

전류 Map을 이용한 전차선로 용량관리 프로그램개발

Development of Simulator for Managing and Planning the Catenary System Using Current Map

오광해*
Kwang-Hae Oh

이한민**
Han-Min Lee

창상훈***
Sang-Hoon Chang

ABSTRACT

This paper presents development of the program which calculates the electric quantities such as current, voltage at each element of railway electrification system in static state. The purpose of this program is to estimate the adequacy of railway electrification system through simulations. And it contributes the estimations for optimal railway electrification system by calculating the maximum current and voltage. The simulation program is coded through GUI(Graphic User Interface) technique for user to operate easily.

Keywords : Railway Electrification System, Estimation of the adequacy, GUI

1. 서론

전기철도는 다양한 차량과 운전설비, 궤도, 전차선로, 전기설비를 포함한 거대한 시스템으로 구성되어 있다. 차량의 운행에 필요한 동력을 전달하기 위해 전철변전소에서는 전력회사로부터 수전하여 전차선을 통하여 전력을 차량에 공급하고 있다.

최근에는 열차운행빈도의 증가로 인해 복수의 전기차가 동일 구간에서 동시에 운전되는 경우가 많고 대용량 차량의 도입으로 전차선에 흐르는 전류가 커져 기존의 전차선로측에는 온도상승에 의해 전차선이 약화되는 현상을 유발할 수 있다. 게다가 전차선로가 감당하는 부하전류는 전차선 외에도 조가선, 급전선, 보호선 등의 경로를 통하여 흐르므로 예상치 못한 부분에서 과대전류로 인한 대형사고를 초래할 수도 있다. 또한, 급전회로의 임피던스에 의한 전압강하는 판토틀라프 점의 전압강하로 이어져 차량성능을 저하시킨다. 따라서 전철의 운용계획 및 건설계획 단계에서는 이들 사항을 사전에 충분히 검토하여 열차운용 스케줄을 작성하고 전차선로를 포함한 급전계통을 설계하여야 한다.

따라서 본 연구는 전차선로 가선의 용량, 팬터그래프점 전압특성, 변전소 부하특성 등 실제 변전소 및 급전계통(전차선로) 설계에 필요한 사항을 계산하기 위한 시뮬레이션 프로그램 개발을 연구목표로 하였다.

* 한국철도기술연구원 전기연구본부, 선임연구원

** 한국철도기술연구원 전기연구본부, 연구원

*** 한국철도기술연구원 전기연구본부, 책임연구원

이를 위해서 윈도우 프로그램에 의한 전산모형구축 및 현장 측정을 통한 보완으로 계산결과
의 신뢰성 검증에 주력하였다.

2. 전차선로 전력시뮬레이터의 계산모델

전차선로 전력해석을 위해서는 운전선도, 차량제원, 전차선로/전원계통의 정보를 입력으로
받아들인다. 먼저 운전선도를 이용하여 전차의 키로징에 대한 도착시간과 출발시간을 계산하
여 각 시간 간격에서의 전차위치를 계산한다. 전차의 위치와 운전선도, 차량의 제원 등으로
견인력을 계산하여 전차의 부하전력을 계산하고, 전차선로/전원계통의 정보와 전차선, 조가선,
급전선, 레일, 보호선의 자체 임피던스와 결합 임피던스를 이용하여 등가회로를 구성하고, 전
차의 전압을 수치해석방법인 가우스-자이델법으로 계산한다. 즉, 전차의 초기전압을 설정하여
전차의 전류를 구하여 전차선로의 전류분포를 계산한다.

이 전류분포를 이용하여 전차선로 각 부분의 전압강하를 계산하여 새로운 전차전압을 구할
수 있다. 이 결과와 전차의 초기전압을 비교하여 허용오차보다 크면 다시 계산을 반복하고,
허용오차 내로 들어오면 계산을 마친다. 그림 1.에 전차선로 전력시뮬레이터의 전체 흐름도를
보인다.

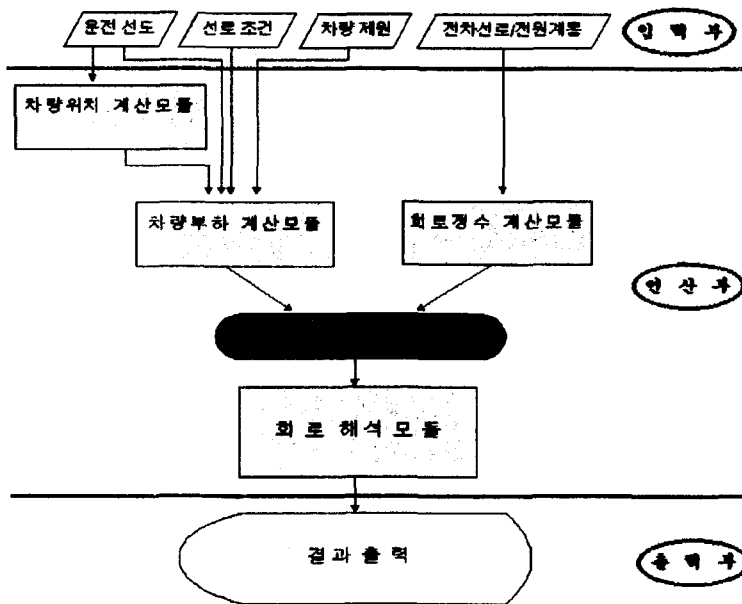


그림 1. 전차선로 전력시뮬레이터의 계산흐름도

3. 전차선로 전력시뮬레이터의 구성

프로그램의 초기화면은 그림 2.와 같이 6개의 버튼으로 구성되어 왼쪽버튼부터 차례로 클
릭하여 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 하였으며, 파일메뉴로는 그림 3.에 보인바와 같이 윈
도우즈의 기본적인 파일작업기능을 모두 갖추어 조작성을 향상시키도록 하였다.

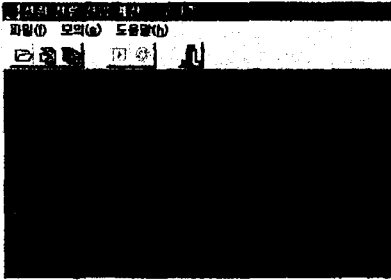


그림 2. 프로그램의 초기화면

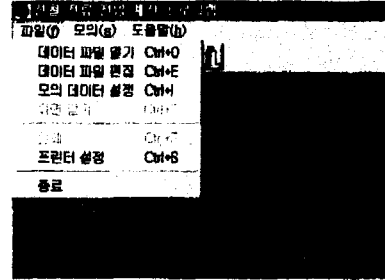


그림 3. 파일 메뉴

프로그램 사용자는 각 차량의 위치변화에 따른 전차선 전류분포를 한눈에 파악할 수 있고 마우스 클릭을 통하여 자신이 원하는 부분(전차선, 레일, 급전선)의 전압과 전류를 선택하여 세밀하게 검토할 수 있다.

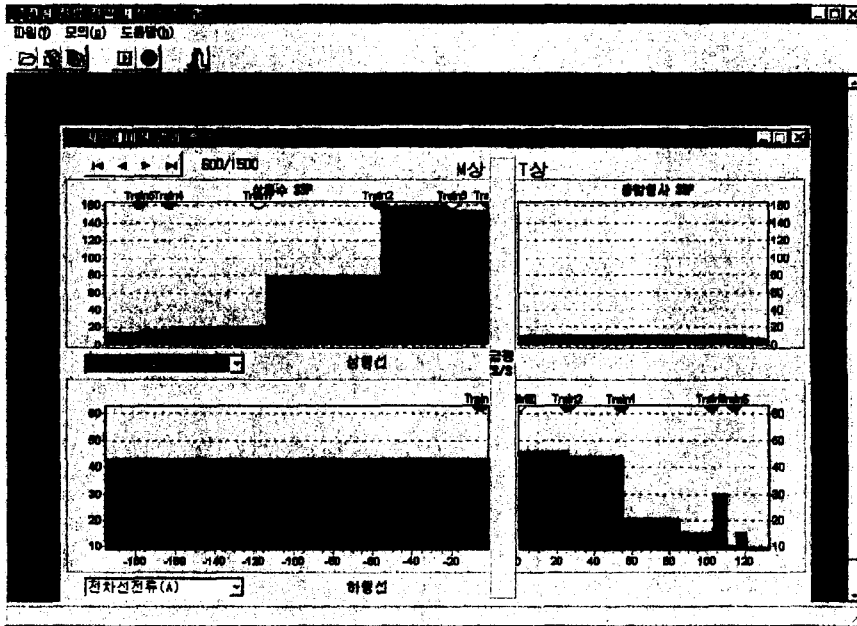


그림 4. 계산 결과의 출력

4. 시뮬레이터의 정확성 검증

본 연구에서는 계산알고리즘의 정확성을 2가지 측면에서 검토하였다. 먼저, 서로 다른 두가지 해석방법 즉, 흡상전류비 이론에 의한 계산법과 정밀 계산방법인 KCL/KVL에 기초한 방법을 계산결과로서 비교하였다. 또한 현장측정치와 시뮬레이션 결과치와의 비교를 통해서 본 연구에서 개발한 프로그램의 정확성을 검토하였다.

4.1 정밀 해석기법과의 계산결과 비교

전차선로에 차량 4대가 상하행선에 동시 운행되는 경우, 두가지 계산방법에 의한 전차선 전류분포를 그림 5.에 보인다.

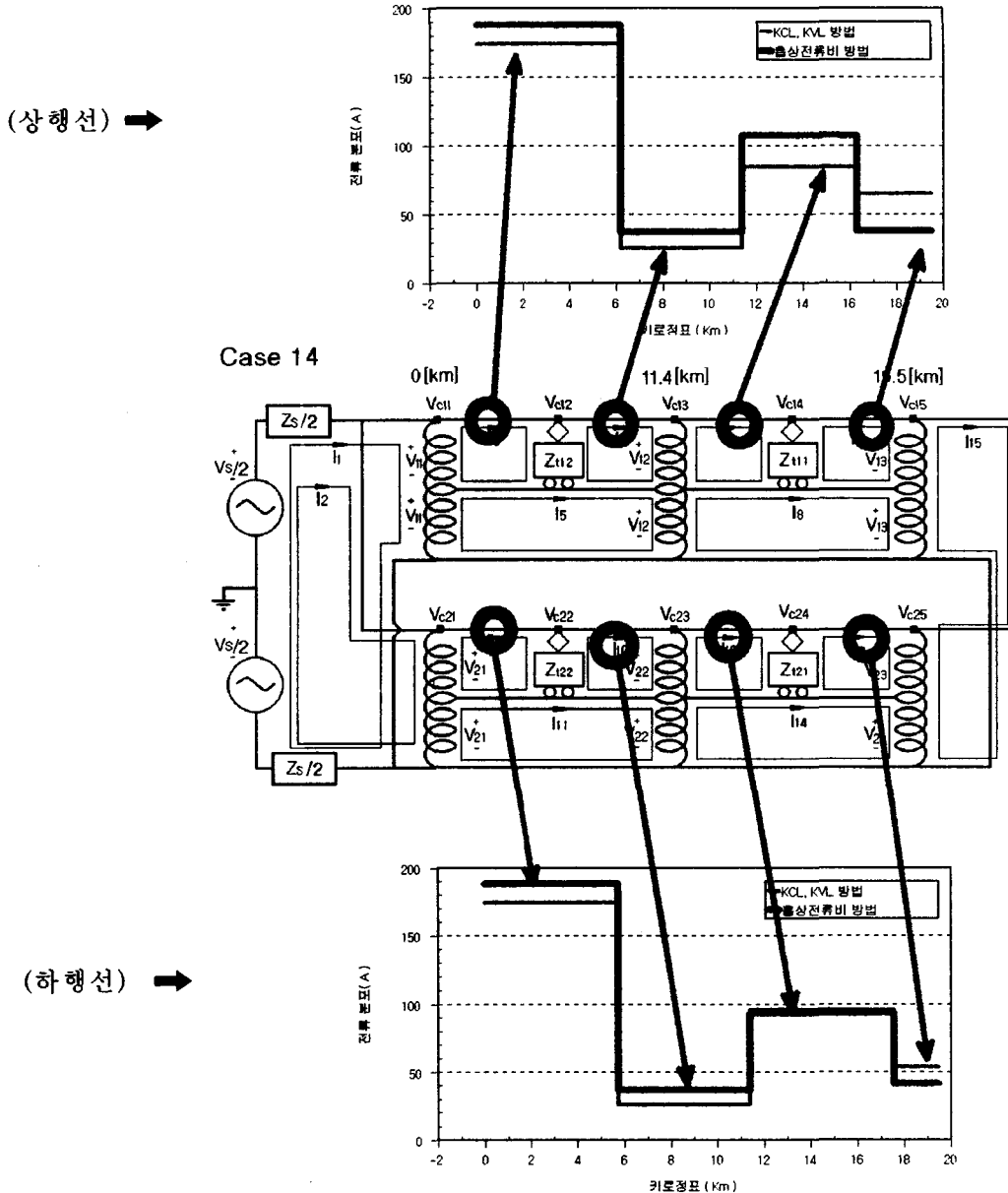


그림 5. 전차선 전류분포 계산결과

위의 그림 5.에서 흡상전류비 방법에 의한 전차선 전류분포 계산결과는 정밀해석 기법의 결과와 약 10% 전후의 오차를 보이나 전류분포의 추이는 잘 따르고 있음을 알 수 있다. 시뮬레이션에는 매 시점마다 반복계산이 요구되기 때문에 계산속도가 문제시 될 수 있다. 흡상

전류비 방법은 계산 속도측면에서 정밀해석방법 보다 약 10배정도 우수한 장점이 있으므로 대략적 계산결과를 필요로 하거나 결과의 추이를 확인하는데는 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 현장실측에 의한 검증

본 연구에서 개발한 프로그램의 활용적합성을 검토하기 위해 실제 영업운전중인 과천·안산선 현장에서 측정한 값과 동일한 조건하에서 시뮬레이션한 결과치를 급전축 전류 순시치로써 비교하여 그림 6.에 보인다. 또한 급전축 전류의 15분 평균치와 최대치를 표.1에 나타내었다.

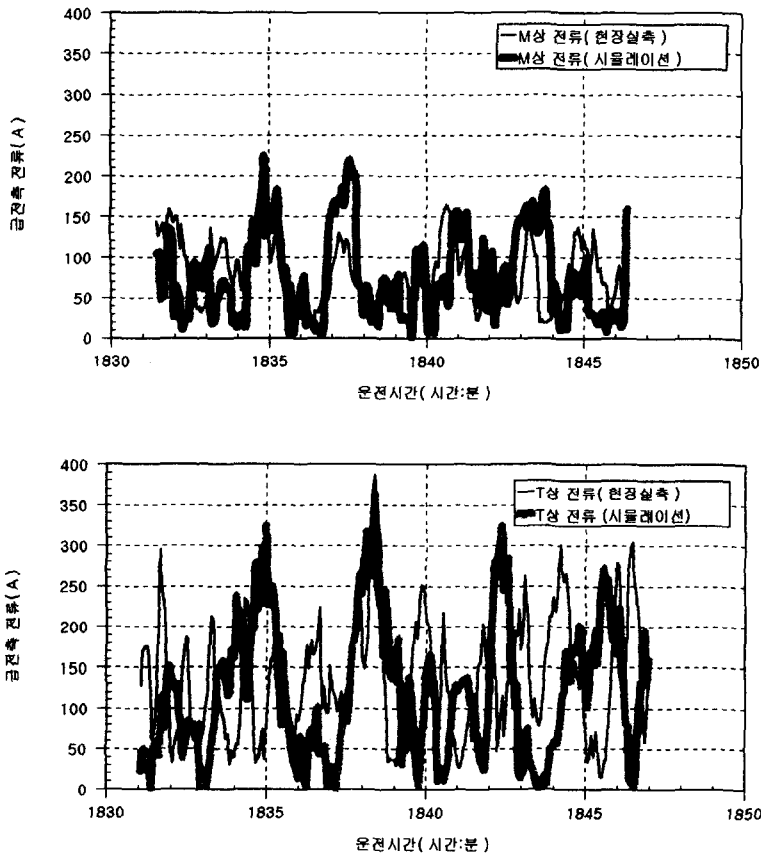


그림 6. 현장측정에 의한 검증(순시전류값 비교)

표.1 현장측정에 의한 검증(평균전류값 비교)

	최대 전류		15분 평균전류	
	M상	T상	M상	T상
시뮬레이션 결과	225.0	363.8	77.1	120.0
현장측정 결과	190.0	386.6	79.3	138.3

위의 그림 6.에서 공급전류 측정 순시값은 시뮬레이션 결과와 다소 차이를 보이는데 이는 차량운행시간의 미소한 차이 또는 운전자의 노치조작의 불규칙성등의 불확실성 요소에 기인된 것이라 생각된다. 그러나 표.1에서 알 수 있는 바와 같이 최대전류와 15분 평균전류에서는 측정값과 시뮬레이션 결과값이 비교적 적은 오차로 일치함을 알 수 있다.

5. 프로그램에 의한 급전시스템의 전력운용특성 검토

철도 급전시스템의 전력 특성을 비교 분석하기 위해 본 연구의 회로해석 모듈로부터 차량 운행시간에 따른 공급전력, 소비전력, 손실전력 및 전력손실률을 계산하였다.

그림 7.은 차량 1편성이 과천-안산선 구간을 통과하는데 필요한 공급전력과 이때의 손실전력을 순시값으로 보인 것이며, 표. 2는 최대전력과 전력에너지 측면에서 계산한 결과이다.

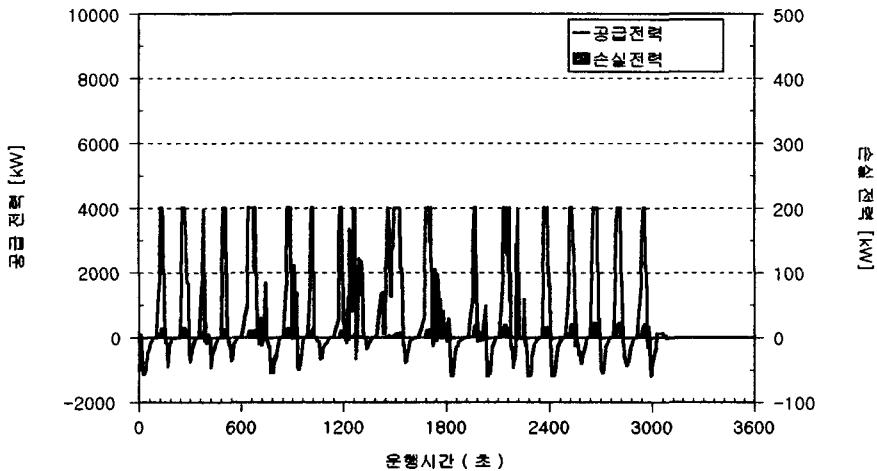


그림 7. 차량 1편성당의 공급전력과 손실전력

표. 2 차량 1편성의 구간운전 전력

	소요 시간	최대 전력			총 전력량		
		공급전력	소비전력	전력손실	공급전력량	소비전력량	에너지손실
상행	53분	4022.7[kW]	4000[kW]	22.7[kW]	782.5[kWh]	780.0[kWh]	2.5[kWh]
하행	52분	4022.6[kW]	4000[kW]	22.6[kW]	768.3[kWh]	766.1[kWh]	2.2[kWh]

이러한 차량 1편성의 구간 운전전력은 급전시스템의 독특한 특성으로 급전회로의 선로정수와 구배, 곡선, 차량제원에 의존된다. 이들 값은 차량이 다중운행되고 있는 경우에 대한 개략적인 소비전력량을 예측하는데 좋은 참고가 될 수 있다.

한편, 차량의 운행시격에 따른 공급전력을 다음 그림 8.에 보인다. 차량마다 최대 출력시점이 제각기 다르기 때문에, 그림 8.에서와 같이 최대공급전력은 운행시격, 다른 의미에서는 운전차량 대수의 배수관계가 성립되지 않는다. 따라서 전철화 설계시와 차량 운전시격 변경시

에는 반드시 이에 대한 시뮬레이션을 통하여 전철부변압기의 용량을 선정하고 과부하 가능성을 평가해야 할 것으로 판단된다.

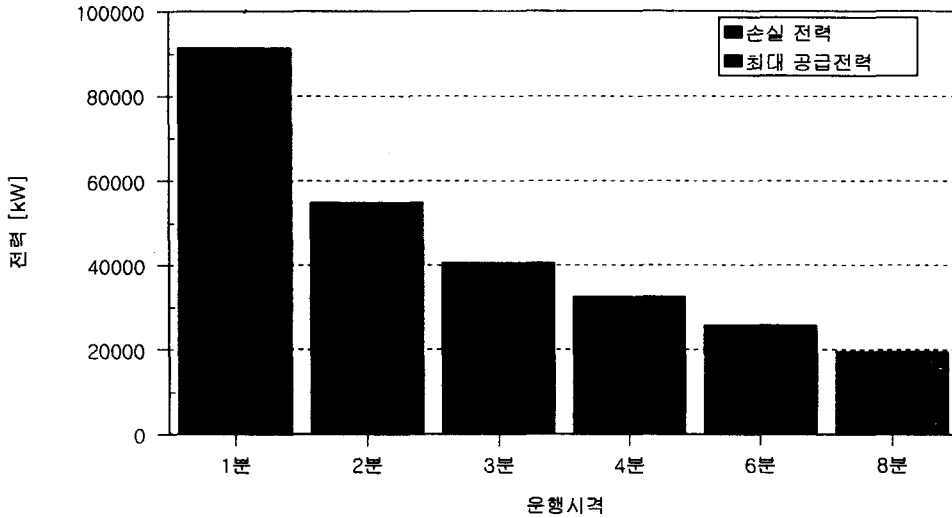


그림 8. 차량운행시격에 따른 공급전력

전력손실률 역시 차량 소비전력에 정비례관계가 성립하지 않기 때문에 별도의 시뮬레이션을 수행하는 것이 바람직하다. 그림 9.는 차량운행시격에 따른 전력손실률 계산결과를 보인다.

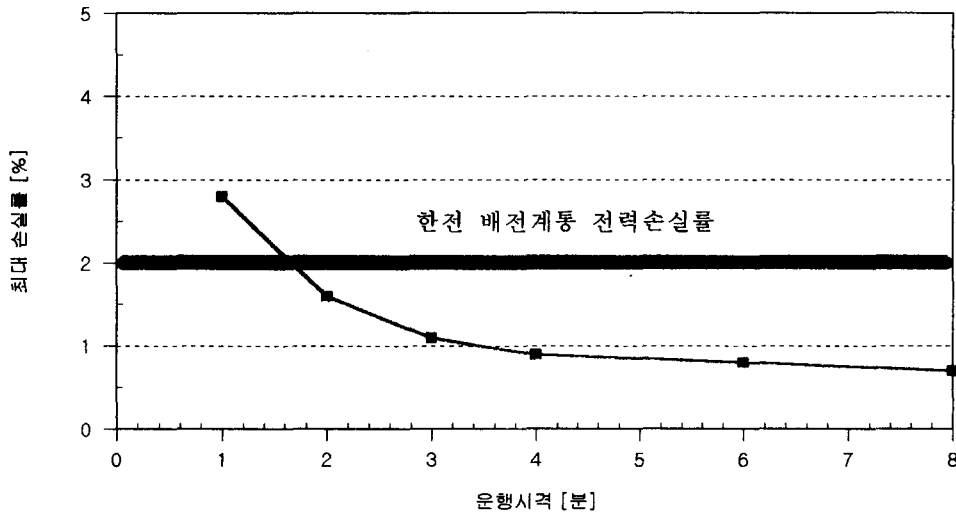


그림 9. 차량운행시격에 따른 전력손실률

본 연구의 알고리즘에 의한 철도 급전시스템의 전력손실률은 0.7~2.8%로 계산되었다. 그러나 현실적인 차량의 운행시격을 감안할 때, 손실률 값은 한국전력계통의 전체 전력손실 5%중

에서 배전계통이 차지하고 있는 손실을 2%보다 적을 것으로 사료된다.

6. 결 론

본 연구는 전차선로 및 변전소 용량설계에 필요한 사항을 계산하기 위한 시뮬레이션 프로그램 개발을 목표로 하였다. 이를 위해 윈도우 프로그램에 의한 전산모형구축 및 현장 측정을 통한 보완으로 계산결과의 신뢰성 검증에 주력하였다. 연구수행에 대한 결론을 요약하면 다음과 같다.

[1] 전차선로를 구성하고 있는 실제 가선에 대한 전류분포를 정밀하게 계산하기 위하여 먼저, 각 가선에 대한 등가회로를 도체군으로써 구현하고 도체군에 흐르는 전류를 계산한 다음, 가선간의 상호임피던스와 자기임피던스를 고려하여 세밀한 가선전류분포도를 구현하는 새로운 계산방법을 도입하였다.

[2] 동적 시뮬레이션프로그램의 장점을 최대한 이용하여 전철 수전계통 및 전차선로의 손실에 대한 평가를 국내 최초로 수행하였다.

[3] 개발된 프로그램의 신뢰성을 입증하기 위하여, 이론적 측면에서의 검토와 현장 실측을 통하여 계산 알고리즘의 정확성을 입증하였다.

[4] 실제 운행상황에 대한 시뮬레이션을 통하여 전차선 전류분포의 특이성과 전철 급전계통에서 발생하는 독특한 손실특성 등 여러 가지 중요한 정보를 산출함으로써 본 연구의 시뮬레이션 프로그램은 급전설비의 용량(선종, 변압기 용량 등)을 결정할 뿐만 아니라 기존 시스템에서 열차의 운행스케줄이 변경될 때 변전급전계통에서 공급이 가능한지 여부를 검토하는데도 적용이 가능함을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] J. D. Glover, A. Kusko, S. M. Peeran (1982), "Train Voltage Analysis for AC Railroad Electrification", IEEE, IASS2:ISA, pp207-216.
- [2] R. J. Hill, I. H. Cevik (1993), "On-Line Simulation of Voltage Regulation in Autotransformer-Fed AC Electric Railroad Traction Networks", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.42. No.3, pp.365-372.
- [3] 추진시스템 엔지니어링 기술개발(1996), 건설교통부.
- [4] 교류급전회로 시뮬레이터의 개발, 일본철도총련보고, 1996.7