이는 출·퇴근 시 국가산업 1단지 및 3단지로의 정체를 발생시키는 주요 요인이다[6]. C 구역은 빌라와 같은 다가구주택이 밀집되어 있어 주차 공간 부족 등과 같은 원인으로 인구는 상대적으로 적지만 정체 구간이 타 구역 대비 심각한 것으로 나타난다. D 구역은 구미역이 위치하고 있으며, 교통의 중심지로서 차량정체가 빈번하게 일어나는 구간이다.

남구미 IC는 국가산업 1단지와 국가산업 3단지 로 진입하는 경부고속도로의 나들목이며, 남구미 IC의 진입 직전 고속국도(0014)는 구미 기준 하부 지역에 거주하는 공단 근로자들이 주로 이용하는 국도이다. 교통량정보제공시스템에서 제공하는 2022년 데이터를 기준으로 고속국도(0014)의 양방향 평균일교통량(102,381대)을 다음 나들목인 구미

IC 방향 고속국도(00115)의 평균일교통량(90,586대)과 비교한 결과, 고속국도(0014)의 11.5%에 해당하는 차량이 남구미 IC를 통행함을 알 수 있다. 이를 전국 고속국도의 평균일교통량(52,116대)과 비교해보면 고속국도(0014)의 이용률이 약 2배 많으며, 남구미 IC의 교통밀집도가 높은 것으로 판단된다.

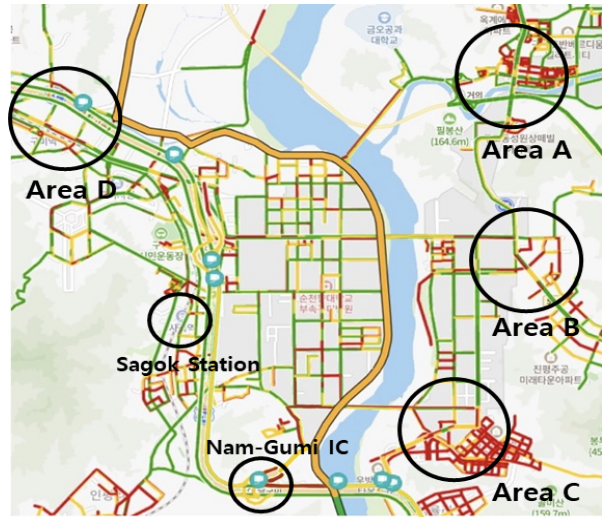


그림 2. 구미 국가산업 1단지 인근 도로교통상황
Fig. 2. Road traffic conditions near Gumi national industrial complex 1

표 1. 구미시 지역별 인구 순위

Table 1. Population ranking by region of Gumi-city

Area	Population
Indong-dong	49,028
Yangpo-dong	47,151
Seonjuwon Namdong	39,884
Goa-eup	36,712
Hyunggok-dong	31,859

2.2 트램 노선 구성

트램 노선은 교통망 분석을 통해 총 3가지의 노선으로 구성하였다. 그림 3은 트램 노선에 대한 지도상 위치, 그림 4는 트램의 세부 노선도이다.

구미시 인구 밀집 및 교통 정체 구간을 보이는 옥계동(1호선), 인동동(2호선), 칠곡군 석적읍(3호선) 방면 거주민들의 국가산업 1단지 및 편의시설(대형마트, 병원)로의 원활한 이동을 고려해 트램 노선을 구성하였다.

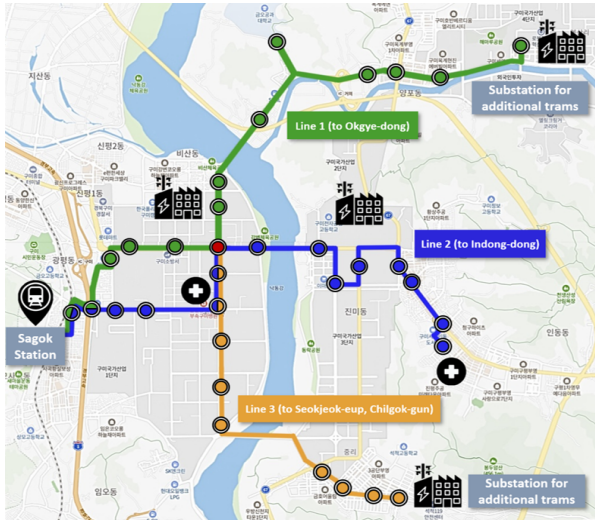


그림 3. 트램 노선의 지도상 위치
Fig. 3. Location of tram lines on the map



그림 4. 트램 노선도
Fig. 4. Tram lines

또한, 구미역 이용 및 남구미IC를 통해 국가산업 1단지로 출·퇴근하는 인원을 고려해 대구권 광역철도의 정거역인 사곡역에서 트램 환승이 가능하도록 이를 기점으로 설정하였다.

그림 4에서 보는 바와 같이 유동인구를 고려하여 1호선(사곡역 입구 - 구미전자정보기술원 입구), 2호선(사곡역 입구 - 구미강동병원 입구), 3호선(장곡중학교 입구 - 구미전자정보기술원 입구)의 3개의 노선 34개의 정거장으로 선정하였다.

각 노선은 중심부의 홈플러스 구미점, 순천향대 병원 그리고 세무서네거리 정거장을 통해 환승이 가능하다.

각 노선의 길이는 1호선부터 3호선까지 각각 14.938km, 21.634km, 9.279km이며, 노선의 전체 길이는 45.851km로 구성된다.

III. 트램 노선을 기반으로 한 전력계통 모델링

일반적으로 트램은 직류 급전방식으로 전기를 공급받는다. 국내의 직류 급전시스템은 한국전력으로부터 3상 22.9kV를 수전 받아 변압기 및 정류기를 거친 뒤 직류(750V~1.5kV)로 바꾸어 선로에 공급한다. 선로는 전차에 전기를 공급하는 전차선, 전압강하 및 전류용량 대책으로 전차선과 병렬로 연결된 급전선, 레일로 구성되어 있다[7].

3.1 트램 전력계통도 기본 구조

PSCAD를 사용하여 트램 노선도를 참고하여 트램의 전력계통을 모델링하고자 한다. 표 2는 전력계통 구성을 위한 선로의 세부 설정치이다. 이를 기반으로 구상한 그림 5는 트램용 변전소 1곳으로 전력을 공급하여 각 노선당 1대의 트램을 운용할 때의 전력계통도를 나타낸다.

표 2. 트램 전력계통 설정치
Table 2. Tram power system settings

Data	Value
Substation output voltage for trams	900 V
Resistance of rail	0.074 Ω/km
Resistance of catenary & feeder	0.0203 Ω/km
Tram maximum power	300 kW

전력계통도의 기본 구성은 트램, 전원부, 전차선, 급전선, 레일로 나뉜다.

전원부(트램용 변전소)는 산업단지 인근 변전소로부터 최단 거리로 22.9kV의 전압을 공급받으며, 변압기 및 컨버터를 통해 직류 750V의 전압을 사용하는 트램에 전력을 공급한다[8]. 그림 5의 트램용 변전소(A) 위치는 국가산업 1단지에 전력을 공급 중인 인근 변전소로부터 최단 거리로 전력을 공급받을 수 있는 구미소방서 정거장으로 설정한다.

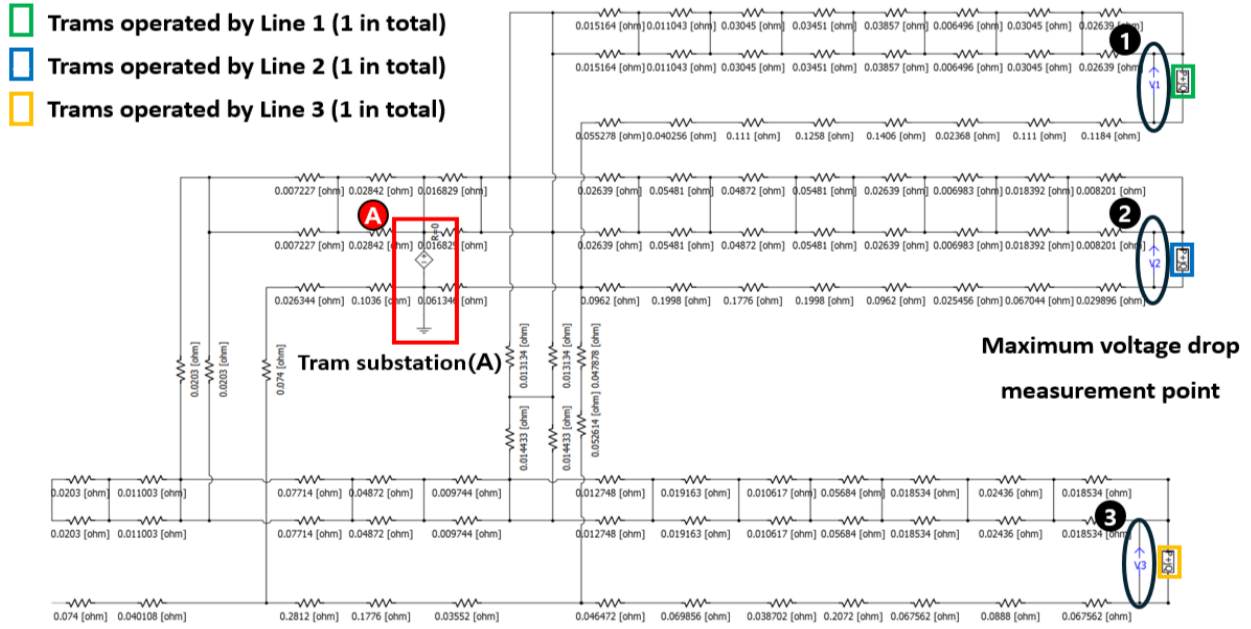


그림 5. 트램 전력계통도
Fig. 5. Tram power system diagram

직류 750V를 정격으로 사용하는 트램의 구동전압 범위는 500V~900V이며, 전력계통의 최대 전압강하 지점을 측정하기 위해 변전소에서 직류 900V를 공급한다[9].

전원부로부터 전압을 공급받는 급전선 및 전차선은 선로의 전압강하 감소 및 등전위 유지를 고려하여 동일한 저항을 사용하며, 단위 거리당 저항(전차선 및 급전선 저항)값에 정거장 간의 거리를 곱하여 저항값을 설정한다.

전차선 및 급전선으로부터 전력을 공급받는 트램은 'Fixed Load(1-Phase, L-L)'소자를 사용하며, 직류 특성을 고려해 주파수 및 리액턴스 값은 0Ω, 정격전력 값은 300kW, 정격전압 값은 750V로 설정한다[10].

전원부로부터 트램이 이동한 거리만큼 레일에서도 전압강하가 발생하며, 급전선 및 전차선의 저항값 설정과 유사한 방식으로 단위 거리당 저항값(레일 저항)에 정거장의 거리를 곱하여 저항값을 설정한다.

단위 거리당 저항값의 경우 20℃를 기준으로 최적의 저항값을 선정하여 급전선, 전차선, 레일에서 발생하는 전압강하를 최소화하고자 한다[11]-[13].

3.2 최대 전압강하 측정을 통한 트램 운용 가능성 판단

각 노선의 최대 전압강하 지점을 측정하여 모든 구간에서 트램의 정상 구동 전압 범위(500V~900V)이내의 도달 여부를 확인하고자 한다.

측정에 앞서 전압강하 특성을 분석해보면, 전원부(트램용 변전소)로부터 트램의 거리가 증가함에 따라 전압강하가 크게 작용하여 전압이 감소함을 알 수 있다. 이를 통해 최대 전압강하 측정 지점을 각 노선의 말단부로 지정하여 트램 운용 가능성을 판단한다.

표 3은 트램에 공급되는 최저 전압을 나타내며, 이하 트램 최저 전압으로 지칭하였다.

표 3. 트램 최저 전압
Table 3. Tram minimum voltage

Data	Value
Line 1 (End point)	585.700V
Line 2 (End point)	546.825V
Line 3 (End point)	603.275V

1호선 585.700V, 2호선 546.825V, 3호선 603.275V의 측정값을 통해 모든 노선에서 트램의 정상 구동 전압 범위인 500V~900V 이내가 됨을 알 수 있다. 따라서 트램용 변전소가 1곳일 때 각 노선당 1대의 트램이 운용 가능한 것으로 판단된다.

IV. 최대 전압강하 측정을 통한 구미시 트램 운용 가능성 판단

그림 5의 전력 계통도에 트램의 실제 운용 조건을 고려한 구미시 트램의 운용 가능성을 판단하고자 한다. 전력계통 모델링과 마찬가지로 트램 운용 가능성 판단을 위해 각 노선의 최대 전압강하 지점을 측정하여 모든 구간에서 트램의 정상 구동 전압 범위(500V~900V) 이내의 도달 여부를 확인하고자 한다.

4.1 트램 운용 조건 설계

트램 운행 시간은 구미시의 시내버스 운행 시간을 고려한 06시~23시 30분으로 설정하고, 출근 시간 07시~09시 및 퇴근 시간 17시~19시를 Rush Hour(RH)로, 그 외의 시간을 평시로 구분한다.

표 4는 교통 환경이 원활한 평시와 교통이 상대

적으로 밀집되는 RH의 트램 운용 조건에 대한 설정값을 나타낸다. 운행시격은 서울, 부산, 대구 등 도시철도가 운용 중인 지역의 운행시격을 고려하여 RH를 5분, 평시를 10분으로 설정한다[14].

표 4. 트램 운용 조건 설정

Table 4. Tram operating conditions settings

	Time interval	Commercial speed	Distance interval
Normal hour	10 min	20 km/h	3.33 km
RH	5 min		1.67 km

표정속도는 토론토(15km/h), 암스테르담(16km/h), 스트라스부르(21km/h)의 실제 표정속도 및 '대전시 트램 건설 주요계획'에서 발표한 22.06km/h의 표정속도 목표치를 종합적으로 고려하여 20km/h로 설정한다[15][16].

운행시격과 표정속도를 토대로 운행 간격이 설정되며, 각 노선별 길이를 운행 간격으로 나누어 트램 수를 최대 배치한다.

그림 6은 평시의 트램 간 운행 간격 3.33km를 기준으로 트램을 각 노선에 배치한 경우이다. 각 노선의 길이가 1호선부터 3호선까지 각각 14.938km, 21.634km, 9.279km임을 고려하여 1호선 5대, 2호선 7대, 3호선 3대의 트램이 배치된다.

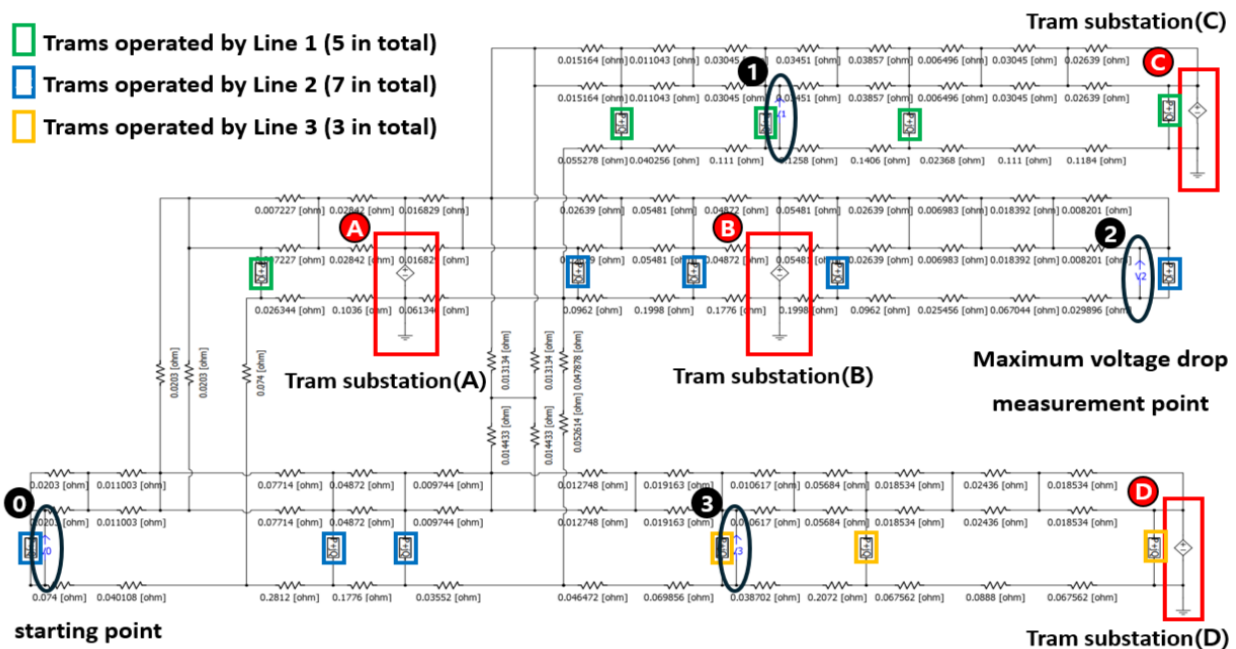


그림 6. 평시 트램 전력계통도
Fig. 6. Normal hour tram power system diagram

그림 7은 RH의 트램 간 운행 간격 1.67km를 기준으로 트램을 각 노선에 배치한 경우이다. 각 노선의 길이를 고려하여 1호선 9대, 2호선 13대, 3호선 6대의 트램이 배치된다.

4.2 Case study 1

Case study 1은 그림 6, 7의 트램용 변전소 1곳(트램용 변전소(A))에서 전력을 공급하는 경우이다. 그림 6, 7의 트램용 변전소(A)의 위치는 그림 5의 전력계통도와 동일하다.

표 5. 트램 최저 전압 (연구 경우 1)
Table 5. Tram minimum voltage (Case study 1)

	Normal hour	RH
Line 1 (End point)	344.587V	242.329V
Line 2 (End point)	303.127V	149.747V
Line 3 (End point)	344.046V	247.939V

표 5는 Case study 1에서의 트램 최저 전압이며, 트램용 변전소로부터 멀어질수록 전압강하가 증가함을 통해 그림 5와 마찬가지로 각 노선의 말단에서 최대 전압강하가 발생한다. 따라서 위 측정값을 통해 모든 노선에서 최저 전압값이 트램의 정상 구동 전압 범위인 500V~900V 이내에 도달하지 못하

여 트램 운용이 불가능하다.

4.3 Case study 2

Case study 2는 그림 6, 7의 트램용 변전소 2곳(트램용 변전소(A, B))에서 전력을 공급하는 경우이다. Case study 1에서 모든 측정값이 정상 구동 전압 범위 이내에 도달하지 못하여 3개의 노선 중 최대 전압강하 발생 노선인 2호선에 트램용 변전소(B)를 추가로 구성한다.

트램용 변전소(B)의 위치는 국가산업 3단지에 전력을 공급 중인 인근 변전소로부터 최단 거리로 전력을 공급받을 수 있는 구미전자공고 입구 정거장으로 설정한다.

표 6은 Case study 2에서의 트램 최저 전압이며, Case study 1과 마찬가지로 트램용 변전소로부터 멀어질수록 전압강하가 증가함을 확인하였으며, 각 노선의 말단에서 최대 전압강하가 발생한다.

위 측정값을 통해 Case study 1과 비교하여 모든 노선에서 최저 전압값이 증가함을 알 수 있다. 그러나 2호선의 경우만 정상 구동 전압 범위인 500V~900V 이내가 측정되고, 1, 3호선은 정상 구동 전압 범위에 도달하지 못해 트램용 변전소 2곳(트램용 변전소(A, B))으로도 트램 운용이 불가능하다.

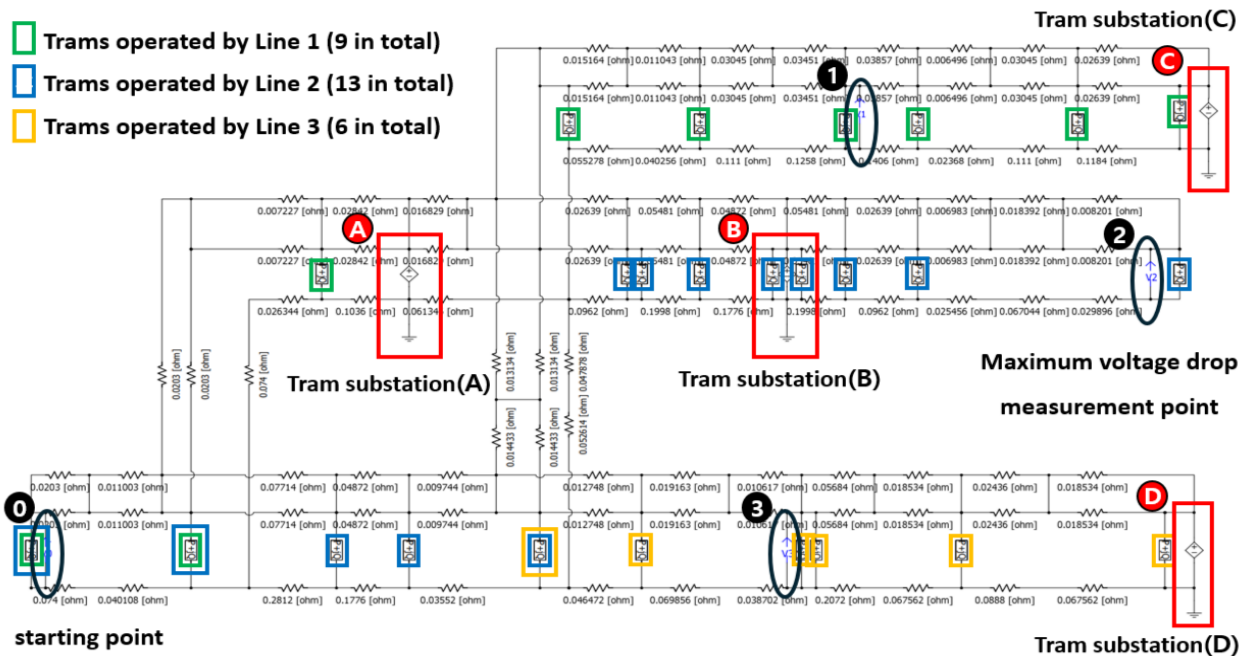


그림 7. RH 트램 전력계통도
Fig. 7. Rush hour tram power system diagram

표 6. 트램 최저 전압 (연구 경우 2)
Table 6. Tram minimum voltage(Case study 2)

	Normal hour	RH
Line 1 (End point)	364.654V	260.792V
Line 2 (End point)	647.020V	565.528V
Line 3 (End point)	361.527V	264.372V

4.4 Case study 3

Case study 3은 그림 6, 7의 트램용 변전소 4곳 (트램용 변전소(A~D))에서 전력을 공급하는 경우이다. 전체 노선의 안정적인 트램 운용을 위해 1, 3호선에 각각 트램용 변전소(C, D)를 추가하여 평시 및 RH의 전력계통을 보완하였다.

추가한 트램용 변전소는 1, 3호선 종점 인근에 위치한 각각의 변전소로부터 전력을 공급받는다.

표 7은 Case study 3에서의 트램 최저 전압을 보여주고 있다. Case study 3은 Case study 1, 2와 다르게 1호선 및 3호선 말단부에 트램용 변전소가 추가되어 최대 전압강하 지점의 차이가 있다. 따라서 모든 노선의 종점에서 공통적인 최대 전압강하가 발생하지 않으므로 1, 3호선 기점의 전압 측정을 진행하였다.

표 7. 트램 최저 전압 (연구 경우 3)
Table 7. Tram minimum voltage (Case study 3)

	Normal hour	RH
Line 1, 3 (Starting point)	667.395V	603.923V
Line 1	703.612V	645.259V
Line 2 (End point)	647.020V	565.528V
Line 3	685.687V	572.939V

최대 전압강하 측정 지점은 다음과 같다. 그림 6, 7의 지점 0번(1, 3호선 기점), 1번(1호선), 2번(2호선 종점), 3번(3호선)으로 구성된다. 시뮬레이션 측정 결과, 평시의 경우 1, 3호선 기점(667.395V), 1호선(703.612V), 2호선(647.020V), 3호선(685.687V)으로 모든 노선에서 정상 구동 범위인 500V~900V에 도달한다. RH의 경우도 1, 3호선 기점(603.923V), 1호선(645.259V), 2호선(565.528V), 3호선(572.939V)으로 모든 노선에서 정상 구동 범위에 도달한다.

즉, 평시 및 RH의 1호선, 2호선, 3호선 모두 트램의 정상 구동 범위에 도달하여, 트램용 변전소 4곳으로 전력계통을 구성할 경우 구미시 트램 운용이 가능한 것으로 판단된다.

V. 결론 및 기대효과

총 3차례의 Case study를 통해 구미시 트램 도입의 기본 구상과 전압강하 특성을 고려한 실제 운용 가능성을 판단하였다. Case study 1(트램용 변전소 1곳)의 측정 결과 모든 노선에서의 최저 전압값이 트램의 정상 구동 전압 범위에 도달하지 못하여 트램이 정상적으로 운행할 수 없는 것으로 판단된다. 또한, Case study 2(트램용 변전소 2곳)의 측정 결과 Case study 1과 비교하여 모든 노선에서 트램 최저 전압값이 증가하였지만, 1호선 및 3호선의 전압값이 트램의 정상 구동 전압 범위에 도달하지 못하여 트램을 정상적으로 운행할 수 없는 것으로 판단된다. Case study 3에서는 앞선 시뮬레이션의 한계를 보완하기 위해 1호선 및 3호선의 말단부에 추가적인 트램용 변전소를 시설하여 총 4개의 트램용 변전소로 전력을 공급한다. 측정 결과 평시와 RH 모두 트램 정상 구동 범위에 도달하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 해당 전력망 내에서 총 28대의 트램이 운행 가능한 것으로 확인되며, 이를 통해 출퇴근 시 교통 체증을 완화하기 위한 구미시 트램 도입 및 운용 가능성이 있음을 도출해 낼 수 있다.

구미시 트램 도입의 기대효과로 교통 정체 완화와 경제적 비용 절감을 예상할 수 있다. 교통 부문으로는 트램의 도입으로 구미시의 대중교통 다양성 및 정시성을 실현해 교통 시설 체계를 정립할 수 있다. 또한, 가선용 트램 승차 정원인 120인(2.5인/m²) 대규모 인구수용 특성을 통해 평시와 출퇴근 시 구미 시민의 교통 체증 완화에 기여할 수 있다. 대구 광역철도와의 연계 환승 시스템 도입 시 구미 국가산업 1단지에 종사하는 주변 지역 시민들의 자가용 이용 비율을 낮춰 남구미 IC의 원활한 유동이 가능해질 것으로 예상된다. 경제성 부문으로 철도궤도공사사업협의회에 따르면 시가철도의 경우 2~5km 간격마다 변전소를 설치한다.

변전소 설치 규격을 고려한 기존의 트램용 변전소는 총 길이 45.85km 운용을 위해 최소 9대를 설치해야하는 반면, 구미시 트램용 변전소는 총 4곳의 설치로 트램용 변전소 수를 최소화시킬 수 있다. 이는 변전소 시설에 드는 초기 건설 비용을 절감시켜 경제적 효과를 창출해 낼 수 있다.

References

- [1] 2050 Carbon Neutral Green Growth Commission, "National Carbon Neutral-Green Growth Strategy and Basic Plan", pp. 1-214, Mar. 2023.
- [2] Korean Statistical Information Service, "Satisfaction with Public Transportation in Residential Area", https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=765&tblId=DT_765002_2021A005&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=216A_765_76502_004_002&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE [accessed: May 02, 2023]
- [3] S. S. Kim, "Current status and future problems of Daegu metropolitan transportation, suggestion of improvement project", Proceedings of the KOR-KST Conference, pp. 67, Sep. 2019.
- [4] Metropolitan Transportation Commission, "Performance·Bodies·Convenience·Safety·Establishment of domestic standards for Tram", pp. 1-9, Jan. 2021.
- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "National Transport Information Center Traffic Map", <https://its.go.kr/map/traffic> [accessed: May 02, 2023]
- [6] Korean Statistical Information Service, "Number of Generations and Population by Eup·Myeon·Dong in Gumi-si", https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1B04005N&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=A_7&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE [accessed: May 02, 2023]
- [7] C. M. Lee, D. U. Jang, J. W. Kim, M. S. Han, H. S. Jung, and J. R. Kim, "A Study on Analysis Method of DC Electric Railroad using Terminal Network Analysis", The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 65, No. 11, pp. 1913-1918, Nov. 2016. <http://doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.11.1913>.
- [8] Y. H. Yoon, "Feed System Modeling of Railroad using Fuel Cell Power Generation System", Journal of IIBC, Vol. 20, No. 4, pp. 195-200, Apr. 2020. <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2020.20.4.195>.
- [9] D. Dujic, C. Zhao, A. Mester, J. K. Steinke, M. Weiss, S. Lewdeni-Schmid, T. Chaudhuri, and P. Stefanutti, "Power Electronic Traction Transformer-Low Voltage Prototype", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 28, No. 12, pp. 5522-5534, Dec. 2013. <http://doi.org/10.1109/TPEL.2013.2248756>.
- [10] E. Fedele, D. Iannuzzi, and A. D. Pizzo, "Onboard energy storage in rail transport: Review of real applications and techno-economic assessments", IET Electrical Systems in Transportation, Vol. 11, No. 4, pp. 279-309, Jun. 2021. <https://doi.org/10.1049/els2.12026>.
- [11] J. W. Kim and J. D. Kim, "Voltage divider resistance for the highest resolution of thermistor temperature measurement", Journal of KIIT, Vol. 8, No. 11, pp. 55-60, Nov. 2010.
- [12] M. H. Min, H. S. Jung, Y. Park, H. C. Kim, and M. C. Shin, "An Analysis on Rise of Rail Potential And A Study on Control Method for It in DC Feeding System", The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 60, No. 3, pp. 680-685, Mar. 2011. <https://doi.org/10.5370/KIEE.2011.60.3.680>.
- [13] K. H. Um, "Examination of Conductor and Sheath Temperatures Dependent on the Load Currents through High-Power Live Cables at a Power Station", Journal of IIBC, Vol. 17, No. 1, pp. 213-218, Jan. 2017. <https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.1.213>.

- [14] S. H. Gu, "A Study on LID Design Application to Tram as a Metro Railway", Korean PhD thesis at Woosong University, pp. 1-142, Feb. 2017.
- [15] Daejeon Metropolitan City, "Daejeon City Builds Luxury Trams with the Highest Safety and Speed Competitiveness", pp. 1-11, Dec. 2022.
- [16] J. S. Lee, Y. G. Choi, S. H. Kim, Y. S. Chang, C. G. Lee, and M. K. Park, "A Study on the Introduction of the Tram Driving Qualifications", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 18, No. 2, pp. 94-104, Apr. 2015. <http://doi.org/10.7782/JKSR.2015.18.2.94>.

이 희 진 (Hee-Jin Lee)



2008년 2월 : 연세대학교
전기전자공학부(공학사)
2013년 2월 : 연세대학교
전기전자공학과(공학박사)
2015년 2월 ~ 현재 :
국립금오공과대학교 전자공학부
교수

관심분야 : 전력시스템, 전력전자, 스마트그리드

저자소개

김 대 원 (Dae-Won Kim)



2018년 3월 ~ 현재 :
국립금오공과대학교 전자공학부
학사과정
관심분야 : 전력시스템,
신재생에너지, 스마트그리드

김 민 규 (Min-Gyu Kim)



2018년 3월 ~ 현재 :
국립금오공과대학교 전자공학부
학사과정
관심분야 : 전력시스템,
에너지저장장치

최 은 서 (Eun-Seo Choi)



2020년 3월 ~ 현재 :
국립금오공과대학교 전자공학부
학사과정
관심분야 : 전력시스템,
신재생에너지