

틸팅열차 운행 중 가선전압 계측 및 분석연구

(The Service Voltage Measurement and Analysis while TTX Runs)

이수길* · 강 철 · 허재선 · 김재철 · 임재찬**

(Su-Gil Lee · Chul Kang · Jae-Sern Her · Jae-Chul Kim · Jae-Chan Lim)

요 약

최근 한국철도기술연구원이 개발한 한국형 틸팅열차(TTX) “한빛 200”은 현재 호남선, 중앙선, 충북선 그리고 태백선에서 시험 운행 중에 있다. 본 논문은 TTX가 기존선로에서 시험 운행하는 동안 TTX에 공급되는 전압을 계측하여 각 기존선로에서 공급하는 전압의 상태를 분석하였다. TTX에 공급되는 전압을 직접 계측하기 위해 TTX의 판토타그래프 밑단인 부분에 PT를 설치하여 변압기 1차측 전압을 계측하였다. 정확한 분석을 위해 계측 시 TTX외의 다른 열차와 교차 상황과 주변상황에 대해 기록하였으며, CBEMA 커브를 이용하여 가선전압 상태에 대한 분석을 하였다. 그 결과 호남선, 중앙선, 태백선 모두 정격전압(25[kV])의 110[%]이상의 전압이 200[s]이상 공급되는 구역도 있었으며 빈번하게 110[%]를 초과하고 있는 것으로 분석됐다. 특히 태백선의 가선전압의 상태가 가장 좋지 않은 것으로 분석됐다. 이렇게 가선전압 분석결과는 앞으로 중앙선 및 태백선에 상용화될 TTX의 동력장치 및 전력변환장치를 안정화하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

Abstract

Recently, the Korea Tilting Express(TTX), “HANVIT 200”, KRRI(Korea Railroad Research Institute) developed runs for test on the conventional railroad, Honam line, Center line, Chunk-buk line and Tae-baek line. In this paper, we measured the service voltage while TTX ran on the conventional railroad and analyzed the condition of voltage. For measuring voltage directly, we installed PT under the pantograph and measured the voltage of the primary winding. In addition, we record situations that other trains pass by TTX and environments while TTX ran. And then we analyzed the condition of voltage using the records and CBEMA curve. In result, over 110[%] voltage of rated voltage(25[kV]) often occurred and the voltage of some place continued over 110[%] for about 200[s]. Especially, the voltage condition of Tae-baek line is the worst. The results in this paper can help to stabilize the power device and power converter of TTX.

Key Words : TTX, The Korea Tilting Express, Train Voltage Condition, CBEMA Curve

* 주저자 : 한국철도기술연구원 선임연구원

** 교신저자 : 숭실대학교 전기공학부 석사

Tel : 02-817-7966, Fax : 02-817-0780

E-mail : sqrt1003@naver.com

접수일자 : 2009년 4월 15일

1차심사 : 2009년 4월 27일, 2차심사 : 2009년 7월 6일

심사완료 : 2009년 9월 4일

1. 서 론

전기철도의 친환경적인 장점과 에너지 효율적인 장점 등 많은 장점 때문에 세계 주요 선진국의 전철화를

은 2007년을 기준으로 프랑스 49[%], 독일 53[%], 스웨덴 77[%] 등으로 전기철도가 대중화되고 있다.

이에 맞추어 우리나라도 정부의 21세기 장기 국가철도망 구축 기본계획을 실시하였고 이에 따라 노후화된 새마을호를 대체하기 위해서 신기술이 도입된 한국형 틸팅열차(TTX) “한빛 200”을 개발하였다. “한빛 200”은 차체를 좌우로 기울이는 기능인 틸팅 시스템을 도입한 전기철도차량으로 기존 전기철도차량은 곡선부분을 통과시 20~30[%] 감속하는 것에 비해 감속하지 않고 통과할 수 있는 신기술 전기철도차량이다. “한빛 200”은 이런 장점 때문에 고속열차가 보급되지 못하는 중앙선과 태백선에 주로 보급될 예정이다. 이를 위해 “한빛 200”은 현재 호남선, 중앙선, 충북선 그리고 태백선에 시험 운전 중에 있으며 이 시험 운전을 통해 안정성을 더 확보하기 위해 연구 및 보완 중에 있다. 본 논문에서는 “한빛 200”의 동력장치 및 전력변환장치의 안정화를 위해 공급되는 전압상태를 파악하고 “한빛 200”이 기술 사양서에서 제시된 전압변동범위에서 뿐만이 아니라 실제 공급전압 상태에서도 적합하게 설계가 되었는지 평가하였다. 이를 위해 “한빛 200”이 기존선로에서 시험운전을 하는 동안 공급받는 전압을 차량의 주변압기 1차측에서 계측하였고 이를 기술사양서에 명시된 전압변동범위와 CBEMA 커브에 적용하여 전압상태를 파악했으며 “한빛 200” 설계시 고려한 전압 변동 범위를 참고하여 실제 공급전압 상태에 적합하게 설계가 되었는지 평가하였다[1].

2. 본 론

2.1 전압변동범위와 설계 및 기술사양

전기철도차량은 가속운전과 제동운전을 반복하기 때문에 이동 부하이며 전력소모량이 변하는 부하이다. “한빛 200”의 정격부하 크기는 4[MW]이며 실제 중앙선에서 시험운행 중 전력량을 계측한 결과, 타행운전 시 평균 1.94[MW]인 반면에 역행운전 시는 평균 2.36[MW]이고 최대 소모 전력량은 약 4[MW]로 계측되었다. 그 만큼 전기철도의 부하 크기는 변동이 심하며 이에 따라 전압 변동 또한 심하게 발생한다.

만약 전압 변동이 심하게 발생하여 저전압 혹은 과전압을 공급하게 된다면 열차에 큰 스트레스 및 고장을 유발하게 되어 큰 사고를 초래할 수 있는 상황이 발생하게 된다. 따라서 공급전압의 변동 범위를 19~27.5[kV]로 정하고 이 범위에서는 전기철도차량이 운행에 지장이 없도록 차량을 제작하여야 한다. 이에 따라 “한빛 200”의 기술사양서에는 표 1과 같이 정하고 있다[1-2]. 표 1에 기술된 것처럼 “한빛 200”은 기술 사양서에 명시되는 전압변동범위를 감안하여 제작하였으며 도시바에서 제작한 인버터 또한 전압 변동을 충분히 견딜 수 있게 제작되고 있다.

표 1. 전압변동 범위 및 기술 사양
Table 1. Range of voltage change and technical specification

구 분	내 용	
공급 전압 변동 범위	19~27.5[kV]	
기술 사양서	23.5~27.5[kV]	차량 출력 100[%]
	19~23.5[kV]	비례적으로 출력
한빛 200 설계 사양	17.5~30[kV]	차량 출력 100[%]
	이외 범위	보호 장치 동작
도시바 인버터사양	19~30[kV]	차량 출력 100[%]
	이외 범위	보호 장치 동작

따라서 실제 공급전압이 기술 사양서에 명시된 것처럼 공급되고 있는지를 평가하는 것이 필요하다.

2.2 전압 품질 평가 방법

전압의 품질을 평가하는 방법은 여러 가지가 있지만 본 논문에서는 공급 전압의 순간전압강하(sag)나 순간전압상승(swell) 등을 평가할 수 있는 CBEMA 커브(Computer Business Equipment Manufacturer Association Curve)를 사용하였다. 특히, 이를 선택한 이유는 전기철도의 부하특성상 가속과 제동을 빈번하게 하기 때문에 부하크기가 빈번하게 변한다. 이런 이유로 전압이 순간적으로 변화할 수 있다. 그러나 아주 짧은 시간동안 발생한 과전압이 열차에 악영향을 준다고 볼 수 없으므로 전압크기와 지속시간을 고려하여 평가 가능한 CBEMA 커브를 활용하

틸팅열차 운행 중 가선전압 계측 및 분석연구

였다. 처음 CBEMA 커브는 컴퓨터의 전압외란에 대한 견딤정도를 나타내는 수단으로 이용되었으며 이후 전압변동에 대한 설비영향을 분석하기 위한 데이터의 표현에 가장 많이 사용되고 있다.

그림 1은 일반적인 CBEMA 커브를 보여주고 있다. X축은 지속시간(duration time)을 그리고 Y축은 전압크기 혹은 기준전압에서의 변동률을 나타낸다. 또한 이 커브는 2개의 곡선으로 이루어져 있으며 두 곡선 안쪽영역은 기기의 작동에 영향이 없는 허용 전압 영역을 나타낸다. 만약 이 허용 전압 영역을 벗어나면 과전압 또는 부족전압 상태가 되어 전기기기에 고장 및 오동작을 유발시킨다[3-4].

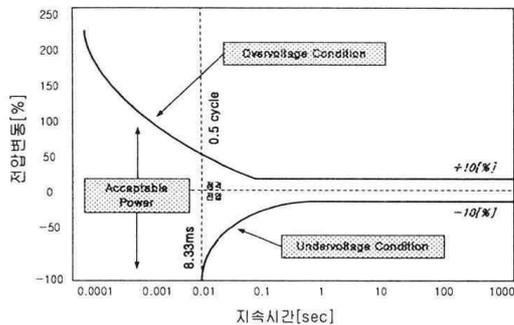


그림 1. CBEMA 커브
Fig. 1. CBEMA curve

2.3 공급 전압 계측 방법

전기철도차량에 공급되고 있는 전압을 직접적으로 계측하기 위해서 그림 2와 같이 “한빛 200”의 판토타그래프 밑단에 PT 설치하여 주변압기 1차측 전압을 계측하였다. 그리고 Recorder는 Fluke사의 FLUKE 1760을 사용하여 0.2[s]간격으로 계측된 데이터를 저장하였다.

2.4 전압 계측 구간

현재 “한빛 200”이 시험 운전한 구간은 호남선, 중앙선, 충북선 그리고 태백선이다. 본 논문은 표 2에서 보여주는 것과 같이 “한빛 200”이 운전한 구간에 대한 공급 전압을 계측하였다. 대부분 구간은 AC 25[kV]에 AT(Auto Transformer)방식이며 제천에

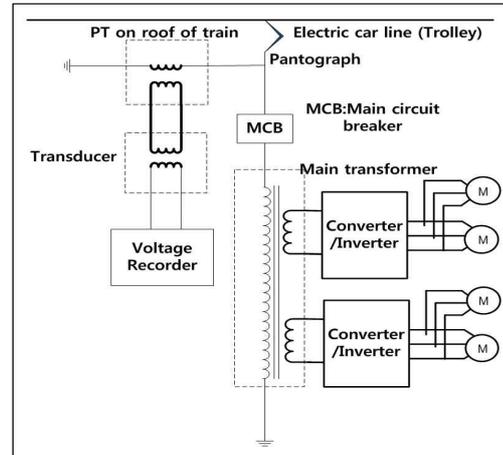


그림 2. 공급 전압 계측 위치
Fig. 2. Measurement point of service voltage

서 원주구간은 BT(Booster Transformer)방식이다. 여기서 호남선은 고속철도 운행권으로 KTX운행을 하는 구간이며 하루 편도 차량이 빈번한 곳이다. 그에 반해 충북선은 일반 철도권으로 무궁화 및 새마을호가 주로 운행하며 하루 편도 열차 횟수는 약 83회이고 산업선으로 분류된 중앙선과 태백선은 약 46회로 운행횟수가 적다[5-6].

표 2. 전압계측 구간
Table 2. Sections of measurement voltage

구분	호남선	중앙선	충북선	태백선
운전 구간	익산 ↔ 송정리	제천→ 영주→ 제천→ 원주	봉양 → 오장근	예미 → 제천
운전 거리	195.6[Km]	174.5[Km]	93.5[Km]	51.5[Km]
개통 연도	'04.04.01	'87.12.30	'05.03.30	'74.06.20
선로 형태	복선	단선	복선	단선
변전소 용량	120[MVA]	66[MVA] (영주~제천) 21[MVA] (제천~원주)	80[MVA]	30[MVA]
변전소 형태	AT	AT (영주~제천) BT (제천~원주)	AT	AT

구분	호남선	중앙선	충북선	태백선
변전소 간의 거리	56.76[Km]	36.01[Km]	44.05[Km]	55.36[Km]
변압기 종류	물드형	물드형	물드형	물드형
부하율	85.3[%]	29[%]	19[%]	21[%]

2.5 계측 분석 결과

본 논문에서는 전압표시는 25[kV]를 기준으로 하여 [p.u] 단위로 표현하였으며 전압 분류는 예를 들어 설명하면 1.10[p.u]대 혹은 1.10[p.u]의 의미는 1.10[p.u]이상 1.11[p.u]미만을 나타내는 것이다.

2.5.1 호남선 분석 결과

그림 3은 호남선에서의 “한빛 200”에 공급된 전압이다. 순간 0[V]로 가는 경우는 사구간에 진입한 경우이거나 차량 진행 방향 전환 등을 위해 MCB차단한 경우이다.

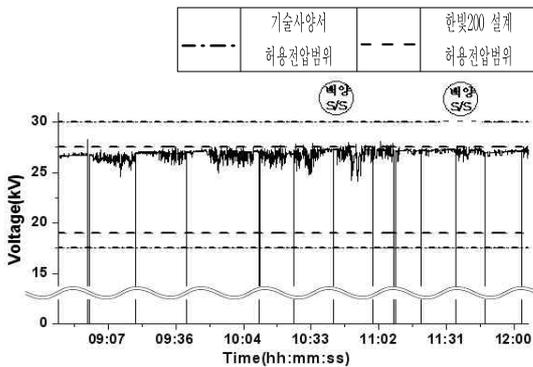


그림 3. 호남선 전압
Fig. 3. Voltage of Ho-Nam line

그림 4는 “한빛 200”이 호남선에서 운전하는 동안 공급받은 전압의 비율이다. 그림 3, 4에서 볼 수 있듯이 공급전압이 일부에서 사양서 변동 범위인 27.5[kV]를 초과하고 있는 것을 볼 수 있다. 27.5 [kV], 즉 25[kV]를 기준으로 했을 때 1.10[p.u]이상 전체 운행 중 8.9[%]를 차지하고 있다.

이에 대한 전압 변동을 CBEMA 커브로 표현한 것

이 그림 5이고, 그림 6은 2차원 그래프인 CBEMA 커브에 발생 횟수까지 포함하여 3차원 그래프로 표현한 것이다. 그림 5, 6을 통해 볼 수 있듯이 과전압 부분이 다수 존재하고 있으며 지속시간이 0.2[s]와 0.4[s]가 많은 횟수를 차지하고 있다. 이는 그림 3에서도 확인할 수 있듯이 순간적인 전압 변동이 발생하고 있으며 비록 전압 변동이 안전범위 내에서 변동하고 있지만 순간적인 전압변동이 심한 것으로 분석됐

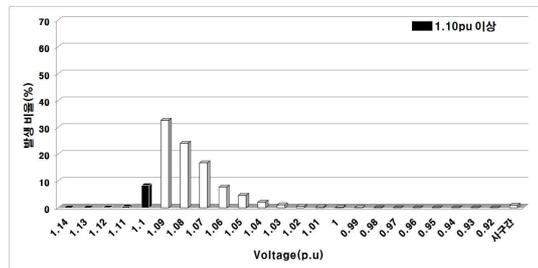


그림 4. 호남선 전압 발생 비율
Fig. 4. Voltage rates of Ho-Nam line

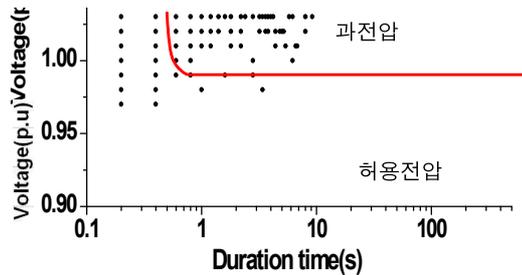


그림 5. 호남선 2D CBEMA 커브
Fig. 5. 2D CBEMA curve of Ho-Nam line

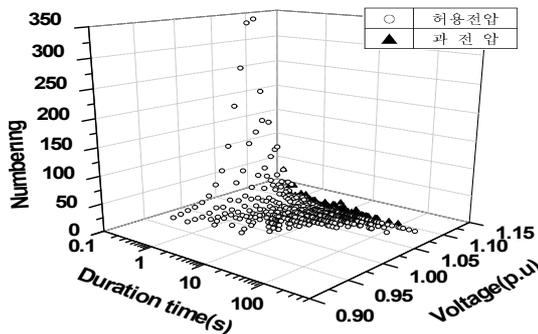


그림 6. 호남선 3D CBEMA 커브
Fig. 6. 3D CBEMA curve of Ho-Nam line

틸팅열차 운행 중 가선전압 계측 및 분석연구

다. 이런 이유는 다른 선로에 비해 큰 부하의 전기철도 차량이 빈번하게 운전하기 때문으로 분석된다.

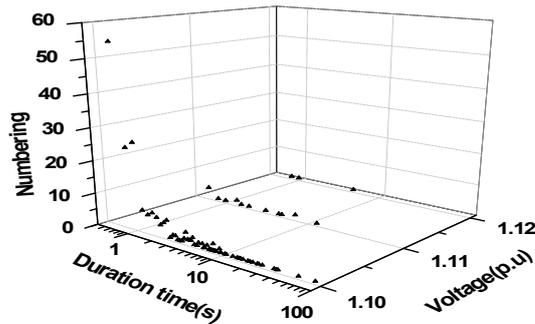


그림 7. 호남선 3D CBEMA 커브(과전압)
Fig. 7. 3D CBEMA curve of Ho-Nam line (Overvoltage)

그림 7은 그림 6에서의 과전압부분만을 나타낸 것이다. 그림 5~7에서 볼 수 있듯이 호남선에서는 기술 사양서에 명시된 전압보다 과전압부분이 발생하고 있으며, 이런 과전압은 0.6[s]처럼 순간적인 경우는 55[건] 발생하였다. 또한 89.8[s]와 같은 지속된 경우도 1[건] 발생하였는데 긴 지속시간의 과전압이 발생한 구간은 백양 S/S 인근지역이다.

2.5.2 중앙선 분석 결과

그림 8은 중앙선에서의 공급전압으로 고명구분소에서 전압이 순간 낮아졌다가 서서히 회복되는 것을 볼 수 있다. 이는 고명구분소부터는 BT방식으로 되어 있어 전압강하가 크기 때문이다.

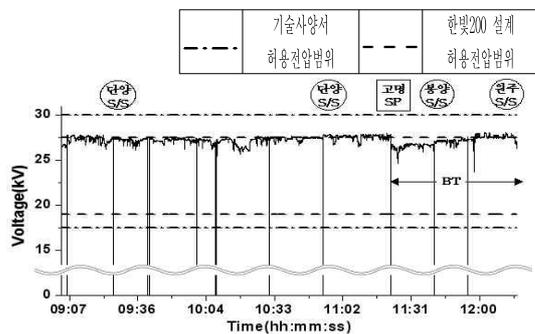


그림 8. 중앙선 전압
Fig. 8. Voltage of Center line

그림 9는 중앙선의 공급전압 발생 비율을 나타내고 있으며 그림 10~12는 중앙선의 CBEMA 커브이다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 중앙선 같은 경우는 호남선과 같은 패턴의 전압 분포를 가지고 있지만 1.10[p.u]부분이 25.52[%]를 차지하고 있으며 그림 10에서도 볼 수 있듯이 과전압 부분이 호남선에 비해 많이 발생하고 있다. 그러나 그림 11에서 볼 수 있듯이 허용전압범위에서의 순간적인 전압 변동은 호남선에 비해 적게 발생하는 것을 볼 수 있다.

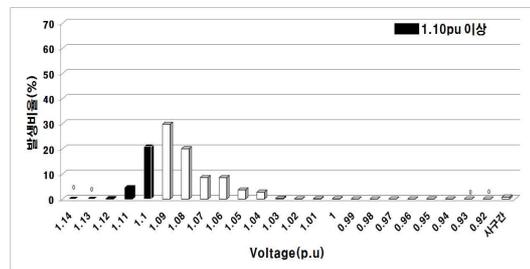


그림 9. 중앙선 전압 발생 비율
Fig. 9. Voltage rates of Center line

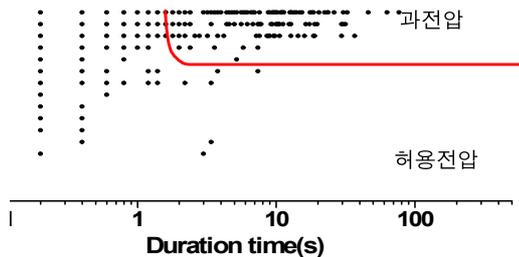


그림 10. 중앙선 CBEMA 커브
Fig. 10. CBEMA curve of Center line

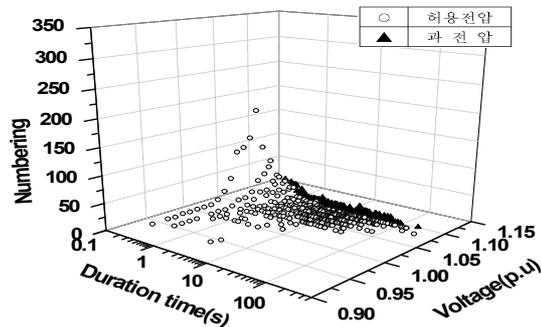


그림 11. 중앙선 3D CBEMA 커브
Fig. 11. 3D CBEMA curve of Center line

그리고 그림 12에서 볼 수 있듯이 0.6[s]를 지속한 순간적인 전압변동은 54[건] 발생하였다. 또한 182.8[s]를 지속된 경우도 1건 발생하였다.

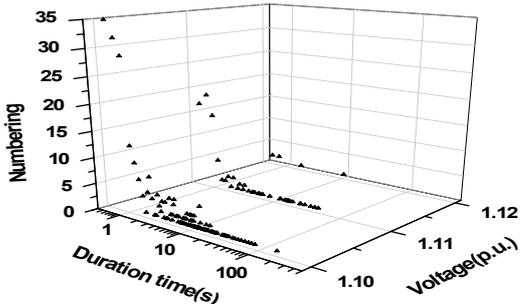


그림 12. 중앙선 3D CBEMA 커브(과전압)
Fig. 12. 3D CBEMA curve of Center line (Overvoltage)

2.5.3 중복선 분석 결과

그림 13, 14는 중복선에 대한 전압 분석 그래프이다. 중복선은 중앙선과 태백선에 비해 가장 최근에 계통된 선로이다. 또한 부하율도 적으며 편도차량수도 적은 선로이다. 중복선의 측정 결과 그림 13, 14에서 보여 주듯이 과전압 부분은 없었으며 특히, 가장 높은 발생 비율 나타내는 전압은 1.08[p.u]대이며 이는 허용전압 범위이고 65.9[%]를 차지하고 있다. 이 비율은 호남선의 허용전압범위에서 가장 높은 비율로 나타내는 전압보다 약 2배의 비율이며 태백선보다는 약 6배의 비율을 나타내고 있다. 또한 그림 13에서 볼 수 있듯이 차량이 교차할 경우도 큰 전압 변동이 발생하지 않았다.

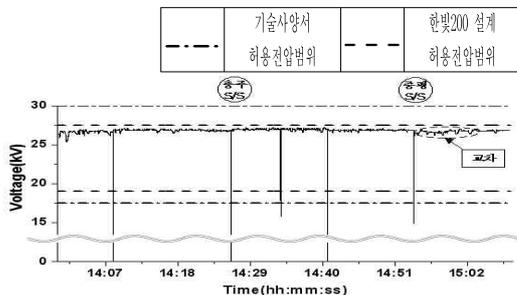


그림 13. 중복선 전압
Fig. 13. Voltage of Chung-Buk line

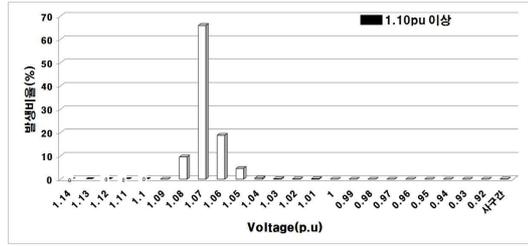


그림 14. 중복선 전압 발생 비율
Fig. 14. Voltage rates of Chung-Buk line

그림 15, 16은 중복선의 CBEMA 커브이며 전압변동이 허용전압범위에서 발생하는 것을 보여주고 있다.

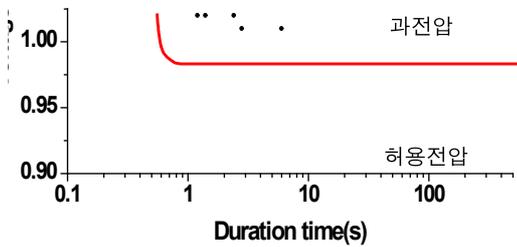


그림 15. 중복선 CBEMA 커브
Fig. 15. CBEMA curve of Chung-Buk line

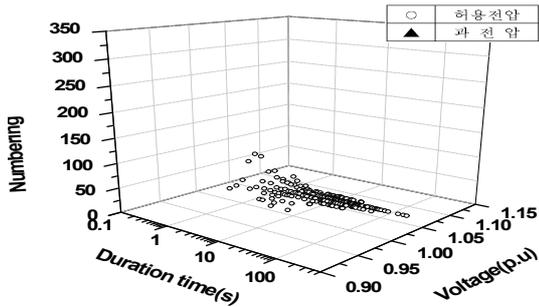


그림 16. 중복선 3D CBEMA 커브
Fig. 16. 3D CBEMA curve of Chung-Buk line

2.5.4 태백선 분석 결과

태백선은 변전소 용량도 다른 선로에 비해 작으며 가장 오래된 선로이다. 그림 17, 18은 태백선의 전압 분석에 관한 그래프이다. 그림 17, 18에서 볼 수 있듯이 전압변동폭도 다른 선로에 비해 컸으며 다른 선로는 전압 발생 비율 그래프가 삼각형 형태를 이룬 것에 비해 태백선은 모든 전압이 고루 나오는 형태로 나타나고 있다. 1.10[p.u]이상부분인 과전압부분

틸팅열차 운행 중 가선전압 계측 및 분석연구

도 전체의 37.72[%]로 높은 비율을 차지하고 있었다. 또한 계측 시간 14시 20분~40분 사이에는 “한빛 200”이 쌍용역에 정차하고 있는 동안 두 대의 다른 열차가 시간 간격을 두고 지나가는 상황이다. 이때 전압강하가 다른 선로에 비해 심하게 발생하였으며 이는 다른 선로에 비해 주변 열차부하에 민감하게 변동한다는 것을 보여주는 사례가 되겠다.

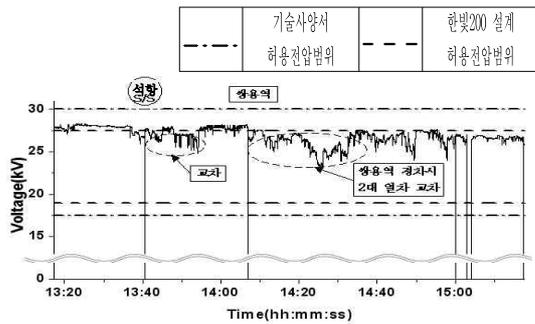


그림 17. 태백선 전압
Fig. 17. Voltage of Tae-baek line

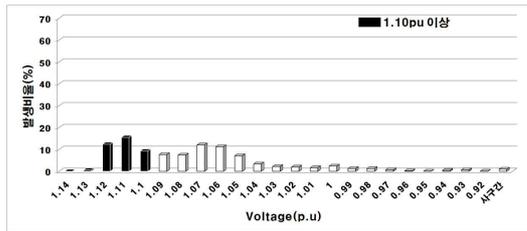


그림 18. 태백선 전압 발생 비율
Fig. 18. Voltage rates of Tae-baek line

그림 19~21은 태백선에 대한 전압 CBEMA 커브이다.

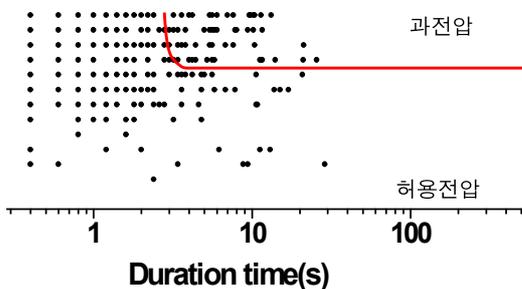


그림 19. 태백선 CBEMA 커브
Fig. 19. CBEMA curve of Tae-baek line

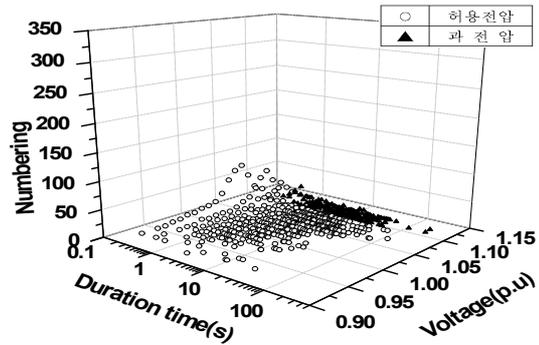


그림 20. 태백선 3D CBEMA 커브
Fig. 20. 3D CBEMA curve of Tae-baek line

그림 21은 그림 20에서의 과전압 부분만을 표현한 것으로 다른 선로에서 과전압의 지속시간이 0.6[s] 혹은 0.8[s]와 같은 순간적으로 발생한 전압이 1.10[p.u]대인 것에 비해 태백선은 1.12[p.u]대가 많이 발생하였으며 지속시간이 가장 긴 것은 208.8[s]로 1.11[p.u]대로 분석되었다.

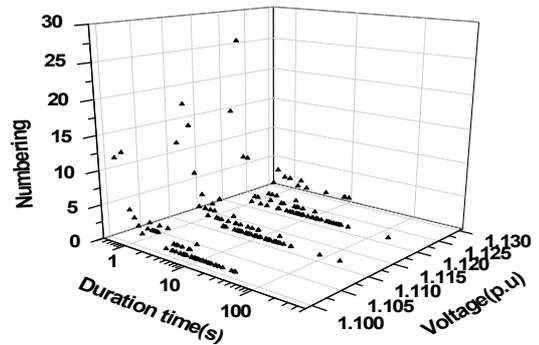


그림 21. 태백선 3D CBEMA 커브(과전압)
Fig. 21. 3D CBEMA curve of Tae-baek line (Overvoltage)

전체 분석 결과를 표 3에 정리하였다.

표 3. 분석 결과
Table 3. Result of analysis

구분	호남선	중앙선	충북선	태백선
과전압 발생 비율	8.91[%]	25.53[%]	0[%]	37.72[%]
가장 높은 과전압 (발생 비율)	1.1[p.u] (8.34[%])	1.1[p.u] (20.87[%])	.	1.11[p.u] (15.48[%])

구 분	호남선	중앙선	충북선	태백선
지속시간이 가장 긴 과전압 (지속 시간)	1.1[p.u] (89.8[s])	1.1[p.u] (182.8)	.	1.11[p.u] (208.8)
발생 비율이 가장 높은 전압 (발생 비율)	1.09[p.u] (32.62[%])	1.09[p.u] (29.75[%])	1.07[p.u] (65.9[%])	1.11[p.u] (15.48[%])
CBEMA 커브 허용 전압 영역	초과	초과	적합	초과
기술 사양서 허용 전압 범위	초과	초과	적합	초과
한빛 200 설계 허용 전압 사양	적합	적합	적합	적합

3. 결 론

최근 개발한 한국형 틸팅열차 “한빛 200”의 실용화를 위한 안전성 평가를 위해서 현재 전기철도 차량에 공급되는 전압의 상태를 분석하는 연구가 필요하며 이는 “한빛 200”만을 위한 것이 아니라 현재 운행 중인 전기철도차량과 앞으로 개발될 차량의 안전한 운행을 위해서 필요한 연구이다. 그러나 이런 연구가 현재까지는 미비한 상태이다. 따라서 본 논문에서는 “한빛 200”이 호남선, 중앙선, 충북선 그리고 태백선을 운전하는 동안 공급되는 전압을 계측하여 실제 전기철도 차량에 공급되는 전압의 상태를 분석하였으며 “한빛 200”이 우리의 현 기준 선로에서 운행할 수 있게 제작되었는지 평가하였다. 그 결과 “한빛 200”은 안정성을 위해 전압변동에 대한 내구성을 크게 하여 현 기준선로에 운행하는데 문제없이 운행이 가능하나 공급되고 있는 전압의 상태는 충북선을 제외한 나머지 선로는 과전압이 일부 공급되는 것으로 분석이 되었다. 특히 태백선은 과전압 발생비율이 높게 나타나고 있으며 주변 차량부하의 영향에 민감하게 반응하는 것으로 분석되었다. 즉, 현재 선로는 과전압이 발생하고 있으나 이에 대한 직접적인 보고와 연구가 미비한 상태이며 이런 과전압에 대한 부분은 차량제작사에서만 감당하여 열차를 제작하고 있는 실정이다. 따라서 전기철도의 안전성을 근본적으로 향상시키기 위해서는 앞으로 전기철도의 공급전압에 대한 연구가 지속적으로 필요하며 본 논문은 전기철도 공급전압 분석연구의 밑거름이 될 것이라 사료된다.

감사의 글

본 논문은 한국건설교통기술평가원 미래철도기술개발 사업 중 한국철도기술연구원이 주관하는 “한국형 틸팅열차 신뢰성 평가 및 운용기술개발” 연구단에서 지원되었으며 이에 감사드립니다.

References

- [1] 우진산전, “추진제어장치 실용기술 개발”, 한국철도기술연구원, 철도기술연구개발 사업 최종 연구보고서, 2007.
- [2] 철도기술연구원 “ITX차량 전기장치 기술사양서”, 철도기술연구원, 2006.
- [3] Jong-Fil, Sang-Yun Yun and Jae-Chul Kim, “Quantitative Evaluation of the Impact of Repetitive Voltage Sags on Low-Voltage Loads”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No. 4, pp.2395-2400, 2007.
- [4] J.Arrillaga, N.R.Watson and S.Chen, “Power System Quality Assessment”, Chichester UK Wiley, 2000.
- [5] 한국철도공사 전기기술단, “전기업무자료(14호)”, 한국철도공사 전기기술단, 2007.
- [6] 한국철도공사 전기기술단, “전기업무자료(15호)”, 한국철도공사 전기기술단, 2008.

◇ 저자소개 ◇

이수길 (李壽吉)

1971년 3월 12일생. 1995년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 1997년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정 중. 1997년~현재 한국철도기술연구원 선임연구원.

강 철 (姜 鐵)

1980년 3월 11일생. 2007년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 2009년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사).

허재선 (許宰善)

1985년 1월 23일생. 2009년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 2009년 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

김재철 (金載哲)

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988년~현재 숭실대학교 전기공학부 교수

임재찬 (林載贊)

1980년 8월 20일생. 2004년 숭실대학교 전기공학부 졸업. 2009년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사).