

KR E-02060

Rev.5, 27. November 2023

변전소 용량

2023. 11. 27



국가철도공단

REVIEW CHART

[illegible]

목 차

1. 변전소 용량	1
해설 1. 변전소의 용량	2
1. 변전소 용량의 결정	2
2. 변전소의 부하의 산정	2
2.1 1시간최대출력	2
2.2 순시 최대출력	4
3. 급전시뮬레이션	5
3.1 개요	5
3.2 입력데이터	7
3.3 출력데이터	10
4. 수전계통 계산	14
4.1 단락전류의 계산	14
4.2 단권변압기 용량 계산	15
4.3 축전지의 용량계산	17
4.4 소내전원 용량 산정	32
4.5 강제통풍량 계산	33
4.6 전압강하계산	33
4.7 고장전류 계산	34
참조 1. 급전계통 시뮬레이션	36
1. 급전계통시뮬레이션의 시행방법 및 절차	36
2. 급전시뮬레이션 입력조건	37
2.1 전차선로 선로정수	37
2.2 전원계통	38
2.3 열차운영계획	38
2.4 KTX차량 주요제원	39
3. 정차역 유형별 열차주행 시뮬레이션 결과 현황	41
3.1 동대구, 부산역 정차의 경우	41
3.2 동대구, 경주, 부산역 정차의 경우	42



3.3 동대구, 울산, 부산역 정차의 경우	43
3.4 동대구, 경주, 울산, 부산역 정차의 경우	44
4. 변전소별 급전시물레이션 결과	45
4.1 공급부하	46
4.2 집전전압	46
5. 변전소별 전압불평형을 검토	47
RECORD HISTORY	48

경 과 조 치

이 철도설계지침 및 편람(KR CODE) 이전에 이미 시행중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 철도설계지침 및 편람을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 철도설계지침 및 편람(KR CODE)을 국제적인 방식에 맞게 체계를 각 항목별(코드별)로 변경하였습니다. 또한, 모든 항목에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 항목별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 철도설계지침 및 편람(KR CODE)은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별 수정되어 공단 EPMS, CPMS, 홈페이지 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- 철도설계지침 및 편람(KR CODE)에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(편람) 부분은 설계용역 업무수행에 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서로 한다.

1. 변전소 용량

변전소등의 용량은 장래의 수송수요를 감안하여 다음 각 호에 의하여 결정한다.

- (1) 급전구간별의 정상 열차부하조건에서 1시간
최대출력 또는 순시최대출력을 기준으로 한다.
- (2) 주변압기의 표준용량과 최대부하(자냉식 기준)는 다음 표에 준한다.

변압기 종별	표준용량 [MVA]	최대출력 (정격치에 대한 백분율)	순시최대전력 (정격치에 대한 백분율)
스코트결선 변압기	30, 45, 60, 90	100% : 연속, 150% : 2시간	한쪽 상에 대하여 300% 2분간
단권 변압기	5, 7.5, 10, 15	100% : 연속, 150% : 2시간	한쪽 상에 대하여 300% 2분간

- (3) 연장급전에 의한 부하의 증가에 대처할 수 있도록 변전소 용량을 결정한다.
- (4) 변전소용량은 시뮬레이션 결과치를 적용하며, 부득이한 경우에 한하여 유사구간의 실측결과로 산정한다.
- (5) 변전소의 급전용변압기는 장래의 수송수요 등을 감안하여 뱅크를 구성하고 예비용변압기를 두어야 한다.
- (6) 흡상변압기방식과 단권변압기 급전방식의 연결 장소에는 단권변압기와 흡상변압기를 설치하여 하여 급전운용에 지장이 없도록 시설하여야 한다.



해설 1. 변전소의 용량

1. 변전소 용량의 결정

변전소간격 및 위치가 결정되면, 열차의 운행시각표에 따라 변전소 부하(매 시간의 1시간 출력 및 순시최대출력)를 추정 계산하여 변전소 용량을 결정한다.

- (1) 변전소 용량은 예상되는 1시간 최대출력보다 크고 순시최대출력에도 견디는 것으로 한다.
- (2) 변전소 용량은 기기의 점검이나 고장 등에 의하여 사용 정지하는 경우에도 열차부하에 중대한 지장을 주지 않도록 적절한 예비능력을 보유할 필요가 있다. 예비능력을 갖는 것에 대하여는 인근 변전소 운전정지의 경우에도 연장에 의한 부하의 증가에 대처할 수 있도록 변전소 용량을 결정한다. 다만, 말단 변전소는 예비전원을 고려한다.
- (3) 변전소 용량은 장래의 열차운전계획 및 열차운전이 교란되는 영향에 대응할 수 있는 용량으로 한다.

2. 변전소의 부하의 산정

2.1 1시간최대출력

열차의 운행시각표에 의해 각 시간마다, 열차종별마다 변전소 급전담당구간을 운행하는 열차편수를 조사하여 식(1)~(2)에 의하여 계산한다.

2.1.1 일반적 전력소비율 Pm을 이용하는 방법

$$Y_n = P_1 \times W_t \times D \times N \text{ ----- (1)}$$

Y_n : 전력량[kWh]

P_1 : 중량당 전력소비율

W_t : 1열차의 중량

D : 담당급전거리

N : 1시간당의 열차본수

혹은

$$Y_n = P_2 \times C_0 \times D \times N \text{ ----- (2)}$$

P_2 : 차량당 전력소비율

C_0 : 1열차의 차량수

전기차1km당 전력소비량이 불명한 경우는 다음에 의한 것을 표준으로 한다.

정거장 간격이 짧은 경우 2.5[kWh/car · km]

기타의 경우 2.0[kWh/car · km]

2.1.2 운용 열차, 선구를 고려하는 방법

대상선구의 차중, 운용상황을 고려하여 각 운용열차의 전력소비를 이용하여 합계한다. (각 운용열차의 전력소비율에 대하여는 표를 참조)

$$Y_n = \sum (P_i \times C_o \times D \times N_i) \text{ ----- (3)}$$

P_i : 각 운용열차의 전력소비율

N_i : 각 운용열차의 1시간 열차편수

2.1.3 구배에 의하여 보정하는 방법

대상 선로구간에 급경사가 있는 경우 보정계수를 이용하여 구한다.

(보정계수에 대하여는 표를 참조)

$$Y_n = a(P \times C_o \times D \times N)$$

a : **기울기**를 고려한 보정계수

표 1. 전력소비율(열차구간)(예)

[단위: kWh/1,000 t · km]

적 용 범 위		전 기 차			여 객		화 물	
		특급	급행	완행	급행	완행	급행	완행
평탄선(표준소비율)		25	27	33	19	31	11	16
평균 2% 정도의 완만한 일방 기울기 (상하선의 평균)		25	23	32	18	31	9	14
평탄하고 10%일방 기울기 가 조금 있는 선로		30	32	35	21	33	14	20
평탄하고 10%의 상하행 기울기 사이의 선로		41	40	-	34	40	16	-
평균8%의 일방 기울기 선	상행	44	37	39	31	40	21	-
	하행	13	9	13	3	6	5	-
평탄하고 25%일방 기울기 가 조금 있는 선	상행	-	47	-	36	53	22	-
	하행	-	19	-	10	19	5	-
평탄하고 25%의 상하행 기울기 사이의 선로		37	37	-	34	41	23	-

(주) 1. **기울기**에서 전력소비율은 평탄선에서 표준소비율에 표의 수치를 곱한 것으로 한다.

2. 계산에 이용하는 편성중량은 전차의 경우는 표에 의해 전기기관차의 경우 견인톤수에 의한다.

3. 전기차의 보조기기, 냉난방 등의 전력은 표에 의한다.

4. 표는 일본 전철계통의 자료를 근거로 한 자료를 참고로 제시한 것이며 실제로는 급전계통시물레이선에 의하여 변전소 부하를 산정한다.



표 2. 전력 소비율 기울기 배율표(예)

기울기[%]		-15 이상	-10	-5	0	5	10	15	20	25
전차		0.2	0.4	0.6	1	1.5	2	2.5	3	3.5
전기 기관차	1대	0.2	0.4	0.6	1	1.5	2	2.5	3.5	4
	중련							3	4.5	6

표 3. 전차 편성 중량표(예)

전차형식	편성	승차효율	전중량(t)	전차형식	편성	승차효율	전중량(t)
101	4M2T	200	340	183	8M4T	100	540
	6M4T	200	550	185	4M3T	100	310
103	4M2T	200	330		8M7T	100	650
	6M4T	200	540	201	6M4T	200	550

표 4. 전기차의 보기, 난방전력(예)

형식	보기		난방	기사
	최대전력 [kW]	편성		
103	565	6M4T	12kW/량	
105	75	2M2T	“	
113	360	4M4T	“	
115	“	“	15kW/량	
117	375	4M2T	보기에 포함	
165	405	6M4T	15kW/량	
183	475	6M3T	보기에 포함	

2.2 순시 최대출력

2.2.1 열차의 위치와 열차의 전류를 구하여 계산하는 방법

열차의 위치와 열차전류를 구하여 계산하는 방법으로 열차 운행시각표에 의해 변전소에 최대부하가 걸리는 것을 고려한 시점을 선정하여, 이 경우의 열차위치와 열차전류에서 변전소의 순시최대 전류를 구하는 것이다.

다음과 같이 같은 시각에서 A변전소의 각 급전회로의 공급전류를 구하여 그것을 합하면 A변전소의 부하전류를 구할 수가 있다.

이 방법에 의하는 경우에는 순시 최대부하를 발생한다고 생각되는 몇 개의 점에 대하여 계산하여 최대치로 한다.

2.2.2 실험식에 의한 방법

이 방법은 1시간 출력 $Y[kW]$ 와 그 시간대의 순시최대출력 $Z[kW]$ 와의 사이에 다음 관계가 있음을 이용하는 것이다.

$$Z = Y + C\sqrt{Y}$$

Y 는 전항에 의해 구한 1시간 최대출력을 이용한다. C 는 실적, 유사 선구의 예, 혹은 다음 식에 의한다.

$$C = k\sqrt{I_{tm}}$$

다만, I_{tm} 은 그 선구에서 운전하는 1열차의 최대전류(A)이며, $k=1.7$ 이 성립되지만 실적으로 구한다.

부하실적에서 구한 C 를 이용하는 경우 그 선구에서 운전하는 전차편성의 증대 등에 의해 I_{tm} 에 변화가 발생하는 경우는 C 는 I_{tm} 의 평방근에 비례하는 것으로 수정한다.

$$C = 6.21\sqrt{I_{tm}}$$

상기의 식은 열차 횟수가 많은 경우에 정밀도가 높다.

3. 급전시물레이션

3.1 개요

전철차량의 부하 및 전력사용량은 컴퓨터 시물레이션에 의해 구한다. 열차는 급전계통에서 보면 계속 이동하는 집중부하이므로 그 변화가 매우 심하고 다른 열차와의 간격에 따른 영향도 시시각각 다르게 나타난다. 따라서 급전계통에 나타나는 현상을 정확히 파악하기 위해서는 급전계통 자체의 전기적인 특성이외에도 열차의 주행 특성 및 전력 소비 패턴, 열차 운행 계획에 따른 열차의 공간적 분포, 궤도의 기울기 및 곡선반경 등 종합적인 시스템에 대한 해석이 필요하다.

열차 운행 시 변전소에서 공급하는 부하를 산출하기 위해 종래에는 한 대의 열차에 대한 평균 전력에 변전소 공급거리와 열차 밀도를 곱하는 근사적인 방법을 사용해왔으나 프랑스, 영국 등의 철도가 발달된 나라에서는 이미 오래 전부터 시물레이션소프트웨어를 개발하여 실무에 적용하고 있는 상태이다. 시물레이션은 급전 설비의 용량 결정뿐만 아니라 기존 시스템에서 열차의 운행 계획을 변경할 때에 그에 따른 전체 전력 소비량의 변화를 예측하고 급전계통 측면에서 공급이 가능한지를 검토하는 데에도 사용된다.



급전 계통의 설계에 있어서 열차의 주행 성능과 관련하여 상세히 검토해야 할 사항은 급전계통의 전압강하이다. 열차가 주행하는 데에 충분한 성능을 보장하기 위하여 전차선의 전압이 적정하게 유지되어야 하지만 여러 대의 열차가 운행하는 상황에서는 전압의 변동이 심하게 나타나기 때문에 시뮬레이션을 통하여 변전소의 위치 및 용량, 급전선로의 용량 등의 설계 시에 이를 반영하여야 한다. 또한 열차운행 계획의 변경 시에도 급전계통 측면에서 전력 수요가 용량 범위 내에 있는지, 전압 유지가 가능한 지 검토해 보아야 한다.

그림은 급전계통 시뮬레이션 과정을 설명하고 있다. 우선 검토 대상 선로에 투입될 열차의 종류 및 그 운행 패턴을 설정하여 각각에 대한 열차주행 시뮬레이션을 수행하면 운행 구간 내에서 시각별 위치, 속도, 전력소비량 등이 계산된다. 이렇게 계산된 열차 운전곡선을 열차운행 계획에 따라 배열하면 매 순간마다 모든 열차의 위치 및 소비전력이 결정되므로 이를 추출하여 각 변전소마다 공급 구간 내에 있는 열차의 소비전력을 합산하여 변전소 부하를 계산할 수 있고 각 열차 위치에서의 전압을 계산할 수 있다. 다음은 장래계획을 고려한 시뮬레이션의 예를 설명하였다.

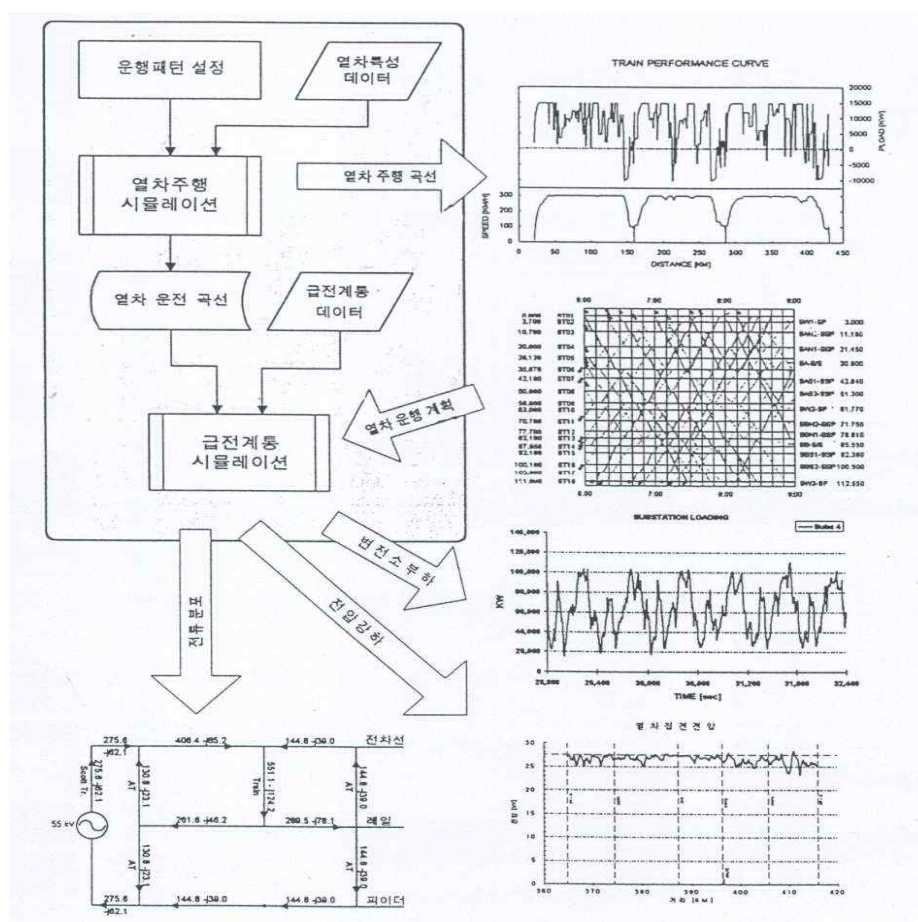


그림 1. 급전시뮬레이션 흐름도

3.2 입력데이터

3.2.1 열차운행방안

설계노선의 열차운행계획에 따라 영업시간대 구분 및 목표연도별 전동차 운행회수, 목표연도별 차종별 1일 운행회수에 대한 데이터를 수집한다.

표 5. 영업시간대 구분(예)

구 분		영 업 시 간 대	
		전 동 차	화 물 열 차
첨두시	오 전	07:00~09:00(2시간)	00:00~24:00
	오 후	17:00~19:00(2시간)	
비 첨 두 시		06:00~07:00 09:00~17:00 19:00~24:00	

표 6. 목표연도별 전동차 운행회수(예)

구 분		전동차		
		6량	8량	10량
운행회수 [회/첨두시]	2010년	10	7	5
	2015년	10	7	5
	2020년	10	8	6

표 7. 목표연도별 차종별 1일 운행회수(예)

구 분		전동차			화물열차	총 운행회수		
		6량	8량	10량		6량	8량	10량
운행회수 [회/첨두시]	2010년	134	97	82	3	137	100	85
	2015년	134	97	82	3	137	100	85
	2020년	134	107	89	3	137	110	92



3.2.2 열차운전특성

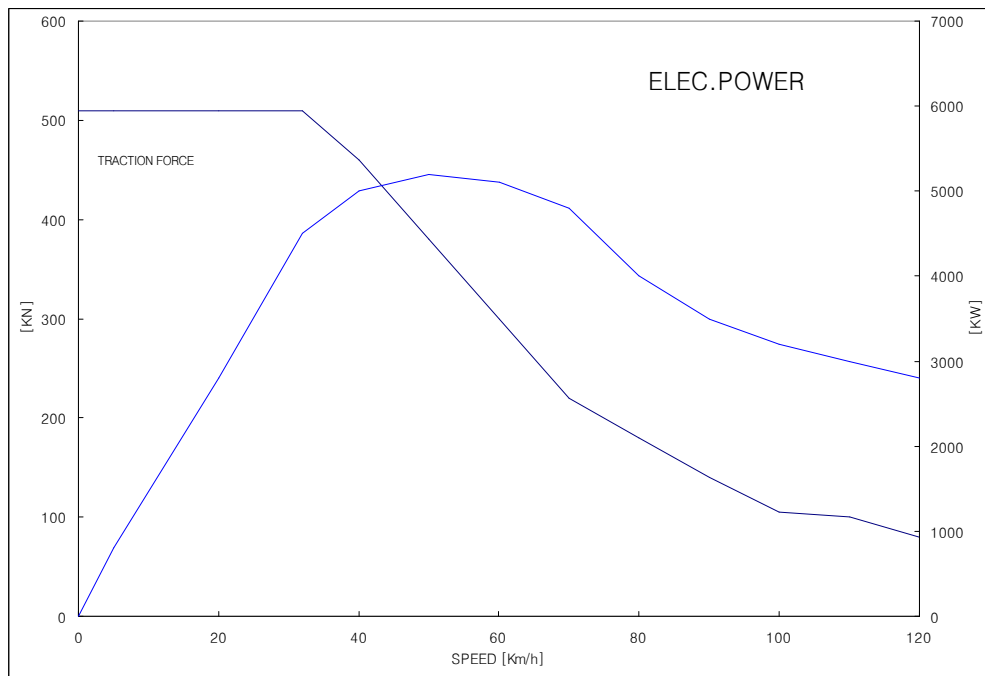


그림 2. 전동차의 속도에 대한 견인력 특성(예)

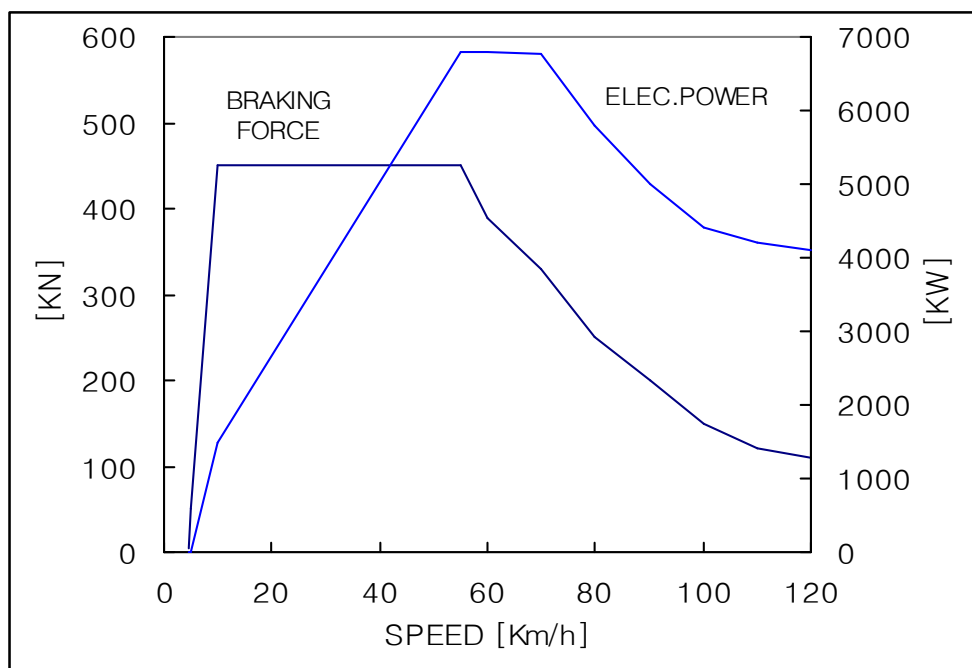


그림 3. 전동차의 속도에 대한 제동력 특성(예)

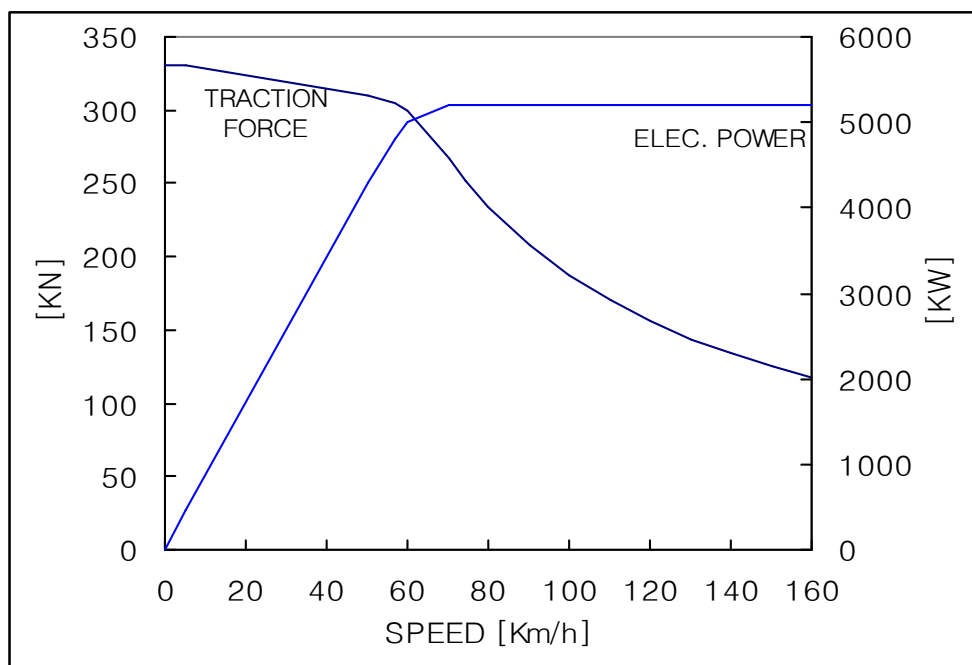


그림 4. EL열차의 속도에 대한 견인력 특성(예)

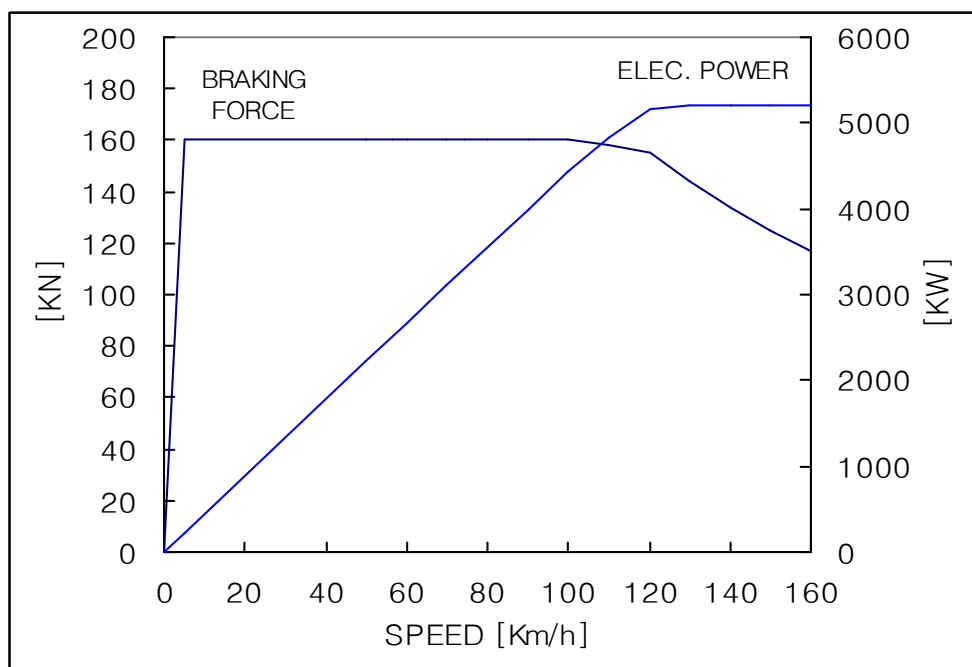


그림 5. EL열차의 속도에 대한 제동력 특성(예)



3.2.3 선로조건

선로조건에 대한 데이터를 수집한다.

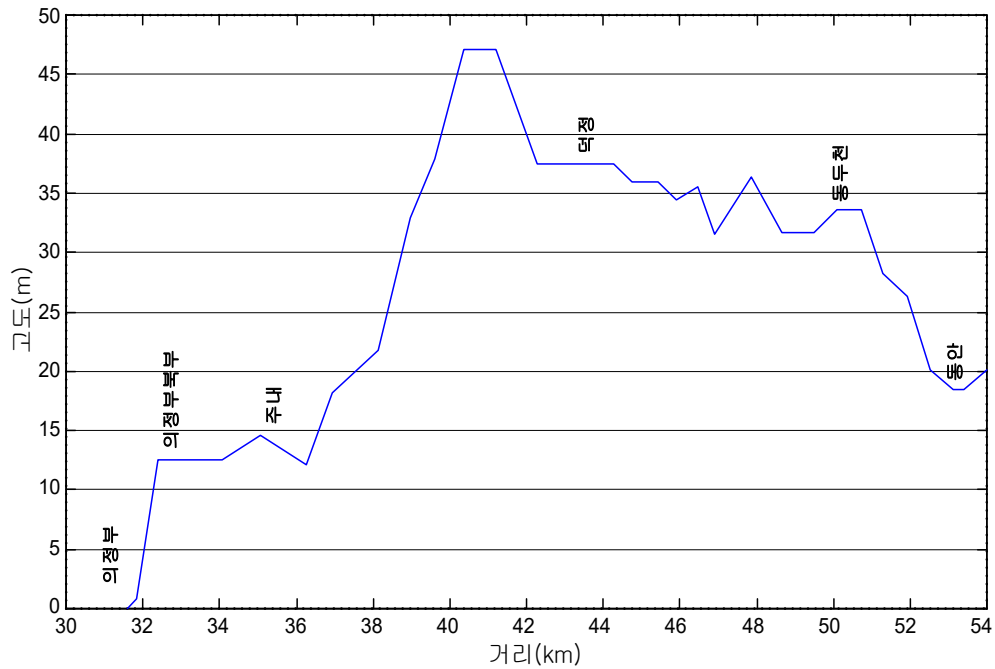


그림 6. 선로 데이터

3.3 출력데이터

3.3.1 열차주행 시뮬레이션

열차운전곡선, 급전계통데이터, 열차운전계획을 입력하여 열차가 상, 하행선을 주행하는 상황을 열차데이터, 선로데이터를 사용하여 각각 시뮬레이션 한다.

표 8. 열차주행 시뮬레이션용 데이터(예)

열차	운행 방향	구간	거리 [km]	운행시간 [분]	표정속도 [km/h]	건인에너지 [kWh]	회생에너지 [kWh]
전동열차 (6량편성)	상행		21.9	29.31	44.83	358.25	83.52
	하행		21.9	29.13	45.11	316.99	82.12
전동열차 (8량편성)	상행		21.9	29.51	44.53	465.80	112.47
	하행		21.9	29.17	45.05	412.79	112.51
전동열차 (10량편성)	상행		21.9	29.49	44.56	584.75	141.17
	하행		21.9	29.15	44.07	517.61	137.48
화물열차 (6량편성)	상행		21.9	20.18	65.11	318.56	9.09
	하행		21.9	20.23	64.96	306.08	12.21
화물열차 (8량편성)	상행		21.9	20.21	65.03	399.04	9.23
	하행		21.9	20.26	64.86	384.31	13.03
화물열차 (10량편성)	상행		21.9	20.20	65.05	484.34	9.29
	하행		21.9	20.29	64.76	451.65	13.00

(주) 운행시간은 정거장 정차시간을 제외한 것임.



3.3.2 변전소 부하

열차운전곡선, 급전계통데이터, 열차운전계획에 따라 시뮬레이션 한 정상급전 및 연장급전시의 변전소 부하, 열차 집전전압 및 전압강하에 대하여 검토하고 열차운행에 이상이 없는지 분석한다.

표 10. 정상급전시 변전소 부하(예)

변전소	급전 구간	상	공급 거리 [km]	년 도	1시간 RMS최대 [MW]	15분 RMS최대 [MW]	1분 RMS최대 [MW]	순시최대 [MW]
		M	22.74	2010년	18.126	18.946	26.245	30.145
				2015년	18.126	18.946	26.245	30.145
				2020년	19.341	19.863	26.460	28.516

표 11. 열차 집전전압(예)

년 도	집 전 전 압[kV]	
	최소	최대
2010년	23.21	27.45
2015년	23.21	27.45
2020년	23.80	26.77

표 12. 전차선 전류(예)

변전소	급전 구간	상	공급 거리 [km]	년 도	1시간 RMS최대 [A]	15분 RMS최대 [A]	1분 RMS최대 [A]	순시최대 [A]
		M	22.74	2010년	333.194	348.459	484.563	558.318
				2015년	333.194	348.459	484.563	558.318
				2020년	355.619	365.378	488.523	527.300

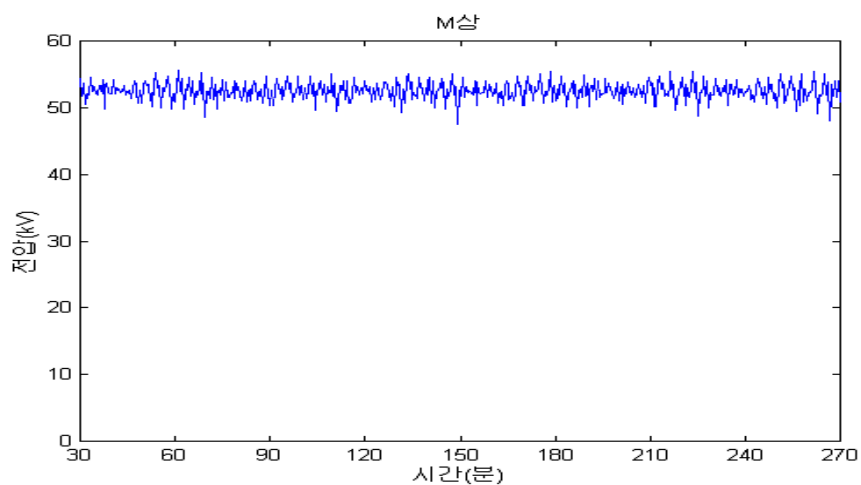


그림 8. 2010년 변전소 급전전압

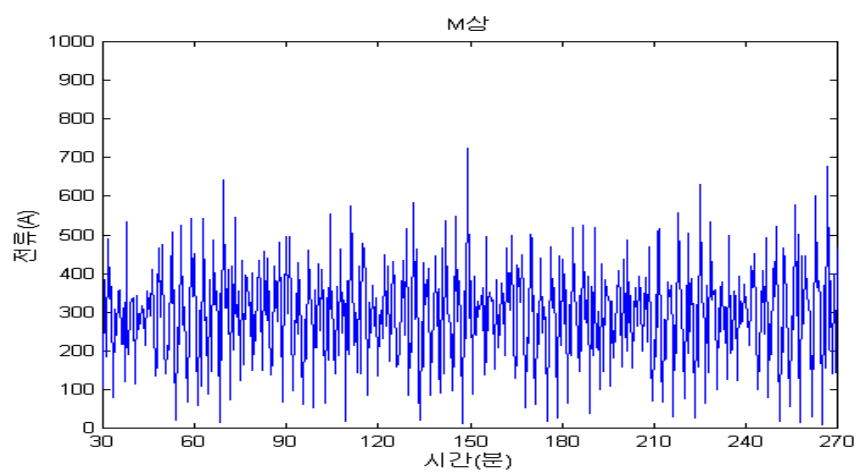


그림 9. 2010년 전차선 전류

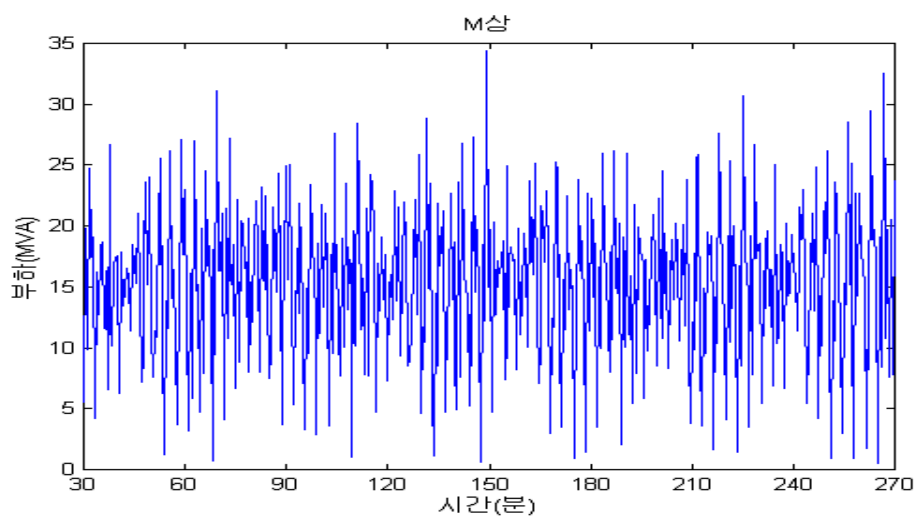


그림 10. 2010년 변전소 공급부하



3.3.3 전력사용량

영업시간대를 첨두시와 비첨두시로 나누고 각각의 경우에 대해서 1시간 평균 전력 사용량을 구한다.

표 13. 1시간 평균 전력사용량(예)

년 도	1시간 평균 전력사용량[kWh]	
	첨두시	비첨두시
2010년	18,095	13,961
2015년	18,095	13,961
2020년	19,334	14,599

1일 전력사용량은 위 1시간 평균 전력사용량을 고려하여 구하고 연간 전력사용량은 영업일수 365일을 고려하여 구한다.

표 14. 1일 및 연간 전력사용량(예)

년 도	영업일수	1일 전력사용량[kWh]	연간 전력사용량[MWh]
2010년	365	267,834	97,759
2015년	365	267,834	97,759
2020년	365	281,722	102,828

4. 수전계통 계산

수전계통의 계산에는 단락전류, 단락용량, 전압강하 및 교류급전용 변전소의 불평형을 등이 있다. 이 계산의 기초가 되는 것은 수전계통의 임피던스이며, 이것은 일반적으로 3상 100MVA기준의 %임피던스로 표시된다. 동일 변전소에도 전원계통의 변경에 의해 %임피던스가 다른 경우가 있다.

4.1 단락전류의 계산

차단기의 차단용량, 주 회로배선, CT의 과전류강도의 결정, 계전기의 정정 등의 목적으로 3상 단락전류의 계산은 다음에 의한다.

(1) 계통의 100MVA기준의 %임피던스(%Z)를 구한다.

$$\%Z = \frac{\text{임피던스}(\Omega) \times \text{기준(kVA)}}{10 \times [\text{전압(kV)}]^2}$$

다만, 임피던스[Ω]----- 계통의 실제 임피던스

기준[kVA]----- 100MVA기준시 100,000

전압[kV]----- 공칭전압

(2) 3상 단락용량을 구한다.

$$\text{3상 단락용량} = \frac{100}{\%Z} \times 100 [\text{MVA}]$$

(3) 3상 단락전류의 실효치 I_s

$$I_s = \frac{\text{3상단락용량(MVA)}}{\sqrt{3} V_n (\text{kV})} [\text{kA}]$$

다만, V_n 는 공칭전압

4.2 단권변압기 용량 계산

4.2.1 계통 전원 Impedance에 의한 전철변전소 단권변압기 용량 계산

변전소 단권변압기 용량계산 및 Feeder 차단 전류 등을 계산시 주변압기 2Bank 운전 가능성을 고려하여 병렬 운전 조건에 대하여 검토한다.

(1) 용량 계산식

$$W > \frac{I_s}{2} \times E_o \frac{1}{25} = \frac{1}{50} E_o I_s [\text{kVA}]$$

W : AT 자기용량 (自己容量)

I_s : 사고점 전류 (전차선 전압환산) [A]

E_o : AT 정격단자 전압 27.5[kV]

(2) 사고점 전류 I_s 의 계산식

$$I_s = \frac{E_o}{2Z_s + Z_t + Z_\ell} \dots \dots \dots [\text{kA}]$$

Z_s : 전차선 전압, 단상환산의 전원 Impedance (100MVA 기준)

$$Z_s = \frac{(E_o)^2 \times 10 \times \%Z_s}{100 \times 1000} \dots \dots \dots [\Omega]$$

Z_t : 전차선 전압환산 급전용 변압기 Impedance

(P_t : 편상용량 kVA 기준)

Z_ℓ : 변전소에서 사고점까지의 전차선로 Impedance 는 구내이므로 $Z_\ell = 0 [\Omega]$ 로 한다.

(3) 전원 및 변압기 Impedance 계산

○ 전원 Impedance 및 M.TR

- 주변압기 단독운전시 고려하되 주변압기 2Bank 운전 가능성이 있을 경우 $\%Z_t$ 는 병렬운전 조건을 반영한다.

※ $\%Z_t$ 는 단독운전 조건 또는 병렬운전조건으로 한다.

$$\begin{aligned} Z &= Z_{S1} + Z_{SL1} + Z_{TR} \\ &= 0.3446 + j 5.4078 = 5.4188 [\Omega] \end{aligned}$$



(4) Is 계산내용

$$I_s = \frac{27,500}{5.4188} = 5.075 \text{ [kA]}$$

(5) 용량계산내용

○ 전철변전소(단락강도 25배 적용시)

$$\begin{aligned} W &\geq \frac{1}{50} \times E_o \times I_s \\ &= \frac{1}{50} \times 27.5 \text{ [kV]} \times 5,075 \text{ [A]} = 2,791.3 \text{ [KVA]} \end{aligned}$$

○ 전철변전소(단락강도 35배 적용시)

$$\begin{aligned} W &\geq \frac{1}{70} \times E_o \times I_s \\ &= \frac{1}{70} \times 27.5 \text{ [kV]} \times 5,075 \text{ [A]} = 1,993.8 \text{ [KVA]} \end{aligned}$$

∴ 단락전류에 의한 계산용량은 표준규격 정격용량에 따라 5,000[kVA]를 선정하는 것이 적정

4.2.2 최대 출력전류에 의한 S/S, SP, SSP 개소의 단권변압기 용량 계산

(1) 용량 계산식

$$W > E_o \times \frac{I_{tm}}{2} \times \frac{1}{2.5} = \frac{1}{5} E_o I_{tm} \text{ [kVA]}$$

표 16. 열차 견인 출력[kW]

열차특성	KTX-I	KTX-II	EL8500	비 고
최대연속출력	15,485	9,800	6,600	
최대견인출력	13,560	8,800	-	
보조출력	1,925	1,000	-	

Itm : 열차 1편성 최대출력 전류[A]

$$= \frac{\text{열차당 최대출력}}{\text{역율} \times \text{정격전압}} = \frac{15,485}{0.95 \times 27.5} = 593 \text{ [A]}$$

참고 : 최대출력

조건 : 최대 1편성과 열차지연 운행을 고려 1편성의 열차 추가

위의 식에 따라 계산한 값으로 표준 규격 정격용량에 따라 선정

(2) 용량계산내용

$$W > 27.5 \times \frac{593 \times 2\text{대}}{2} \times \frac{1}{2.5} = \frac{1}{5} \times 27.5 \times (593 \times 2\text{대}) = 6,523 \text{ [kVA]}$$

∴ 최대 출력전류에 의한 계산용량은 표준규격 정격용량에 따라 7,500[kVA]를 선정하는 것이 적정

4.2.3 용량선정

계산결과에 따라 철도용품 표준규격에 적합한 정격용량을 선정하였으며 과부하내량은 150% 부하에서 2시간 또는 300% 부하에서 2분으로 함.

표 17. 단권변압기 용량 선정표

변전설비	계 산 값[kVA]		단위용량선정 (자기용량) [kVA]	비 고
	계통전원 임피던스	최대출력		
S/S	2,791.3	6,523	7,500	
SP, SSP	2,791.3	6,523	7,500	

4.3 축전지의 용량계산

4.3.1 일반사항

- (1) 변전소 및 급전구분소의 경우 정류기는 이중화로 구성하고, 축전지는 단일로 설치한다.
- (2) 축전지의 충전방식은 부동충전방식으로 하며, 운전시간은 2시간¹⁾ 이상 연속운전이 가능하여야 한다.

4.3.2 용어설명

- (1) 연속부하(상시부하) : 부하곡선 전체를 통하여 연속 운전되는 부하
- (2) 비연속부하 : 부하곡선이 일부시간 동안 운전하는 부하
- (3) 순간부하 : 동작시간이 1분을 넘지 않는 짧은 기간 동안 발생하는 부하
- (4) 불확실성부하 : 부하곡선 중 운전시간을 예상하기 어려운 부하(비연속부하이며 순간부하)

연속부하	비연속 부하	순간부하
배전반 및 제어감시반의 표시 등 비상조명등 소규모 제어장치 고장점표정반 전철제어반 계속적으로 여자되는 코일 계측기기 전원 기타	통신 계통전원 화재보호 설비	차단기, 단로기 조작전원 전동기 기동전류 전동조작밸브 동작전류

1) 한전 DS-2570 축전지 및 충전기 용량 결정기준



4.3.3 축전지 용량산정 절차

축전지 용량산정은 다음 절차로 시행한다.

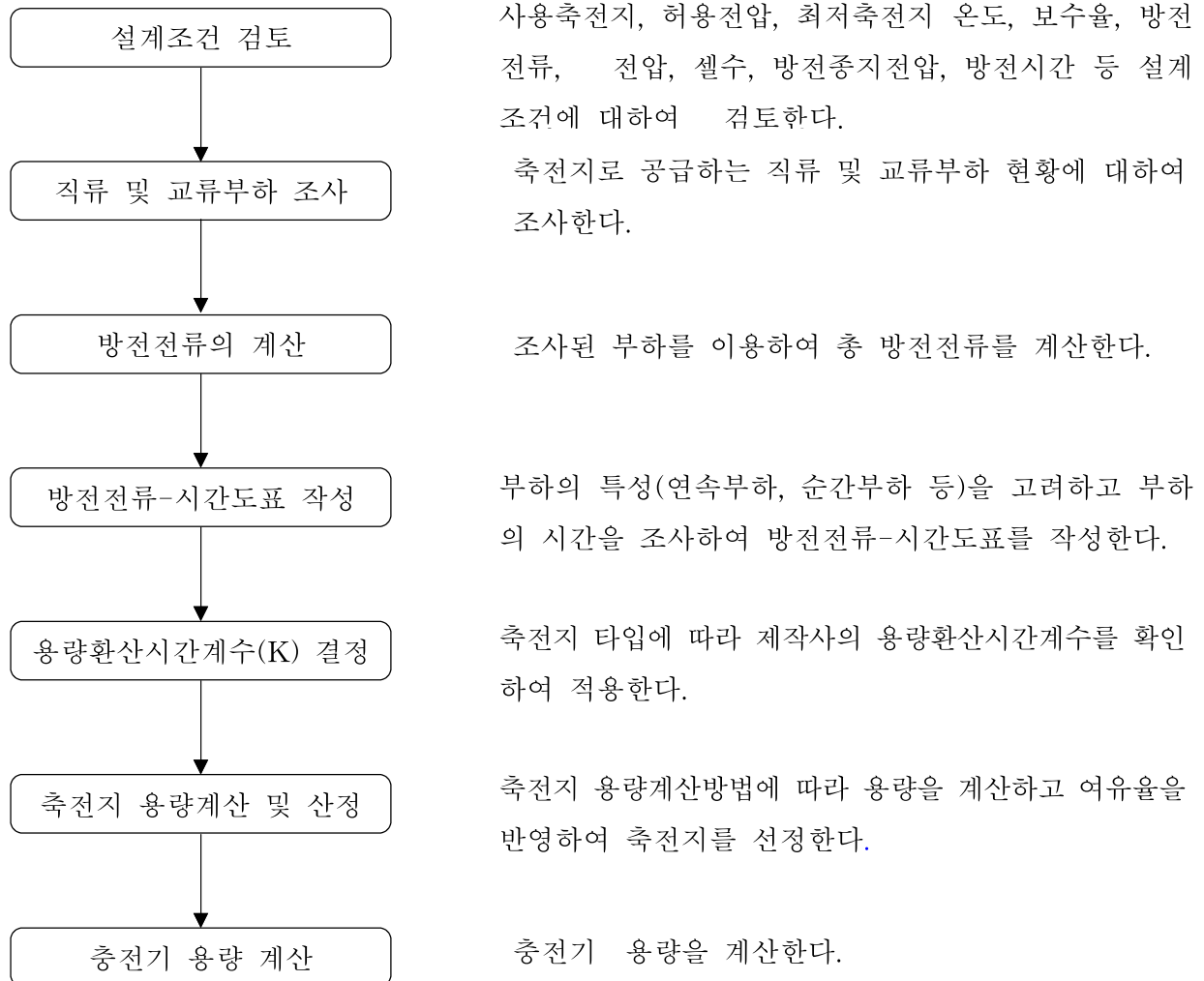


그림 1. 축전지 및 충전기 용량결정 절차

4.3.4 설계조건 검토

(1) 사용축전지

철도 설계지침 및 편람(KR E-02110)의 축전지 형식을 기준으로 환경성, 유지보수성, 신뢰성 등을 고려하여 선정한다.

(2) 허용전압 : 최고 121[V], 최소 93.5[V]

최고 및 최소전압의 기준은 다음과 같다.

구 분	정격전압[V]	최저전압[V]	최고전압[V]
국가철도공단	DC 110	93.5 정격전압의 85%	121[V] 정격전압의 110%
한국전력	DC 125	105 정격전압의 84%	140[V] 정격전압의 112%

① 철도 변전설비의 직류전압 허용범위

제어용 전원을 사용하는 변전설비의 최저전압은 일반적으로 85~110%의 변동범위를 가지고 있으며 GIS의 트립시에는 정격치의 70%에도 제어가 가능하나, 투입과 트립을 동시에 만족하기 위하여 정격치의 85%를 최저전압으로 결정

기기종류	장치 및 기구별		정격치[V]	변동범위[%]	최저 전압	최고 전압
170, 72.5, 29kV GIS	조작장치	전동 및 전동스프링식	DC 110	투입 : 정격치의 85~110	93.5	121
				트립 : 정격치의 70~110	77	121
	제어장치	보조릴레이 등	DC 110	투입 : 정격치의 85~110	93.5	121
				트립 : 정격치의 60~110	66	121
전철제어반	보호계전기		DC 110	85~110	93.5	121
	컨트롤러		DC 24 or DC 110	85~110	93.5	121
	통신제어장치		DC 110	85~110	93.5	121
고장점포정 장치	흡상전류 방식	모장치	DC 110	85~110	93.5	121
		자장치	DC 110	85~110	93.5	121
	임피던스 방식	임피던스 계전기	DC 110	85~110	93.5	121

변전설비 제작시방서의 직류전원 범위

② 한전의 축전지 및 충전기 용량 결정기준의 직류전압 허용범위

직류계통의 정격전압은 125V, 최대허용전압은 140V(정격치의 112%), 최저허용전압은 105V (정격치의 84%)

(3) 최저축전지 온도 : 5[℃]

축전지는 온도가 낮아지면 방전특성이 낮으며, 온도가 높아지면 방전특성이 양호해
지나 35~45℃부근에서 좋아져서 45℃이상이 되면 다시 저하한다. 축전지의 최저온도는



실내에 설치하는 경우에는 +5℃, 옥외 큐비클에 설치하는 경우에는 최저주위온도 5~6℃, 추운 지방에서는 -5℃로 한다.

(4) 보수율 : 0.8

축전지는 장기간 사용하거나 사용 조건 등이 변경되기 때문에 이 용량 변화를 보상하는 보정치로서 보통 L=0.8을 사용한다.

(5) 방전전류 : 최대 부하 전류치를 적용한다.

(6) 전 압 : DC 110[V]

(7) 축전기 셀수의 결정²⁾

셀수는 부하의 제한 전압과 최저 제한 전압 등을 고려하여 결정한다.

일정한 부하에 대하여 셀수를 적게 하면 최고 제한 전압에 대해서는 안전하지만 용량이 큰 축전지가 필요하다. 또 셀수를 많이 하면 축전기 용량은 작아도 되지만 충 방전시의 과대 전압을 피하기 위하여 전압조정장치가 필요하다. 그러므로 셀수의 선정은 이들 관계를 종합적으로 검토하여 결정한다.

① 직류계통 최대허용전압을 이용한 전지 수는 아래 식에 의한다.

$$\text{전지 수} = \frac{\text{최대허용전압}}{\text{균등충전전압}}$$

② 직류계통 최저허용전압을 이용한 전지 수는 아래 식에 의한다.

$$\text{전지 수} = \frac{\text{최저허용전압}}{\text{방전종지전압}}$$

③ 직류공칭전압과 셀당 공칭전압을 이용하여 계산한다.

$$\text{전지 수} = \frac{\text{부하의 정격전압}}{\text{축전지의 공칭전압}}$$

④ 전지 수의 결정

직류계통 최대, 최저허용전압 및 직류공칭전압에 따라 결정된 전지 수를 소수점 첫째 자리에서 반올림하여 큰 쪽을 택한다.

2) DS-2570 축전기 및 충전기 용량 결정기준 및 전기설비기술기준 핸드북 4.2.2 축전지용량계산

(8) 방전중지전압

허용 최저 전압은 부하측의 각 기기에서 요구하는 최저 전압 중에서 최고의 값에다 축전지와 부하 사이의 접속선의 전압강하를 합한 것³⁾으로 다음과 같으며 전압강하에는 단위전지 상호간 접속도체에 의한 강하도 포함된다.

$$V = \frac{V_a + V_c}{n}$$

V : 방전중지전압(축전지의 허용 최저전압[V])

V_a : 부하의 허용 최저전압[V]

V_c : 축전지와 부하간의 전선의 전압강하[V]

n : 축전지의 직렬개수

$e = \frac{35.6LI}{1000A}$ 단상 2선식 및 직류 2선식의 전압강하

e : 전압강하, A : 전선의 단면적[mm²], L : 전선 1본의 길이, I : 전류

(9) 방전시간 : 2시간, 한전 DS-2570 축전지 및 충전기 용량 결정기준의 방전시간 2시간을 적용한다.

(10) 용량환산 시간 K의 결정

K는 방전시간, 축전지의 온도 및 허용 최저전압으로 정해지며 축전지 제작사에 따라 정해진다.

4.3.5 축전지의 부하조사

(1) 비상전원 사용설비 현황 조사

설비종류	AC 전원(220V 등) (Inverter사용)				DC 전원(110V) (정류기사용)			
	SS	SP	SSP	PP	SS	SP	SSP	PP
170kV GIS	-	-	-	-	○	-	-	-
72.5kV GIS	-	-	-	-	○	○	○	○
MTR	-	-	-	-	○	-	-	-
소규모SCADA	○	-	-	-	-	-	-	-
전철제어반(170kV GIS)	○	-	-	-	○	-	-	-
전철제어반(72.5kV GIS)	○	○	○	○	○	○	○	○
고장점표정반	○	○	○	○	○	○	○	○
원격진단시스템	○	○	○	○	-	-	-	-
전력품질분석장치	○	-	-	-	-	-	-	-
비상등	-	-	-	-	○	○	○	○

3) 전기설비기술기준 핸드북 4.2.2 축전지용량계산



- * 무인감시장치(영상감시장치, 출입문감시장치 등)의 전원은 통신분야에서 별도의 UPS(용량 : 통상 5kVA)를 설치하므로 반영하지 않음

(2) 변전설비 직류 및 교류전원 사용부하 조사의 예

① 변전소 직류부하조사

직류부하를 사용하는 기기의 정격부하를 조사하여 순간부하와 연속부하를 구분하여 정리한 후 부하의 합계를 구한다. 변전소의 순간부하는 차단기 투입 및 트립시, 비상등 점등시, 전철제어반 재기동시 순간적으로 직류부하가 필요하며 다음과 같이 발생할 수 있는 조건을 Case 1, 2, 3로 구분한다.

가. Case 1 : (급전반 차단기 4대가 동시에 트립되는 경우+비상등 점등)

차단기의 투·개방은 순차적으로 동작되어 동시에 많은 전류가 필요하지 않으나, 급전반의 차단기가 동시에 개방할 경우에는 일시적으로 많은 전류가 소요된다. 따라서 차단기 트립시 1대에 $5.3A \approx 6A$ 로 산정하고 4대를 계산하면 24A가 소요되며, 비상등 20개가 점등되었을 경우 10A로 총 34A가 필요하다. (전철제어반 재기동시에는 차단기를 제어할 수 없으므로 제외)

나. Case 2 : (차단기 1대 동작+비상등 점등)

비상등이 켜져 있는 상태에서 차단기 1대가 동작할 경우를 가정하여 부하를 산정한다.

다. Case 3 : (비상등 점등+전철제어반 재기동)

비상등이 점등된 상태에서 전철제어반 재기동시 부하를 산정한다.

종류	전원	부하종류	기기	개별부하[W]	A	면수	Case1	Case 2	Case 3
170kV GIS	DC 110V	순간부하	CB	420/EA	3.8	1	24	0	0
170kV GIS	DC 110V	순간부하	DS+ES	585/EA	5.3	1		0	0
170kV GIS	DC 110V	순간부하	DS	285/EA	2.6	1		0	0
170kV GIS	DC 110V	순간부하	HES	250/EA	2.3	1		0	0
72.5kV GIS	DC 110V	순간부하	CB	495/EA	4.5	1		4.5	0
72.5kV GIS	DC 110V	순간부하	DS	138.6/EA	1.26	1		0	0
전철제어반	DC 110V	순간부하	전원 제어동시	1100/LOT	10	1	0	0	10
비상등	DC 110V	순간부하	비상램프	55/EA	0.5	20	10	10	10
소 계							34	14.5	20
170kV GIS	DC 110V	연속부하	Ann.Lamp	2/Channel	0.018	5	0.09	0.09	0.09
170kV GIS	DC 110V	연속부하	Pilot Lamp	2/EA	0.018	5	0.09	0.09	0.09
170kV GIS	DC 110V	연속부하	Buzzer	5/EA	0.045	5	0.225	0.225	0.225
170kV GIS	DC 110V	연속부하	Timer	2/EA	0.018	5	0.09	0.09	0.09
170kV GIS	DC 110V	연속부하	Aux relay	7.6/EA	0.069	5	0.345	0.345	0.345
170kV GIS	DC 110V	연속부하	MCCB	1/EA	0.009	5	0.045	0.045	0.045
72.5kV GIS	DC 110V	연속부하	Ann,Lamp	2/Channel	0.018	10	0.18	0.18	0.18
72.5kV GIS	DC 110V	연속부하	Pilot Lamp	2/EA	0.018	10	0.18	0.18	0.18
72.5kV GIS	DC 110V	연속부하	Buzzer	5/EA	0.045	10	0.45	0.45	0.45
72.5kV GIS	DC 110V	연속부하	Timer	2/EA	0.018	10	0.18	0.18	0.18
72.5kV GIS	DC 110V	연속부하	Aux relay	7.6/EA	0.069	10	0.69	0.69	0.69
72.5kV GIS	DC 110V	연속부하	MCCB	1/E	0.009	10	0.09	0.09	0.09
전철제어반	DC 110V	연속부하	콘트롤러등	550/LOT	5	1	5	5	5
고장점표정반	DC 110V	연속부하	제어 감시등	55/LOT	0.5	1	0.5	0.5	0.5
소 계							8	8	8
합 계							42	23	28

변전소 직류 부하조사 사례

② 변전소 교류부하조사

인버터를 통해 공급되는 교류부하에 대하여 각 기기별로 부하용량을 조사한다.

종류	전원	부하종류	기기	개별부하[W]	면수	Case1
170kV GIS	AC 220V	연속부하	히터(CB Case)	200/EA	5	1000
170kV GIS	AC 220V	연속부하	LCP	100/EA	5	500
170kV GIS	AC 220V	연속부하	조작기	30/EA	5	150
170kV GIS	AC 220V	연속부하	FL	20/EA	5	100
170kV GIS	AC 220V	연속부하	Counter	3.5/EA	5	17.5
170kV GIS	AC 220V	연속부하	HS	4/EA	5	20
170kV GIS	AC 220V	연속부하	TH	6/EA	5	30
170kV GIS	AC 220V	순간부하	유압스프링모터	470/EA	5	0
72.5kV GIS	AC 220V	연속부하	히터 CB Case	200/EA	10	2000
72.5kV GIS	AC 220V	연속부하	LCP	100/EA	10	1000
72.5kV GIS	AC 220V	연속부하	조작기	30/EA	10	300
72.5kV GIS	AC 220V	연속부하	FL	20/EA	10	200
72.5kV GIS	AC 220V	연속부하	Counter	3.5/EA	10	35
72.5kV GIS	AC 220V	연속부하	HS	4/EA	10	40
72.5kV GIS	AC 220V	연속부하	TH	6/EA	10	60
72.5kV GIS	AC 380V	순간부하	유압모터	750/EA	10	0
소규모장치	AC 220V	연속부하	서버	762/EA	1	762
소규모장치	AC 220V	연속부하	모니터	21/EA	1	21
소규모장치	AC 220V	연속부하	프린터서버	30/EA	1	30
소규모장치	AC 220V	연속부하	이벤트프린터	46/EA	1	46
소규모장치	AC 220V	연속부하	칼라레이저프린터	458/EA	1	458
소규모장치	AC 220V	연속부하	통신제어장치	80/EA	1	80
소규모장치	AC 220V	연속부하	모뎀	5/EA	4	20
전철제어반	AC 220V	연속부하	콘트롤러등	200/LOT	1	200
고장점표정반	AC 220V	연속부하	콘트롤러등	200/LOT	1	200
원격진단장치	AC 220V	연속부하	콘트롤러등	800/LOT	1	800
전력품질감시장치	AC 220V	연속부하	콘트롤러등	800/LOT	1	800
합 계						8,869.5

변전소 교류부하 조사사례



* 유압 모터는 차단기 투·개방시 순차적으로 동작하므로 부하함계에서 제외하며, 기기별 개별부하의 수량을 조사하여 반영한다.

③ 급전구분소 등 직류부하조사

가. Case 1 : (급전반 차단기 4대가 동시에 트립되는 경우+비상등 점등)

차단기의 투·개방은 순차적으로 동작되어 동시에 많은 전류가 필요하지 않으나, 급전반의 차단기가 동시에 개방할 경우에는 일시적으로 많은 전류가 소요된다. 따라서 차단기 트립시 1대에 $5.3[A] \approx 6[A]$ 로 산정하고 4대를 계산하면 $24[A]$ 가 소요되며, 비상등 2개가 점등되었을 경우 $1[A]$ 로 총 $25[A]$ 가 필요하다. (전철제어반 재기동시에는 차단기가 투·개방할수 없으므로 제외)

나. Case 2 : (차단기 1대 동작+비상등 점등)

비상등이 켜져 있는 상태에서 차단기 1대가 동작할 경우를 가정하여 부하를 산정한다.

다. Case 3 : (비상등 점등+전철제어반 재기동)

비상등이 점등된 상태에서 전철제어반 재기동시 부하를 산정한다.

종류	전원	부하종류	기기	개별부하 [W]	A	면수	Case1	Case 2	Case 3
72.5kV GIS	DC 110V	순간부하	CB	495	4.5	1	24	4.5	0
72.5kV GIS	DC 110V	순간부하	DS	138.6	1.26	1		0	0
전철제어반	DC 110V	순간부하	전원 재기동시		5	1	0	0	5
비상등	DC 110V	순간부하	비상램프		0.5	2	1	1	1
소 계							25	5.5	6
72.5kV GIS	DC 110V	연속부하	Ann,Lamp	2/Channel	0.018	4	0.072	0.072	0.072
72.5kV GIS	DC 110V	연속부하	Pilot Lamp	2/EA	0.018	4	0.072	0.072	0.072
72.5kV GIS	DC 110V	연속부하	Buzzer	5/EA	0.045	4	0.18	0.18	0.18
72.5kV GIS	DC 110V	연속부하	Timer	2/EA	0.018	4	0.072	0.072	0.072
72.5kV GIS	DC 110V	연속부하	Aux relay	7.6/EA	0.069	4	0.276	0.276	0.276
72.5kV GIS	DC 110V	연속부하	MCCB	1/E	0.009	4	0.036	0.036	0.036
전철제어반	DC 110V	연속부하	콘트롤러등		2.5	1	2.5	2.5	2.5
고장점표정반	DC 110V	연속부하	제어 감시등		0.5	1	0.5	0.5	0.5
소 계							4	4	4
합 계							29	9	15

④ 급전구분소 등 교류부하조사

종류	전원	부하종류	기기	개별부하[W]	면수	Case1
72.5kV GIS	AC 220V	연속부하	히터 CB Case	200/EA	4	800
72.5kV GIS	AC 220V	연속부하	LCP	100/EA	4	400
72.5kV GIS	AC 220V	연속부하	조작기	30/EA	4	120
72.5kV GIS	AC 220V	연속부하	FL	20/EA	4	80
72.5kV GIS	AC 220V	연속부하	Counter	3.5/EA	4	14
72.5kV GIS	AC 220V	연속부하	HS	4/EA	4	16
72.5kV GIS	AC 220V	연속부하	TH	6/EA	4	24
72.5kV GIS	AC 380V	순간부하	유압모터	750	1	0
전철제어반	AC 220V	연속부하	콘트롤러등	200	1	200
고장점표정반	AC 220V	연속부하	콘트롤러등	200	1	200
원격진단장치	AC 220V	연속부하	콘트롤러등	800	1	800
합 계						2,654



○ 급전구분소의 교류 부하에 대한 직류전류를 구하면,

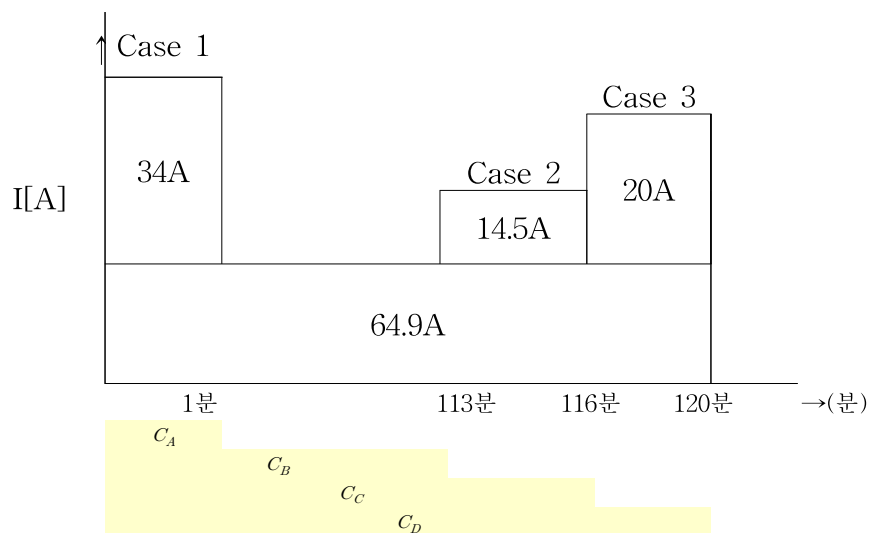
$$I_{AC} = \frac{\text{부하}[W] \times \text{출력역률} \times \text{수용률}}{\text{인버터입력최저전압} \times \text{인버터효율}}$$

$$= \frac{2654 \times 0.8 \times 0.6}{93.5 \times 0.8} = 17[A]$$

(인버터효율은 공단 저압반 자재사양서 기준 0.8적용)

4.3.7 방전전류-시간도표 작성

위에서 산출된 각 Case별 방전전류로 부하곡선도(방전전류-시간도표)를 작성한다.



4.3.8 용량환산시간계수(K) 결정

축전지의 타입에 따라 제작사의 방전종지전압에 대한 용량환산시간계수 자료를 이용하여 결정한다.

4.3.9 축전지 용량계산 및 산정

축전지 용량은 다음식으로 구한다.

$$C = \frac{1}{L} \{ K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1) + K_3 (I_3 - I_2) + \dots + K_n (I_n - I_{n-1}) \}$$

C : 5℃에서 정격방전을 환산용량[Ah]

L : 보수율(L=0.8)

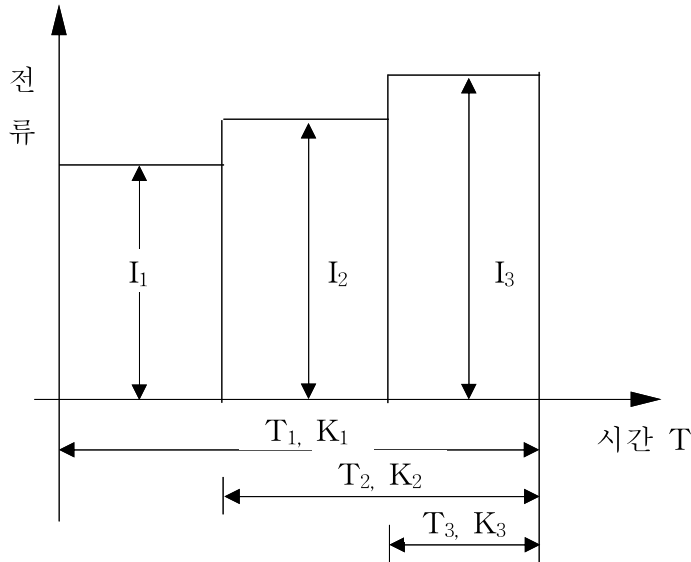
K : 방전시간(T)(분) 전지의 최저온도 및 허용하는 최저전압에 의해 결정되는 용량환산시간(시)

I : 방전전류[A]

용량의 산출은 시간의 경과와 함께 방전전류가 증가하는 경우와 시간의 경과와 함께 전류가 감소하는 경우가 있다.

(1) 시간의 경과와 함께 방전 전류가 증가하는 부하

시간의 경과와 함께 방전 전류가 증가하는 부하는 구간별 일괄 계산한다.

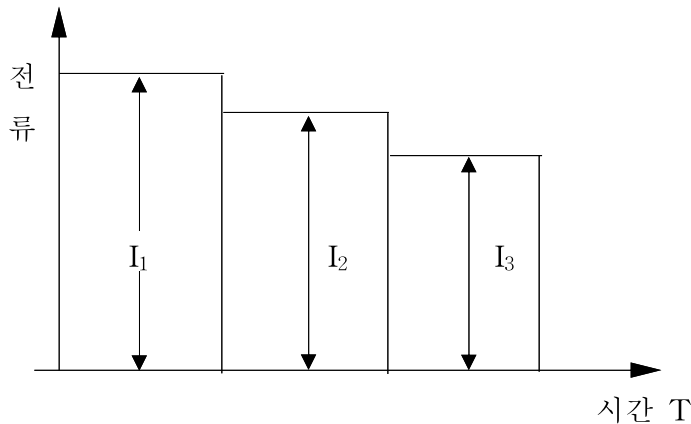


축전지 용량

$$C = \frac{1}{L} [K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1) + K_3 (I_3 - I_2)] [Ah]$$

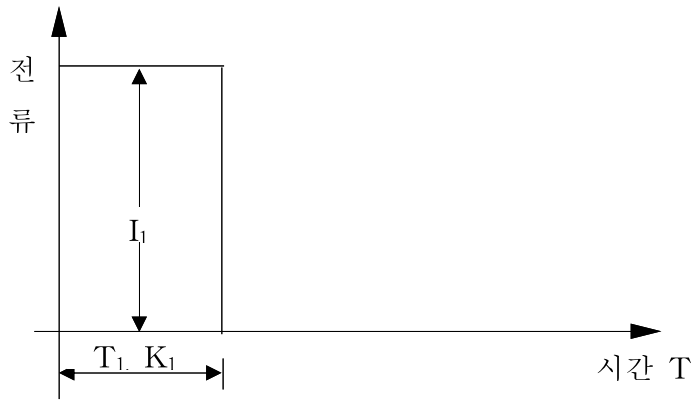
(2) 시간의 경과와 함께 방전 전류가 감소하는 부하

각 구간별로 구분 계산 후 최대값을 선정한다. 각 구간별로 계산한 값 C_A , C_B , C_C 중에서 제일 큰 값을 선정한다. (이때 C_A , C_B , C_C 를 구할 때 각각의 K_1 값은 서로 다른 값임)



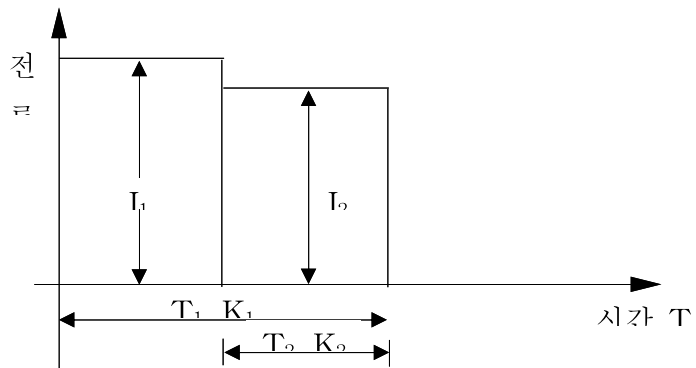


① C_A 일때



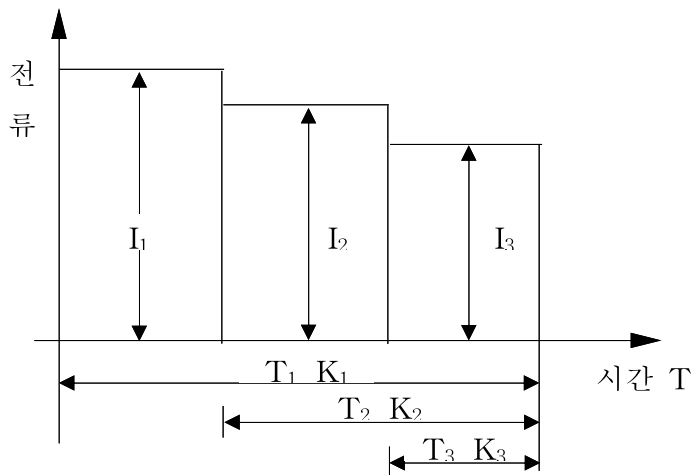
$$C = \frac{1}{L} K_1 I_1$$

② C_B 일때



$$C = \frac{1}{L} [K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1)] [Ah]$$

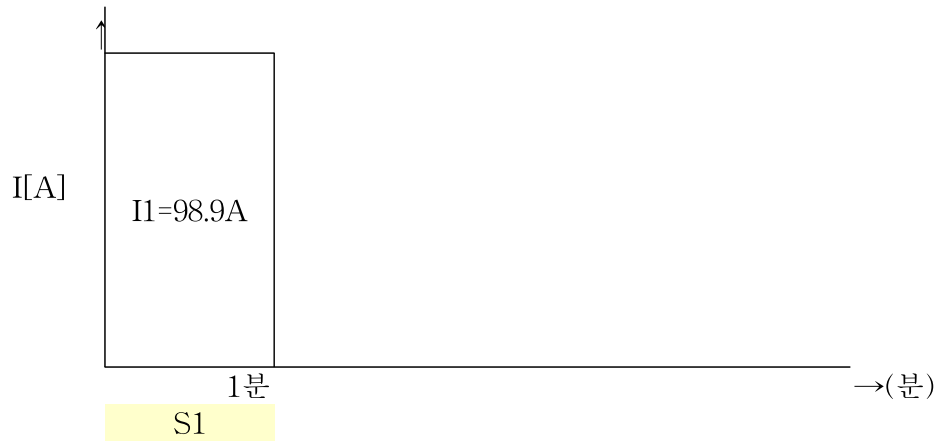
③ C_C 일때



$$C = \frac{1}{L} [K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1) + K_3 (I_3 - I_2)] [Ah]$$

(3) 계산의 예

① C_A 일 때 밧데리(=축전지)의 용량



$$C = 1 \times I_{DC} \times K L$$

C : 축전지용량

L = 보수율 (0.8)

$$I_1 = 98.9A$$

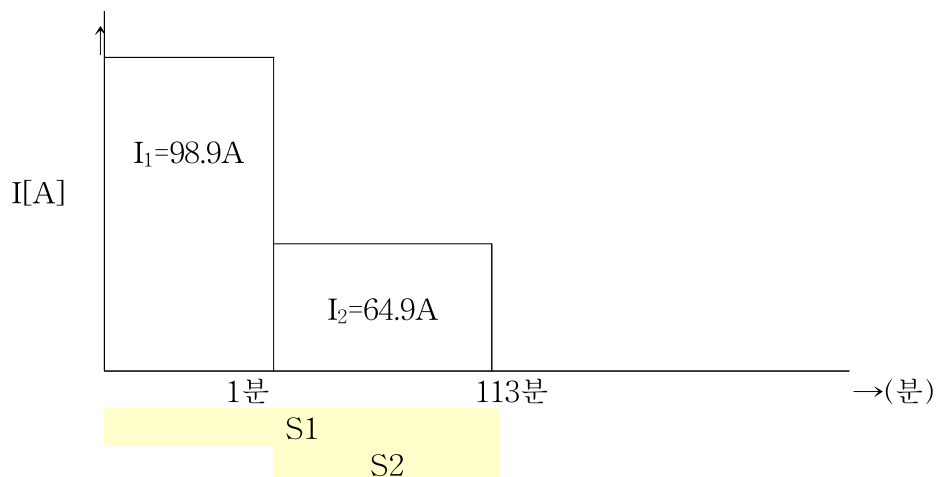
$$S_1 = 1분$$

$$K_1 = 0.35$$

$$C = \frac{1}{L} (K_1 I_1)$$

$$= \frac{1}{0.8} (0.51 \times 98.9) \approx 63 [Ah/10hr]$$

② C_B 일 때 밧데리(=축전지)의 용량



C : 축전지용량



$L = \text{보수율} \quad (0.8)$

$I_1 = 98.9\text{A}, I_2 = 64.9\text{A}$

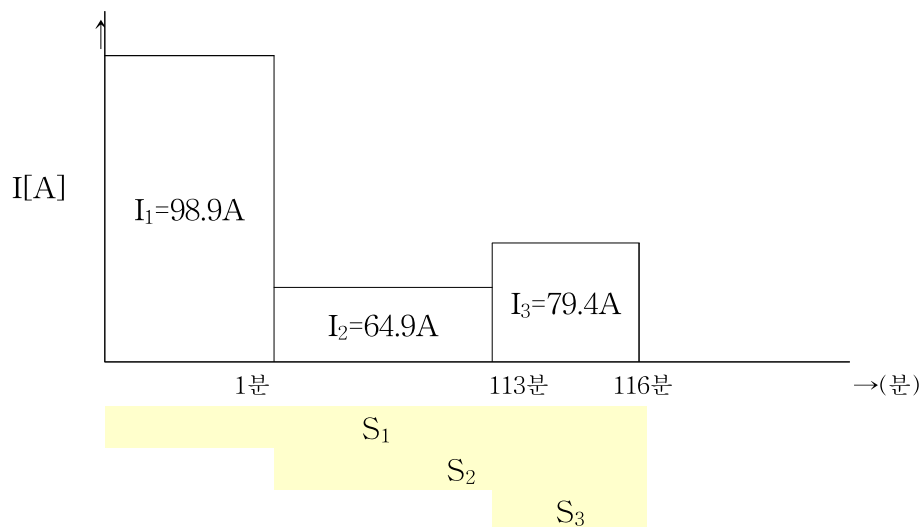
$S_1 = 113\text{분}, S_2 = 112\text{분}$

$K_1 = 2, K_2 = 2$

$$C = \frac{1}{L} \{ (K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1)) \}$$

$$= \frac{1}{0.8} \{ 2 \times 98.9 + 2(64.9 - 98.9) \} \approx 162 [\text{Ah}/10\text{hr}]$$

③ C_C 일 때 배터리(=축전지)의 용량



C : 축전지용량

$L = \text{보수율} \quad (0.8)$

$I_1 = 98.9\text{A}, I_2 = 64.9\text{A}, I_3 = 79.4\text{A},$

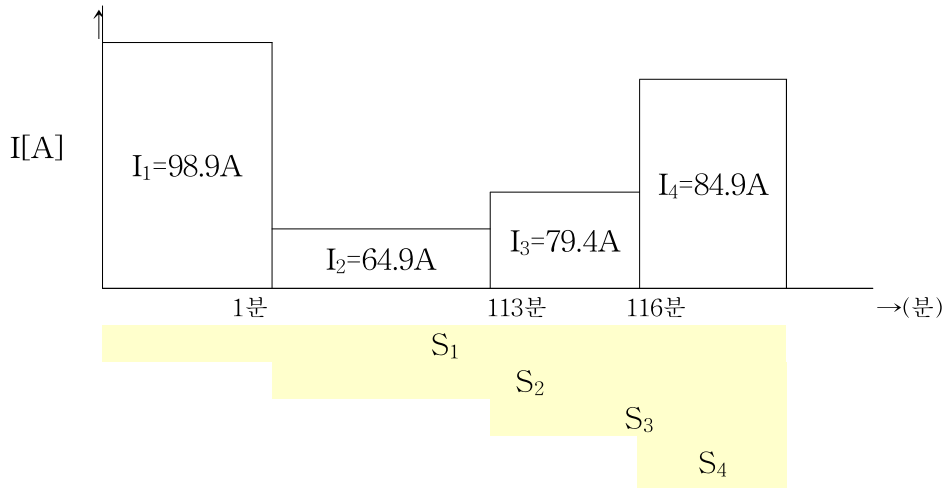
$S_1 = 116\text{분}, S_2 = 115\text{분}, S_3 = 3\text{분}$

$K_1 = 2.1, K_2 = 2, K_3 = 0.4$

$$C = \frac{1}{L} \{ (K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1) + K_3 (I_3 - I_2)) \}$$

$$= \frac{1}{0.8} \{ 2.1 \times 98.9 + 2(64.9 - 98.9) + 2(79.4 - 64.9) \} \approx 211 [\text{Ah}/10\text{hr}]$$

④ C_D 일 때 밋데리(=축전지)의 용량



C : 축전지용량

L = 보수율 (0.8)

$I_1 = 98.9A$, $I_2 = 64.9A$, $I_3 = 79.4A$, $I_4 = 84.9A$,

$S_1 = 116$ 분, $S_2 = 115$ 분, $S_3 = 3$ 분, $S_3 = 5$ 분

$K_1 = 2.2$, $K_2 = 2.1$, $K_3 = 0.4$, $K_4 = 0.49$

$$C = \frac{1}{L} \{ (K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1) + K_3 (I_3 - I_2) + K_4 (I_4 - I_3)) \}$$

$$= \frac{1}{0.8} \{ 2.2 \times 98.9 + 2.1 (64.9 - 98.9) + 0.4 (79.4 - 64.9) + 0.49 (84.9 - 79.4) \} \approx 193 [Ah/10hr]$$

(4) 용량 산정

C_A , C_B , C_C , C_D 의 부하를 비교하여 가장 큰 값으로 선정하며, 직류계통 및 축전지의 최적 운전상태에서 추가적으로 발생될 수 있는 부하증설, 비정상 운전, 예측할 수 없는 부하 등의 요소를 고려하여, 설계 시 계산된 축전지의 용량에서 10%~15%의 여유를 제공하고, 축전지의 정격용량은 내용수명의 말기에서 예상되는 부하의 최소한 125%를 유지한다.

4.3.10 충전기 용량 결정

(1) 충전기 용량의 일반식은 다음과 같고, 계산치를 상회하는 정격을 결정한다.

$$I = (L + \frac{1.1 \times Ah}{T})$$

I : 충전기의 정격용량[A]

Ah : Duty Cycle 총 방전 시간(Hours)에서 계산된 축전지의 용량



T : 축전지 용량의 95 %까지 재충전되는 시간[Hr]

L : Duty Cycle의 연속방전전류[A]

1.1 : 축전지 손실에 대한 보정율

$$\text{계산예 : } I = \left(92 + \frac{1.1 \times 300}{10} \right) = 125 [A]$$

여유률을 고려하여 150[A]로 선정

(2) 충전기의 입력용량 계산식은 다음과 같다.

$$P_{AC} = \frac{I_D \times V_D}{\cos\theta \times \xi \times 10^3}$$

P_{AC} : 충전기 입력 용량[kVA]

I_D : 직류측 전류[A]

V_D : 직류측 전압[V]

$\cos\theta$: 역율

ξ : 효율

$$\text{계산예 : } P_{AC} = \frac{I_D \times V_D}{\cos\theta \times \xi \times 10^3} = \frac{150 \times 110}{0.85 \times 0.8 \times 10^3} \approx 30 [KVA]$$

* 정류기 역율과 효율은 한전규격 ES 157 참조

(3) 충전기 용량은 변전소의 정상, 비정상 운전시의 모든 관련 부하에 충분한 전력을 공급하면서 축전지를 최저 충전상태에서 완전 충전상태로 10시간 내에 재충전할 수 있는 충분한 용량을 가져야 한다.

4.4 소내전원 용량 산정

전철변전소, 급전구분소, 보조급전구분소에 소요되는 전력을 “전기설비 기술계산 핸드북 및 자가용 전기설비 기준”을 참조하여 산출한다.

4.5 강제통풍량 계산

변압기실의 자연 통풍이 어려워 강제통풍을 해야 한다. 따라서 강제 통풍기 송풍량을 계산한다.

강제 통풍시 송풍기의 용량은 다음과 같다.

$$Q = \kappa \times \frac{P_V}{\Delta\theta} [m^3/min]$$

여기서, Q : 소요 공기량[m³/min]

$\Delta\theta$: 흡입 공기와 배기 공기의 온도차[°C]

PV : 손실[kW]

κ : 온도에 의하여 정해지는 계수[m³°C/min, kW]

$$\kappa = \frac{860}{60} \cdot \frac{1}{\rho \cdot C_p}$$

여기서, ρ : 온도 t°C 에서의 공기 비중

CP : 온도 t°C 있어서의 공기 비열

여기서 상수 κ 는 단위 열량을 단위 시간당 필요한 온도로 낮추는 데 소요되는 공기의 체적을 구하는 상수이며, κ 의 값은 다음과 같다.

표 28. 온도별 상수값

온도 [°C]	상수 [κ]
30	53.0
35	53.7
40	54.5
45	55.4
50	56.2

4.6 전압강하계산

4.6.1 부하산정

일반적으로 최대의 선로전압강하가 발생하는 조건은 직류구간에서는 병렬급전방식이 표준이기 때문에 변전소의 중간부분이 되며, 교류구간에서는 편송 급전방식이 표준이기 때문에 급전 최원단 등에서 전기차가 기동최대전류로 운전될 때라고 생각된다. 이 경우의 부하산정은 각 전기차의 선로조건을 가미한 전류-시간특성과 열차 시각표에서의 위치상태를 파악하여 가장 전압강하가 많다고 예상되는 조건을 선택한다.

4.6.2 부하산정의 예

교류 급전방식은 일반적으로 일방 전송급전이기 때문에 전기차 부하를 일정하게 하면, 변전소에서 먼 위치에 있을수록 전압강하가 커진다. 부하산정에 있어서는 부하전류와

부하점까지의 거리(Amp-km)가 멀수록 전압강하가 커지므로 이와 같은 부하의 시간을 열차 시각표에 의해서 추출한다.

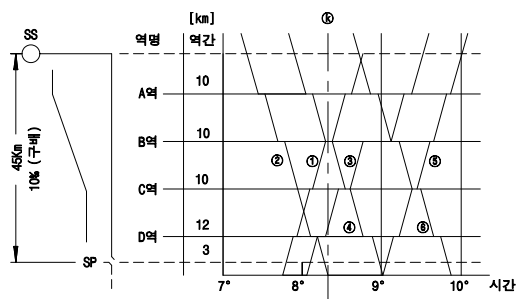


그림 19. 열차 시각표의 예

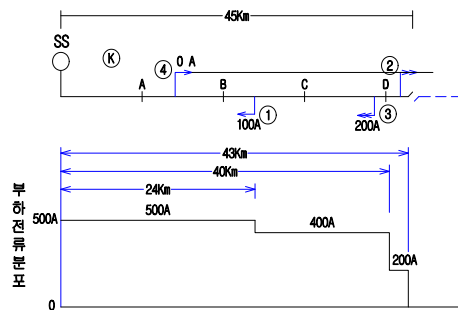


그림 20. 최대전압강하 시간대의
부하분포의 예

4.6.3 교류전차선로의 선로정수

교류전차선로의 전압강하를 계산하는 경우의 선로정수는 직류전차선로와 같이 저항만은 아니며 전차선의 장주에 의거하여 사용전선의 대지귀로의 자기 임피던스와 각 전선 상호간에 발생하는 상호 임피던스를 고려해야 한다.

교류회로의 임피던스는 일반의 3상 송전선과는 달리 1선은 레일에 의하여 대지에 접속된 1선접지의 불평형 회로로 된다.

4.7 고장전류 계산

(1) 고장전류는 전철변전소, 보조구분소 및 구분소에 따라 고장전류를 계한다.

임피던스 변환 기본 공식

$$Z_{(\Omega)} = \frac{10 \times V^2 \times Z_{(\%)}}{100 \times 1000} (100 \text{ MVA 기준})$$

$$Z_{(\%)} = \frac{100 \times 1000 \times Z_{(\Omega)}}{10 \times V^2} (100 \text{ MVA 기준})$$

V=선간전압[kV]

① 변압기의 임피던스

변압기의 실제 임피던스가 알려지지 않을 때 한국철도표준규격 상에 표기된 용량 및 %Z 적용하여 고장전류를 계산 한다.

표 29. 용량별 임피던스

변압기의 용량[MVA]	임피던스[%]
20, 30, 45, 60, 90	10.0

표 30. 용량별 최소임피던스

변압기의 용량[MVA]	최소임피던스[%]
0.630까지	4.0
0.631 ~ 1.25	5.0
1.251 ~ 3.15	6.25
3.151 ~ 6.30	7.15
6.301 ~ 12.50	8.35
12.501 ~ 25.00	10.0
25.001 ~ 200.00	12.5

- (2) 한전 변전소의 계통 임피던스자료를 근거로 향후 계통확장 시 단락용량의 증대를 고려하여 여유율 1.2배를 주어 적용한다.

표 31. 한전 임피던스 자료(예)

변전소	모선고장용량 [MVA] 3상단락	모선고장전류 [kA]	정상임피던스[P.U.]	
			R1	X1
한전S/S	5,734	21.50	0.0041	0.01734



참조 1. 급전계통 시물레이션

다음은 경부고속철도 2단계 김천SS~부산차량기지SS간의 급전계통에 대한 시물레이션의 예를 설명하였다.

1. 급전계통시물레이션의 시행방법 및 절차

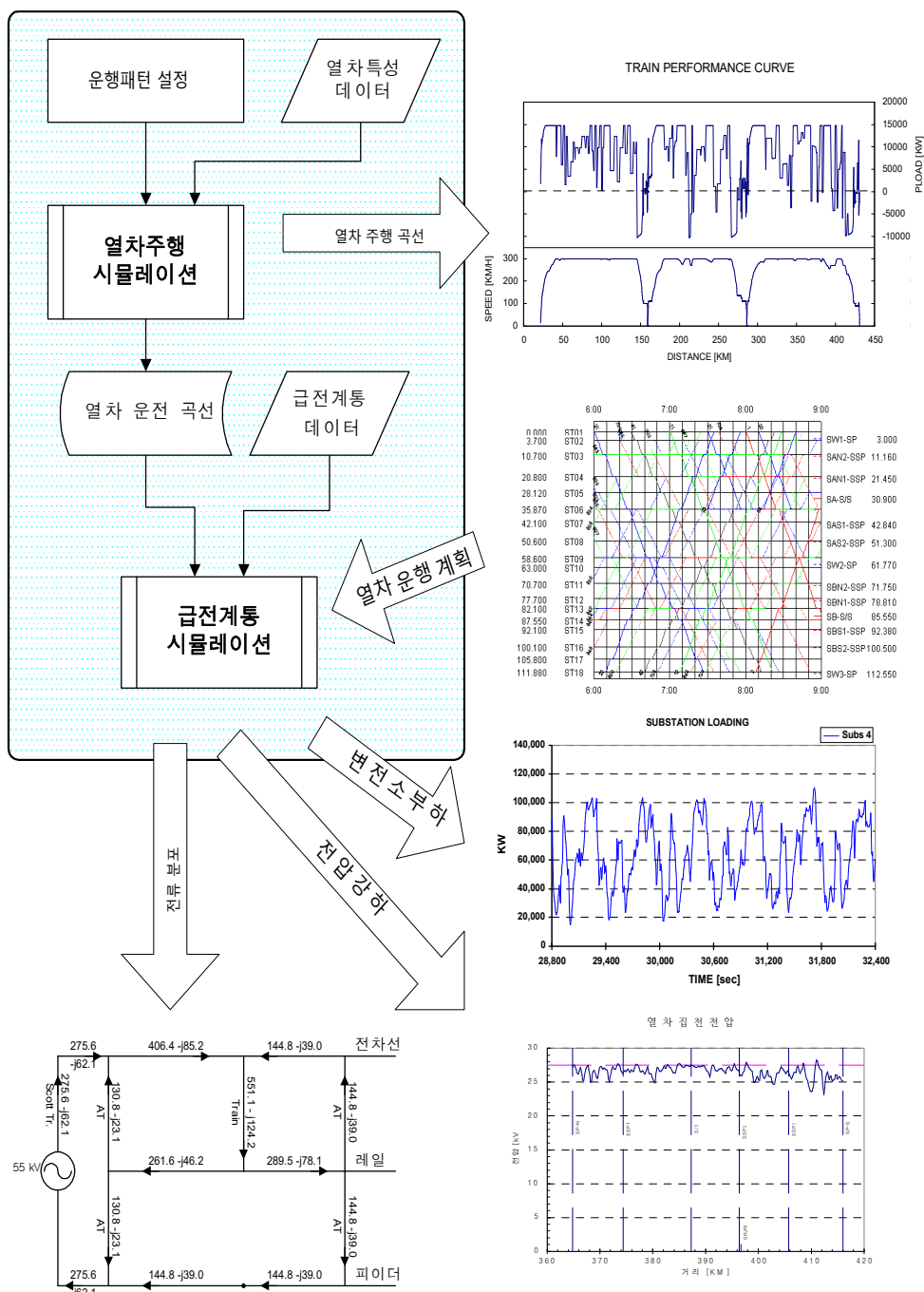


그림 21. 급전계통 시물레이션 절차

2. 급전시물레이션 입력조건

2.1 전차선로 선로정수

2.1.1 울산변전소

표 32. 울산변전소 선로정수

구 분		데 이 터	비 고
M상	급전거리	22.699km	
	AT 위치	울산S/S, 반곡PP, 보은SP	
	AT용량 및 임피던스	- 용량 : 15MVA - 임피던스 : $0.0265+j0.4492\Omega$	
T상	급전거리	26.273km	
	AT 위치	울산S/S, 화곡PP, 방내PP, 당리SP	
	AT용량 및 임피던스	- 용량 : 15MVA - 임피던스 : $0.0265+j0.4492\Omega$	

2.1.2 부산변전소

표 33 부산변전소 선로정수

구 분		데 이 터	비 고
M상	급전거리	22.74km	
	AT 위치	부산S/S, 평산PP, 용연PP, 보은SP	
	AT용량 및 임피던스	- 용량 : 15MVA - 임피던스 : $0.0265+j0.4492\Omega$	
T상	급전거리	31.014km	
	AT 위치	부산S/S, 금성PP, 사직PP, 부산진SSP, 부산SSP, 부산차량기지S/S	
	AT용량 및 임피던스	- 용량 : 15MVA - 임피던스 : $0.0265+j0.4492\Omega$	



2.2 전원계통

표 34. 전원계통표

구 분			울산SS	부산SS	비 고
한국전력계통	모선 정격전압[kV]		154	154	
	계통 임피던스[%]		0.1000+j1.9430	0.0900+j1.4520	100MVA기준
	선로전압[kV]		154	154	
송 전 선 로	선로임피던스[%]	가공	0.0567+j0.2004	-	100MVA기준
		지중	0.0127+j0.1087	0.0127+j0.1087	단위 km당
	선로공장[km]	가공	4.0	-	
		지중	1.5	3.0	
	정격전압[kV]		154/55	154/55	
전철 주변압기	정격용량[MVA]		90	90	
	임피던스[%]		10	10	100MVA기준

2.3 열차운영계획

열차운영계획은 기본계획수립당시 전차선로 및 변전설비 시스템을 결정하기위하여 시행한 『정부고속전철전력공급의 비용절감방안연구보고서(1992.10)』에 설정된 열차최소운전 시격 4분을 적용하였고, 동대구~부산간에 정차할 경주 및 울산역의 열차정차비율은 현재 운영 중에 있는 유사한 서울~대전간의 광명역과 천안아산역의 정차비율을 적용 하였으며, 그 비율은 다음과 같다.

- 동대구~부산간 : 34%
- 동대구~경주~부산간 : 11%
- 동대구~울산~부산간 : 22%
- 동대구~경주~울산~부산간 33%

2.4 KTX차량 주요제원

경부고속철도에 투입되어 현재운영중인 KTX열차의 주요제원 및 성능은 다음과 같다.

표 35. KTX 주요제원

구 분		KTX (2PC + 2M + 16T)
차량운전 공급전압 [kV]	최 대	27.5
	표 준	25
	동 력 감 소	22
	허 용	20
	최 저	19
출 력 [kW]	연 속 최 대	15,485
	최 대 건 인	13,560
	보 조	1,925
속 도 [km/h]	최 대	300
	표 정	220
속도제어방식		Converter(Thyristor위상제어), Inverter (전류형)
차 량 편 성		20량 편성, 400m
승 차 인 원		965명/1편성
선로조건	최 대 기 울 기[%]	30
	최소곡선반경[m]	600
	궤 간[mm]	1,435
외 기 온 도		-35 ~ 40℃
팬터그래프	형 태	Z형
	접 은 높 이	4.100m R면상

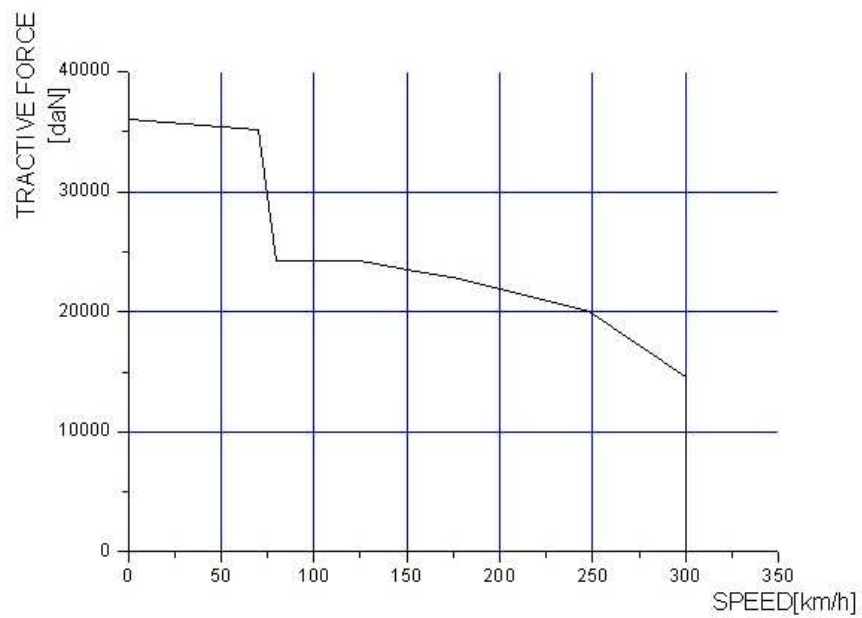


그림 22. KTX의 견인력 곡선

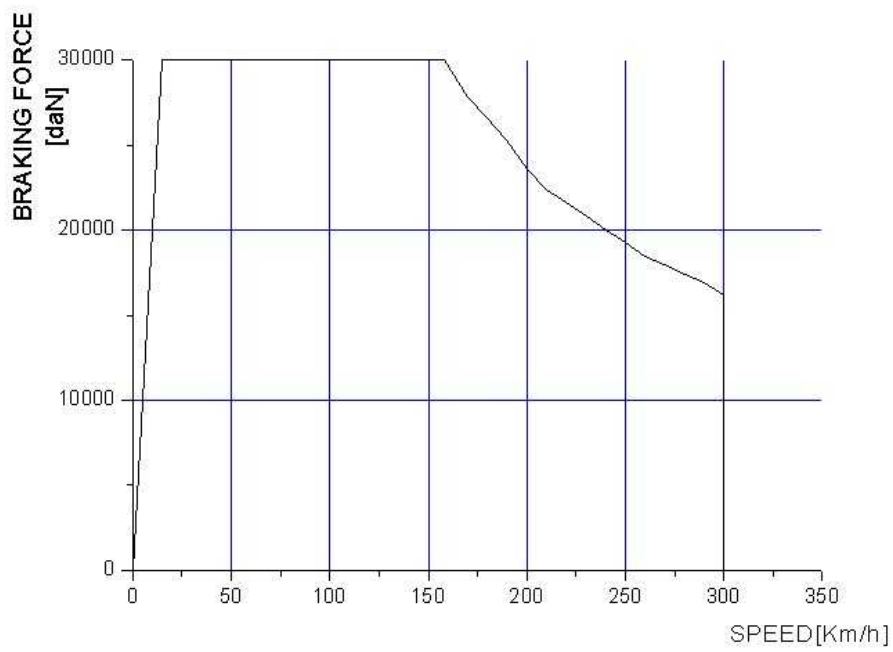


그림 23. KTX의 제동력 곡선

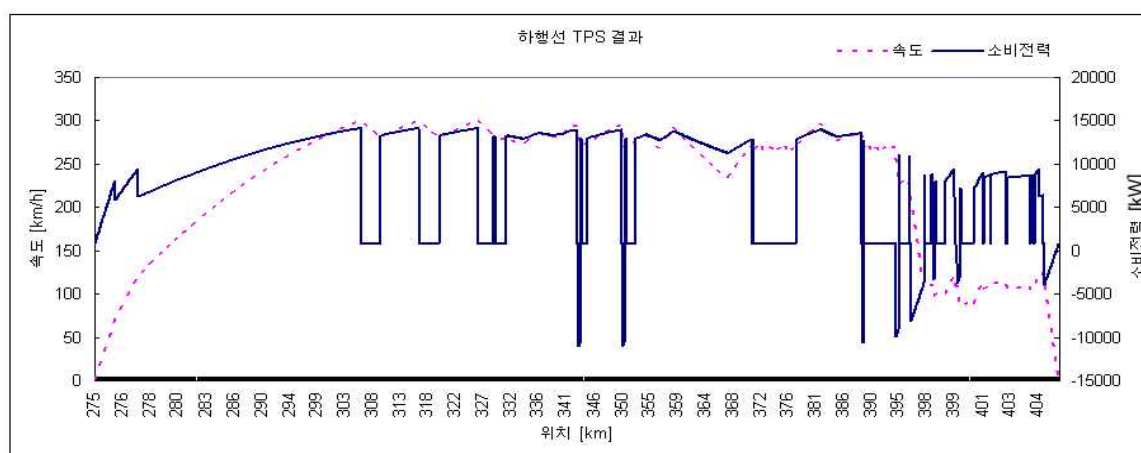
3. 정차역 유형별 열차주행 시뮬레이션 결과 현황

동대구~부산간 열차 정차 역 유형별 열차주행시뮬레이션을 열차운전 및 선로선형데이터를 사용하여 시행한 결과 다음과 같다.

3.1 동대구, 부산역 정차의 경우

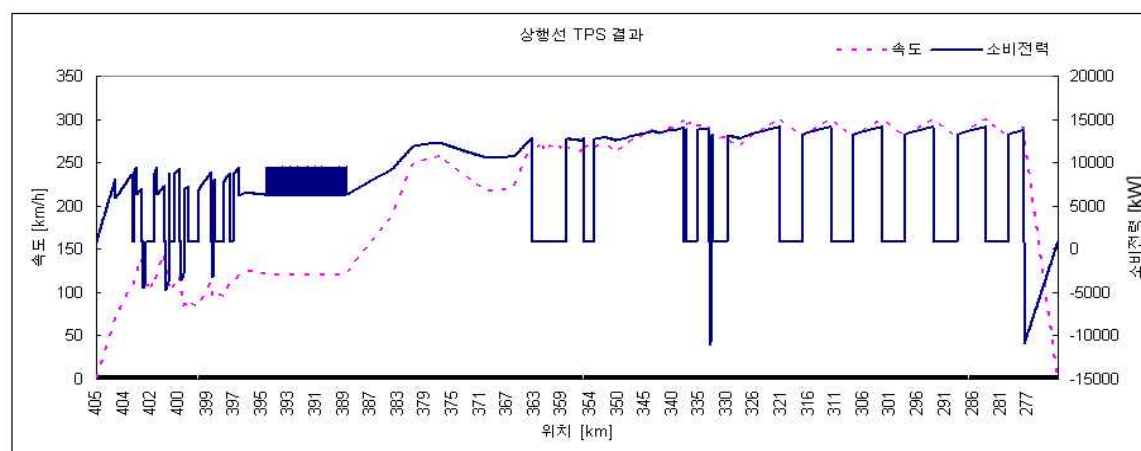
3.1.1 하행선

구 간	위치[km]	역간거리[km]	Time[s]	역행[kWh]	회생[kWh]	보조[kWh]	계[kWh]
동대구->부 산	405.370	130.420	2110.3	4539.53	-135.11	575.1	4979.52



3.1.2 상행선

구 간	위치[km]	역간거리[km]	Time[s]	역행[kWh]	회생[kWh]	보조[kWh]	계[kWh]
부 산->동대구	274.950	130.420	2200.1	4299.40	-153.53	600.03	4745.9

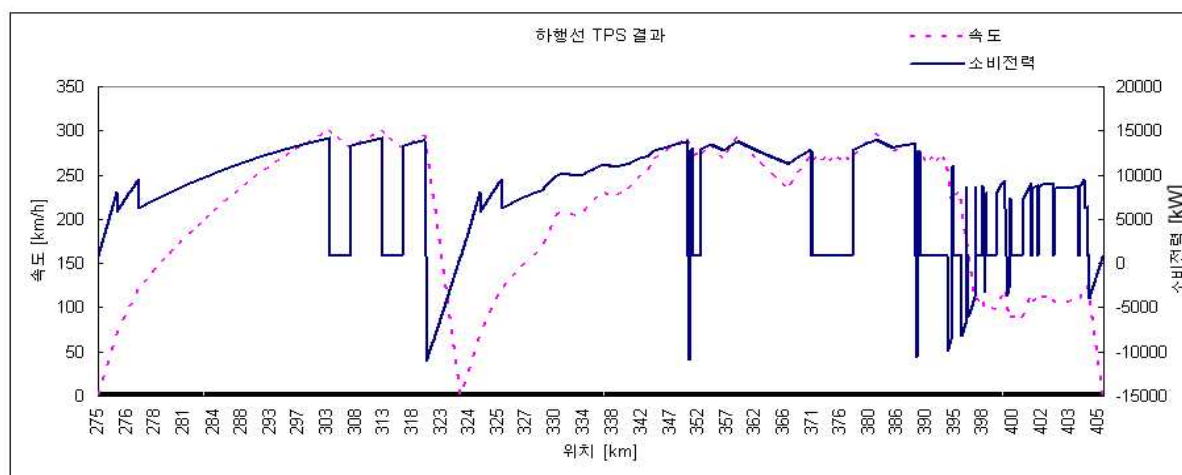




3.2 동대구, 경주, 부산역 정차의 경우

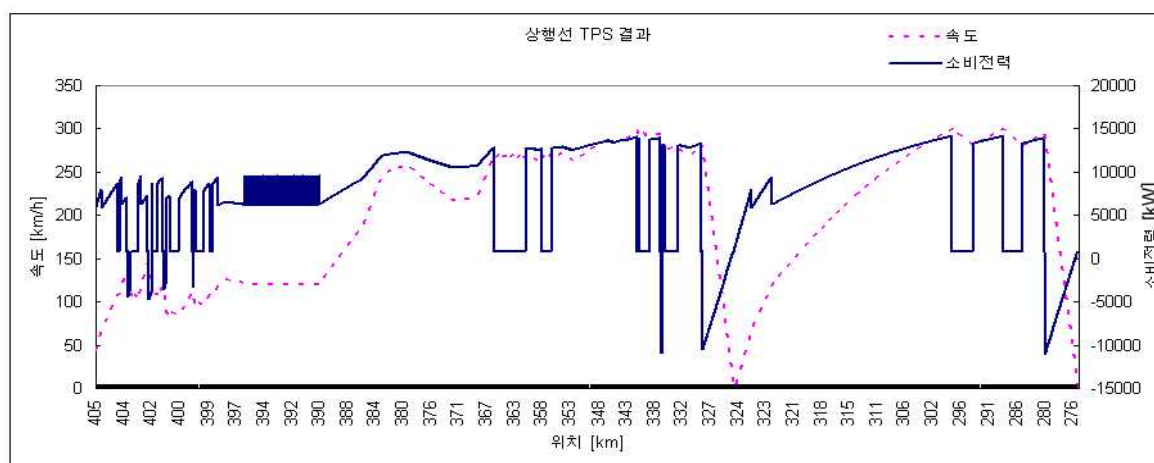
3.2.1 하행선

구 간	위치[km]	역간거리[km]	Time[s]	역행[kWh]	회생[kWh]	보조[kWh]	계[kWh]
동대구-->경 주	323.610	48.660	872.5	1753.48	-128.32	231.26	1856.42
경 주-->부 산	405.370	81.760	1497.9	2956.86	-122.20	404.97	3239.63



3.2.2 상행선

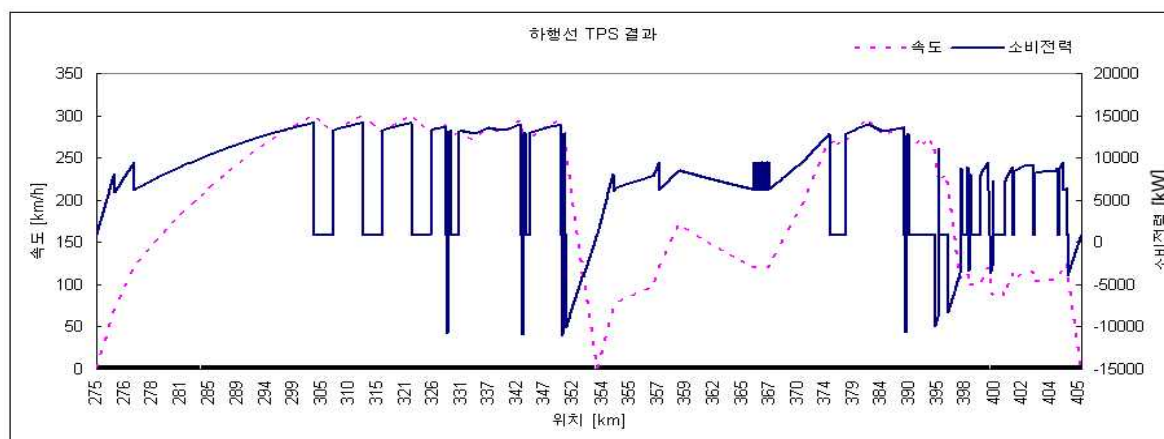
구 간	위치[km]	역간거리[km]	Time[s]	역행[kWh]	회생[kWh]	보조[kWh]	계[kWh]
부 산-->경 주	323.610	81.760	1595.7	3039.97	-145.57	432.15	3325.94
경 주-->동대	356.710	48.660	872.5	1753.48	-128.31	231.26	1856.43



3.3 동대구, 울산, 부산역 정차의 경우

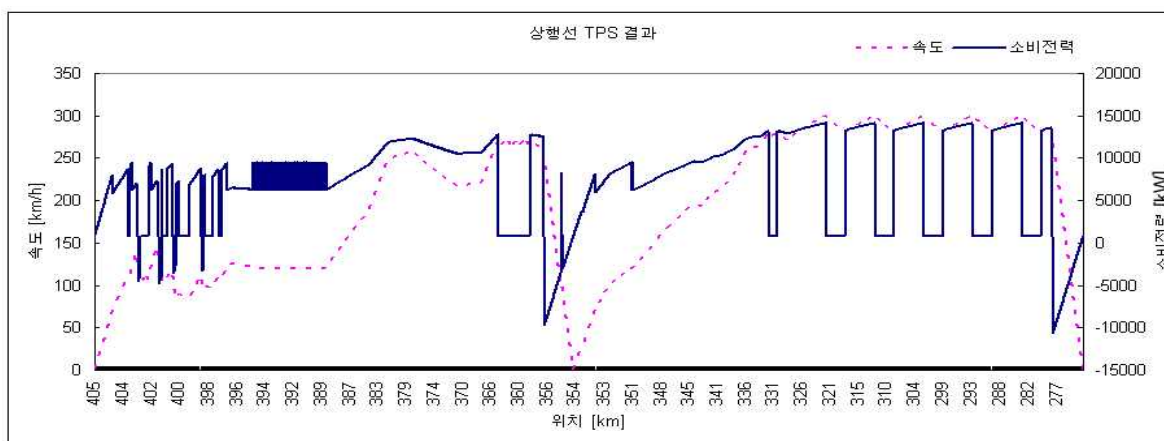
3.3.1 하행선

구 간	위치[km]	역간거리[km]	Time[s]	역행[kWh]	회생[kWh]	보조[kWh]	계[kWh]
동대구-->울 산	353.559	78.609	1253.5	2781.69	-133.74	337.09	2985.05
울 산-->부 산	405.370	51.811	1216.2	1940.22	-117.50	326.74	2149.45



3.3.2 상행선

구 간	위치[km]	역간거리[km]	Time[s]	역행[kWh]	회생[kWh]	보조[kWh]	계[kWh]
부 산-->울 산	353.559	51.811	1210.9	2019.85	-120.37	325.25	2224.73
울 산-->동대구	326.761	78.609	4740.7	2570.39	-119.37	345.30	2796.32

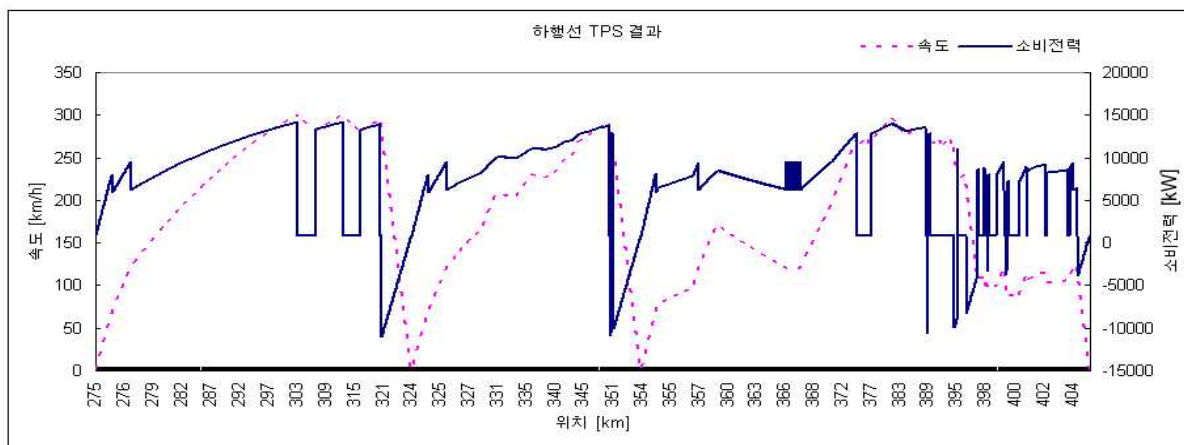




3.4 동대구, 경주, 울산, 부산역 정차의 경우

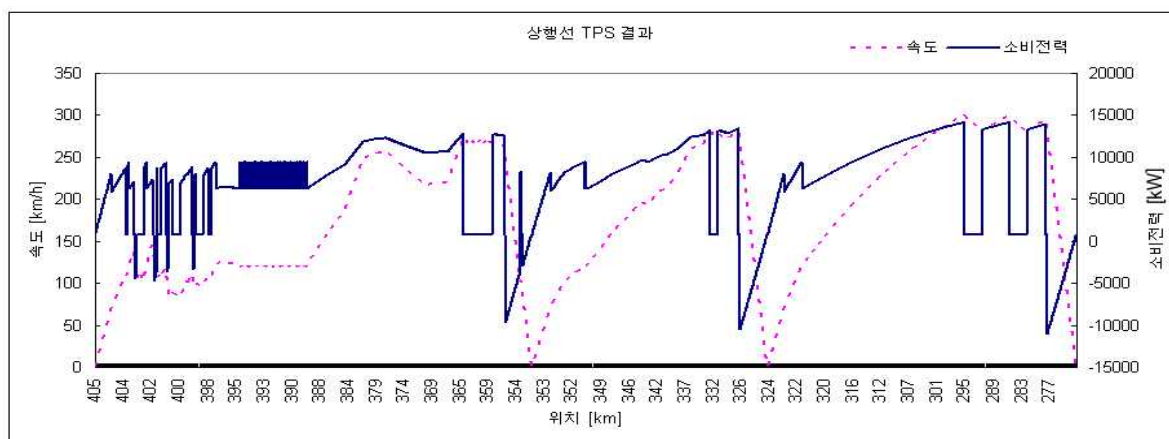
3.4.1 하행선

구 간	위치[km]	역간거리[km]	Time[s]	역행[kWh]	회생[kWh]	보조[kWh]	계[kWh]
동대구-->경주	323.610	48.660	812.5	1753.48	-128.32	231.26	1856.42
경주-->울산	353.559	29.949	648.5	1254.24	-116.45	169.04	1306.82
울산-->부산	405.370	51.811	1216.2	1940.22	-117.50	326.74	2149.45



3.4.2 상행선

구 간	위치[km]	역간거리[km]	Time[s]	역행[kWh]	회생[kWh]	보조[kWh]	계[kWh]
부산-->울산	353.559	51.811	1210.9	2019.85	-120.37	325.25	2224.73
울산-->경주	375.421	29.949	679.3	1234.06	-116.09	177.58	1295.55
경주-->동대구	356.710	48.660	872.5	1753.48	-128.31	231.26	1856.43



4. 변전소별 급전시뮬레이션 결과

울산 및 부산 전철변전소의 정상급전시 공급 부하량은 다음과 같으며, 울산 변전소의 1시간 최대부하는 M상의 경우 31.321MVA, T상의 경우 30.466MVA를 소비하는 것으로 계산되었다. 또한, 부산전철변전소의 경우에는 M상은 29.330MVA, T상은 36.847MVA가 1시간 최대부하로 예측되었다.

변전소	상	구간	거리 [km]	변전소 공급부하[MVA]			
				1시간 평균최대	15분 평균최대	1분 평균최대	순시최대
울산S/S	M	울산SS~보은SP	22.699	31.321	37.797	60.340	68.932
	T	울산SS~당리SP	26.273	30.466	33.965	54.183	66.879
	M+T		48.972	61.787	71.762	114.523	135.811
부산S/S	M	부산SS~보은SP	22.740	29.330	33.324	54.025	54.863
	T	부산SS~부산차량기지SS	31.014	36.847	39.878	63.901	72.910
	M+T		53.754	66.177	73.202	117.926	127.773

또한, 열차에서 집전하는 전압은 다음과 같으며, 울산은 최저 23.07[kV], 부산의 경우 최저 21.45[kV]로 예측되었다.

변전소	상	구간	거리 [km]	집전전압[kV]	
				최저	최대
울산S/S	M	울산SS~보은SP	22.699	23.07	28.47
	T	울산SS~당리SP	26.273	23.09	27.53
부산S/S	M	부산SS~보은SP	22.740	23.88	27.01
	T	부산SS~부산차량기지SS	31.014	21.45	26.94

위 표에서 열차 집전전압은 열차의 팬터그래프에 나타나는 전압을 의미하여 이것은 변전소의 전압과는 다르다. 최고 전압이 27.5kV보다 높게 되는 것은 열차가 회생제동을 하는 상황에서 열차가 전력을 전차선로 측으로 보내는 전원역할을 하기 때문이며, 아래 표는 변전소에서 공급하는 전류 값을 예측한 결과를 나타낸다.



변전소	상	구간	거리 [km]	변전소 공급전류[A]			
				1시간 평균최대	15분 평균최대	1분 평균최대	순시 최대
울산S/S	M	울산SS~보은SP	22.699	591	714	1,160	1,328
	T	울산SS~당리SP	26.273	571	637	1,033	1,281
	M+T		48.972	1,162	1,351	2,193	2,609
부산S/S	M	부산SS~보은SP	22.740	546	621	1,021	1,039
	T	부산SS~부산차량기지SS	31.014	693	753	1,222	1,407
	M+T		53.754	1,239	1,374	2,243	2,446

아래 표는 90MVA 변압기 2대를 병렬 운전한 상황의 예측결과로서, 전력공급에 문제가 없었으며, 열차의 집전전압 또한 규정하는 값 이내로 예측되었다.

4.1 공급부하

변전소	상	거리 [km]	변전소 공급부하[MVA]			
			1시간 평균최대	15분 평균최대	1분 평균최대	순시 최대
울산S/S	M	22.699	31.321	37.797	60.340	68.932
	T	26.273	30.466	33.965	54.183	66.879
	M+ T	48.972	61.787	71.762	114.523	135.811
부산S/S	M	22.740	29.330	33.324	54.025	54.863
	T	31.014	36.847	39.878	63.901	72.910
	M+T	53.754	66.177	73.202	117.926	127.773

4.2 집전전압

변전소	상	거리[km]	집전전압[kV]	
			최저	최대
울산S/S	M	22.699	23.070	28.470
	T	26.273	23.090	27.530
부산S/S	M	22.740	23.880	27.010
	T	31.014	21.450	26.940

5. 변전소별 전압불평형율 검토

변전소별 전압불평형율을 검토하였는바, 경부고속철도 1단계기준인 10분 평균 1%이하인 것으로 각각 나타났으며, 그 내용은 다음과 같다.

변전소명	전 압 불 평 형 율[%]		비 고
	순 시	10분 평균 최대	
울산S/S	1.259	0.674	
부산S/S	0.888	0.357	



RECORD HISTORY

Rev.0(12.12.05) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.

Rev.5(23.11.27) 관계 법령, 설계기준 등 인용 기준 최신화, 표현방식 변경, 오류사항 수정 등 단순사항 수정(기준심사처-4429호, 2023.11.27.)