

전차선로의 전류분포분석 프로그램 개발

Development of Current Distribution Analysis Program for Railway Electrification System

이옥화* 김정훈** 홍재승*** 오광해**** 창상훈****
Lee, Wook-Hwa Kim, Jung-Hoon Hong, Jae-Seung Oh, Kwang-Hae Chang, Sang-Hoon

ABSTRACT

This paper presents development of the program which calculates the electric quantities such as current, voltage at each part 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 of current and voltage. The results are represented through GUI(Graphic User Interface) for user to understand easily.

1. 서 론

세계적인 도시화추세는 인구밀집현상을 초래하여 도시의 교통이 혼잡하게 되었고, 도시간의 빠르고 정확한 운송이 필요하게 되었다. 이에 따라 지중화 및 고속화에 강점을 갖는 전기철도의 도입은 선진국을 중심으로 이루어졌고 우리 나라도 이에 대한 건설 및 확장이 진행중에 있다. 이같은 설비투자 이외에도, 수송능력을 증가시키기 위하여 전차 운행횟수의 증가와 차량의 대용량화가 추진되고 있는데, 이는 부하전류를 증가시키게 되어 적절한 계획을 할 수 있는 전차선로 해석이 필요하게 되었다. 이러한 해석은 신설노선의 전철화계획 뿐만 아니라 운행스케줄 변경 시에도 전차선로의 전류, 전압을 분석할 수 있어 혹시 발생할지 모르는 큰 전류로 인한 대형사고를 사전에 막을 수 있는 수단이다.

전차선로 해석에 대한 연구로는 J. D. Glover[1]이 주파수, 대지저항률, 급전선과 귀선의 위치 등을 입력으로 하여 전차선의 임피던스를 포트란 프로그램으로 계산한 후, 전차선로를 T 등가회로로 변환하여 여러 대의 전차전압을 계산하였다. 또 R. J. Hill[2]은 단선과 복선의 전차선로를 전차 한 대를 기준으로 전압을 해석하는 시뮬레이터를 개발하였다. 이 시뮬레이터는 시간변화에 따른 전차선, 레일의 전압과 전차전압을 계산할 수 있으며, 전차선로계획을 위한 변전소와 AT의 최적의 간격 등을 구할 수 있다. 그러나 전차선로에 주안점을 두고 회로모델을 구성하였기 때문에 3상 전원계통에서 나타나는 제현상을 다루지 못하였고, 전차선로에 복수의 전차를 동시에 고려할 수 없다는 단점이 있다. 최근에는 일본, 영국 등 철도선진국에서 전차선로를 해석하는 시뮬레이터를 개발하였으나, 그 역할이 전차운용프로그램의 일부 모듈의 기능이거나 변전소에서의 전류 및 용량평가에만 국한되어 있다.[3]

본 논문에서는 우리 나라에서 채택하고 있는 AT급전방식의 전차선로를 대상으로 여러 대의 전차가 운행되는 상황을 모의할 수 있는 계산 알고리즘을 구성하고, 그 결과를 GUI (Graphic

* 홍익대학교 과학기술연구소 상임연구원, 공학박사
** 홍익대학교 전기제어공학과 교수, 정회원
*** 홍익대학교 전기제어공학과 석사과정, 학생회원
**** 한국철도기술연구원, 정회원

User Interface)를 통하여 가시적으로 표현할 수 있는 프로그램을 개발하여 현재 수작업에 의존하는 것을 선진화하였다. 또한 계산된 결과를 효율적으로 관리하기 위하여 데이터베이스를 구축하였다. 따라서 신설노선의 급전설비용량을 결정할 수 있고, 기존의 시스템에서 열차운행 스케줄이 변경되어도 급전계통에서 전차선로에 공급이 가능한지 판단할 수 있다.

2. 정상상태 전차선로 해석 및 전류분포 분석 알고리즘

2.1 정상상태 전차선로 해석

교류 전기철도는 3상 전력계통과 연계되어 전력을 공급받는다. 그림 1은 교류 AT급전계통을 나타내고 있다. 3상 전력은 스코트 변압기를 이용하여 2상으로 변환되어 M상과 T상으로 전력을 공급한다. 각 상으로 투입되는 전력은 단권변압기를 통하여 전차에 공급을 하게 된다.

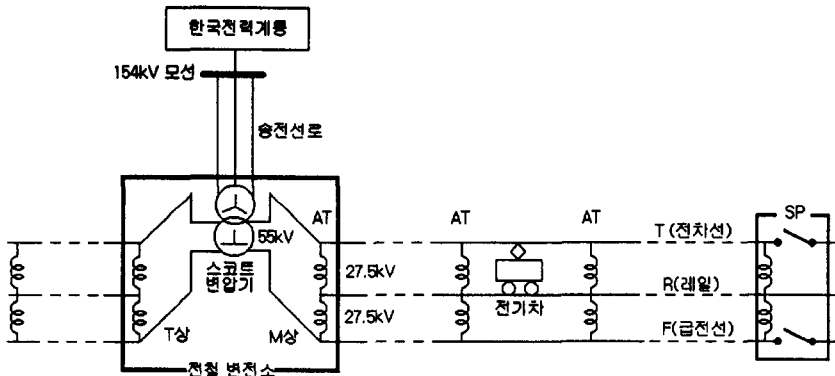


그림 1. 교류 AT급전계통의 구성도

이와 같은 교류 AT급전계통을 해석하기 위해서는 회로모델이 필요하다. 회로모델은 3상 전원계통, 전철용 변전소, 전차선로로 나누어 모델링을 할 수 있다.

대용량의 철도부하가 도입되면 부하특성에 의하여 3상 전원계통에 전압불평형을 발생한다.[4] 이 현상을 해석하기 위하여 3상 전원계통의 임피던스를 표시한다. 스코트 변압기로 이루어진 전철용 변전소는 %임피던스로 취급하고, 전차선로는 전차선, 급전선, 레일의 자체 임피던스와 결합 임피던스를 Carson Pollaczek 임피던스 계산식을 이용[5]하여 산출한다. 이 결과는 단위길이당 임피던스로 표현되어 전차의 위치에 의하여 값이 변한다. 전차선로에 전력을 공급하는 단권변압기는 손실이 없는 이상변압기로 다룬다. 이를 회로로 구성한 후 전차는 정전력 부하로 취급하여 전차선로의 전류분포, 전차전압을 계산할 수 있다.

2.2 전류분포 분석 알고리즘

전류분포해''을 위해서는 운전선도, 차량제원, 전차선로/전원계통의 정보를 입력으로 받아들이는다. 먼저 운전선도를 이용하여 전차의 키로징에 대한 도착시간과 출발시간을 계산하여[3] 각 시간 간격에서의 전차위치를 계산한다. 전차의 위치와 운전선도, 차량의 제원 등으로 견인력을 계산하여 전차의 부하전력을 계산하고[6], 전차선로/전원계통의 정보와 전차선, 조가선, 급

전선, 레일, 보호선의 자체 임피던스와 결합 임피던스를 이용하여 등가회로를 구성하고, 전차의 전압을 수치해석방법인 가우스-자이델법으로 계산한다. 즉, 전차의 초기전압을 설정하여 전차의 전류를 구하여 전차선로의 전류분포를 계산한다.[7]

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 2에서 연산 알고리즘의 순서도를 나타냈다.

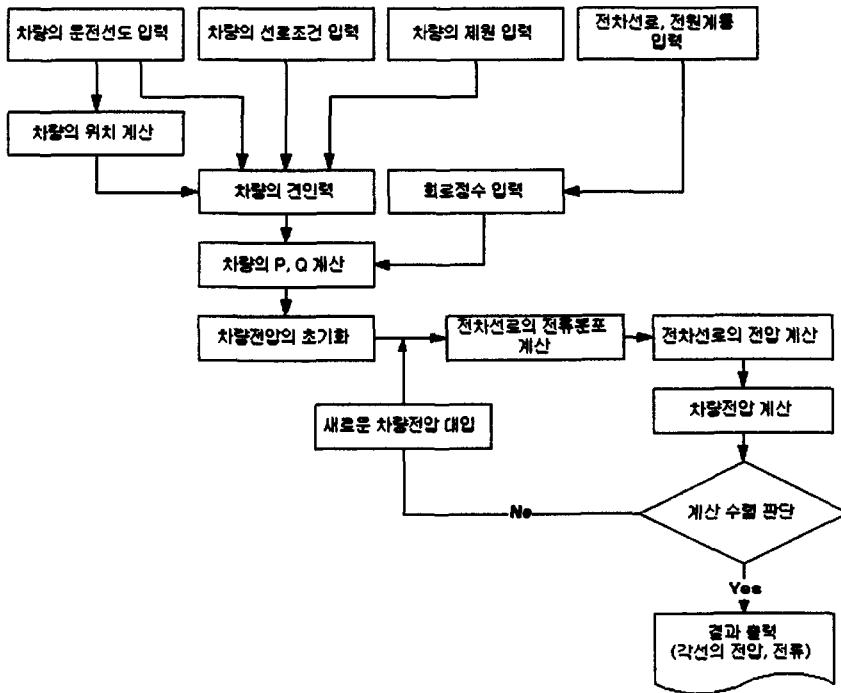


그림 2. 연산 알고리즘의 순서도

3. 프로그램 구성 및 실행

본 프로그램을 구성하는 주요 요소들로는 풀-다운 메뉴방식의 주메뉴와 부메뉴들로 구성되어 있다.

3.1 프로그램 메뉴

그림 3은 GUI에서 제공하는 윈도우 통합환경의 프로그램의 구성도를 나타낸다. 본 프로그램에서는 사용자편의를 최대한으로 하여 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 주 메뉴로 “파일”, “모의”, “도움말” 등을 제공한다. “파일”메뉴는 ‘데이터 파일 열기’, ‘데이터 파일 편집’, ‘모의데이터 설정’, ‘화면 닫기’, ‘인쇄’, ‘프린터 설정’, ‘종료’ 등의 부메뉴들로 이루어졌으며, “모의”메뉴는 ‘실행’과 ‘실행결과’로, “도움말”에는 ‘사용법’과 ‘about’로 구성되어 있다. 또한 파일메뉴에서는 입력데이터를 불러와서 사용자가 기존 데이터의 편집을 하거나 결과를 인쇄할 수 있는 기능, 모의메뉴에서는 프로그램이 연산을 하고 결과를 불러오는 기능을, 도움말에는 프로그램의 정보, 사용법을 가지고 있다.

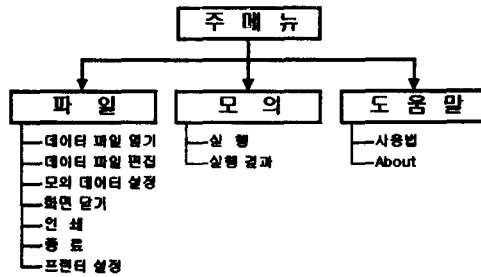


그림 3. 프로그램 메뉴의 구성

3.2 프로그램 실행

프로그램 연산은 전차선로에 대한 정보를 필요하게 되므로, 전차선로의 운전선도가 필요하다. 즉, 본 프로그램의 해석구간인 안산역~금정역 구간인 안산선과 금정역~선바위 구간인 과천선의 운전선도 데이터를 “파일”메뉴로 불러들인다. 운전선도를 불러온 후, 전차선로의 정보를 사용자가 표시하게 된다. 여기서 계산하고 싶은 시간간격, 운행 중인 전차의 초기위치와 대기 중인 전차의 대기시간, 차량의 제원에 대한 정보, 급전계통과 전차선로의 정보를 표시한다. 이 값들은 프로그램에 디폴트로 주어져 있으나, 사용자가 원하는 값으로 수정할 수 있다. 그리고 단권변압기의 간격, 전차선, 급전선, 레일의 임피던스, 전원 측의 임피던스와 같은 전원의 회로정수와 3상 전원계통의 정보를 입력한다.

모든 입력이 끝나면, 사용자가 프로그램의 ‘실행’키를 누름으로써 연산이 수행된다. 그 결과는 막대그래프의 형태로 M상, T상 각각의 전차선 전류가 디폴트로 화면에 나타난다. 이외에도 실행결과인 전차선, 급전선, 레일 등의 전류 및 전압을 손쉽게 볼 수 있다. 사용자가 원하는 구간의 정밀한 값을 측정할 수 있도록 본 프로그램에서는 두 가지 방법이 제공된다. 첫 번째는 이 결과들을 확대해서 보는 것이다. 사용자가 원하는 만큼 결과를 확대할 수 있다. 다른 방법은 데이터베이스의 결과를 데이터 파일로 생성하는 방법이다. 이 결과들은 전차선, 레일, 급전선 각각의 전압, 전류의 크기 및 위상각으로 나타난다. 프로그램의 초기화면은 그림 4와 같다. 그림 5는 “파일”메뉴를 나타낸 것이다.

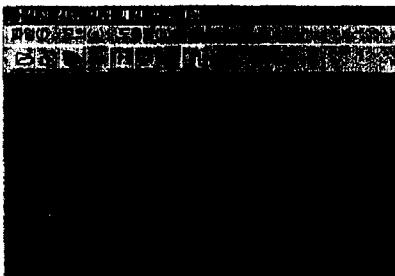


그림 4. 프로그램의 초기화면

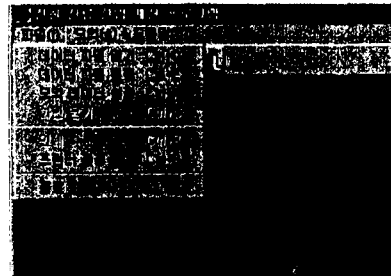


그림 5. 파일 메뉴

4. 사례연구

본 사례연구에서는 같은 전차선로의 조건으로 전차를 3대일 경우와 10대일 경우를 나누어서 각각 경우에 대하여 전류분석도의를 수행하였다.

4.1 사례연구 I (전차 3대 운행)

사례연구 I에서는 전차를 3대 운행하는 것을 시뮬레이션을 하였다. 상행선의 운행차량은 2대, 대기차량은 1대이며 각각의 초기위치 및 정차시간은 표 1과 같이 주어진다. 각 정거장에서 전차가 정차하는 시간은 20초, 운행시간은 500초, 계산간격은 100초이다. 하행선도 상행선과 마찬가지로 운행차량은 2대, 대기차량은 1대이다.

표 1. 사례연구 I의 입력

상행선		입력	하행선		입력
운행차량		2대	운행차량		2대
대기차량		1대	대기차량		1대
운행차량 초기위치	1	-15000m	운행차량 초기위치	1	10000m
	2	-5000m		2	5000m
대기차량 초기시간		1	0초	대기차량 초기시간	
				1	0초

프로그램을 수행하여 400초 후의 결과는 그림 6과 같다. 각 전차의 위치에 따라서 전차선의 전류가 변하는 것을 쉽게 살펴볼 수 있다. 전차가 없는 곳에서 전류가 변하는 곳은 단권 변압기가 있는 구간을 나타낸다. 사용자는 마우스 클릭을 통하여 자신이 원하는 부분(전차선, 레일, 급전선)의 전압과 전류를 선택하여 살펴볼 수 있다.

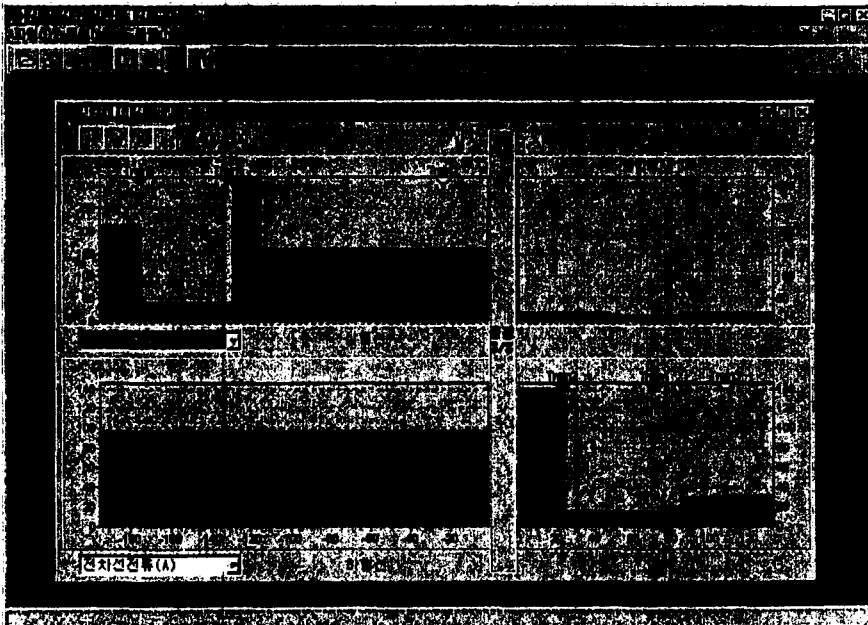


그림 6. 사례연구 I의 400초 후의 전차선의 전류분포

4.2 사례연구 II (전차 10대 운행)

사례연구의 두 번째 경우는 전차 10대를 동시에 운행하는 것이다. 상행선의 운행차량은 3

대, 대기차량은 7대이며 각각의 초기위치 및 정차시간은 표 2와 같이 주어진다. 각 정거장에서 전차가 정차하는 시간은 20초, 운행시간은 1500초, 계산간격은 100초이다.

표 2. 사례연구 II의 입력

상행선		입력	하행선		입력
운행차량		3대	운행차량		3대
대기차량		7대	대기차량		7대
운행차량 초기위치	1	-15000m	운행차량 초기위치	1	10000m
	2	-10000m		2	7000m
	3	-5000m		3	3000m
대기차량 초기시간	1	0초	대기차량 초기시간	1	0초
	2	200초		2	200초
	3	400초		3	400초
	4	600초		4	600초
	5	800초		5	800초
	6	1000초		6	1000초
	7	1200초		7	1200초

위의 입력조건을 실행시키면 그림 7과 같이 나타나게 된다. 그림 6과 비교를 하면 전차가 많아지면서 전차의 위치에 따라 전기량들이 크게 변화함을 알 수 있다.

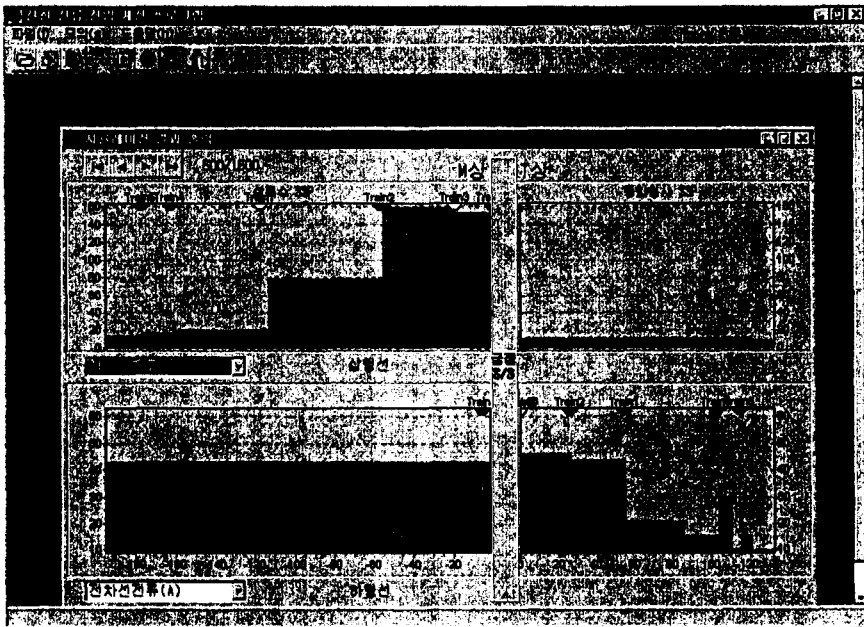


그림 7. 사례연구 2의 500초 후에 대한 결과

사례연구의 결과들은 데이터 파일로 생성을 하여 데이터베이스로 저장을 할 수 있다. 그림 8과 9는 사례연구 I 과 II에 대한 결과는 데이터베이스로부터 출력시킨 것이다.

-182	213.455
-181	213.455
-180	213.455
-179	213.455
-178	213.455
-177	213.455
-176	213.455
-175	213.455
-174	41.371
-173	41.371
-172	41.371
-171	41.371
-170	41.371
-169	41.371
-168	41.371
-167	41.371
-166	41.371
-165	41.371

그림 8. 사례연구 1에 대한 전차선의 구간별 전류의 데이터값

-185	13.304
-184	13.304
-183	13.304
-182	13.304
-181	13.304
-180	13.304
-179	13.304
-178	13.304
-177	13.304
-176	17.132
-175	17.132
-174	17.132
-173	17.132
-172	17.132
-171	17.132
-170	17.132
-169	17.132
-168	17.132

그림 9. 사례연구 2에 대한 전차선의 구간별 전류의 데이터값

5. 결 론

본 논문에서 전차선로의 전류, 전압의 분포를 그래픽으로 표현하여 사용자에게 가시적인 결과를 제공하였다. 그 결과로 사용자는 전차선로가 안전한가 살펴볼 수 있으며, 신규 전차선로 건설 시, 전차선 선종 및 용량의 결정 및 차량 운행스케줄 변경 시 운행가능성 검토 등을 수행할 수 있으며, 전철전력설비 용량/선종에 대한 의사결정지원, 차량 운행스케줄에 따른 변전/전차선 계통의 공급능력 평가, 운행조건과 전압강하의 상관성 평가의 지표를 제공한다.

그러나, 프로그램이 시제품단계에 있으므로 지속적인 프로그램 갱신작업과 보다 효과적인 GUI 기능의 추가가 요구된다. 추후 연구로는 각 전차선로에서 발생하는 전력손실계산, 운행조건에서의 모든 시간에 대한 전기량의 최대값 표현, 결과치들의 동적인 움직임 등이 필요로 할 것이다.

본 연구는 한국철도기술연구원의 지원(KR98112A)에 의하여 수행되었음

참고문헌

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. 오광해, 창상훈, 김정훈, 홍재승 외 12인 (1998), "전류 MAP을 이용한 전차선로 관리시스템 구축 연구", 철도청.

4. 오광해, 장상훈 외 8인 (1997), “산업선 전기설비 노후도에 따른 최적의 개량방안 연구”, 철도청.
5. 飯田 眞(昭和 48年), “電氣鐵道”, pp231-233, 電氣書院.
6. 추진시스템 엔지니어링 기술개발(1996), 건설교통부.
7. JR教本研究会編 (平成 2年) “變壓器”, pp34-35, 日本鐵道電氣技術協會.
8. 이육화, 신중린 (1999), “전력계통 고장해석 교육 및 훈련을 위한 대화식 컴퓨터 그래픽 소프트웨어 개발” 전력전자학회지, Vol.4.No.1,pp.35-42.