

# 도시철도 급완행 통합해석 알고리즘 개발에 관한 연구

## A Study for Development of Integrated DC Railway System Analysis Algorithm

장 동욱\* · 김 무선\* · 홍 재 성\* · 이 한 상†  
(Dong Uk Jang · Moo Sun Kim · Jae Sung Hong · Hansang Lee)

**Abstract** - Increasing needs for rapid driving vehicles during rush hour, there are various researches how to operate or allocate rapid driving vehicles with the existing normal driving vehicles. In the aspect of power system, it should be preceded by an analysis for power equipment capacity. Also, it should be studied whether the added rapid driving vehicles gives a bad effects for stable operation of railway systems or not. In order to derive the results for these analysis processes, this paper suggest a novel analysis algorithm which can implement integrated analysis including rapid and normal driving railway vehicles simultaneously. This algorithm has been verified using Seoul Metro 7 Line data.

**Key Words** : DC Electric Railway Systems, Power Analysis, Integrated Analysis Algorithm

### 1. 서 론

광역도시철도에도 급행열차를 도입하는 등의 대안을 통해 출퇴근 시간을 대폭 줄이는 구체적인 방안이 제시되고 있다. 급완행 운영을 하나의 방안으로 고성능 전동차의 도입 필요성이 강조되고 있다. 고성능 전동차는 기존의 전동차와 비교하여 가속속도 성능이 좋기 때문에 이에 따른 견인력 및 제동력이 크고 이것은 기존의 차량에 맞게 설계된 노선에서 같이 운전한다. 이러한 이유로 고성능 차량의 급행 주행에 따른 현 직류도시철도계통의 용량이 적절하지에 대한 검증이 필요하다. 본 논문에서는 현재 운영 중인 도시철도를 대상으로 하여 고성능 전동차 투입에 따른 전력시스템의 용량 검토를 목적으로 직류도시철도 통합전력해석 알고리즘을 개발하였다. 해당 알고리즘은 기존에 개발된 열차주행성능시뮬레이션 프로그램을 이용하여, 계산된 각각의 차량에 대한 주행 데이터를 활용하여 완행과 급행의 각 운행패턴에 대한 급완행 열차다이어그램을 구성한다. 기존의 직류급전시뮬레이션 기법에 급행차량이 고려된 시스템 행렬을 구성하기 위한 알고리즘을 추가함으로써 기존 전동차를 활용한 완행 운행과 고성능 전동차를 이용한 급행 운행 조건을 고려하여, 직류도시철도 계통의 변전소 용량을 검토할 수 있는 새로운 방안을 제시하였다.

### 2. 열차주행성능시뮬레이션

#### 2.1 열차주행성능시뮬레이션 입력데이터

열차주행성능시뮬레이션(TPS)을 실행하기 위해서는 다음과 같은 입력데이터가 필요하다.

- 차량성능곡선: 견인력 및 제동력 곡선, 열차주행저항
- 차량 제원: 차량무게, 차량편성, 가속도, 감속도, 최고속도, 보조전원용량, 효율
- 선로제원: 정차역, 곡선반경, 선로구배
- 운행조건: 차량운전시각, 정차시간

차량 입력데이터는 기존에 서울에서 운행 중인 지하철 노선을 대상으로 하였다[1,2]. 전동차 차량은 총 8량 1편성으로 구성되어 있으며, 가속도 3.0 km/h/s, 감속도 3.5 km/h/s로 되어 있으며, 급행 및 완행 차량의 차량 입력데이터는 표 1과 같다.

표 1 전동차 차량 제원

Table 1 Specification of tractive vehicle

	고성능전동차	기존전동차
만차차량무게 [ton]	412.5	396
차량편성	8량(8 M)	8량 (4M4T)
가속도 [km/h/s]	6.0	3.0
감속도 [km/h/s]	4.86	3.5
보조동력 [kW]	300	300
최고속도 [km/h]	90	80
정차시간 [s]	25	30

† Corresponding Author : School of Electrical & Railway Engineering, Kyungil University, Korea  
E-mail: hslee80@kiu.kr

\* Korea Railroad Research Institute, Korea

Received : November 04, 2014; Accepted : January 22, 2015

## 2.2 열차주행성능시뮬레이션 결과

표 2는 TPS 시뮬레이션 결과를 요약한 결과를 나타내고 있다. 한 노선을 차량이 운행했을 경우 사용되는 역행 및 회생에너지가 요약되었으며, 고성능 전동차의 가속도가 크기 때문에 역행 시에 더 많은 에너지를 소비하는 것을 알 수 있다. 회생 시에도 감속도가 고성능 전동차가 크기 때문에 더 많은 회생 에너지가 발생하였음을 알 수 있다. 열차주행성능시뮬레이션을 통해 완행과 급행의 차량운행 패턴인 차량 다이어를 도출할 수 있고, 급완행 통합해석 시뮬레이터의 입력데이터로 적용된다.

표 2 열차주행성능시뮬레이션 결과 요약

Table 2 Summary of TPS simulation

항목	고성능전동차	기존 전동차
총 주행거리[m]	94,190	
총 주행시간[s]	8,609.86	8,485.18
표정속도[km/h]	39.38	39.96
역행 에너지[kwh]	4,493.950	2,499.501
역행시 평균전류	1,252.69	706.98
총 회생에너지[kWh]	1998.18	952.89
회생시 평균전류[A]	-556.99	-269.52
총 Aux. 에너지[kWh]	721.655	712.099

표 3 직류전기철도 시스템 전력해석 필요 데이터

Table 3 Data list for power simulation

데이터	상세 데이터	설명
시스템 운영 데이터	정격전압	1,500V 또는 750V
	정차시간	25초
변전소 데이터	열차다이어	상행선과 하행선, 급행과 완행, 본선과 지선 차량 다이어
	무부하전압	정류기 출력 전압
	변전소 등가저항	변압기와 정류기에 대해 측정된 저항값
차량 데이터	변전소 위치	기준점으로부터의 변전소 위치
	차량 위치	TPS로부터 구해진 차량의 위치
가선 데이터	소비 전력	TPS로부터 구해진 차량의 순간 소비전력
	급전선 임피던스	급전선의 단위 길이 당 임피던스
가선 데이터	레일 임피던스	레일의 단위 길이 당 임피던스

## 3. 급완행 통합해석 시뮬레이터

### 3.1 광역도시철도 통합해석 알고리즘

기존 직류철도 해석 알고리즘은 한 종류의 운행 패턴을 가지는 차량이 운행되는 노선에 대하여 전력해석을 수행하기 위한 방법을 제시하고 있지만, 그림 1은 급행 및 완행 차량이 혼재하는

노선에 대한 전력해석 알고리즘을 제시하고 있다. 그림 1의 직류철도 해석 알고리즘의 각 모듈에 대한 설명은 이하에 설명되었다 [3-5].

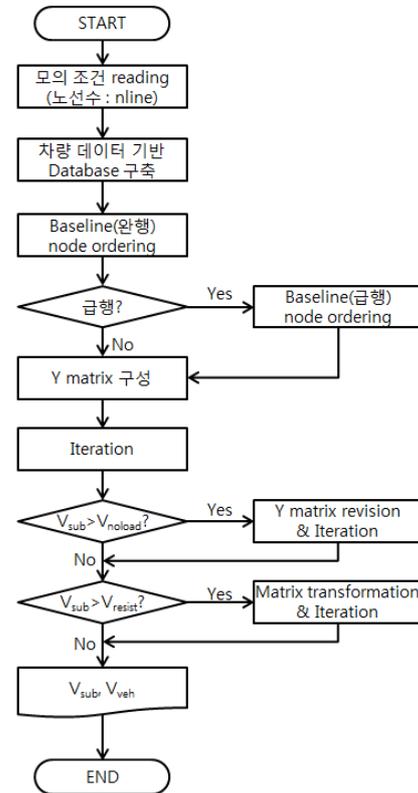


그림 1 직류급전 급완행 통합 해석 알고리즘

Fig. 1 Integrated Analysis Algorithm for DC railway systems

	시간	위치	소비전력			
44	44.0	712.4	58.80	-2988.9	-3.25 b	
45	45.0	728.3	55.55	-2829.5	-3.25 b	
46	46.0	743.3	52.29	-2669.8	-3.25 b	
47	47.0	757.3	49.04	-2510.0	-3.25 b	
48	48.0	770.5	45.79	-2350.0	-3.25 b	
49	49.0	782.8	42.53	-2189.8	-3.25 b	
50	50.0	794.1	39.28	-2029.4	-3.25 b	
51	51.0	804.6	36.03	-1868.8	-3.25 b	
52	52.0	814.2	32.77	-1708.1	-3.25 b	
53	53.0	822.8	29.52	-1547.2	-3.25 b	
54	54.0	830.6	26.27	-1386.1	-3.25 b	
55	55.0	837.4	23.01	-1224.9	-3.25 b	
56	56.0	843.3	19.76	-1063.6	-3.25 b	
57	57.0	848.4	16.50	-902.1	-3.25 b	
58	58.0	852.5	13.25	-740.5	-3.25 b	
59	59.0	855.7	10.00	-578.8	-3.25 b	
60	60.0	858.1	6.74	-416.9	-3.25 b	
61	61.0	859.5	3.49	0.0	-3.25 b	
62	62.0	860.0	0.24	0.0	-3.25 b	
63	62.1	860.0	0.00	0.0	0.00 r	
-1	// ignore this line					
--- 암시--->천호---						
No.	Time	위치 [m]	Speed[km/h]	Power[kw]	가속도 [km/h/s]	Mode begin_tps_data
0	0.0	860.0	0.00	0.0	4.85	a
1	1.0	860.7	4.85	233.9	4.85	a
2	2.0	862.7	9.70	729.5	4.66	a
3	3.0	866.0	14.36	1159.7	4.65	a
4	4.0	870.7	19.01	1608.6	4.65	a
5	5.0	876.6	23.67	2057.3	4.65	a
6	6.0	883.8	28.32	2505.8	4.65	a
7	7.0	892.3	32.97	2954.1	4.65	a
8	8.0	902.1	37.61	3402.3	4.65	a
9	9.0	913.2	42.26	3850.3	4.39	a
10	10.0	925.6	46.65	4056.5	3.95	a
11	11.0	939.1	50.60	4020.0	1.97	a

그림 2 주행성능시뮬레이션 결과

Fig. 2 Simulation results of TPS

직류철도 시스템에 대한 전력해석을 수행하기 위하여, 시스템의 운영 데이터, 변전소 데이터, 차량 데이터, 그리고 가선 데이터가 필요하다. 각 데이터 군에 해당하는 데이터에 대한 설명을 표 3에 나타내었다.

### 3.2 철도차량 데이터베이스 구축

특정 시점에서의 차량 위치와 소비전력은 TPS(Train Performance Simulation) 해석 결과를 기반으로 전력해석 알고리즘에 반영된다. 그러나 TPS는 그림 2에서 보는 바와 같이 역과 역 사이에서 운행하는 차량에 대한 시간대별 위치와 소비전력 결과만을 제공하기 때문에 TPS 결과를 정차시간 조건에 맞추어 데이터베이스화 할 필요가 있다. 열차의 정차시 위치 변화가 없고 소비전력(운행전력만 고려)이 0이기 때문에, 정차시간동안 차량 위치를 고정하고 차량 전력을 0으로 구성함으로써 급행과 완행에 대한 베이스 데이터를 구할 수 있다.

### 3.3 Node ordering

직류철도계통에 대한 전력해석을 수행하기 위하여 전압과 전류의 관계를 나타내는 Y matrix를 구성할 필요가 있는데, 이것은 변전소-변전소, 변전소-차량, 차량-차량 간 직접 연결되는 요소들에 대한 정의가 전제되어야 한다. 이를 위하여 node ordering 과정을 수행한다. 하나의 노선에 대해서 상행선과 하행선에 대한 각 node ordering이 필요하고, 이것은 고정된 위치의 변전소와 각 변전소 사이에 위치하는 차량들의 위치를 기반으로 수행된다. 표 4와 같이 특정 시점에서의 변전소와 차량의 위치가 주어졌다고 가정할 때 node ordering 과정은 다음과 같다.

표 4 변전소, 상행차량, 하행차량 위치의 예

Table 4 Example for location of substation, up and down line vehicles

변전소		상행선 차량		하행선 차량	
변전소 번호	위치	차량번호	위치	차량번호	위치
S1	500	Vu1	3,900	Vd1	2,700
S2	4,500	Vu2	10,050	Vd2	5,300
S3	10,000	Vu3	13,300	Vd3	12,500
S4	13,500	Vu4	17,000		
S5	18,000				

- ① 고정위치의 변전소만을 고려한 ordering: 해당 변전소 다음에 위치하는 변전소명을 ord() 배열에 설정  
 $ord(S1)=S2$   
 $ord(S2)=S3$   
 $ord(S3)=S4$   
 $ord(S4)=S5$   
 $ord(S5)=S1$
- ② 상행선 차량을 고려한 ordering: 상행선 차량의 위치와 변

전소의 위치를 비교하여 ordup()을 구성함

$ordup(S1)=Vu1$   
 $ordup(Vu1)=S2$   
 $ordup(S2)=S3$   
 $ordup(S3)=Vu2$   
 $ordup(Vu2)=Vu3$   
 $ordup(Vu3)=S4$

- ③ 하행선 차량을 고려한 ordering: 하행선 차량의 위치와 변전소의 위치를 비교하여 orddn()을 구성함(②의 과정과 동일)

위의 과정을 통해 얻어진 상행선과 하행선 각각에 대한 ordering 결과는 표 5와 같다. Node ordering의 결과는 두 구성요소간의 직접적인 전기적 연결을 의미하고, Y matrix를 구성함에 있어 행렬의 비대각 성분을 계산하는 것으로 사용된다.

표 5 Node ordering의 결과

Table 5 Results for node ordering

상행선 ordering		하행선 ordering	
구성요소	ord()	구성요소	ord()
S1	Vu1	S1	Vd1
S2	S3	S2	Vd2
S3	Vu2	S3	Vd3
S4	Vu4	S4	S5
S5	S1	S5	S1
Vu1	S2	Vd1	S2
Vu2	Vu3	Vd2	S3
Vu3	S3	Vd3	S4
Vu4	S4		

### 3.4 급행 차량이 고려된 node ordering 및 Y matrix 구성

급행차량이 존재하는 경우, Y matrix는 상행선과 하행선의 급행 차량 수만큼 행렬의 크기가 증가되어야 한다. 급행 차량은 기존 완행 차량과 같은 노선에서 운전하기 때문에 급행차량의 위치를 추가적으로 고려하여 node ordering 결과를 갱신하여야 한다. 표 4의 완행차량 조건에 표 6과 같은 조건의 급행차량이 존재하는 경우를 가정할 때, 기존 node ordering의 결과는 표 7과 같이 갱신된다.

표 6 급행차량 위치의 예

Table 6 Example for location of rapid vehicles

상행선 급행차량		하행선 급행차량	
차량번호	위치	차량번호	위치
Vu1'	6,900	Vd1'	3,950
Vu2'	11,250	Vd2'	11,500

상행선 첫 번째 급행차량의 위치는 6,900m로 변전소 2번과 3번 사이에 위치하고 있으므로, S3의 값을 가지던 ord(S2)는 Vu1'으로 갱신되고, 새로 추가된 차량에 대한 ord(Vu1')의 값이 S3로 설정된다. 다른 급행차량에 대해서도 같은 과정으로 node ordering을 갱신한다.

표 7 Node ordering 결과 갱신

Table 7 Update for node ordering results

상행선 ordering		하행선 ordering	
구성요소	ord()	구성요소	ord()
S1	Vu1	S1	Vd1
S2	Vu1'	S2	Vd2
S3	Vu2	S3	Vd2'
S4	Vu4	S4	S5
S5	S1	S5	S1
Vu1	S2	Vd1	Vd1'
Vu2	Vu2'	Vd2	S3
Vu3	S3	Vd3	S4
Vu4	S4	Vd1'	S2
Vu1'	S3	Vd2'	Vd3
Vu2'	Vu3		

3.5 Y matrix 구성

3.3절에서 설명된 node ordering 결과를 기반으로 Y matrix를 구성하여 특정 시점에서의 시스템 configuration을 정의할 수 있다. Y matrix는 변전소, 상행선차량, 하행선차량에 대한 Y matrix 구성의 형태를 나타낸다. 표 7의 node ordering 결과를 이용하여 아래에 Y matrix 비대각 성분은 다음과 같이 계산된다. (Rcat: 가선의 단위km당 임피던스)

① 1번 변전소 - 1번 상행선 차량

$$ymat(S_1, ord(S_1)) = -\frac{1}{R_{cat} \times (loc(ord(S_1)) - loc(S_1))} \quad (1)$$

$$ymat(S_1, ord(S_1)) = ymat(ord(S_1), S_1) \quad (2)$$

② 1번 상행선 차량 - 2번 변전소(가선부)

$$ymat(V_{u1}, ord(V_{u1})) = -\frac{1}{R_{cat} \times (loc(ord(V_{u1})) - loc(V_{u1}))} \quad (3)$$

$$ymat(V_{u1}, ord(V_{u1})) = ymat(ord(V_{u1}), V_{u1}) \quad (4)$$

하행선의 경우도 위와 마찬가지로 ordering 통해 구해진 ordering pair를 이용하여 비대각 성분을 계산할 수 있다. 급행차

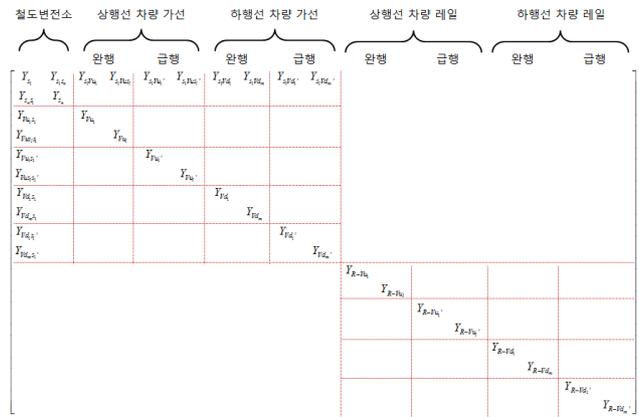


그림 3 통합해석을 위한 Y matrix

Fig. 3 Y matrix for integrated analysis

량이 고려된 경우에 대한 Y matrix는 그림 3과 같은 형태를 가지게 된다.

Y matrix의 대각성분은 다음과 같이 계산된다. 여기서 srcond(S<sub>i</sub>)는 i번째 변전소의 내부 등가 컨덕턴스를 나타낸다.

① 변전소 대각성분

$$ymat(S_i, S_i) = -\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{dim} ymat(S_i, k) + srcond(S_i) \quad (5)$$

② 변전소 이외 대각성분

$$ymat(S_i, S_i) = -\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{dim} ymat(S_i, k) \quad (6)$$

식 (1)~(6)을 통해 구해진 시스템 컨덕턴스 행렬을 이용하여 반복계산법 기반의 조류계산[4,5]을 수행함으로써 급행과 완행이 혼재된 도시철도 노선에 대한 전력해석결과를 도출할 수 있다.

4. 사례연구

4.1 노선 데이터

3장에서 설명된 직류도시철도 급완행 조류해석 알고리즘을 이용하여 실제 운행 중인 노선을 대상으로 해석을 수행하였다. 서울도시철도공사에서 운영하는 7호선을 대상으로 사례연구를 수행하였다. 표 8과 9는 사례연구에 사용되는 서울메트로 7호선의 데이터와 역 위치를 나타낸 것이다.

표 8 서울 7호선 노선 데이터

Table 8 Data for Metro Line 7 in Seoul

구분	값
가선 단위길이당 임피던스	0.0203 Ω/km
레일 단위길이당 임피던스	0.00456 Ω/km
정격전압	1,500 V

표 9 서울 7호선 역명과 위치

Table 9 Stations and their location in Metro Line 7

역명	위치[m]	역명	위치[m]
장암	1,585	강남구청	23,150
도봉산	2,641	학동	25,063
수락산	3,900	논현	26,403
마들	5,479	반포	27,003
노원	6,900	터미널	28,119
중계	7,740	내방	30,343
하계	8,725	이수	31,423
공릉	10,055	남성	32,177
태릉	10,908	송실대	34,368
막골	11,305	상도	35,260
중화	12,705	장승배기	36,281
상봉	13,675	신대방	37,352
면목	14,535	보라매	38,376
사가정	15,656	신풍	38,986
용마산	16,536	대림	40,443
중곡	17,377	남구로	41,620
군자	18,337	가산디지털단지	42,160
대공원	19,218	철산	43,780
건대입구	20,007	광명	45,240
독섬	21,193	천왕	46,740
청담	22,700	온수	48,680

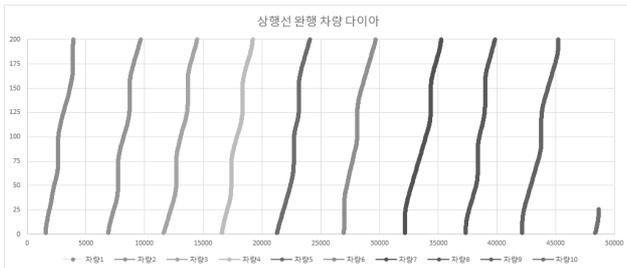


그림 4 상행선 완행 차량에 대한 다이어(x: m, y: sec)  
Fig. 4 Dia for normal operation in upline(x: m, y: sec)

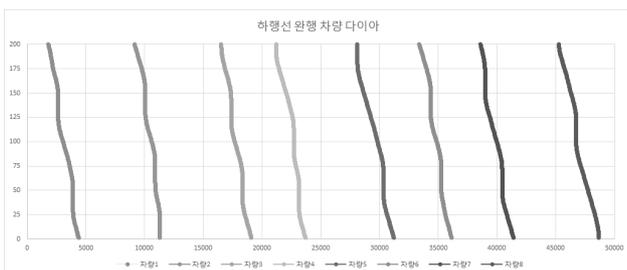


그림 5 하행선 완행 차량에 대한 다이어(x: m, y: sec)  
Fig. 5 Dia for normal operation in downline(x: m, y: sec)

4.2 차량 조건

본 사례연구에서는 완행과 급행 두 패턴의 차량이 존재하는 경우에 대한 모의를 수행하였다. 완행 차량은 앞 차와의 시격을 약 400초 전후로 설정하여 배치하였고, 급행 차량은 임의의 시격을 설정하여 상행선과 하행선에 각각 3대(하행선 급행의 경우, 마지막 차량이 최종 종착지 도착 이후 2대가 운행하는 시나리오)를 배치하여 모의를 수행하였다. 그림 4~7은 진행방향과 운전 패턴에 따른 4가지 차량군에 대한 다이어를 나타낸 것이다. 본 사례연구에서는 표 10과 같이 총 2가지의 시나리오에 대한 모의를 수행하였다.

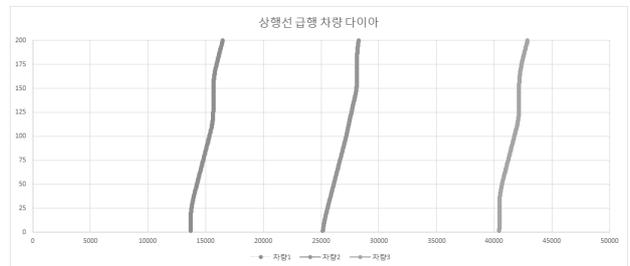


그림 6 상행선 급행 차량에 대한 다이어(x: m, y: sec)  
Fig. 6 Dia for express operation in upline(x: m, y: sec)

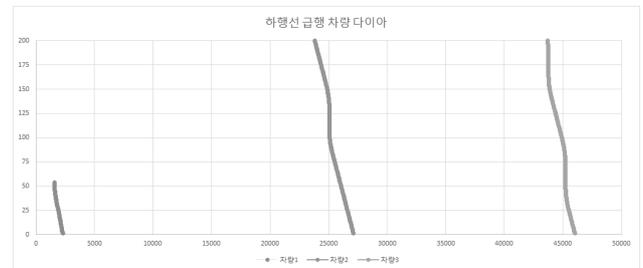


그림 7 하행선 급행 차량에 대한 다이어(x: m, y: sec)  
Fig. 7 Dia for express operation in downline(x: m, y: sec)

표 10 모의 시나리오

Table 10 Simulation cases

시나리오	완행 차량수		급행 차량수	
	상행선	하행선	상행선	하행선
Case 1	10	8	-	-
Case 2	10	8	3	3

4.3 Case 1 - 완행 차량 운행

상행선과 하행선에 각각 10대, 8대의 완행 차량을 임의로 배치한 경우에 대한 조류해석을 수행한 결과를 다음의 표 11에 요약하고 그림 8과 9에 변전소 모션 전압과 소비전력 및 전력량 그래프를 나타내었다.

표 11 Case 1에 대한 모의결과

Table 11 Simulation results for case 1

변전소명	최대전압 [V]	최소전압 [V]	최대소비 전력[MW]	소비전력량 [kWh]
수락산	1711.04	1415.91	13.07	163.03
중계	1686.91	1528.19	6.80	111.32
태릉	1703.97	1526.31	6.90	99.00
상봉	1696.9	1529.29	6.74	85.67
중곡	1697.03	1520.72	7.22	109.14
건대입구	1688.97	1535.75	6.38	78.72
청담	1676.05	1529.6	6.72	89.64
논현	1674.91	1565.81	4.70	71.85
내방	1677.54	1561.77	4.92	74.06
남성	1683.86	1569.82	4.48	73.89
상도	1703.57	1533.12	6.52	93.02
보라매	1708.68	1557.55	5.16	102.40
남구로	1690.26	1562.03	4.91	69.91
철산	1689.37	1581.25	3.84	55.13
천왕	1683.44	1577.21	4.06	53.79
온수	1675.14	1512.43	7.68	45.22
<b>전체</b>				<b>1,375.79</b>

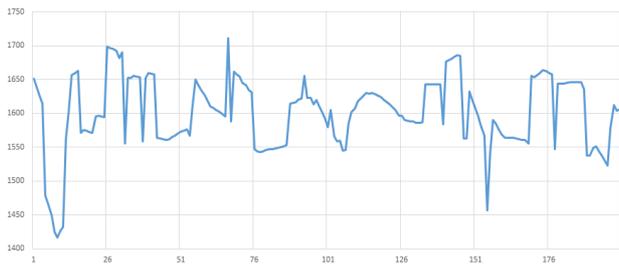


그림 8 Case 1: 수락산 변전소 모션 전압(x: sec, y: Volt)

Fig. 8 Case 1: Substation voltage for Suraksan

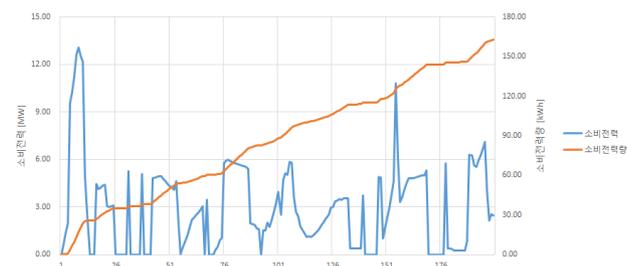


그림 9 Case 1: 수락산 변전소 소비전력 및 소비전력량

Fig. 9 Case 1: Consumed power and energy for Suraksan

4.4 Case 2 - 급행 및 완행차량 운행

상행선과 하행선에 각각 10대, 8대의 완행 차량과 3대 썸의 급행 차량을 임의로 배치한 경우에 대한 조류해석을 수행한 결과를 표 12에 요약하고 그림 10와 11에 변전소 모션 전압과 소비 전력 및 전력량 그래프를 나타내었다. Case 1에 비교하여 6대의 급행 차량이 추가됨에 따라, 각 변전소의 소비전력이 증가하고 전압변동폭이 증가하였음을 확인할 수 있다.

표 12 Case 2에 대한 모의결과

Table 12 Simulation results for case 2

변전소명	최대전압 [V]	최소전압 [V]	최대소비 전력[MW]	소비전력량 [kWh]
수락산	1,729.71	1319.18	18.47	164.27
중계	1,691.66	1499.02	8.43	113.11
태릉	1,703.47	1525	6.98	104.55
상봉	1,707.58	1513.03	7.65	99.71
중곡	1,710.09	1502.22	8.25	117.92
건대입구	1,688.34	1526.99	6.87	84.37
청담	1,670.70	1526.66	6.88	100.01
논현	1,699.57	1556.9	5.20	105.77
내방	1,680.26	1561.7	4.93	83.47
남성	1,680.38	1568.68	4.54	78.25
상도	1,705.61	1530.6	6.66	96.88
보라매	1,713.89	1554.24	5.35	111.31
남구로	1,707.54	1566.95	4.64	92.93
철산	1,703.66	1565.09	4.74	70.42
천왕	1,688.03	1567.23	4.62	59.92
온수	1,675.07	1505.37	8.07	48.22
<b>전체</b>				<b>1,531.11</b>

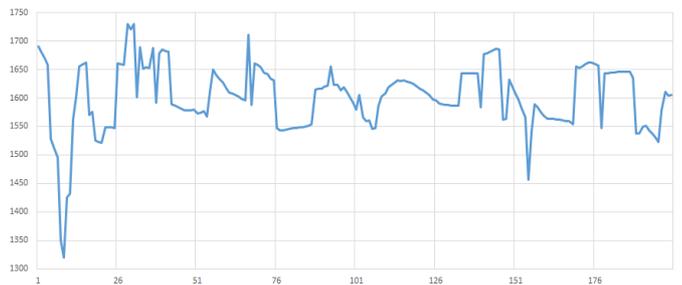


그림 10 Case 2: 수락산 변전소 모션 전압(x: sec, y: Volt)

Fig. 10 Case 2: Substation voltage for Suraksan

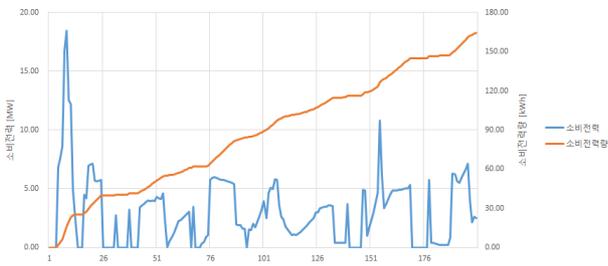


그림 11 Case 2: 수락산 변전소 소비전력 및 소비전력량  
 Fig. 11 Case 2: Consumed power and energy for Suraksan

### 5. 결 론

도시철도 시스템에 대한 급행 및 완행 차량의 운영을 모두 고려한 직류도시철도시스템 통합해석 알고리즘과 이에 대한 가상 주행 시나리오를 기반으로 사례연구를 수행하였다. 기존의 한 종류의 운영 패턴을 가진 다수의 차량에 대한 해석 알고리즘을 개선하여 급행과 같이 서로 다른 운영 패턴을 가진 열차군에 대한 해석이 가능하도록 알고리즘을 구성함으로써, 변전소 가선 전압, 변전소 공급전력 등의 전력해석을 수행할 수 있는 새로운 알고리즘을 제시하였다. 사례연구를 통하여 완행 운전 패턴만 고려한 전력해석결과와 완행 및 급행 차량 운영 패턴을 모두 고려한 해석결과를 제시함으로써 운영 차량 증가에 따른 공급전력량의 증가와 변전소 가선전압의 변동폭 증가의 해석 결과를 제시하였다. 본 논문에서 제시한 해석 알고리즘을 바탕으로 도시철도 시스템의 고속화를 구현하기 위하여 우선되어야 할 기존 전력설비의 설계 타당성을 검증할 수 있는 해석환경의 구축이 가능하며, 이를 기반으로 국내 도시철도 시스템의 선진 운영 시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대한다.

### 감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업 수요연계형 미래 광역도시철도기술 개발(PK1503C)의 연구비 지원으로 수행되었습니다

### References

[1] 'A Study for Powerflow Analysis for DC Electric Railway Systems' Project final report, Korea Univ., 2009  
 [2] 'A Study for Optimal Analysis Program for DC Electric Railway Systems,' Project final report, Korea Univ., 2010  
 [3] H. Lee, H. Lee, C. Lee, G. Jang, G. Kim, "Energy Storage Application Strategy on DC Electric Railroad System using a Novel Railroad Analysis Algorithm," JEET, Vol. 5, No. 2, pp. 228-238, June 2010

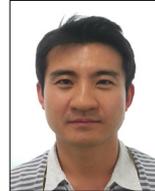
[4] H. Lee, Y. Cho, H. Kim, H. Jung, "Study for Power Management System using Regenerative Energy in Electric Railway Systems," Tran. of KIEE, Vol. 63, No. 1, pp. 191-196, Jan. 2014  
 [5] S. Jung, H. Lee, G. Byun, S. Kwon, G. Jang, H. Jung, H. Kim, "A Study of Improving Regenerative Energy Utilization in Urban DC Railway Systems Through Sharing Substations," Tran. of KIEE, vol. 60, No. 12, pp. 2392-2396, December 2011

## 저 자 소 개



### 장 동욱(Dong Uk Jang)

1976년생. 1998년 충북대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000.08.~현재 한국철도기술연구원 광역도시철도시스템연구실 선임연구원



### 김 무 선(Moo Sun Kim)

1974년 6월생. 2008년 서울대학교 및 Ecole des Mines de Saint-Etienne 기계공학과 졸업(박사). 현재 한국철도기술연구원 광역도시철도시스템연구실 선임연구원



### 홍 재 성(Jae Sung Hong)

1965년 11월생. 1990년 고려대학교 기계공학과 졸업. 2000년 한양대학교 기계공학과 졸업(석사). 2005년도 경희대학교 기계공학과 졸업(박사) 1995.06.~현재 한국철도기술연구원 기술기준팀 책임연구원



### 이 한 상(Hansang Lee)

1980년 1월 생. 2003년 고려대학교 공과대학 전기전자전공공학부 졸업. 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2010년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 경일대학교 철도전기공학부 조교수.