

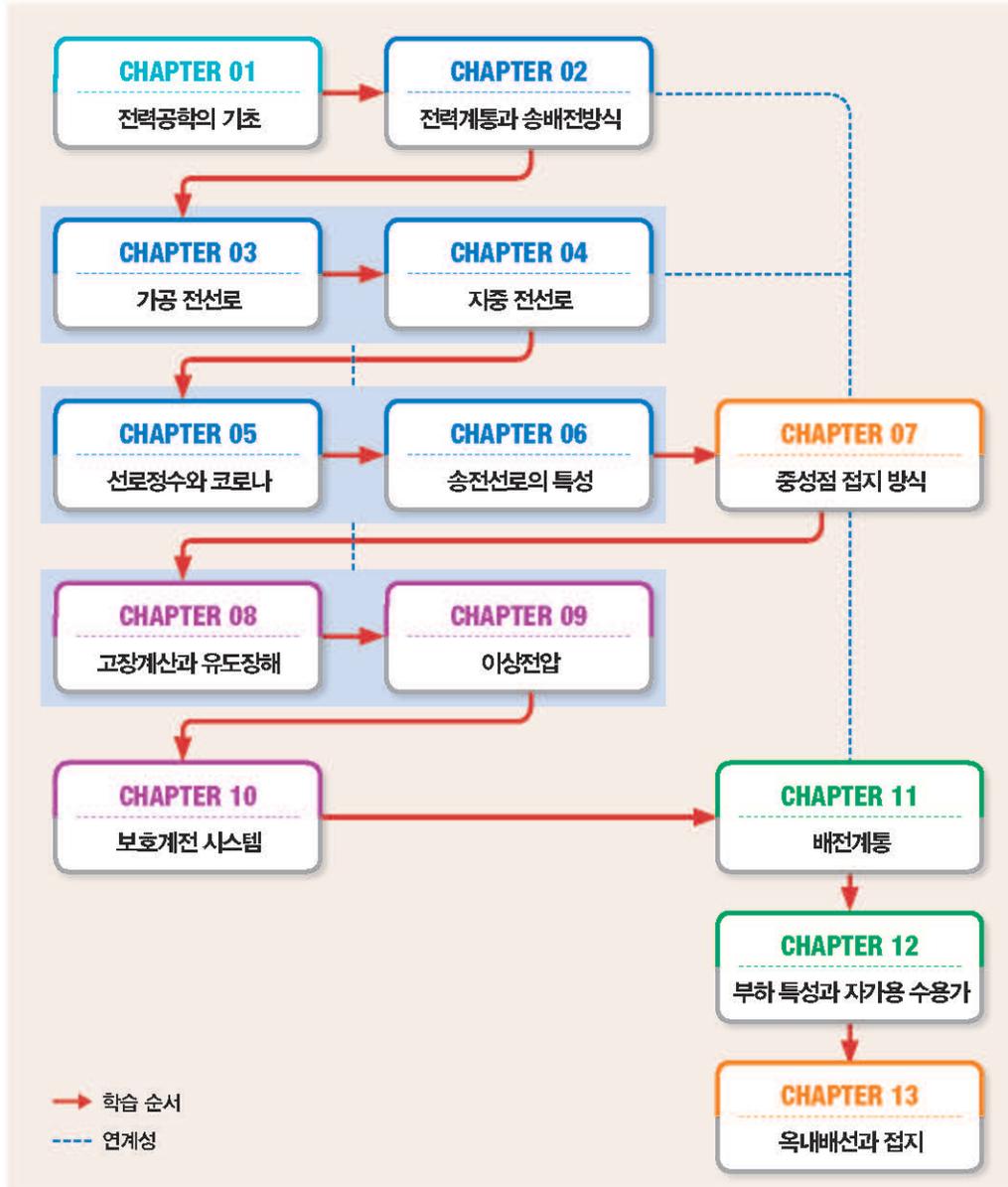
처음 만나는 전력공학

박승규, 최은혁, 최병숙 지음

학습 로드맵과 참고 문헌

● 학습 로드맵

이 책에서 다루는 내용이 무엇이고, 각 주제가 어떻게 연계되어 있는지 보여준다.



● 참고 문헌

- 송길영, 『신편 송배전공학』, 통일출판사, 1989
- 정용기, 『전기설비 기술계산 핸드북 3편』, (주)의제전기설비연구원, 1998
- 전영주 외, 『전력계통공학』, 영진전문대학출판부, 2011
- 한국전력공사 신입사원 교재

지은이 소개	2
지은이 머리말	3
미리보기	4
학습 로드맵과 참고 문헌	6

**CHAPTER
01**

전력공학의 기초

SECTION 01 복소수	16
복소수의 표현	16
복소수의 계산	18
SECTION 02 삼각함수	22
60분법과 호도법	22
삼각함수란?	23
삼각함수의 주요 공식	24
SECTION 03 기초 회로이론	26
직류회로	26
회로의 기본 개념	27
키르히호프의 법칙	30
분압법칙과 분류법칙	31

**CHAPTER
02**

전력계통과 송배전방식

SECTION 01 전력계통	36
전력계통이란?	36
우리나라의 전력계통	37
송배전계통의 구성	39
SECTION 02 송배전방식	41
교류 송전방식	41

Contents

직류 송전방식	43
송전방식의 비교	44
SECTION 03 송전용량과 송전전압	47
송전용량	47
송전전압	48
전력손실	49
연습문제	51

CHAPTER 03

가공 전선로

SECTION 01 전선	54
가공 전선로의 전선 조건	54
전선의 종류	55
전선의 허용전류	61
전선의 경제적인 굵기 선정	61
이도	62
전선의 진동과 도약	66
SECTION 02 애자	70
애자란?	70
애자의 종류	71
애자의 전기적 특성	74
SECTION 03 지지물	79
지지물이란?	79
철탑	79
장주	83
연습문제	86

**CHAPTER
04**

지중 전선로

SECTION 01 지중 전선로의 계통 구성 88

 지중 전선로란? 88

 지중 전선로의 계통 구성 89

SECTION 02 전력 케이블 94

 전력 케이블의 종류 94

 전력 케이블의 손실 100

 전력 케이블의 포설 103

연습문제 107

**CHAPTER
05**

선로정수와 코로나

SECTION 01 선로정수 110

 선로정수란? 110

 저항 111

 인덕턴스 113

 전선로의 인덕턴스 114

 정전용량 120

SECTION 02 전력 케이블의 선로정수 124

 전력 케이블의 구분 124

 전력 케이블의 정전용량 124

 전력 케이블의 충전전류와 충전용량 125

SECTION 03 코로나 126

 코로나란? 126

 코로나 장애 127

 코로나 방지 대책 128

연습문제 129

**CHAPTER
06**

송전선로의 특성

SECTION 01 송전선로의 특성	132
4단자 정수	132
4단자 정수의 적용	134
송전선로의 해석	137
단거리 송전선로	138
중거리 송전선로	142
장거리 송전선로	147
특성 임피던스와 전파 정수	152
SECTION 02 전압 조정	154
전력 계산	154
전력 원선도	157
조상설비	160
페란티 현상	164
SECTION 03 안정도	167
안정도란?	167
안정도 향상 대책	168
발전기 기속 억제 대책	170
연습문제	172

**CHAPTER
07**

중성점 접지 방식

SECTION 01 중성점 접지 방식	174
변압기의 중성점 접지	174
변압기의 중성점 접지 방식	176
SECTION 02 고조파의 발생과 대책	183
고조파란?	183
전력계통에서의 고조파 방지 대책	184
연습문제	188

CHAPTER
08

고장계산과 유도장해

SECTION 01 고장계산	190
고장계산의 필요성	190
3상 단락사고 시 고장계산법	191
대칭좌표법	196
발전기 기본식	201
3상 교류발전기의 고장계산	203
SECTION 02 유도장해	207
유도장해란?	207
정전유도장해	207
전자유도장해	209
유도장해 경감 대책	210
연습문제	215

CHAPTER
09

이상전압

SECTION 01 이상전압	218
이상전압이란?	218
내부 이상전압	218
외부 이상전압	221
SECTION 02 이상전압 방지 대책	223
피뢰기에 의한 기기 보호	223
서지흡수기에 의한 기기 보호	231
절연협조	235
연습문제	237

**CHAPTER
10**

보호계전 시스템

SECTION 01 보호계전 시스템	240
보호계전 시스템이란?	240
보호계전 방식	242
SECTION 02 보호계전기의 종류	246
보호계전기의 종류	246
SECTION 03 보호계전 방식의 적용	252
전선로의 보호계전 방식 적용	252
전력설비의 보호계전 방식 적용	254
계기용 변성기의 특성	256
연습문제	264

**CHAPTER
11**

배전계통

SECTION 01 변전소	266
변전소의 종류	266
변전소의 기능	268
변전소의 설비	269
차단기의 정격	275
고압 차단기	279
저압 차단기	283
SECTION 02 배전계통의 구성	287
배전계통이란?	287
고압 배전방식	288
저압 배전방식	291
SECTION 03 배전선로의 전압강하와 손실	295
전압강하	295

배전선로의 전압강하 계산	296
배전선로의 전압 조정	300
배전선로의 전력손실	302
변압기의 손실 및 효율	305
역률 개선	308
역률 개선 효과	313
배전선로의 전력손실 경감 대책	317
SECTION 04 배전선로 보호	319
배전선로의 보호 방식	319
배전선로의 보호협조	322
배전 자동화	326
연습문제	328

**CHAPTER
12**

부하 특성과 자가용 수용가

SECTION 01 전력설비의 부하 특성	330
수용률	330
부등률	332
부하율	334
수용률, 부등률, 부하율과의 관계	336
SECTION 02 변압기와 수용가의 전기설비	338
전기설비의 종류	338
자가용 전기설비	339
자가용 수용가의 변전실	341
변압기 결선	344
변압기 병렬운전	348
자가용 수용가에서의 변압기	350
기중 부하 개폐기	352
고장 구간 자동 개폐기	352
계기용 변성기	354
전력퓨즈	355
전력용 콘덴서	359

Contents

SECTION 03 고장계산	360
고장계산의 목적	360
고장전류 계산식	360
고장계산에 사용되는 기준값	361
고장계산에 따른 임피던스	362
고장계산 순서	363
자가용 수용가의 고장전류 계산	366
연습문제	367

CHAPTER 13

옥내배선과 접지

SECTION 01 옥내배선	370
옥내배선이란?	370
옥내배선의 구성	370
옥내간선의 설계	372
옥내배선의 보호협조	379
SECTION 02 옥내배선의 재료	383
옥내배선의 재료	383
옥내배선 방법	389
절연저항 측정	395
SECTION 03 접지	397
접지란?	397
접지의 분류	398
접지공사	400
전기설비기술기준의 접지공사	401
KS C IEC 60364의 접지	406
연습문제	410
찾아보기	412

CHAPTER 02

전력계통과 송배전방식

이 장은 발전소에서 생산된 전기가 수용가인 공장이나 우리 가정에까지 전송되는 설비, 즉 전력계통의 개념을 정확하게 이해하는 것을 목표로 한다. 면적이 작고 전기 사용량은 많은 우리나라에서는 경제적이고 안정적인 전력계통을 확립하는 것이 중요하다. 이를 위해 송배전선로의 구성, 송배전방식, 송전용량, 경제적인 송전전압을 이해해야 한다. 따라서 이 장에서는 전력계통의 바른 이해를 돕기 위해 전력계통을 이루고 있는 사항들의 기초 개념을 학습하고, 이들의 연관성을 살펴 본다.

CONTENTS

- SECTION 01 전력계통
 - SECTION 02 송배전방식
 - SECTION 03 송전용량과 송전전압
- 연습문제

SECTION
01

전력계통

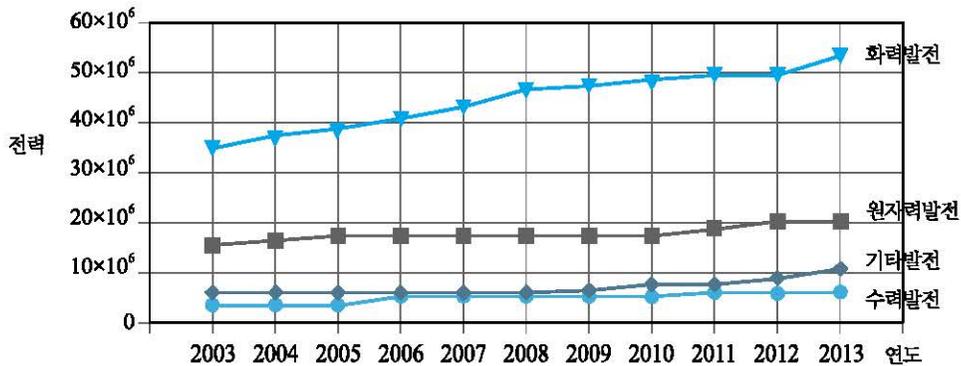
발전된 전력을 수용가에 공급하기 위한 전기설비를 전력계통이라 한다. 전력계통이 무엇인지 살펴보고 우리나라의 전력계통과 송배전계통의 구성을 이해해보자.

Keywords | 전력계통 | 발전설비 | 전송설비 | 수용설비 | 송전용량 | 전력계통도 | 송배전계통 |

전력계통이란?

물리학적 측면에서 에너지는 ‘일하는 능력’으로 정의한다. 이러한 에너지는 운동에너지, 위치에너지, 열에너지, 전기에너지, 화학에너지 등 여러 형태로 구분할 수 있다. 그 중 전기에너지는 여러 에너지원들과 더불어 일상생활에서 필수적인 에너지원이다.

전기를 생산하기 위한 에너지원은 물의 위치에너지를 이용한 수력발전, 석탄, 중유, LNG 등 열에너지를 이용한 화력발전, 우라늄의 핵분열을 이용한 원자력발전 등으로 나눌 수 있으며, 발전 비중은 [그림 2-1]에서와 같이 화력발전은 전체 발전의 50[%], 원자력발전은 30[%], 수력발전은 10[%]를 점유하고 있다.



출처 : 전원별 발전설비 지표, 2012, 전력거래소

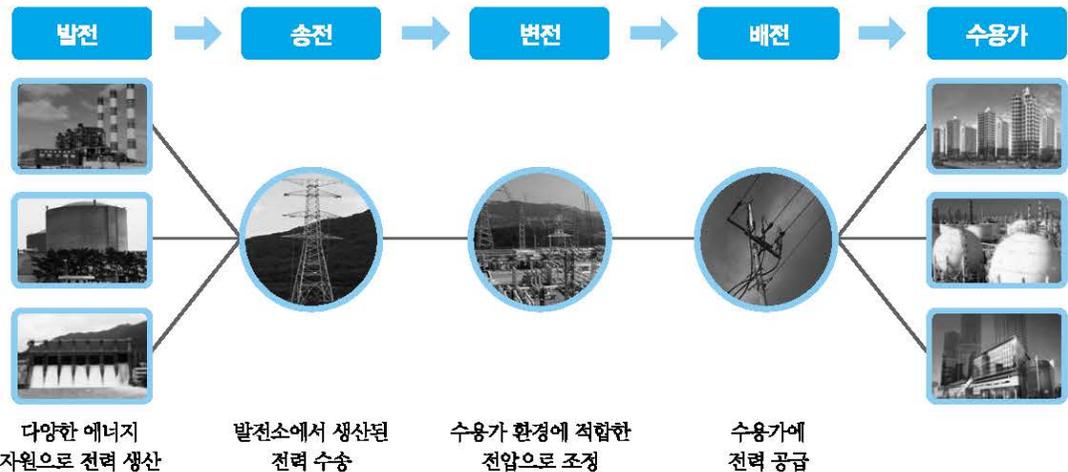
[그림 2-1] 우리나라의 전원별 발전 비율

여러 형태로 발전된 전기에너지를 효율적으로 전송하기 위한 송변전설비, 배전설비, 기타 부대설비를 유지 관리하는 것과 수용가에 양질의 전기를 공급하는 역할은 국가기간산업으로 우리나라의 경제에 중요한 요소이다.

발전소에서 생산된 전기를 사용하는 수용가에게 공급하기 위해 연결된 전기설비를 **전력계통**(electric power)이라 한다. 전력계통은 전기 산업의 핵심을 이루는 것으로, 발전설비, 전송설비, 수용설비로 구성된다.

- **발전설비** : 전력을 생산하는 설비(수력발전소, 화력발전소, 원자력발전소 등)
- **전송설비** : 생산된 전력을 수용가까지 전송하고 배분하는 설비(송전선, 변전소, 배전선 등)
- **수용설비** : 전송 및 배분된 전력을 수용가에서 소비하기 위한 설비

[그림 2-2]와 같이 전력계통은 발전된 전기가 송전, 변전, 배전 과정을 거쳐 수용가에 전달되는 전 과정을 의미하기도 한다. 이 중 전송설비는 전력의 전송이라는 본질적인 측면에서 송전과 배전을 구분하지 않는다. 하지만 송전은 대전력, 고전압, 장거리의 일괄 전송을 담당하는 것이고 배전은 소전력, 저전압, 단거리 전송으로 넓게 분산된 수용가에 전력을 배분한다는 것에 더 중점을 둔 것이다. 즉, 송전은 발전소에서 변전소까지 전력을 보내는 것이고, 배전은 변전소에서 수용가까지 전력을 보내는 것을 말한다.



[그림 2-2] 전력계통의 개요

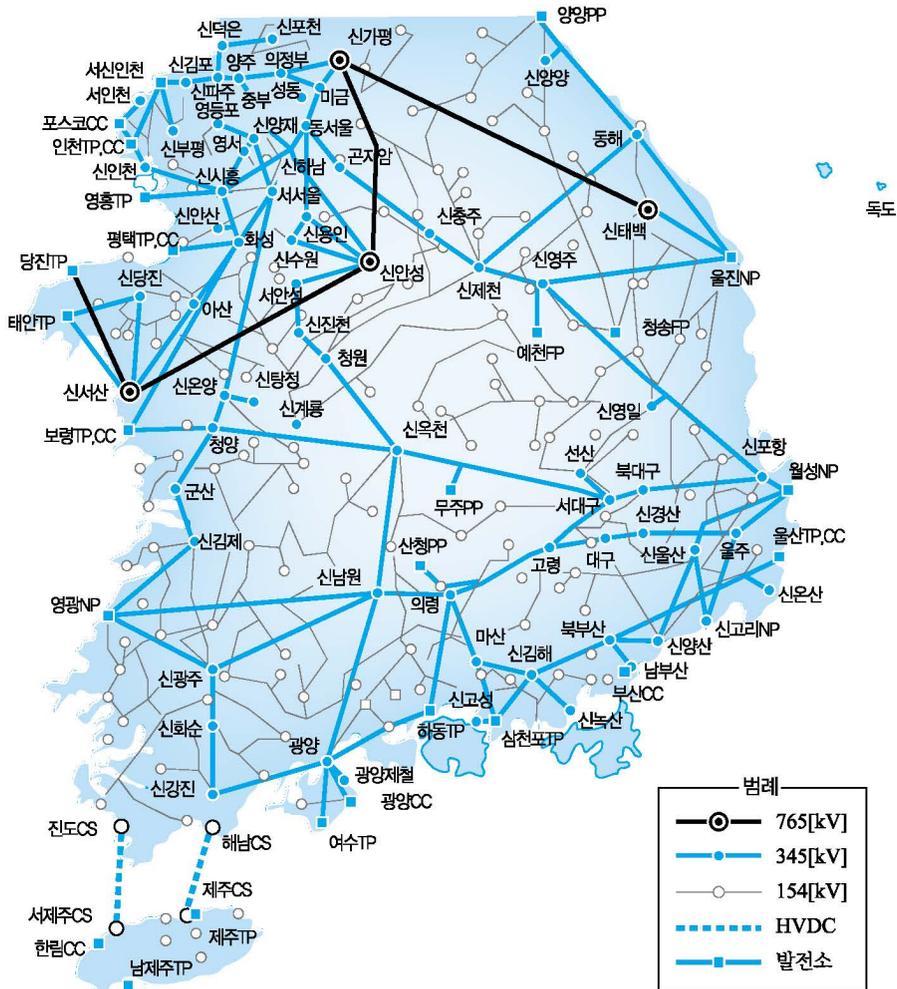
우리나라의 전력계통

우리나라의 전력 수요는 서울, 경인 지역, 대도시에 집중되어 있으나 발전소는 대도시에서 멀리 떨어진 서해안, 남해안, 동해안에 편중되어 있어 전력 수송을 위해 대규모 송전선로를 건설해야 한다. 또한 전체 인구의 40[%] 이상이 거주하고 있는 수도권 지역은 국내 최대의 전력 소비지이지만, 수도권 지역에는 대용량 발전소를 건설하기 어려워 전력 수급의 불균형은 커지고 있다. 이를 해결하기 위해서는 다른 지역에서 생산한 대규모 전력 수송이 불가피하나 송전탑과 송전선로가 지나갈 부지를 확보하는 것이 현실적으로 어려워지고 있다.

수도권과 대도시의 부족한 전력을 345[kV] 송전선로로만 수송하려면, 765[kV] 송전선로로 운송하는 것보다 많은 철탑과 송전선로가 필요하다. 우리나라에서는 765[kV] 송전선로로 전력을 수송함으로써 건설비를 절감하는 것은 물론 국토를 효율적으로 이용할 수 있게 되었다.

[그림 2-3]은 우리나라의 전력계통도로, 수력, 화력, 원자력발전소와 765[kV], 345[kV], 154[kV]의 송전선로를 나타낸다. 우리나라의 송·배전전압 구성은 다음과 같다.

$$765[kV] \rightarrow 345[kV] \rightarrow 154[kV] \rightarrow 22.9[kV] \rightarrow 380/220[V]$$



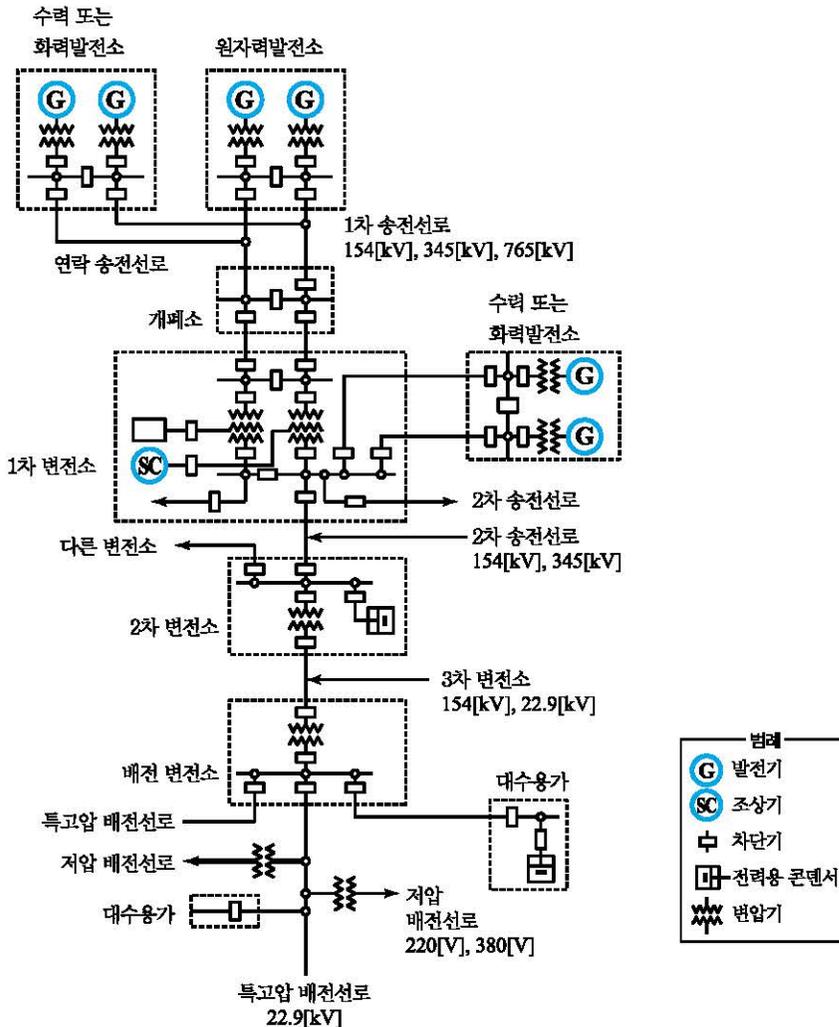
출처 : 전력계통도, 한국전력공사

[그림 2-3] 우리나라의 전력계통도

송배전계통의 구성

전기는 저장이 어렵기 때문에 생산량과 소비량을 적정하게 유지해야 하며, 전력 수송 과정에서의 손실을 줄이는 것이 중요하다. 이를 위해서는 전기 사용량에 맞춰 전기를 생산하는 발전설비를 갖추어야 하며, 손실을 줄이기 위해 송전전압을 높여 수송하고, 전기를 사용하는 사람들의 안전을 고려하여 사용전압은 낮춰 공급해야 한다.

[그림 2-4]는 송배전계통의 예를 나타낸 단선결선도이다. 발전소에서 생산되는 전기는 3상 교류이며 일반적으로 20[kV] 내외의 특고압이다. 그러나 이 정도의 발전전압으로는 대전력을 장거리까지 송전하기 어려우므로 발전소 안에 있는 승압변압기(Step-up Transformer)로 알맞은 전압(154[kV], 345[kV], 765[kV])으로 승압시킨 후 첩탑으로 연결된 송전선로를 통하여 수용가 인근의 1차 변전소에 송전한다.



[그림 2-4] 송배전계통의 예 : 단선결선도

1차 변전소에서는 전압을 154[kV] 정도로 강압한 후 철탑으로 연결된 송전선로를 통해 2차 변전소로 보낸다. 2차 변전소에서는 높은 전압을 사용하는 공장으로 직접 전기를 공급하거나, 철탑에 연결된 송전선로를 통해 수용가 인근에 있는 배전용 변전소로 보낸다. 그리고 배전용 변전소에 설치되어 있는 변압기를 통해 배전용 전압인 22.9[kV]로 강압하여 빌딩이나 공장의 자가용 수용가로 전기를 공급하고, 인도나 배전용 전주에 설치되어 있는 주상변압기를 통해 220[V], 380[V]로 강압하여 가정이나 학교, 소규모 공장, 상가 등으로 전기를 공급한다.

실제로 발전소에서 송전전압을 몇 [kV]로 승압하고 이것을 몇 단계에 걸쳐서 강압할 것인가, 또 변전소에서 대용량 수용가에게 몇 [kV]의 전압으로 직접 전기를 공급할 것인지는 계통에 따라 다를 수 있다.

SECTION
02

송배전방식

송전과 배전은 발전소에서 생산한 전기를 수용가로 보내는 과정이다. 이때 발전소에서 생산한 전기를 어떤 형태로 보내는가에 따라 교류 송전방식과 직류 송전방식으로 나눌 수 있다. 이 절에서는 교류 송전방식과 직류 송전 방식에 대해 알아보고, 장단점을 비교해보자.

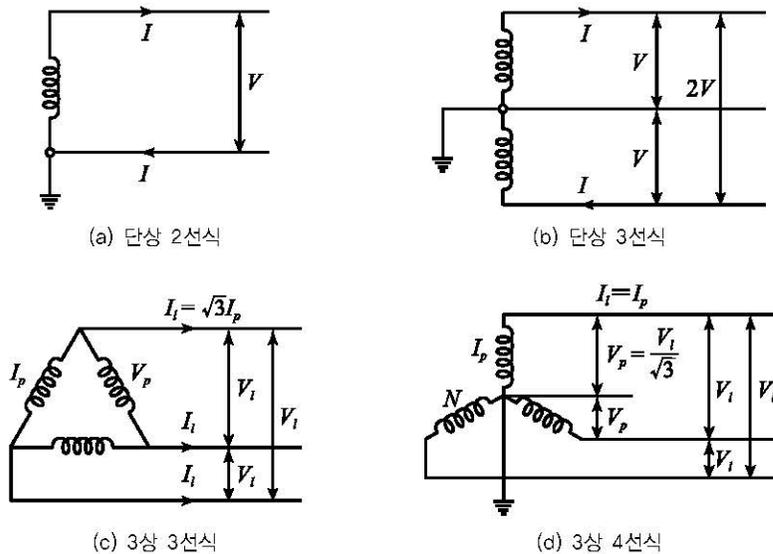
Keywords | 교류 송전방식 | 직류 송전방식 |

교류 송전방식

교류 송전방식이란 발전소에서 생산되는 전기를 필요한 전압으로 높여서 송전하는 것으로 발전소에서 수용가의 부하단까지 모두 교류로 운전하는 방식이다.

교류 송전방식에는 [그림 2-5]와 같이 단상 2선식(1 ϕ 2W), 단상 3선식(1 ϕ 3W), 3상 3선식(3 ϕ 3W), 3상 4선식(3 ϕ 4W) 등 여러 가지가 있으나 대부분 3상 3선식을 사용하고 있다. 왜냐하면 3상 3선식에서 전선 한 가닥의 송전전력이 단상 2선식의 송전전력의 1.15 배이므로 더 많은 전력을 전송할 수 있기 때문이다.

한편 우리나라의 배전선로는 3상 4선식을 적용하고 있는데 이는 선간전압과 상전압을 모두 사용할 수 있기 때문이다.



[그림 2-5] 교류 송전방식의 다양한 방법

선간전압 $V(=V_l)$, 상전압 V_p , 선전류 $I(=I_l)$, 상전류 I_p , 역률 $\cos\theta$ 이고 전선의 굵기(중성선과 전원선의 굵기도 같다)가 동일할 때 교류 송전방식의 방법을 비교하면 [표 2-1]과 같다.

[표 2-1] 교류 송전방식 방법 비교

구분	단상 2선식	단상 3선식	3상 3선식	3상 4선식
전력	$VI\cos\theta$	$2VI\cos\theta$	$\sqrt{3}VI\cos\theta$	$3EI\cos\theta$
전선 한 가닥당 송전전력	$\frac{VI\cos\theta}{2}$	$\frac{2VI\cos\theta}{3}$	$\frac{VI\cos\theta}{\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{3}VI\cos\theta}{4}$
	1	$\frac{4}{3}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\frac{2\sqrt{3}}{4}$
전류	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{3}$
전력손실	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{6}$
저항비	1	4	2	6
전선량	1	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{3}$

[표 2-1]을 이용하여 3상 3선식과 단상 2선식을 비교해보자. 전선의 굵기와 송전전력이 동일하면 3상 3선식의 전력손실이 단상 2선식의 전력손실의 $\frac{1}{2}$ 이고, 송전전력과 전력손실이 동일하면 전선량은 $\frac{3}{4}$ 이 된다. 또한 3상 3선식의 전선 한 가닥당 송전전력은 단상 2선식의 1.15 배로 가장 유리하다.

예제 2-1

송전전력, 송전거리, 전력손실, 전선의 굵기가 일정할 때 단상 2선식에 대한 3상 3선식의 전선 한 가닥당 송전전력비는 얼마인가?

풀이 정답 1.15

선간전압 V , 전류 I , 부하역률을 $\cos\theta$ 라 하면 단상 2선식에서의 전력은 $P_1 = VI\cos\theta$ 이고, 3상 3선식에서의 전력은 $P_3 = \sqrt{3}VI\cos\theta$ 이다. 이때 전선 한 가닥당 송전전력을 구하려면 구한 전력값을 전선의 수로 나눈다.

즉 단상 2선식의 전선 한 가닥당 송전전력 P_{11} 과 3상 3선식의 전선 한 가닥당 송전전력 P_{31} 은 다음과 같다.

$$P_{11} = \frac{VI\cos\theta}{2}$$

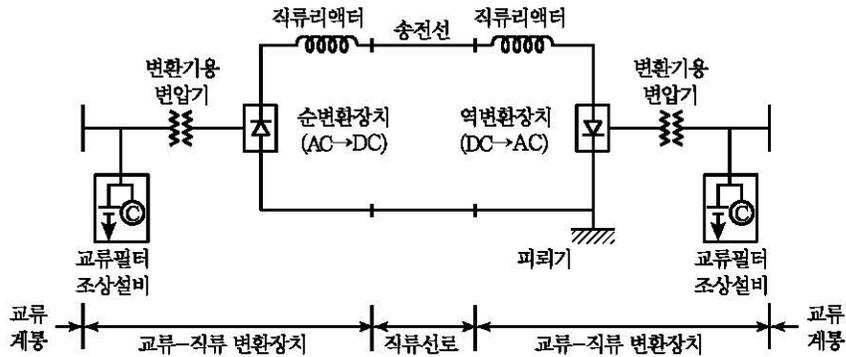
$$P_{31} = \frac{\sqrt{3} VI\cos\theta}{3} = \frac{VI\cos\theta}{\sqrt{3}}$$

3상 3선식의 전선 한 가닥당 송전전력 P_{31} 을 단상 2선식의 전선 한 가닥 당 송전전력 P_{11} 로 나누어 송전전력비를 구하면 다음과 같다.

$$\therefore \frac{P_{31}}{P_{11}} = \frac{\frac{VI\cos\theta}{\sqrt{3}}}{\frac{VI\cos\theta}{2}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \approx 1.15$$

직류 송전방식

직류 송전방식이란 발전소에서 생산된 교류전력을 직류전력으로 변환하여 송전한 후, 다시 교류전력으로 변환하여 수용가에 공급하는 방식이다. 즉 송전단에서는 발전기에서 생산된 교류전압을 승압변압기를 이용하여 승압하고, 순변환장치(converter)에 의해서 교류를 직류로 변환해서 송전한다. 또한 수전단에서는 역변환장치(inverter)에 의해서 다시 직류를 교류로 변환해서 배전한다. 이를 직류 송전계통의 구성도로 표현하면 [그림 2-6]과 같다.



[그림 2-6] 직류 송전계통의 구성도

직류 송전계통을 구성하는 주요 설비를 정리하면 다음과 같다.

■ 변환장치

변환장치에는 교류로부터 직류로 변환하는 순변환장치와 직류를 교류로 변환하는 역변환장치가 있다. 변환장치의 구성에서 핵심이 되는 것은 사이리스터 밸브(thyristor valve)이다. 이는 여러 개의

사이리스터 소자를 병렬로 접속한 모듈(module) 형태로 이 모듈을 필요한 만큼 직렬로 접속하여 하나의 밸브를 구성하게 된다.

■ 변환기용 변압기

직류 송전방식에서는 변환장치에서 고조파가 발생한다. 일반 변압기에 비해 고조파가 포함된 전류가 권선에 흐르고, 밸브에서 사고가 발생하거나 전류 차단에 실패할 경우 과도한 전류가 흐르므로 이에 대한 충분한 여유가 있어야 한다.

■ 직류차단기

직류에는 전류 0점이 없으므로 직류전류를 차단하기 위해서는 전류 0점을 발생시켜야 한다. 또한 직류차단기는 과전압을 억제하고 차단 시 발생하는 대용량 에너지를 흡수할 수 있는 능력이 필요하다.

■ 직류리액터

직류리액터는 직류 송전시스템의 순·역 변환소에 설치하여 직류전류의 맥동을 감소시켜 평활한 전류가 되도록 하고 직류 송전시스템의 사고 시 고장전류를 억제한다.

■ 교류필터 및 조상설비

교류필터와 조상설비는 변환장치에서 발생하는 고조파를 흡수하거나, 필요한 무효전력을 공급한다.

■ 피뢰기

피뢰기는 직류선로, 직류모선, 사이리스터 등의 설비에 침입하는 뇌 서지와 개폐 서지 보호 및 이상전압 보호용으로 직류 송전용 변환소에 설치된다.

우리나라에서는 제주도의 원활한 전력공급을 위하여 전라남도 해남과 제주시의 변환소를 연결하는 ± 180 [kV], 300 [kV], ± 180 [km] 2회선 거리의 해저케이블을 이용한 직류 송전선로를 1998년부터 운용하고 있으며, 향후에는 진도와 제주 간의 직류연계전송사업을 계획하고 있다.

송전방식의 비교

현재 우리나라에서는 발전으로부터 부하단에 이르기까지 대부분 교류 송전방식을 사용하고 있다. 그러나 외국에서는 계통간 비동기 연계와 장거리의 대용량 송전, 계통 안정화, 해저 케이블 건설, 주파수 변환 등에 직류 송전방식을 사용하고 있다.

교류 송전방식의 장점

■ 전압의 승압과 강압이 용이하다.

발전단에서 부하단에 이르는 각 구간에서 사용하기에 편리한 전압값으로 바꾸면 송전손실을 줄일 수 있는 것은 물론 전기를 사용하는 사람들도 안전하게 사용할 수 있다. 이때 교류 송전방식은 변압기를 사용하므로 쉽게 전압을 승압하거나 강압을 할 수 있다.

■ 3상 회전자계를 쉽게 얻을 수 있다.

교류발전기는 직류발전기보다 구조가 간단하고 효율도 좋아, 특수한 곳을 제외하고는 대부분 교류 발전기를 사용하고 있다. 또한 산업 현장에서는 동력 전달장치로 유도전동기를 사용하고 있다. 이때 교류 방식에서는 회전자계를 쉽게 얻을 수 있으며 유도전동기를 구동할 수 있다는 장점이 있다.

■ 교류 방식의 일관된 운용으로 편리하며 합리적 사용이 가능하다.

현재 부하의 대부분은 교류 방식으로 되어 있기 때문에, 발전에서 배전까지 전과정을 교류 방식으로 통일함으로써 합리적이고 경제적으로 운용할 수 있다.

예제 2-2

직류 송전방식에 비해서 교류 송전방식의 장점이 아닌 것은 무엇인가?

- ① 송전효율이 좋다.
- ② 전압의 승압 및 강압이 용이하다.
- ③ 회전자계를 얻기 용이하다.
- ④ 계통을 일관되게 운용할 수 있다.

풀이 정답 ①

직류 송전방식이 교류 송전방식보다 효율이 좋다. 반면 전압의 승압과 강압이 쉽고, 회전자계를 얻기 쉬우며, 계통을 일관되게 운용할 수 있는 것은 교류 송전방식의 장점이다.

직류 송전방식의 장점

■ 교류 최고전압의 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 배로 절연 계급을 낮출 수 있다.

전압이 같을 때 직류전압은 교류전압의 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 배이므로 선로의 절연이 그만큼 용이해진다. 따라서 송전 철탑을 이용하는 가공선로에서는 애자의 연결 개수를 줄일 수 있다. 즉, 애자련의 크기를 작게 할 수 있다. 이때 애자련은 철탑과 같은 지지물에 전선을 고정하기 위하여 사용하는 것으로 애

자 여러 개를 직렬로 연결하여 절연 강도를 높인 것을 말한다.

■ 송전효율을 극대화할 수 있다.

직류 송전방식에서는 주파수의 영향을 받는 표피효과, 무효전력 등의 손실이 없으며, 역률이 항상 1이므로 송전효율을 극대화할 수 있다.

■ 안정도가 좋다.

직류 송전방식에서는 계통의 리액턴스, 위상각에 대해서 고려할 필요가 없기 때문에 즉 단락용량에 제한이 없다. 즉 송전전력의 제한이 없어 교류 송전방식에 비하여 안정도가 좋다.

기존 사용하고 있는 교류 송전계통의 철탑과 선로는 그대로 사용하고, 애자만 직류형으로 바꾸면 현재 직류전압을 교류 선간전압 실효치의 $\sqrt{2}$ 배까지 높일 수 있다. 또한 선로가 교류 송전 시와 같은 온도에서 운전된다고 가정하면 송전전력은 2배가 된다.

예제 2-3

교류 송전방식과 직류 송전방식을 비교하라.

풀이

교류 송전방식과 직류 송전방식의 특징을 비교하면 다음과 같다.

구분	교류 송전방식	직류 송전방식
계통구성의 용통성	크다 (부하 대부분이 교류 방식임)	적다 (직류차단기 개발이 필요함)
안정도	안정도 문제로 송전용량이 제한	안정도 문제 없음
단락용량	계통 용량 증대에 제한	단락용량의 제한이 없음
고조파	제3고조파, 제5고조파	변환기에서 고조파 발생
신뢰성	운전경험, 실적, 자료, 인력이 많다	운전경험, 실적, 자료, 인력이 적다

SECTION
03

송전용량과 송전전압

전기를 전송할 때는 최대전력과 전압의 크기를 설정해야 한다. 이때 송전선로에서 전송할 수 있는 최대의 전력을 송전용량, 전송하는 전압의 크기를 송전전압이라 한다. 이 절에서는 송전용량과 송전전압을 계산하고 결정하는 방법에 대해 살펴보자.

Keywords | 송전용량 | 송전전압 | 표준전압 | 공칭전압 |

송전용량

송전용량이란 하나의 송전선로에서 전송할 수 있는 최대의 전력을 의미한다. 효율적인 송전용량을 결정하려면 송전선로의 길이, 사용하는 전선의 종류, 고장 발생 시 안정도 문제, 전력손실, 조상설비 등을 복합적으로 검토해야 하며 기술적으로 안정되고 경제적이어야 한다. 송전용량을 결정하는 방법으로는 고유 부하법과 송전용량 계수법이 있다.

고유 부하법

고유 부하법(SIL : Surge Impedance Loading)은 수전단에서 선로의 특성 임피던스와 같은 임피던스로 접속하고, 저항이나 리액턴스를 무시하여 선로의 무효전력을 0으로 한(최소화한) 이상적인 송전방식이다. 이때의 부하를 고유 부하라 하며, 이때의 수전전력을 고유 송전용량이라 한다.

$$P = \frac{E_r^2}{Z} = \frac{E_r^2}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \text{ [MW/회선]} \quad (2.1)$$

- P : 고유 송전용량[MW/회선]
- E_r : 수전단 선간전압[kV]
- Z : 선로의 특성 임피던스[Ω]
- L : 인덕턴스[H]
- C : 정전용량[F]

송전용량 계수법

고유 부하법을 사용하면 선로의 길이에 관계없이 전압의 크기만으로 송전용량을 결정한다. 반면 고유 부하법에 송전선로의 길이를 고려하여 송전용량을 결정하는 방법이 송전용량 계수법이다. 154[kV] 급의 송전용량 계수는 일반적으로 1200 정도이다.

$$P_r = k \frac{E_r^2}{l} \quad (2.2)$$

- P_r : 수전전력[kW]
- k : 송전용량 계수
- E_r : 수전단 선간전압[kV]
- l : 송전선로의 길이[km]

송전전압

송전전압이란 송전선로에서 사용하는 전압을 의미한다. 일정한 거리의 송전선로에서 송전전압을 높이면 송전용량이 증가된다. 하지만 송전전압이 높아지면 송전선로의 지지물의 절연강도가 높아져 건설비가 증가하므로 송전전압을 무한정 높일 수는 없다. 따라서 일정한 거리의 송전선로에서는 경제적인 전압을 산정하여 효율적으로 송전하는 것이 유리하다.

미국의 Alfred Still이 제안한 경제적인 송전전압을 계산하는 식은 다음과 같다.

★ Alfred Still 식 ★

$$\text{경제적인 송전전압} = 5.5 \sqrt{0.6 \times \text{송전거리[km]} + \frac{\text{송전전력[kW]}}{100}} \text{ [V]} \quad (2.3)$$

이 식은 중거리 송전선로에서 대략적인 송전전압값을 구할 때 사용할 수 있고, 일정한 거리의 송전선로에 적용할 수 있는 경제적인 전압이 존재한다는 것을 알 수 있다. 그러나 경제적인 전압에 따라 송전선로를 구성하면 송전전압에 맞춰 송전선로에 사용되는 설비의 종류가 다양해진다. 이 과정에서 설비간의 호환성이 줄어들어 비경제적이다. 따라서 선로 및 설비를 표준화하기 위해 표준전압(standard voltage)을 설정함으로써 송전전압의 종류를 줄여서 사용한다.

표준전압에는 공칭전압(nominal voltage)과 최고전압(highest voltage)이 있다. 공칭전압은 전선로를 대표하는 전압으로 선로의 선간전압으로 표시되는데, 보통 수전단 전압값보다 10% 높다. 최고전압은 전선로에서 발생하는 최고 선간전압으로서 전기설비 또는 기기의 설계, 염해 대책, 1선지락고장 시의 내부 이상전압, 코로나¹ 장해, 정전유도장해 등을 고려할 때의 표준이 되는 전압이다.

우리나라에서 사용하는 표준전압은 [표 2-2]와 같다.

¹ 코로나는 높은 전압이 흐를 때 전선 주변 공기의 절연이 파괴되는 방전 현상이다. 코로나는 5장에서 자세히 다룬다.

[표 2-2] 우리나라의 표준전압

공칭전압 [kV]	최고전압 [kV]
3,3	3,6
6,6	7,2
22	24
22,9	25,8
154	170
345	362
765	800

우리나라에서 사용하는 송전전압은 154[kV], 345[kV], 765[kV]으로 고전압을 사용하고 있다. 고전압으로 송전을 할 경우 송전용량이 증가하며, 전력손실을 줄일 수 있다. 또한 동일한 용량의 전력을 전송할 경우 전압이 높으면 전류가 작아지게 되므로 송전선의 단면적을 작게 할 수 있다.

예제 2-4

송전전압을 고전압으로 할 때의 장점이 아닌 것은 무엇인가?

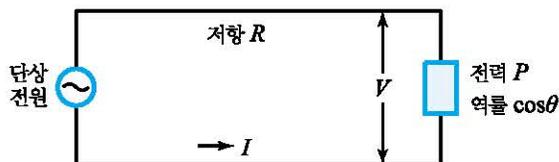
- ① 송전용량이 증가한다.
- ② 전력손실이 감소한다.
- ③ 동일 용량의 전력을 송전할 경우 송전선의 굵기를 줄일 수 있다.
- ④ 선로 절연이 낮아지므로 건설비가 감소한다.

풀이 정답 ④

송전전압이 고전압일 경우 선로의 절연은 높아져야 하므로 철탑의 규모가 커지게 되고 건설비는 증가한다.

전력손실

90% 이상의 고효율로 송전을 하려면 송전선로에서의 전력손실을 작게 해야 한다. 송전선로에서의 전력손실은 코로나 등 다른 원인도 있지만 대부분 저항에 따른 것이므로 여기서는 저항에 의한 손실만 고려한다. [그림 2-7]은 기본적인 단상 2선식 선로이다.



[그림 2-7] 단상 2선식 선로

이때의 부하전력 P , 선전류 I , 선로내의 저항손 P_i 은 다음과 같다.

$$P = VI \cos \theta [\text{W}] \quad (2.4)$$

$$I = \frac{P}{V \cos \theta} [\text{A}] \quad (2.5)$$

$$P_i = 2I^2 R = \frac{2P^2 R}{V^2 \cos^2 \theta} [\text{W}] \quad (2.6)$$

- V : 부하전압[V]
- $\cos \theta$: 부하역률
- R : 송전선로 한 가닥의 저항[Ω]

전력 P 와 송전선로 한 가닥의 저항 R 이 동일하다고 가정하면 식 (2.6)으로부터 선로 내의 저항손은 전압 V 와 역률 $\cos \theta$ 의 제곱에 각각 반비례한다는 것을 알 수 있다. 즉 전압을 2배 올려 송전한다면 송전선로의 손실은 $\frac{1}{4}$ 로 감소한다. 또 저항손 P_i 과 전력 P 와의 비를 저항손실률이라 하며, 저항손실률 p_i 는 다음과 같다.

$$p_i = \frac{P_i}{P} = \frac{\frac{2P^2 R}{V^2 \cos^2 \theta}}{P} = \frac{2PR}{V^2 \cos^2 \theta} \quad (2.7)$$

이를 전력에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$P = \frac{p_i V^2 \cos^2 \theta}{2R} [\text{W}] \quad (2.8)$$

- 2.1 단상 2선식과 3상 3선식의 선간전압, 배전거리, 선로손실 및 전력공급이 모두 같을 때의 전선 한 가닥의 저항비를 구하라.
- 2.2 단상 2선식과 3상 3선식의 부하전압이 100[V]으로 같을 때 두 송전방식에서 선로전류의 비를 구하라.
- 2.3 단상 부하와 전력손실이 같다고 가정할 때 단상 3선식의 전선량과 단상 2선식의 전선량을 비교하라.
- 2.4 단상 2선식 배전선의 소요전선총량이 100일 때 3상 3선식과 단상 3선식의 전선총량[%]을 구하라.
- 2.5 전송전력이 400[MW], 송전거리 200[km]인 경우의 경제적인 송전전압[kV]을 구하라.
- 2.6 62[MW]의 전력을 60[km] 떨어진 지점에 송전할 때의 전압[kV]을 구하라.
- 2.7 송전거리 50[km], 송전전력 5000[kW]일 때의 송전전압[kV]을 구하라.
- 2.8 다음 식은 무엇을 결정할 때 쓰이는 식인가? 단 l 은 송전거리이고, P 는 송전전력이다.

$$5.5 \sqrt{0.6l + \frac{P}{100}}$$

- | | |
|------------------|-------------|
| ① 송전전압 | ② 송전선의 굵기 |
| ③ 역률개선 시 콘덴서의 용량 | ④ 발전소의 발전전압 |