ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 64, No. 11, pp. 1631~1638, 2015
http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2015.64.11.1631

철도 전력관제시스템을 위한 운영자 훈련용 시뮬레이터 설계에 관한 연구

A Study on the Design of the Operator Training Simulator for Power Monitor and Control System in the Railway System

조 윤 성*
(Yoon-Sung Cho)

Abstract - This paper describes the design methodology of the operator training simulator for power monitor and control system in the railway system. In power system, the purpose of energy management system was to monitor, control, and analyze the performance of generation and transmission system based on H/W and S/W. Network analysis applications provide a clear picture of power system characteristics using state estimation, power flow and short circuit analysis. In this respect, the operator training system in the railway system should be equipped with the methodology of these systems. First, the proposed database structure in the railway system was introduced. Then the overall structure of operator training system based on railway analysis applications was proposed. Finally, a methodology to verify the performance of the developed applications was described.

Key Words : EMS, Railway system, Power flow, Operator training simulator

1. 서 론

최근 IT 산업의 발전으로 인해 높은 신뢰도를 갖는 철도 시스템의 전력감시 및 제어 시스템에 대한 중요성이 증대되고 있다. 기존의 철도 시스템과 IT 기술의 접목은 열차 운행 및 제반 시스템 등의 전체 상황을 관리 및 통제하는 종합관제센터 뿐만 아니라 철도해석 시스템의 고도화를 가능하게 하고 있다. 국내에서 운영 중인 종합관제센터의 기능 중 전철·전력 감시 시스템을 통한 전력계통 상의 변전소와 지하철 전력공급을 감시하는 것은 매우 중요한 요소이다. 철도 시스템의 종합관제센터와 유사한 전력계통의 계통운영시스템도 국내 전력계통의 안정적이고 경제적인 운영을 위해 에너지관리시스템을 구축하여 운영하고 있다. 에너지관리시스템은 스카다 및 데이터베이스, 발전 응용프로그램, 전력계통해석 응용프로그램 및 급전원 훈련시스템으로 구성되어 있다. 개별 응용프로그램은 온라인 데이터를 주기적으로 취득하여 자동발전제어, 경제급전, 상태추정, 조류계산, 상정사고해석 및 고장계산 해석 등을 수행하여 전력계통 급전원에 다양한 정보를 제공하고 있다. 이런 관점에서 철도시스템의 운영자 훈련 시뮬레이터도 에너지관리시스템과 같이 구축할 필요가 있다.

종합관제시스템 운영자의 조작 오류가 발생하면 상당한 규모의 사회적 손실이 생겨날 수 있기 때문에 철도시스템의 안정적인 운영을 위하여 운영자의 체계적인 훈련이 필요하며 정상시, 사고발생시, 복구시 등에 대한 반복적인 훈련이 필요하다. 운영자 훈련시스템은 철도데이터를 기반으로 다양한 해석이 가능한 플랫폼으로 구성되어 있어야 하며 시나리오 편집이 가능하도록 편집기가 구축되어 있어야 한다.

지금까지 이러한 운영 요원 훈련을 위해 다양한 연구노력이 있었다. 참고문헌[1-9]에서는 전기철도 시스템의 해석기법으로 많이 사용되는 폐로해석법 및 마디해석법 등에 대한 연구에 대해 소개하였다. 그러나 신재생에너지 등이 포함된 철도 전력관제시스템의 모의 시스템을 개발하기 위해서는 정밀한 해석 알고리즘이 필요하다[5]. 철도시스템에 대한 데이터베이스 설계, 토폴로지 처리 및 Newton-Rapshon 기법의 조류 해석 등에 관한 연구가 필요하다[9].

본 논문에서는 직류 급전 시스템을 모의할 수 있는 운영자 훈련용 시뮬레이터 개발에 대해 설명하였다. 우선 철도 시스템의 다양한 전력 설비를 공통으로 연결할 수 있는 데이터베이스 모델을 구축하였다. 강인한 계층 구조의 데이터베이스를 기반으로 복잡한 철도시스템의 교류 및 직류 시스템 해석 기법을 소개하였다. 다음으로 입력데이터 생성 응용 프로그램 설계 및 정합성 검증 방안을 제안하였다.

2. 운영자 훈련 시뮬레이터

2.1 시뮬레이터 전체 구조

그림 1의 철도 시스템에 대한 운영자 훈련 시뮬레이터는 Stand-

* Corresponding Author : Department of Electronic and Electrical Engineering, Catholic University of Deagu, Korea
E-mail : philos@cu.ac.kr
Received : September 30, 2015; Accepted : October 17, 2015

Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

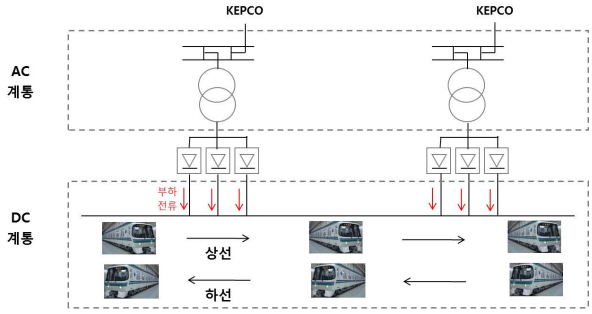

그림 1 전력흐름 중점의 철도 시스템 구성도
Fig. 1 Structure of railway system w.r.t power flow

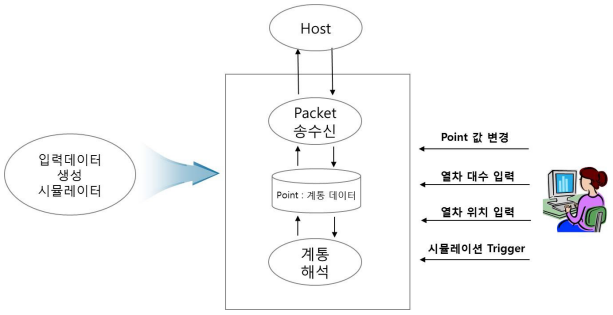

그림 2 철도 운영자 훈련 시스템의 데이터 흐름도
Fig. 2 Data flow of operator training simulator in railway system

Alone 환경의 전용 컴퓨터에 구축하여 운영자가 편리하게 해석할 수 있게 구축할 수 있다. 이를 위해서는 스카다의 데이터 취득 기능을 대체하는 입력데이터 생성 프로그램이 필요하다. 그림 2에서 보는 바와 같이 운영자 훈련 시뮬레이터를 위한 입력데이터 생성은 다음과 같은 특징을 갖고 있어야 한다.

- MMI 그래픽 페이지를 통한 제어 명령에 대해 입력데이터 생성 시뮬레이터 프로그램은 이를 수신하고 이에 대한 FeedBack 정보를 Host에 전송하여 제어 성공을 모의 할 수 있도록 한다.
- 입력데이터 생성 시뮬레이터 프로그램을 통해 운영자는 Point 값을 변경하고 이를 상위에 Host에 전송시켜 아날로그 변화 등에 대한 SCADA 시스템의 동작을 모의 할 수 있다.
- 차량 이동에 대한 계통 변화를 모의하기 위해 운영자는 입력데이터 생성 시뮬레이터 프로그램을 통해 운행 차량의 대수를 입력하거나 화면상에서 운행 차량의 위치를 이동시킬 수 있으며 각 경우에 대해 운영자는 시뮬레이션 명령을 내릴 수 있다.
- 시뮬레이션 명령을 운영자가 지시 할 때마다 입력데이터 생성 시뮬레이터는 차량의 위치에 따른 전기적 특성을 고려하여 DC전차선의 전류와 전압을 계산하고 이에 따른 AC 계통 각 지점의 전압/전류를 계산한다.
- 계산된 결과 중 Point 정보로 상위에 전송할 내용은 입력데이터 생성 시뮬레이터가 전송하는 Packet 형태로 상위 시스템에 전송하여 SCADA 시스템의 Point 정보 변경 및 알람이 발생하도록 한다.
- 시뮬레이션의 수행은 사용자가 입력데이터 생성 시뮬레이터 프로그램을 통해 시뮬레이터 명령을 지시한 경우 외에도 운영자가 일반 MMI를 통해 개폐기 및 차단기의 상태를 변경하는 제어 명령을 내려 계통이 변경된 경우에도 수행되어야 한다.

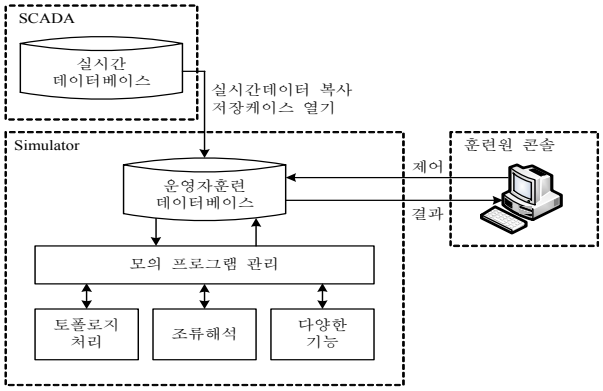

그림 3 운영자 훈련 시뮬레이터 구조도
Fig. 3 Structure of operator training simulator

운영자 훈련 시뮬레이터는 운영자에게 일상적인 전력계통 운영절차를 학습하게 하며, 계통사고와 같은 다양한 비상상황 시나리오를 통하여 실제 운전 환경의 적응력을 향상시킬 수 있다. 훈련 시뮬레이터는 On-Line 상태의 계통 데이터를 기반으로 전력계통 모의 프로그램, 훈련 이벤트 프로그램 및 사용자 조작 화면을 사용하여 모의 운전할 수 있는 시스템으로 구축되어 있다. 그림 3의 훈련 시뮬레이터 시스템의 모의환경은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- 모의 운전이나 사고분석 시 시뮬레이터의 결과는 실제 운용중인 철도시스템과 동일한 상태의 전압, 전력조류 및 다양한 계통 상태를 출력하는 기능을 제공하기 위해 실제 시스템과 동일한 계통을 구성한다.
- 시뮬레이터의 입력데이터는 스카다에서 저장된 정보 또는 이전에 저장된 정보를 입력으로 사용한다. 응용프로그램은 사용자 목적에 맞게 수행된다.
- 시뮬레이터는 토폴로지 및 조류계산 기법을 이용하여 전력계통을 모의하는 기능을 수행한다. 조류계산에서 수행된 정보가 다른 응용프로그램의 입력으로 사용된다. 조류계산의 해가 부정확하다면 다른 용용프로그램의 정밀도가 감소한다.
- 시나리오 편집기 등을 통해 사전에 상정고장을 입력할 수 있으며, 응용프로그램은 생성된 시나리오를 기반으로 수행된다.
- 운영자가 다양한 사고를 설정할 수 있는 편리한 화면을 제공하며, 모의 결과를 직관적으로 확인할 수 있는 화면을 제공한다.
- 시뮬레이터는 시간의 흐름에 따라 응용프로그램이 수행된다.

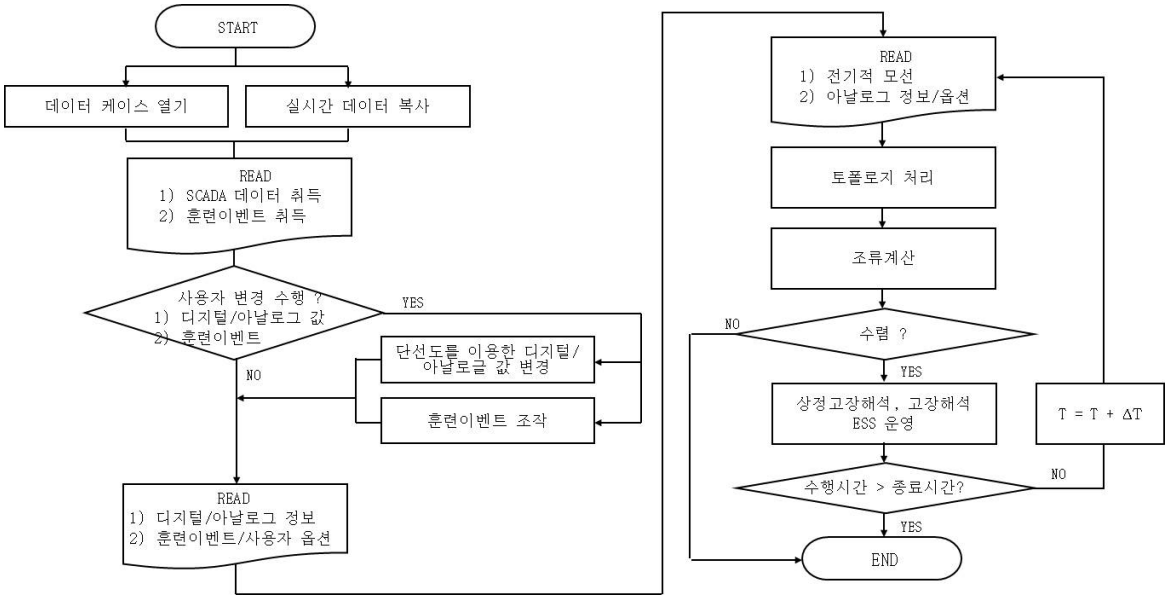

그림 4 운영자 훈련 시뮬레이터 모의 절차
Fig. 4 Simulation procedure of operator training simulator

2.2 시뮬레이터 모의 절차

앞 절에서 언급한 바와 같이 운영자 훈련 시뮬레이터는 교류시스템 및 직류시스템으로 구성된 철도 시스템에 대해 온라인 데이터를 취득 받아 운영 및 해석이 수행된다. 운영자 훈련시뮬레이터는 스터디 모드에서 수행되며 조류계산 수행결과를 입력데이터로 활용하여 수행된다. 그림 4의 훈련 시뮬레이터 시스템 모의 절차는 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- 운영자 훈련시스템은 훈련시작 후 타임스탭에 따라 지정된 시간까지 모의된다.
- 실시간데이터 또는 저정된 데이터를 입력데이터로 사용 후 사용자가 조작한 정보(아날로그/디지털)들을 반영하여 한 셋(set)의 데이터를 구성한다. 아날로그 값은 전압, 유효 및 무효전력의 값을 의미하며, 디지털은 차단기 상태정보를 의히마한다.
- 시나리오 편집기를 통해 시간 별 발생 가능한 항목을 상세하게 모델링 할 수 있다.
- 구성된 데이터셋을 활용하여 전기적 해석을 수행한다.
- 단선도는 역사 계통에 대해 One-line diagram 형태로 표출한 형태이다.

3. 훈련용 시뮬레이터 설계

3.1 철도 시스템 구조

그림 5에서 보는 바와 같이 철도시스템은 역사 내 AC측의 수변전소 단선도와 DC측의 직류철도로 구성되어 있다. 일반적으로 AC측은 한국전력공사로부터 전력을 수전받기 때문에 등가회로로 구성할 수 있지만 역사내의 다양한 특성을 반영하기 위해서는 상세 모델링이 필요하다. AC측의 설비모델링 요소는 다음과 같다.

- 발전기/분산전원/부하/조상설비: 단자 하나인 설비
- 변압기/선로: 단자가 두 개인 설비
- 부스바: 설비를 공통으로 연결해주는 설비
- 차단기(VCB): 설비와 설비를 연결해주는 설비, 부스바 연결하는 타이 차단기는 Normal Open

DC측의 설비모델링 요소는 다음과 같다.

- 정류기: AC를 DC로 변환하는 설비
- 철도차량: 가변 부하 또는 정밀부하로 설계
- 분산전원: DC측에 설치할 분산전원

3.2 데이터베이스 구축

일반적인 에너지관리시스템의 데이터베이스는 계층 및 비계층 구조로 구성되어 있다. 비계층 구조는 데이터의 출력과 관련된 정보를 포함하고 있으며, 계층 구조는 오프라인으로 구성되는 선로의 임피던스, 차단기의 구성 등을 나타내고 있다[10]. 계층구조는 데이터가 트리형태로 조직화되어 반복적인 부모-자식 관계를 표현한다. 이와 같은 계층 구조를 바탕으로 철도 시스템의 데이터베이스를 그림 6과 같이 구축하였다. 그림 6에서 인젝션은 발전기, 부하, 조상설비 등 단자가 1개인 전력설비를 동일한 테이블에 저장해 둔 형태이며, 브렌치는 선로 및 변압기 등 단자가 2개

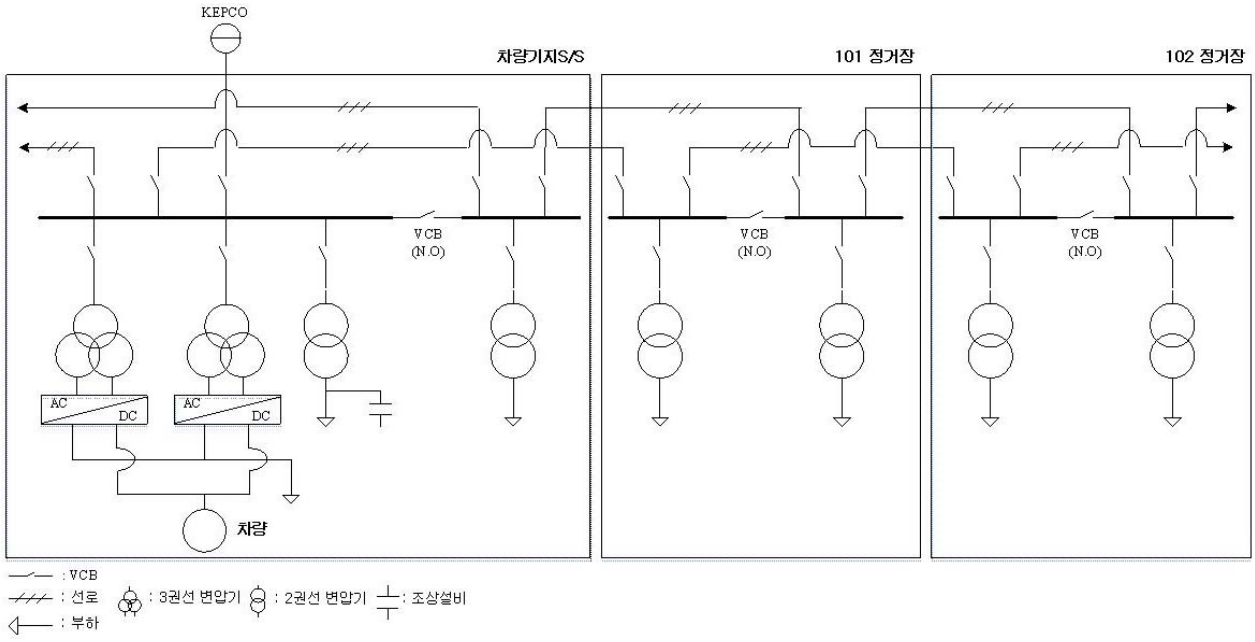

그림 5 철도 시스템 구성도
Fig. 5 Configuration of railway system

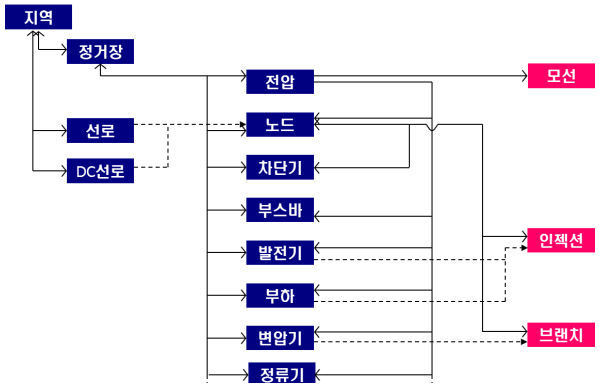

그림 6 철도시스템의 데이터베이스
Fig. 6 Database of railway system

인 전력설비를 동일한 테이블에 저장해 둔 형태이다. 모선의 의미는 전기적으로 동일한 전기적 레벨을 갖는 전력설비를 의미한다. 일반적인 전력설비는 물리적인 노드 및 차단기로 모델링되어 있으며, 이를 전기적으로 해석하기 위해서는 전기적인 모선으로 변환해야 한다. 토폴로지 처리를 통해 모선, 인젝션 및 브랜치 정보들이 생성된다.

그림 6의 계층구조는 다음과 같이 설명할 수 있다. 예를 들어 A 지역에 속한 특정한 정거장을 찾을 경우 A 지역은 해당 지역의 첫 번째 '가' 정거장을 지시하며, '가' 정거장은 '나' 정거장을 지시하며, 마지막 정거장은 지시를 하지 않게 되면 A 지역의 모든 정거장을 찾을 수 있다. 위 내용을 표로 나타내면 표 1과 같다. 표 1에서 보는 바와 같이 A 지역의 지시자 '1'은 해당 지역

표 1 데이터베이스 상세예시
Table 1 Detail description of database

순번	지역	지시자	순번	정거장	하위 링크	상위 링크
1	A	1	1	가	2	1
2	B	4	2	나	3	1
			3	다	0	1
			4	라	5	2

에 속한 정거장의 첫 번째를 가리키며, 정거장의 하위링크는 해당 지역의 다른 정거장을 지시한다. 마지막으로 상위링크는 해당 정거장의 상위에 있는 해당 지역을 가리키는 지시자 이다.

그림 6에서 보는 바와 같이 해당 철도시스템의 운영 지역에서부터 정거장 또는 차량기지, 전압, 노트, 차단기, 발전기 등의 설비가 계층 구조로 구성되어 있다. 본 논문에서 제안된 철도 데이터베이스 구조의 장점은 다음과 같다.

- 계층구조로 구성함에 따라 설비의 검색이 빠르다.
- 설비간의 연결정보를 찾기 쉽다.
- 전기적 해석에 필요한 모선 정보와 설비간의 연결정보를 확인할 수 있다. 강인한 데이터베이스 구조에 따라 응용 프로그램의 연산속도가 빠르다.

3.3 AC/DC 하이브리드 해석

훈련용 시뮬레이터의 특징은 역사는 AC 조류계산을 수행하고

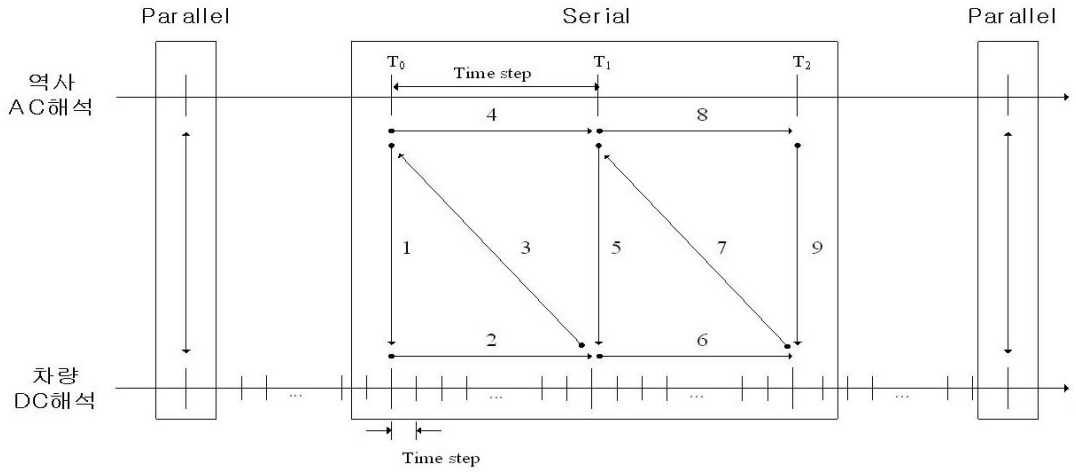

그림 7 하이브리드 해석 방법
Fig. 7 Methodology of hybrid simulation

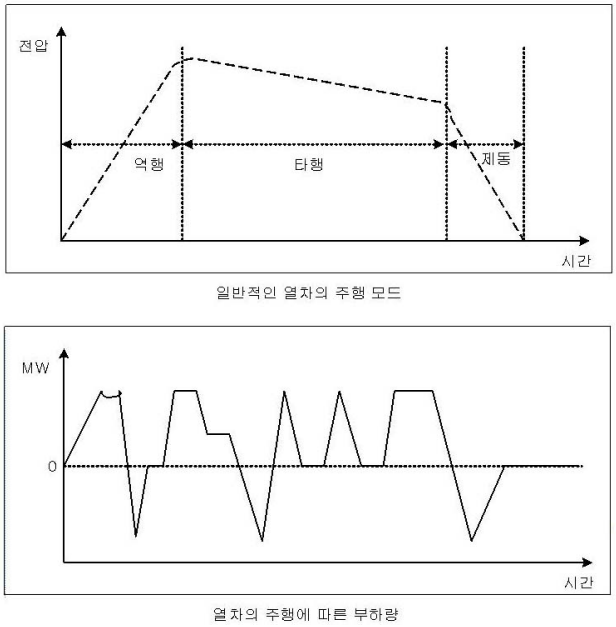

그림 8 역학적 해석에 따른 철도 시스템 해석
Fig. 8 Analysis of railway system w.r.t dynamic characteristic

DC의 차량은 DC 조류계산을 통해 계산 후 지정된 시점에 데이터를 교환한다. 우선 데이터를 교환하는 방법은 다음과 같다.

- Parallel 교환: 정해진 시간마다 데이터를 교환하는 기법이다. 정상상태에서는 해당 기법을 이용할 수 있다.
- Serial 교환: 사고가 발생하거나 정밀하게 해석하고자 하는 시점에서 데이터를 교환하는 기법이다.

그림 7에서 보는 바와 같이 DC측에서 차량의 부하를 계산 후 정해진 시점에 AC 역사로 전송하면 AC측은 해당 정보를 바탕으로 부하 모델링을 수행한다. 차량이 설치된 경계 모선을 중심으로 AC 조류계산을 수행한 해당 모선의 전압과 전류를 DC 측에 전송한다. 위 과정을 반복적으로 수행한다. 그러나 정밀한 분석 또는 사고 발생시에는 Serial 데이터 교환 기법을 활용하여 데이터를 교환한다.

4. 시뮬레이터 응용프로그램 및 검증 방안 설계

4.1 입력데이터 생성 응용프로그램 설계

철도시스템에 대한 운영자 훈련용 시뮬레이터는 AC 및 DC 시스템 해석을 위해 토폴로지 처리, 조류계산, 상정사고해석, 고장계산, 분산전원 영향 평가, 정류기 부하 예측 등의 다양한 응용프로그램으로 구성되어 있다. 역사 내의 수·변전 설비들에 대해 고장용량 평가, 상정고장에 따른 조류 및 전압 평가 등을 수행할 수 있다. 그러나 역사 내 해석 시 직류철도차량 자체는 고정 부하로 모델링한 후 해석하기 때문에 정밀한 해석 결과를 얻을 수 없다. 직류 철도 차량에 대한 역학적 및 전기적 해석이 수행되어야 시뮬레이터의 정밀한 입력데이터를 생성할 수 있다.

그림 9의 훈련용 시뮬레이터 구축을 위한 입력데이터 생성 응용 프로그램은 다음과 같이 수행된다.

단계 1) 철도데이터베이스로부터 데이터를 입력받는다.
단계 2) 철도 시스템에 대한 해석을 위해서는 AC측 해석과 DC측 해석으로 구분하여 해석한다. AC측을 해석하기 위해서는 DC 철도 부하가 필요하기 때문에 우선 DC 측에 대한 해석을 우선 수행한다. DC 측은 표 2의 입력데이터를 바탕으로 시간에 따른 철도 부하 및 Conductance 행렬을 기반으로 직류 전압 및 전류를 계산한다. 직류 데이터와 AC 데이터 전송 시간이 되

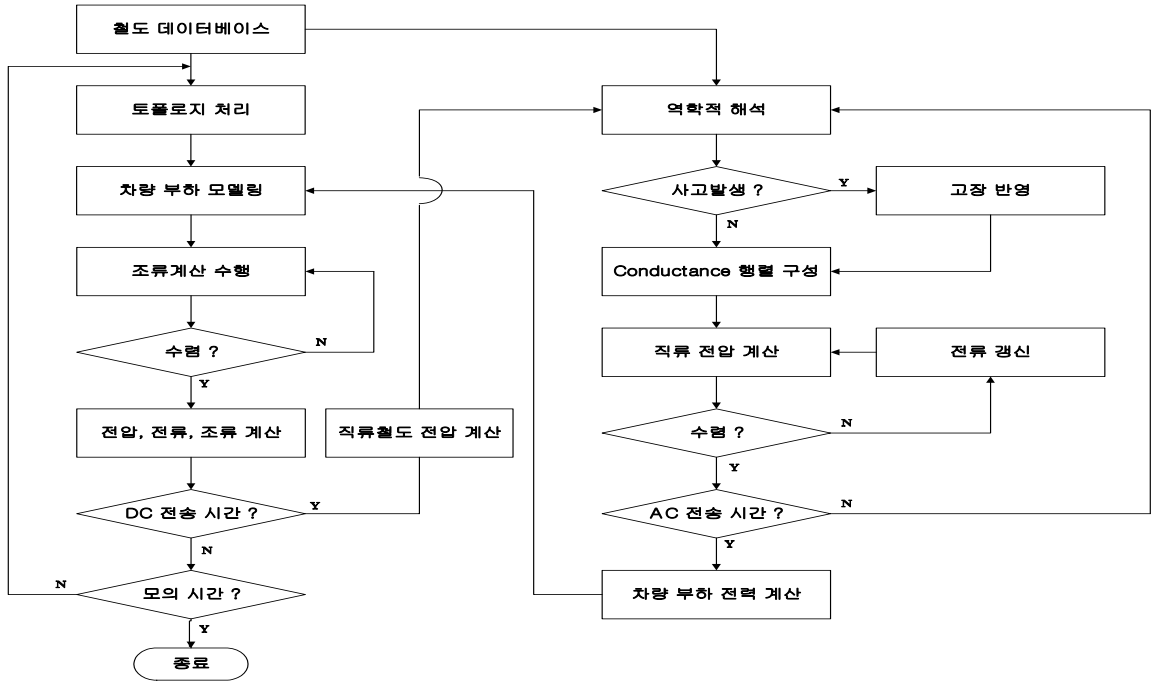

그림 9 입력데이터 생성 프로그램 순서도
Fig. 9 Procedure of program for creating input data

표 2 역학적 해석을 위한 입력데이터
Table 2 Input for dynamic characteristic

구 분	데이터 분류	상세 데이터
동작조건 및 트랙조건	운전시간표	역 정보
	표준운전곡선	역간 거리, 역간 운전
	커브	곡률반경, 커브구간 위치
	구배	구배크기, 구배구간 위치
	제한속도	곡류 및 구배 조건에 따른 제한속도
차량 조건	동작특성곡선	견인력 곡선, 제동력 곡선
	차량데이터	공차중량, 전동기 효율, 인버터 효율, 기어 효율

면 해당 경계모선의 정보를 AC측에 전송한다.

단계 3) AC측은 DC측에서 받은 직류 철도 부하의 유효전력을 바탕으로 무효전력 성분을 아래와 같이 계산한다.

$$Q = Pdc * \tan\Theta \quad (1)$$

여기서 위상각(Θ)를 계산해야 하나 다양한 정보를 입력 받을 경우는 계산 가능하나 없을 경우에는 일반적으로 tanΘ를 0.6-0.65로 사용한다.

단계 4) AC 시스템은 조류계산을 수행하기 위해 토폴로지 처리를 수행하여 AC 시스템의 전기적 모선을 생성한다.

단계 5) 전기적 모선과 철부 부하를 바탕으로 AC 시스템에 대한 조류계산을 수행한다.

단계 6) AC 해석 결과를 다시 DC 시스템으로 전송 후 단계 1로 이동한다. DC 측은 AC측으로 받은 경계모선의 전압을 바탕으로 DC 시스템을 해석한다.

그림 9에서 보는 바와 같이 입력데이터 생성 응용프로그램은 AC 시스템 해석과 DC 시스템 해석을 반복적으로 수행하며 데이터를 상호 교환하면서 정밀한 해석을 수행한다. 그러나 역학적 정보를 이용하여 차량을 해석하여 철도 차량 부하를 계산하는 것은 쉽지 않으며 TPS(Train Performance Simulation) 등과 연동하여 구축하는 것이 바람직하다. 그림 10에서 보는 바와 같이 DC 시스템에 대한 정밀한 해석 뿐만 아니라 정류기 부하에 대한

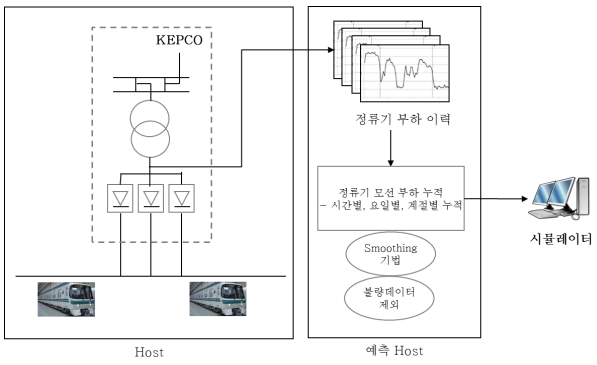

그림 10 정류기 부하 누적
Fig. 10 Accumulation of load connected rectifier

	A	B	C	DE	F	G	H	I	J	K
1	CB_NM	CB_CBDS	CB_NORST	C	CB_ENTRG	CB_II_ST	CB_SI_ST	CB_II_kV	CB_II_FND	CB_II_TND
2	CB1	DS	0		0	1	2	1	1	2
3	CB2	CB	0		0	1	3	1	2	3
4	CB3	CB	0		0	1	4	1	3	4
5	CB4	DS	1		0	1	5	3	106	10
6	CB5	CB	0		0	1	7	3	107	12
7	CB6	CB	1		0	0	0	0	0	0
8	CB7	CB	0		0	1	8	3	12	13
9	CB8	CB	1		0	1	9	3	12	17
10	CB9	CB	0		0	1	10	3	12	14
11	CB10	CB	1		0	1	11	3	12	17
12	CB11	CB	0		0	1	12	3	12	15
13	CB12	CB	1		0	1	13	3	12	17
14	CB13	CB	0		0	1	14	3	12	16
15	CB14	CB	1		0	1	15	3	12	17
16	CB15	CB	0		0	1	17	1	3	5

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	BS_NO	BS_BSTYP	BS_SI_ST	BS_II_ST	BS_SI_KV	BS_II_KV	BS_HI_ND	BS_HI_BSB	BS
2	1	4	2	1	0	1	2	1	
3	2	1	3	1	1	1	93	12	
4	3	1	4	1	0	3	6	0	
5	4	1	5	1	3	3	7	0	
6	5	1	6	1	4	3	8	0	
7	6	1	7	1	5	3	9	0	
8	7	4	8	1	6	3	109	0	
9	8	4	9	1	7	3	17	0	
10	9	1	10	1	0	4	20	0	
11	10	1	11	1	9	4	98	0	
12	11	1	12	1	0	2	100	0	
13	12	1	0	1	11	2	101	0	
14	13	1	14	2	0	5	28	3	

그림 11 파일 기반의 철도 시스템 데이터
Fig. 11 Railway system data based on file

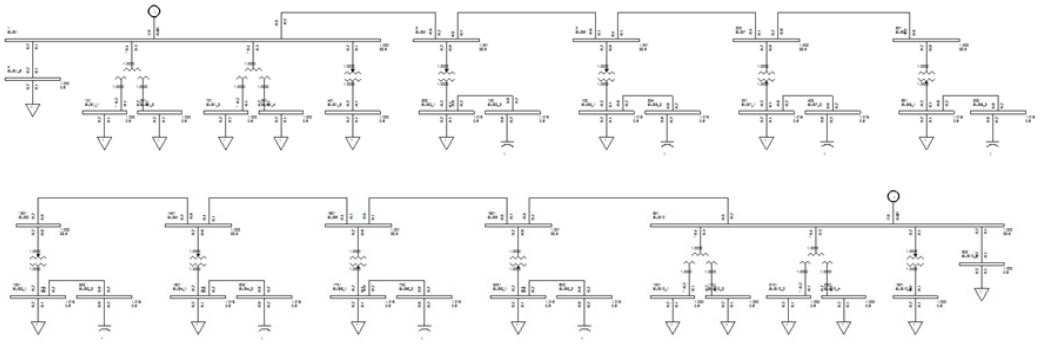

그림 12 PSS/E 기반의 철도 시스템 데이터
Fig. 12 Railway system data based on PSS/E

누적을 통해서 철도부하를 계산할 수 있다. 그림 10에서 Smothing 기법은 데이터 누적에 활용할 수 있으며, 데이터 누적시 현재값에 30%의 가중치를 주고 누적값에 70%의 가중치를 할당한 상태에서 누적할 수 있다.

4.2 정합성 검증 절차 설계

입력데이터 생성 응용프로그램의 정합성을 검증하기 위해서는 다음과 같은 절차를 수행한다.

- 단계 1) 그림 11에서 보는 바와 같이 시험계통을 구성하여 파일로 데이터베이스를 구축한다.
- 단계 2) 구축된 파일 데이터베이스를 기반으로 입력데이터 생성 응용프로그램을 수행한다.
- 단계 3) 그림 12에서 보는 바와 같이 시험계통에 대해 PSS/E 등을 활용하여 데이터를 구축 하여 조류계산 등을 수행한다.
- 단계 4) 단계 2)와 단계 4)의 정합성을 검증한다.
- 단계 5) 정합성 오차가 기준 범위를 초과시 알고리즘 및 입력데이터를 수정한다.
- 단계 6) 정합성 검증이 완료시 계통 규모를 증대하여 모의한다.

파일 기반의 정합성 검증은 온라인 상으로 대규모의 시뮬레이터를 구축하기 이전에 개별적인 기능의 정합성을 시험하는 것이 목적이다. 윈도우 파일 기반의 데이터베이스의 장점을 활용하여 개별 응용프로그램의 정합성을 향상시킬 수 있다. 또한 응용 프로그램의 기능을 정밀하게 검증하기 위해서는 다양한 해석 시나리오가 필요하다.

- 시나리오 1) 데이터 입출력: 철도 시스템에 대해 응용프로그램의 입출력 기능을 검증한다.
- 시나리오 2) 전기적 모선생성: 차단기로 구성된 철도 시스템을 전기적 모선으로 변환하느 기능을 검증한다.
- 시나리오 3) 직류 시스템 해석: 직류 시스템의 역학적 해석 및 전기적 해석의 결과를 검증한다.
- 시나리오 4) 교류 시스템 해석: 역사 내의 교류 시스템에 대해 조류계산을 바탕으로 결과를 검증한다.

5. 결 론

본 본문은 철도시스템의 전력관제시스템에 연동 가능한 운영자 훈련용 시뮬레이터 구축을 위한 사전 설계에 대해 소개하였다. 시뮬레이터는 온라인 환경에서 발생 가능한 이벤트에 대해 사전에 동일하게 모의 후 대책 방안 구축을 사전에 훈련하는 것이 목적이다. 이를 위해 철도 시스템 설비를 공통으로 연결할 수 있는 데이터베이스 모델을 제안하였다. 그리고 훈련시스템의 입

력데이터를 생성할 수 있는 응용프로그램 설계 및 정합성 검증 방안을 제안하였다. 제안된 시뮬레이터 설계를 바탕으로 추후 정밀한 해석을 진행하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2014R1A1A1005554)

이 논문은 2013년 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20131020000100)

References

[1] Y. Cai, M.R. Irving, S.H. Case, Iterative techniques for the solution of complex DC-rail-traction system including regenerative braking, IEEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 142, No. 5, pp. 445-452, Sep. 1995

[2] T.K. Ho, Y.L. Chi, J. Wang, K.K. Leung, L.K. Siu, C.T. Tse, Probabilistic load flow in AC electrified railways, IEE Proc. Electric Power Applications, Vol. 152, No. 4, pp. 1003-1013, Jul. 2005

[3] Hansang Lee, Development of a Novel Powerflow Algorithm for Energy Storage Optimization in DC Electric Railway Systems, Ph. D. Thesis, Korea University, 2010

[4] S.V. Raygani, A. Tahavorgar, S.S Fazel, B. Moaveni, Load flow analysis and future development study for an AC electric railway, IET Electrical Systems in Transportation, Vol. 2, No. 3, pp. 139-147, Sep. 2012

[5] Hansang Lee, Yoonsung Cho, Hyungchul Kim, Hosung Jung, "Study for power management system using regenerative energy in electric railway systems", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 63, No. 1, pp. 191- 196, 2014. 01

[6] Y.-S. Tzeng, R.-N. Wu, N. Chen, Unified AC/DC power flow for system simulation in DC electrified transit railways, IEE Proc. Electric Power Applications, Vol. 142, No. 6, pp. 345-3547, Nov. 1995

[7] Y.-S. Tzeng, N. Chen, R.-N. Wu, A detailed R-L fed bridge converter model for power flow studies in industrial AC/DC power systems, IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 42, No. 5, pp. 531-538, OCT. 1995

[8] Joorak Kim, Jung-Hoon Kim, "Development of integrated simulator for AC traction power supply system", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 59, No. 1, pp. 76-81. 2010. 01.

[9] Yoon-Sung Cho, Hansang Lee, Gilsoo Jang, Development of AC/DC Hybrid Simulator for Operator Training Simulator in Railway System, J. Electr. Eng. Technol., Vol. 9, No. 1, pp. 52-59, Jan. 2014

[10] Yoon-Sung Cho, Sang-Yun Yun, "Development of the contingency analysis program of Korean energy management system", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 59, No. 2, pp. 232-241. 2010.02.

저 자 소 개

조 윤 성 (Yoon-Sung Cho)

1977년 7월 5일생. 2008년 고려대 대학원. 전기공학과 졸업(공박). 2012년 LS산전 연구소 책임연구원. 현재 대구가톨릭대학교 전자전기공학과 조교수.

E-mail : philos@cu.ac.kr