

기존 경부선 구간의 고속열차 운행가능시격에 대한 연구

Research for possible Service Interval of High Speed KTX train in conventional KyoungBu-Line

이장무*, 김주락**, 이한민**, 오세찬**, 김길동**
Lee, Changmu Kim, Joorak Lee, Hanmin Oh, Sechan, Kim, Gildong

ABSTRACT

In case of accidents at the line of Seoul-Pusan high speed railway, high speed train should be operated with making a detour by using existing Seoul-Pusan railroad. For Dae-jeon~Dae-Gu section which has fragile structures, following points are investigated.

In operating existing train, train running time is analyzed by the case of only high speed train being in service and the case of high speed train being in service on condition that existing train is operated. Also the possibility about operation on present train headway and train headway that is applicable to operation and vocational problems would be examined.

1. 서론

2004년 경부고속철도가 개통되어 전국이 진정한 일일생활권에 접어들었다. 경부고속철도는 현재 서울-시흥구간, 대전-옥천구간 및 지천-부산구간은 기존 경부선 구간을 이용하고 그 외의 구간은 고속선로를 이용하여 고속열차가 운행하고 있다.

경부고속철도의 고속선 구간에 사고가 발생하여 이 고속선 구간으로 열차가 운행할 수 없을 때 상당한 운송 대란이 발생할 것으로 예상되며, 이러한 경우 기존 경부선을 통하여 고속열차를 우회 운행시켜야 할 것이다. 기존 경부선 구간은 전철화 공사 중인 일부 구간을 제외하고 전철화 되어있으며 새마을호 열차, 무궁화호 열차 및 통근열차가 운행하고 있는 상태이다. 따라서 경부고속선 구간에 장애가 발생하여 고속선로로 고속열차가 운행하지 못할 경우, 그 대안으로 기존 경부선을 통하여 기존 구간을 운행하는 새마을호 무궁화호 열차가 운행하는 상태에서 고속열차 운행이 가능여부를 검토하고자 한다. 특히, 선로의 상태가 취약한 대전~대구구간에 대하여 기존 열차의 운행시, 고속열차만 운행할 경우와 기존 열차가 운행되는 상태에서 고속열차가 운행할 경우에 대하여 현 상태의 열차운행시각으로 열차운행가능여부, 열차운행이 가능한 열차운행시격 및 연장급전시의 열차운행이 가능한 열차운행시격에 대하여 시뮬레이션을 통하여 검토하고자 한다.

2. 본문

2.1 기존열차 운행 검토

① 전력계통 입력데이터

기존 경부선 대전~대구구간은 160.3km의 구간으로 3개의 전철변전소(옥천, 직지사, 사곡SS)에서 해

* 한국철도기술연구원 도시철도기술개발사업단

Email : cmlee@krri.re.kr

TEL : 031-460-5421, FAX : 031-460-5749

** 한국철도기술연구원

당 구간에 전력을 공급한다. 이 구간의 급전계통도는 아래 그림과 같다.

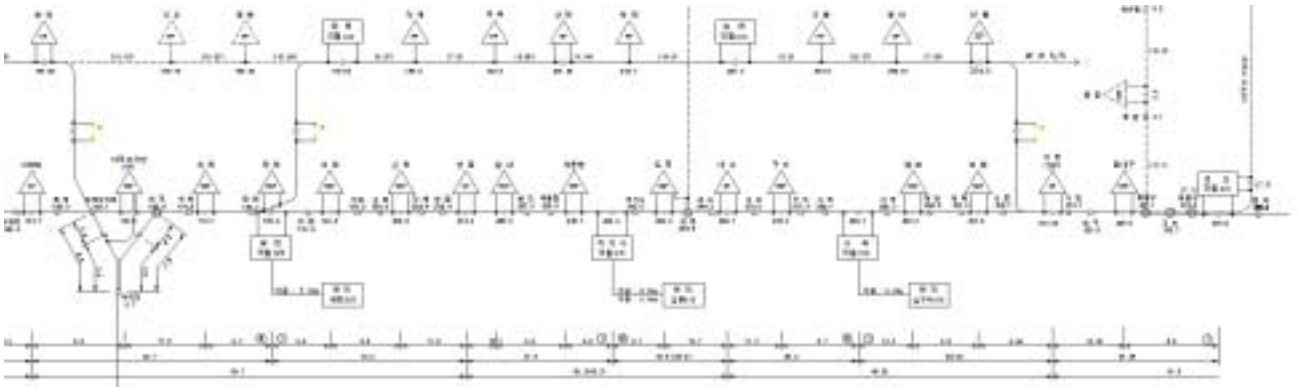


그림 1. 기존 경부선 급전계통도(대전~대구 구간)

각 변전소별 전원계통을 정리하면 다음 표와 같다.

[단위: %Z (100MVA기준)]

변전소 명	한전 %임피던스[%Z]	송전선로[%Z]	주변압기[%Z]
옥천SS	0.155+ j1.44	0.1193+ j0.1831	0.0476+ j0.9513
직지사SS	0.066+ j0.871	0.4971+ j1.8146	0.0476+ j0.9513
사곡SS	0.206+ j1.791	0.0269+ j0.0413	0.0476+ j0.9513

② 열차운행 시격

KTX 고속열차가 운행하는 시간에 이 구간을 운행하는 새마을호 열차 및 무궁화호의 영업열차는 1일 편도 35편성(새마을호 14편성, 무궁화호 21편성)이다. 다음 그림은 기존 경부선에서 열차의 운행이 근접하여 전압강하가 우려되는 시간대의 열차운행 다이어를 나타낸 것이다.

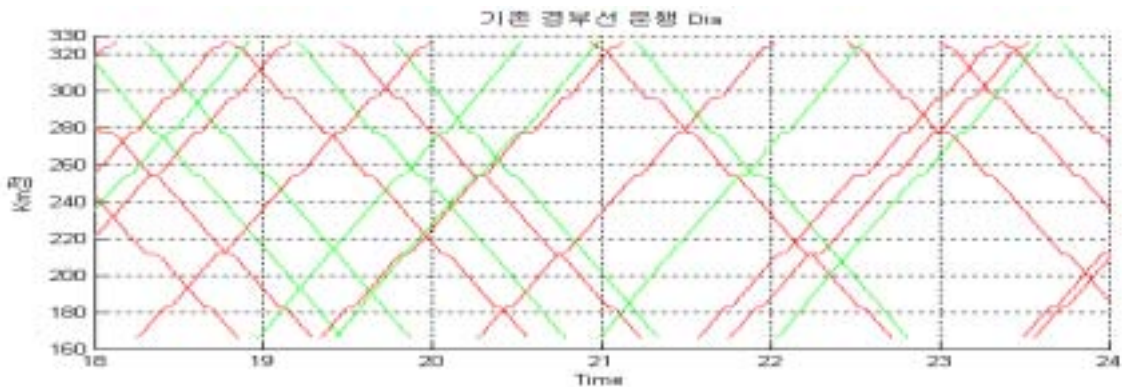


그림 2. 기존 경부선 새마을호 및 무궁화호 운행 Dia

③ 기존선 전력해석

기존 경부선 대전~동대구 구간을 운행하는 새마을호 및 무궁화호 열차가 전기기관차로 운행될 경우 정상급전/연장급전의 경우에 대하여 차량의 운행 운행가능여부 및 각 변전소에서 공급하는 전력을 검토하였다.

시뮬레이션을 통하여 검토한 결과, 기존의 새마을호 및 무궁화호 열차가 운행하는 경우 정상급전 및 연장급전 상황에서 열차운행에 아무런 지장이 없는 것으로 나타났다. 옥천SS가 고장나서 직지사SS에서 연장급전할 경우에 이 구간을 운행하는 차량의 전압이 가장 낮게 나타났으나 차량의 전압이 24.72kV로 열차운행에는 지장을 초래하지 않는다. 다음 그림은 옥천SS 고장시 직지사SS~옥천SS 구간을 운행하는 차량의 최저전압을 나타낸 것이며, 다음 표는 기존선구간의 전력해석 결과를 정리한 것이다. 옥천SS~직지사SS 변전소 사이의 거리가 61.5km로 상당히 먼 거리이다. 따라서 기존선 구간에

고속열차가 투입될 경우엔 차량의 최저전압이 운행가능 최저전압 이하가 될 가능성이 매우 높으며, 다음 절에서 검토하고자 한다.

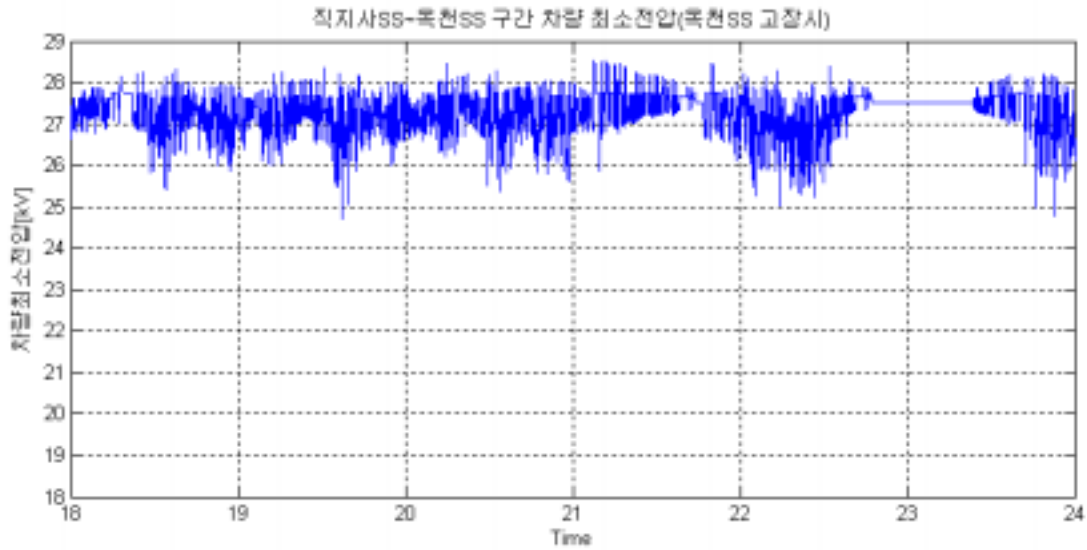


그림 3. 직지사SS~옥천SS 구간의 차량 최저전압(옥천SS 고장시)

표 1. 기존선 구간의 전력예측 결과(기존열차 운행시)

		차량 최저전압				급전 최저전압	
		전압 [kV]	M상	T상	26.43	25.76	53.48
옥천S/S			1시간평균최대	15분평균최대	1분평균최대	순시최대	
	전류 [A]	M상	37.4	78.6	172.0	302.1	
		T상	53.7	94.2	179.3	317.4	
	부하 [MVA]	M상	2.1	4.3	9.3	16.2	
		T상	2.9	5.1	9.7	17.0	
직지사 S/S			1시간평균최대	15분평균최대	1분평균최대	순시최대	
	전류 [A]	M상	38.6	72.9	180.9	302.0	
		T상	57.9	117.5	191.5	392.6	
	부하 [MVA]	M상	2.1	4.0	9.7	16.0	
		T상	3.2	6.4	10.3	20.6	
사곡S/S			1시간평균최대	15분평균최대	1분평균최대	순시최대	
	전류 [A]	M상	41.9	92.5	198.9	314.9	
		T상	47.2	89.9	186.1	314.8	
	부하 [MVA]	M상	2.3	5.0	10.7	16.8	
		T상	2.6	4.9	10.1	16.8	
옥천S/S (직지사S/S 고장시)			1시간평균최대	15분평균최대	1분평균최대	순시최대	
	전류 [A]	M상	37.4	78.3	170.9	297.8	
		T상	100.2	149.6	253.7	412.5	
	부하 [MVA]	M상	2.1	4.3	9.3	16.1	
		T상	2.9	5.1	9.7	17.0	
직지사S/S (옥천S/S 고장시)			1시간평균최대	15분평균최대	1분평균최대	순시최대	
	전류 [A]	M상	38.5	72.6	179.5	297.4	
		T상	100.2	150.8	253.8	411.0	
	부하 [MVA]	M상	2.1	4.0	9.7	16.0	
		T상	3.2	6.4	10.3	20.6	
직지사S/S (사곡S/S 고장시)			1시간평균최대	15분평균최대	1분평균최대	순시최대	
	전류 [A]	M상	76.3	113.4	252.7	388.1	
		T상	57.8	116.8	189.8	384.3	
	부하 [MVA]	M상	4.2	6.2	13.7	20.8	
		T상	3.2	6.4	10.3	20.5	
사곡S/S (직지사S/S 고장시)			1시간평균최대	15분평균최대	1분평균최대	순시최대	
	전류 [A]	M상	76.1	113.6	253.9	383.3	
		T상	47.1	89.5	184.4	310.2	
	부하 [MVA]	M상	4.2	6.2	13.8	20.7	
		T상	2.6	4.9	10.0	16.8	

2.2 고속열차 운행 검토

① 기존선 고속열차 운행 TPS

KTX 고속열차가 기존 경부선으로 대전~동대구 구간을 운행한다고 할 때의 열차운행시물레이션을 수행하였다.

열차운행시물레이션 결과 대전~동대구간 KTX 고속열차의 운행시간이 46분(고속선 구간 운행)에서

89분(기존 경부선 운행)으로 운행시간이 43분 증가하는 것으로 나타났으며, 열차의 평균운행속도는 107.9km/h인 것으로 나타났다. 이는 기존 경부선의 선로 속도제한과 곡선 운행의 속도제한으로 나타나는 현상이다.

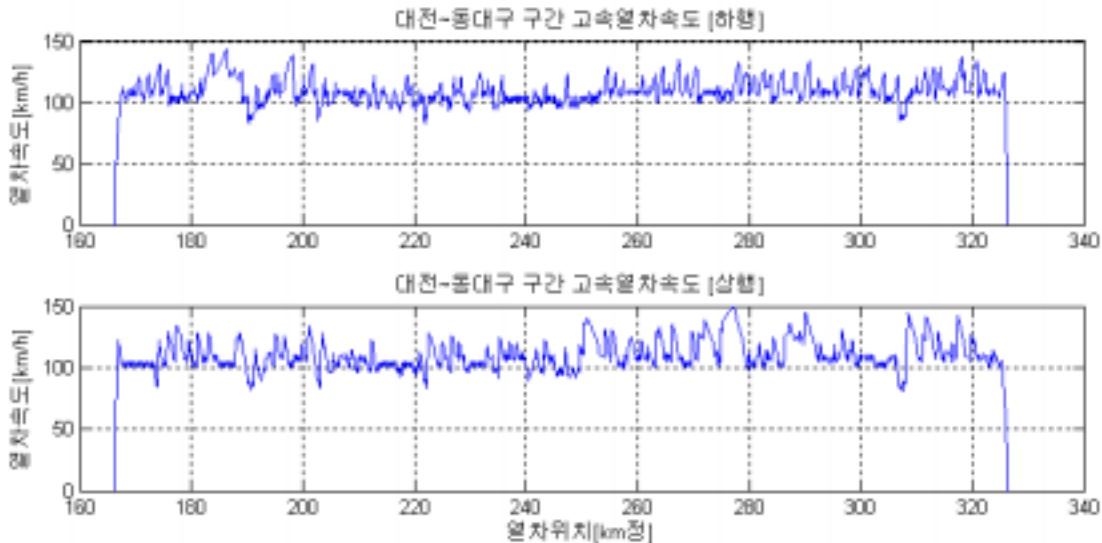


그림 4. 대전~동대구 구간 KTX 고속열차 열차운행시물레이션(기존선 운행시)

② 열차운행 시격

대전~동대구 구간을 운행하는 KTX 고속열차는 1일 편도 62편성이다. 열차의 운행계획은 현재 대전역 및 동대구역의 열차 출발시각을 기준으로 작성하였다.

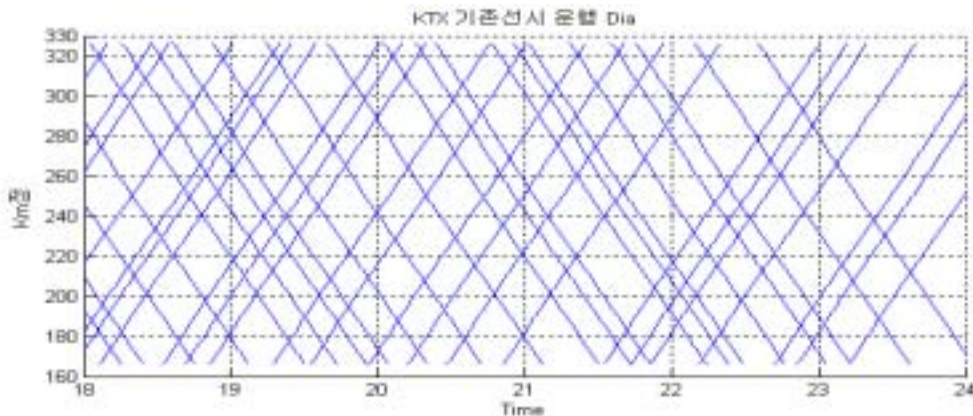


그림 5. 고속열차 기존 경부선 대전~동대구 구간의 열차운행계획

③ 고속열차 운행 검토 - 기존 경부선 고속열차만 운행할 경우

기존 경부선 대전~대구구간에 새마을호 및 무궁화호의 열차를 중지시키고 KTX 고속열차만 운행하는 경우에 대하여 운행 가능여부를 검토하였다.

변전소 정상급전시 옥천S/S 및 사곡S/S 급전구간을 운행하는 차량은 최저전압이 각각 19.91kV와 21.22kV로 정상적인 열차운행이 가능하나 직지사S/S 구간을 운행하는 차량은 아래 그림 6.과 같이 나타나 최저전압이 운행가능 최저전압인 19kV 이하로 정상적인 열차운행이 어려운 것으로 예측되었다. 또한 연장급전의 경우 직지사SS가 고장나서 사곡SS에서 연장급전하는 경우를 제외한 모든 구간에서 연장급전할 경우 열차운행이 어려운 것으로 예측되었다. 이는 옥천SS~직지사SS의 거리가 61.5km로 장거리이며, 기존 경부선 전철변전소의 주변압기가 30/40MVA, 편상 15/20MVA로 전력공급용량이 작기 때문으로 판단된다.

그림 6에서 보듯이 열차의 최저전압이 19kV 이하가 되는 구간은 일부 구간으로 나타났다. 이는 일

부구간에서 KTX 열차의 운행시격이 조밀하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 2.3절에서는 운행가능한 KTX의 열차운행시격을 검토한다.

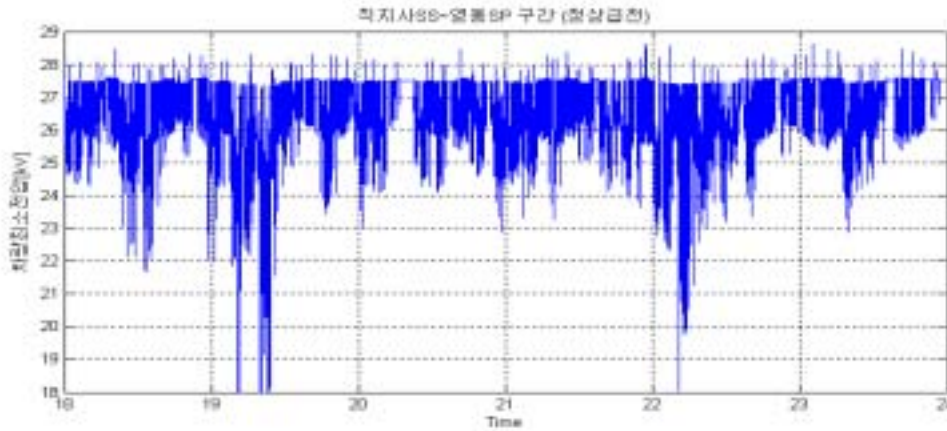


그림 6. 직지사SS T상(직지사SS~영동SP) 구간의 열차최저전압

표 2. 기존선 구간의 전력예측 결과(KTX 고속열차만 운행할 경우, 현 운행시각 기준)

	차량 최저전압				급전 최저전압										
	전압 [kV]	M상	T상	1시간평균최대	15분평균최대	1분평균최대	순시최대	전압 [kV]	M상	T상	1시간평균최대	15분평균최대	1분평균최대	순시최대	
옥천S/S	전압 [kV]	M상	22.22	19.91	22.22	19.91	22.22	19.91	M상	23.94	20.5	23.94	20.5	23.94	20.5
		T상	49.09	45.83	49.09	45.83	49.09	45.83	T상	운행불가	공급불능	운행불가	공급불능	운행불가	공급불능
	전류 [A]	M상	105.6	157.4	105.6	157.4	105.6	157.4	M상	103.6	154.5	103.6	154.5	103.6	154.5
		T상	192.8	302.0	192.8	302.0	192.8	302.0	T상	391.5	569.2	391.5	569.2	391.5	569.2
	부하 [MVA]	M상	5.6	8.3	5.6	8.3	5.6	8.3	M상	5.6	8.3	5.6	8.3	5.6	8.3
		T상	10.1	15.6	10.1	15.6	10.1	15.6	T상	20.5	29.4	20.5	29.4	20.5	29.4
직지사 S/S	전압 [kV]	M상	21.72	19.91	21.72	19.91	21.72	19.91	M상	23.58	20.5	23.58	20.5	23.58	20.5
		T상	47.57	45.83	47.57	45.83	47.57	45.83	T상	운행불가	공급불능	운행불가	공급불능	운행불가	공급불능
	전류 [A]	M상	132.6	166.2	132.6	166.2	132.6	166.2	M상	129.8	161.2	129.8	161.2	129.8	161.2
		T상	205.3	368.8	205.3	368.8	205.3	368.8	T상	405.3	594.6	405.3	594.6	405.3	594.6
	부하 [MVA]	M상	7.0	8.6	7.0	8.6	7.0	8.6	M상	6.9	8.5	6.9	8.5	6.9	8.5
		T상	10.4	18.0	10.4	18.0	10.4	18.0	T상	20.7	29.6	20.7	29.6	20.7	29.6
사곡S/S	전압 [kV]	M상	21.22	19.91	21.22	19.91	21.22	19.91	M상	23.94	20.5	23.94	20.5	23.94	20.5
		T상	46.85	45.83	46.85	45.83	46.85	45.83	T상	운행불가	공급불능	운행불가	공급불능	운행불가	공급불능
	전류 [A]	M상	123.6	234.6	123.6	234.6	123.6	234.6	M상	252.1	413.3	252.1	413.3	252.1	413.3
		T상	179.2	249.8	179.2	249.8	179.2	249.8	T상	196.9	345.6	196.9	345.6	196.9	345.6
	부하 [MVA]	M상	6.5	12.2	6.5	12.2	6.5	12.2	M상	13.2	21.2	13.2	21.2	13.2	21.2
		T상	9.4	12.9	9.4	12.9	9.4	12.9	T상	10.4	17.9	10.4	17.9	10.4	17.9
사곡S/S (직지사S/S 고장시)	전압 [kV]	M상	22.23	19.91	22.23	19.91	22.23	19.91	M상	22.23	20.5	22.23	20.5	22.23	20.5
		T상	49.88	45.83	49.88	45.83	49.88	45.83	T상	23.74	20.5	23.74	20.5	23.74	20.5
	전류 [A]	M상	245.9	390.6	245.9	390.6	245.9	390.6	M상	245.9	390.6	245.9	390.6	245.9	390.6
		T상	174.5	240.8	174.5	240.8	174.5	240.8	T상	174.5	240.8	174.5	240.8	174.5	240.8
	부하 [MVA]	M상	13.1	20.6	13.1	20.6	13.1	20.6	M상	13.1	20.6	13.1	20.6	13.1	20.6
		T상	9.4	12.8	9.4	12.8	9.4	12.8	T상	9.4	12.8	9.4	12.8	9.4	12.8

2.3 기존선 구간 고속열차 운행 가능시격검토

2.2절의 검토 결과 정상급전시 직지사S/S의 T상 직지사S/S~영동SP 구간의 전압강하가 가장 심각한 것으로 나타났다. 또한 일부 시간대에 차량의 집전전압이 19kV이하로 되는 구간이 발생하며 이는 열차의 운행시격이 이러한 구간에서 조밀하기 때문이다. 따라서 직지사S/S~영동SP 구간을 대상으로 고속열차가 운행가능한 최소시격을 검토하며 또한 옥천SS~직지사SS 구간에서 연장급전시 운행가능한 최소시격을 검토하였다.

이를 위하여 직지사S/S~영동SP 구간에 KTX 고속열차의 운행시격을 5분부터 1분씩 증가시키면서

시뮬레이션을 실시하였다. 이에 따른 시뮬레이션 결과는 다음 그림7, 그림8 및 표3과 같다.

KTX 고속열차만이 기존경부선 대전~대구구간을 운행한다고 할 때, 정상급전상태에서는 최소 8분 시격이상으로 또한 연장급전상태에서는 최소 17분 이상의 운전시격으로 운영을 하여야만 열차의 운행이 가능한 것으로 예측되었다.

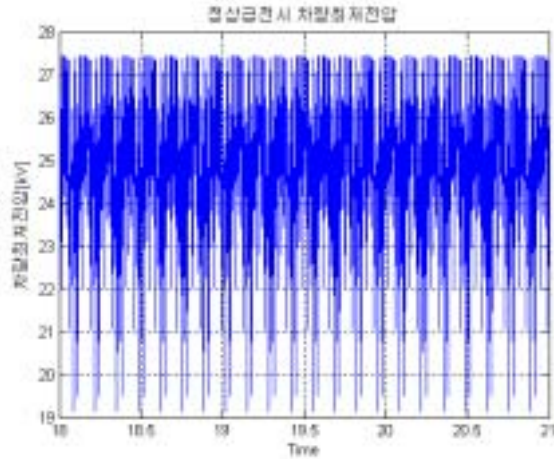


그림 7. 정상급전시 차량 최저전압
(직지사SS~영동SP 구간)

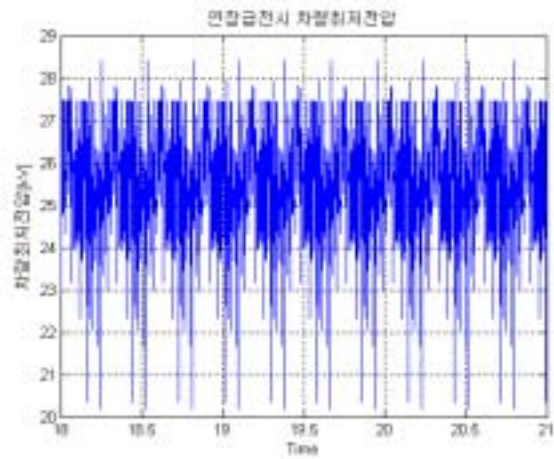


그림 8. 연장급전시 차량 최저전압
(직지사SS~옥천SS)

표 3. 열차운행시격에 따른 열차 최저전압

정상 급전	고속열차시격	5분	6분	7분	8분	9분	10분	11분	12분
	열차 최저전압 [kV]	운행불능	운행불능	운행불능	19.14	19.14	19.63	21.05	21.38
연장 급전	고속열차시격	13분	14분	15분	16분	17분	18분	19분	20분
	열차 최저전압 [kV]	운행불능	18.18	운행불능	운행불능	20.20	19.16	21.01	20.87

3. 결론

경부고속철도 고속선 구간에 사고가 발생하여 고속선로로 고속열차가 운행할 수 없는 경우의 대안으로 기존 경부선을 운행하는 경우에 대하여 검토하였다. 검토 구간으로는 대전역~동대구역 구간을 대상으로 이 구간을 급전하는 기존 경부선 3개 변전소(옥천, 직지사, 사곡변전소)를 대상으로 현재의 열차 운행계획에 따라 기존 새마을호 및 무궁화호 열차가 운행할 때의 전력특성, KTX 고속열차가 운행할 때의 전력특성을 검토하였다.

현재의 고속열차 운행계획, 1일편도 62편성으로 운행할 경우 직지사SS~영동SP 구간에서 전압강하로 인하여 열차 운행이 어려울 것으로 검토되었다. 이 구간은 전체 검토 구간 중 급전거리가 가장 긴 구간이다. 따라서 이 구간에서 고속열차 운행이 가능한 최소시격을 검토한 결과 정상급전 상태에서는 8분, 연장급전 상태에서는 17분 운행시격 이상이 되어야 열차의 운행이 가능할 것으로 예측되었다. 이러한 예측결과는 실제 열차운행특성에 따라서 달라질 수 있으며 또한 전기기관차가 기존선을 운행하는 새마을호 및 무궁화호 열차의 견인할 경우 운행시격이 더 증가되어야 할 것이다.

[참고문헌]

- [1] 한국철도기술연구원(2003), “경부고속철도 서울-대구구간 전력품질 안정화 대책연구 ”
- [2] 오광해, 이장무(2000), “Harmonic analysis based on four-port representation for traction power supply”, ICEE 2000 Proceeding
- [3] 이한민, 오광해, 이장무, 창상훈(2001), “5도체군 등가모델을 이용한 선로정수 예측에 관한 연구”, 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp.443~445
- [4] 이장무, 이한민, 한문섭, 김주락, 정호성(2004), “전기철도 급전계통의 집전전압 안정도 해석”, 철도학회 추계학술대회
- [5] 이장무, 이한민, 김주락, 김길동(2006), “고속철도 운행증가에 따른 전압강하 예측 및 대책”, 전기학회 하계학술대회