

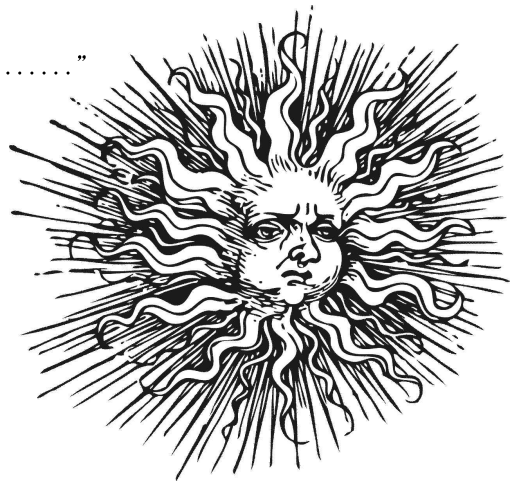
펜들고

물리I : [전기 에너지] 편



“첻, 뭐라는 거야.....”

차례



1	전기회로의 이해	쪽
이	전기회로란 무엇인가	004
02	직렬과 병렬, 그리고 옴의 법칙	004
03	한방에 끝내는 예제	이0
2	전기에너지의 발생과 수송	쪽
이	전기에너지의 생산	이2
02	전기에너지의 수송	024
03	변압의 원리	030
04	한방에 끝내는 예제	034
3	변압기	쪽
이	변압기의 계산 - 기본	036
02	변압기의 계산 - 심화	041
03	생활 속의 전기에너지	066
04	한방에 끝내는 예제	068

“태양은 지구를 돈다!”





〈저자의 말 - 들어가기에 앞서〉

‘대학 수학 능력시험’에서 물리I에서 점수를 좌우하는 단원이라고 하면 단순히 속도•가속도, 일•에너지 등에 대해서 다루는 역학단원만을 떠올리기 쉽다. 그렇기에 많은 학생들이 역학 문제의 풀이에 시간을 쏟으면서 정작 실전에서 다른 단원의 조그만 변화에도 대처하지 못하고 틀리는 경우가 많다.

그중 정확한 개념과 빠른 적용 능력이 동시에 요구되는 ‘전기 에너지’ 관련 문항은 앞으로 남은 수능 물리I에서 숨은 킬러로 떠오를 거라 예상한다. 특히 단순한 계산뿐이 아닌 기본적인 개념으로도 수험생들을 흔들 수 있다는 점은 매우 매력적인 부분으로 작용한다.

저자는 물리I 과목에서 단기간 동안 중위권에서 상위권으로 도약하면서 그간 상위권이 되지 못한 학생들이 ‘전기 에너지’와 관련하여 겪는 많은 허점들을 관찰해온 바가 있다. 학생들이 문제를 풀지 못한 이유는 크게 ‘전기 에너지’와 회로의 특성에 대한 정확한 이해가 이루어지지 않기 때문이라고 볼 수 있다. 그래서 저자가 불분명했던 개념들을 하나씩 바로 잡아가며 떠오른 생각은 여러 선생님들과 참고서에서 “왜 이 부분을 말해주지 않았을까?”, “왜 이렇게 설명해주지 않았을까?” 하는 아쉬움이었다. 그런 아쉬움을 해결하고자 시간을 투자해 만든 〈펜들고〉는 어떤 문제들을 맞닥뜨려도 **개념이 흔들리지 말고, 또, 예외 없이 해결할 수 있도록 함을 목표로 저술했다.**

시작부터 끝까지 물리I 수험생들을 끈질기게 괴롭히는 ‘전기에너지’ 단원을 정복하여 실전에서 원하는 점수를 받을 수 있게끔 〈펜들고〉가 개념보완서의 역할을 충실하게 해냈으면 하는 바람이다.

〈일러두기〉

기호	의미
펜들고	가장 중요한 기본개념! 이것만 읽어도 반은 먹고 들어간다!
펜놓기	활용률 100% 실전개념. 정답으로 가는 지름길!
빨간펜	패러데이, 테슬라도 깜빡 실수할 수 있는 부분들.

※ 들어가기 전에 반드시 본 교재의 정오표를 확인해 주세요.

정오표는 “Team 나승”의 블로그 (http://blog.naver.com/team_ns15)의 자료실에서 다운받을 수 있습니다. (정오사항이 없는 경우 정오표를 제작하지 않습니다.)



02. 전기에너지의 수송

발전기를 통해 전기 에너지를 만들었으니, 이제 그것을 수송할 차례이다.



그냥 모두가 시이중개 발전소 옆에
불어넣으면 안 되잖아요? 까르르르~~

◎ 왜 교류를 사용할까?

1. 송전에 있어서 교류는 절대적으로 유리하다. 직류는 송전선의 저항에 의해 전압이 낮아지는 문제를 해결하기 어렵기 때문이다.

2. 교류는 변압기를 이용하여 전압을 자유롭게 바꿀 수 있지만 직류는 그렇지 못하다.

3. 마지막으로 '안전성'에 관한 이유이다. 전기는 우리 몸속의 신경세포를 통해 쉽게 흐를 수 있는데 직류는 전자의 흐름이 단방향이기 때문에 신경세포를 마비시킨다. 교류역시 신경세포에 영향을 끼치지만 그 영향은 직류보다 훨씬 더 높은 전압에서야 가시적이다.

제발 상식적으로 말이 되는 소리를 하자.(이런 질문을 받으면 저자는 책을 쓰기가 싫어진다.) 저런 게 가능했다면 우리가 이렇게 고생해가며 '전기에너지의 수송'을 배우는 이유가 없어진다.

'전기에너지의 수송'과 관련해서는 다양한 난이도로 평가원 시험에서 출제되니, 집중해야 한다. 아무래도 앞의 발전기보다는 더 큰 비중을 뒤야 할 수밖에 없다. (발전기야, 미안.)

전력! 이라고 하면 물리I을 선택한 수험생들은 너 나 할 것 없이 $P = VI$ 를 떠올린다. 이 식이 어떻게 나왔는지는 다음페이지의 오른쪽 여백의 보충설명에 잘 적어 놓았으니 한 번 정도는 읽어보도록 하자.

어쨌거나 우리가 알다시피 $P = VI$ 이고 <펜들고>의 첫 단원에서 배운 $V = IR$ (옴의 법칙)을 대입하여 V 와 I 를 각각 소거시켜주면 $P = I^2 R$ 과 $P = \frac{V^2}{R}$ 이란 식을 얻는다. 결과적으로, 우리가 머릿속에 집어넣고 있는 것은 다음과 같다.

$$P = VI = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

오! 뭔가 깔끔하고 정연해 보인다. 하지만.....

“이것으로 재앙은 시작된다.....!”





㉠ 재앙1. 송전 전압이 커지면 손실전력은 어떻게 될까?



[그림 12]

그림과 같이 공급전력이 P 로 일정한 발전소와 전력을 필요로 하는 가정이 저항이 R 인 송전선으로 연결되어 있다. 이때, 발전소에서 송전 전압을 처음보다 2배 높이면 송전선에서의 손실전력은 어떻게 될까?

문제를 풀기에 앞서 문제의 설명에서 뭔가 이상한 점이 있었을 것이다.

“풍차와 이글루가 한 지역에 있어요!”

바로 그것이다! 아, 아니..... 그걸 말하려던 것이 아니다!(날 헛갈리게 하지 말도록!) 저자가 말하려던 것은 바로 실제 송전과정에서는 ‘**변압기**’가 필요하다는 것이다. 발전소에서 생산한 전류를 가정에서 쓸 수 있도록 하기 위해서는 변압기를 통해 전압을 조정하는 과정이 필요하다. 하지만 문제에서는 단순히 편의상 발전소, 송전선, 가정이 직접적으로 연결되어 있다고 가정하도록 하자. 변압기에 대해서는 뒤쪽에서 좀 더 자세히 다루도록 하겠다.

어쨌거나 다시 문제로 돌아와 보자. 과연 전압이 2배로 증가하면 송전선에서의 손실전력은 어떻게 변화할까? 이에 대하여 평가원 수석 알바생인 ‘철수’와 ‘영희’의 의견을 들어보도록 하자.

$$P = VI = I^2 R!$$

전력이 P 로 일정하니까 전압이 2배면 전류는 반 토막!

따라서 $P = I^2 R$ 에 대입하면 손실전력은

$\frac{1}{4}$ 배가 된다고!



$$P = \frac{V^2}{R} \text{도 몰라?}$$

송전선의 저항은 일정한데 전압은 두 배가 되었잖아!

그냥 봐도 손실전력은 4배가 된다고! 이 멍청아!

※ 균일한 전기장이 E 일 때 전하 q 에 작용하는 전기력은

$$F = qE$$

이므로 거리 d 만큼 움직일 때 하는 일은

$$W = Fd = qEd$$

이다.

따라서 전기에너지는

$$\varepsilon = qEd$$

이다.

또, 전압이 V 이고 두 극판 사이의 간격이 d 인 전기장 내에서 전하 q 를 옮기는데 필요한 일은

$$W = qV$$

이므로

$$qV = qEd$$

에서 전압은

$$V = Ed$$

의 관계가 있다. 따라서 전기에너지는

$$\varepsilon = qV = VIt$$

이다.

단위 시간 동안 소모되는 전기 에너지의 양을 전력이라고 하므로 전력은

$$P = \frac{\varepsilon}{t} = \frac{VIt}{t} = VI = I^2 R$$

가 된다.

(물리교과서, 「천재교육」)



※ 이제부터 송전선 등에서 의도치 않게 손실되는 전력을 ‘손실전력’, 전력을 필요로 했던 소비지에서 직접 소모하는 전력을 ‘소비전력’이라고 하겠다.

누구의 말이 맞는 것일까? 아무래도 그림을 봤을 때 영희가 이기고 있는 것 같으니 영희의 말을 따르는 게 좋을까?

양쪽 다 각자의 논리가 있어서 이 상황에 대해서 처음 고려해본 사람은 당황스러울 것이다. 혹은 이전에 이런 상황을 본 적 있더라도 개념이 흔들리는 수험생은 다시 글을 읽어보면 헷갈릴지도 모른다. 하지만 아무리 봐도 두 사람의 말이 동시에 옳을 순 없다. 과연 누구의 말이 맞을까?

결론부터 말하자면 철수의 말이 옳다. (아무래도 저자는 영희의 손에 무사하지 못할 것 같다.) 영희의 의견에 반론하지 못한 사람이더라도 다들 학교나 학원에서 “송전 전압을 n 배를 높이면 송전선에서 소모되는 전력은 $\frac{1}{n^2}$ 배가 됩니다!”란 말은 귀에 못 박히도록 들었을 것이다.

지금부터 그 이유를 설명 할 테니 실전에서는 절대 헷갈리거나 고민하는 일이 없도록 하자.

우선 발전소, 송전선, 가정(소비지)를 다음과 같이 [그림 13]처럼 하나의 전기회로로 나타낼 수 있음을 인지해야 한다.



[그림 13]

이때, 중요한 것은 ‘에너지 보존 법칙’에 의해 공급전력은 (송전선의)손실전력과 (가정의)소비전력의 합과 같으며, 단일 전기회로에서는 임의의 순간에 대해서 항상 ‘옴의 법칙’이 성립한다는 것을 기억해야 한다. 이 두 가지는 나중에 변압기에서도 중요하게 다뤄지므로 꼭 명심하도록 하자.

문제를 이해하는 것은 의외로 간단하다. 각 지점에서의 전압, 전류, 저항을 모조리 표시해 보는 것이다. 그리고 나서 누구의 말이 맞는지 두 눈으로 ‘직접’ 확인해보자.

문제에서 공급전력은 P 로 일정하고, 송전선의 저항은 R 이라고 주어졌다. 그렇다면 우리는 발전소의 송전전압을 V , 송전전류를 I 라고 해보자. 즉, $P = VI$ 인 셈이다.

이제 무엇을 할 것인가? 우리는 발전소를 시작으로 화살표 방향을 따라 송전선, 가정을 차례로 거쳐서 전압과 전류를 분배할 것이다. 이 회로는 일종의 직렬연결이므로 송전선과 가정에 걸리는 전류의 값은 각각 전체전류와 같고, 송전선에 걸리는 전압과 가정에 걸리는 전압의 합이 처음 발전소에서 공급한 송전전압(전체전압)과 같아야 한다. 즉, 전압을 분배할 때, 먼저 송전선의 저항에 걸리는 전압을 구하고, 그 전압을 제외한 나머지 전압이 모두 가정에 걸린다고 간주하면 되는 것이다.

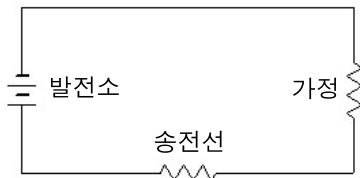


“그림에서 발전소와 가정이 연결되어 있는데, 전압과 전류가 가정을 먼저 지난다고 생각해도 되나요?”

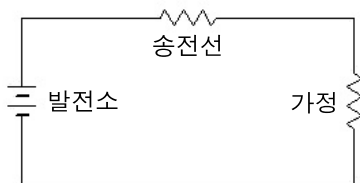
-경기도 광명시 김○○ 학생-

물론.....! 그러면 안 된다.

발전소의 발전기에서 생산되는 전류는 교류이며 따라서 현재 전기회로에서 발전소는 전류의 방향이 주기적으로 바뀌는 **교류전원**의 역할을 하고 있다. 문제에서는 그림의 편의상 한 방향으로 전류가 흐르는 것처럼 표시했지만 실제로는 다음 [그림 14]의 두 회로처럼 전류에 방향이 시계방향인 경우와 반시계 방향인 경우로 구분된다. 실제 문제에서는 두 경우 중 한 경우가 주어진다.



두 전기회로를 관찰하면 둘 중 어느 회로든지 다음과 같은 순서를 거친다는 것을 알 수 있다.



- 1) 발전기에서 공급전력 출발!
- 2) 송전선을 거친다!
- 3) 송전선에서 손실전력 발생!
- 4) 남은 전력을 모두 가정(소비자)에 공급!
- 5) (빈손을 털며) 전력수송, 끝!

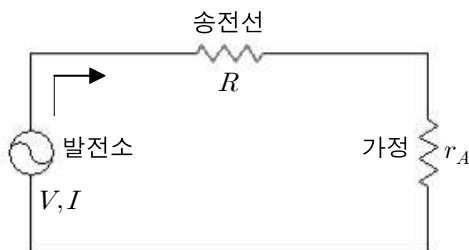
[그림 14]

자, 그렇다면 이제 시작해 보도록 하자. 이제부터 우리가 1단원에서 열심히 연습한 회로의 특성들이 빛을 발한다. (괜히 배운 게 아니다!)

먼저, 평상시의 발전소의 송전 전압과 송전전류, 송전선과 가정의 저항을 회로에다 모두 표시해보자.

(이 상황에서 가정의 저항을 r_A 라 하겠다.)

그러면 옆의 [그림 15]와 같이 표시할 수 있다.



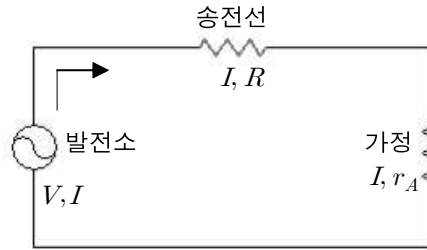
[그림 15]

다음으로, 직렬연결에서는 각 저항에 걸리는 전류의 크기가 같음을 고려하여 회로도에 표시해보자. 다음 페이지의 [그림 16]과 같을 것이다.

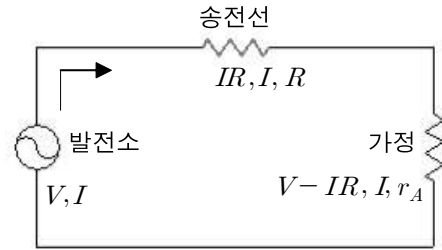
- ※ 1) 에너지 보존법칙
2) 옴의 법칙

※ “위, 아래 둘 다 똑같은 그림 같은데?” 라고 생각하면 안 된다. 전원을 확인하면 분명 전류의 방향이 다르다!

실제 문제에서는 출제자가 전류의 방향을 고려하여 줄테니 너무 걱정하지 말자.



[그림 16]



[그림 17]

이제 송전선과 가정에 걸린 전압만 표시하면 된다. 이때 우리는 **단일 전기회로에서는 임의의 순간에 대해서 항상 옴의 법칙이 성립**한다는 배웠다. 따라서 송전선과 가정에 걸리는 전압, 전류, 저항을 순서대로 표시하면 위의 [그림 17]과 같다.

이제 정리해보자. **에너지 보존법칙**과 **옴의 법칙**에 의하여 다음이 성립해야 한다.

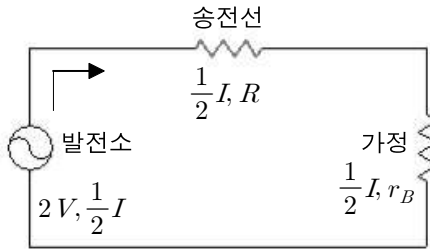
- 1) 공급전력 = (송전선에서의 손실전력) + (가정에서의 소비전력)
- 2) 송전전압 = (송전선에 걸리는 전압) + (가정에 걸리는 전압)
- 3) 발전소의 송전전류 = (송전선의 전류) = (가정의 전류)

아래 표로 한 번에 확인해보자.

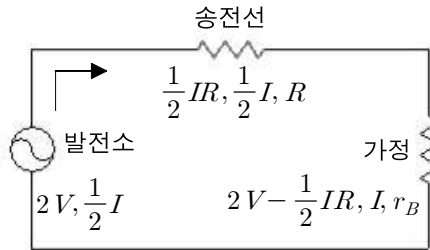
	발전소	송전선	가정
송전전력은 일정하므로	VI	$= I^2 R$	$+ I^2 r_A$
직렬연결에서 각 저항에 걸리는 전압의 합은 전체전압과 같으므로	V	$= IR$	$+ (V - IR)$
직렬연결에서 각 저항에 걸리는 전류의 크기는 같으므로	I	$= I$	$= I$

여기까지가 평상시 발전소에서 V 의 전압과 I 의 전류로 송전을 할 때 발생하는 상황이다. 여기서 전압이 V 에서 $2V$ 로 증가한다고 가정해보자.

제일 먼저 생각해야 할 것은 발전소의 공급전력이 $P = VI$ 로 일정하다는 점이다. 전압이 $2V$ 가 되었으므로 공급전력이 VI 로 일정하기 위해서는 $P = (2V) \times (\frac{1}{2}I) = VI$, 즉 송전 전류가 $\frac{1}{2}I$ 가 되어야 한다. 이제 같은 방식으로 저항과 전류를 표시해보자. (이 상황에서 가정의 저항을 r_B 라 하겠다.) 그러면 다음 페이지의 [그림 18]과 같을 것이다.



(그림 18)



(그림 19)

이어서 이전처럼 ‘옴의 법칙’을 이용하여 전압역시 표시해 준다. [그림 19]은 송전선과 가정에 걸리는 전압, 전류, 저항을 순서대로 표시한 것이다. 이 결과 역시 표로 정리할 수 있다.

	발전소	송전선	가정
송전전력은 일정하므로	VI	$= \frac{1}{4}I^2R + \frac{1}{4}I^2r_B$	
직렬연결에서 각 저항에 걸리는 전압의 합은 전체전압과 같으므로	$2V$	$= \frac{1}{2}IR + (2V - \frac{1}{2}IR)$	
직렬연결에서 각 저항에 걸리는 전류의 크기는 같으므로	$\frac{1}{2}I$	$= \frac{1}{2}I = \frac{1}{2}I$	

결과적으로, 송전전압이 V 일 때의 손실전력은 I^2R , 송전전압이 $2V$ 일 때의 손실전력은 $\frac{1}{4}I^2R$ 이 된다. 철수의 말이 맞는 것이다. (그리고 저자는 영희에게 쳐 맞는 것이다.....)

영희가 $P = \frac{V^2}{R}$ 을 사용해서 송전전압이 2배가 되면 손실전력이 4배가 될 거라 한 예상이 틀린 이유가 이제는 자명하다. **송전전압이 2배가 되어도, 송전선에 걸리는 전압은 2배가 되지 않기 때문이다.** (표를 통해 확인해보면 오히려 송전선에 걸린 전압은 반 토막 난다!)



손실 전력의 계산

송전선에서의 손실전력을 구할 때는 $P = I^2R$ 을 사용한다.

→ 우리가 문제를 통해 얻을 수 있는 전압은 대개 회로상의 송전전압(전체전압)이다. 그러나 $\frac{V^2}{R}$ 을 사용하기 위해서는 송전선에 걸리는 전압을 알아내야 하는 번거로움이 생긴다.

◎ 왜 소비지의 저항을 다른 값을 쓸까?

앞서 본문에서 송전 전압이 V 일 때와 $2V$ 일 때, 각각 소비지의 저항을 r_A, r_B 로 다르게 설정한 이유는 ‘옴의 법칙’ 때문이다. 공급전력이 일정할 때, 소비지의 저항 값이 고정되어 있을 경우 회로 전체의 저항 값이 고정되어 버리기 때문에

$V = IR$ 에서 송전전압과 송전전류는 비례하게 된다. 따라서 전압을 바꾸면서 공급전력을 이전과 동일하게 유지해야 하는 조건과 충돌이 생긴다.

★ 물론 이 부분은 출제자가 유의할 부분이지, 문제를 푸는 사람이 신경 쓸 필요는 없다.



우리가 깨달은 것은 결국 무엇인가? 딱 한마디만 하면 된다.

“이 전압이 그 전압이 아니었어!”

그러니까, 우리는 애당초 손실전력을 구하는 공식을 볼 때 다음과 같이 봤어야 하는 것이다.

$$(\text{손실 전력}) = (V_{\text{송전선}})I = I^2 R = \frac{(V_{\text{송전선}})^2}{R}$$

문제에서 송전선에 걸린 전압이 주어지지 않는 이상 안전한 풀이를 위하여 $P = I^2 R$ 을 사용하자.

03. 변압기의 원리

현실에서는 송전을 하기 전에 먼저 발전소에서 생산한 전기의 전압을 ‘승압’시키는 과정이 필요하다. (전압이 증가하면 손실전력이 줄어드니까!) 또, 가정에서는 송전선을 타고 온 전기의 전압을 낮추어 실생활에 사용할 수 있게끔 하는 ‘감압’의 과정이 필요하다. 여기서 큰 몫을 해내는 것이 바로 변압기이다.

테슬라의 교류가 에디슨의 직류를 이긴 이유는 바로 이 ‘변압기’의 사용에 용이하기 때문이라고 해도 과언이 아니다. 교류회로에서 변압기를 사용하면 두 회로의 직접적인 접촉이 없이도 전력을 수송할 수 있고, 전압을 바꿀 수 있는 장점이 있다.

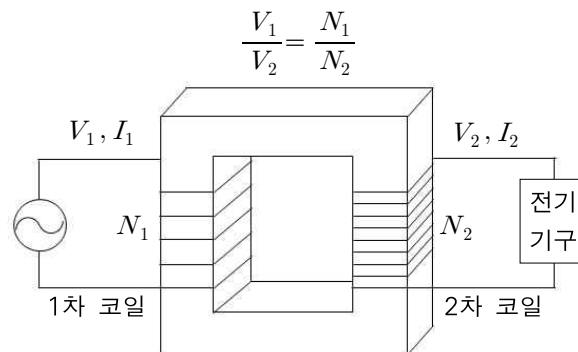
변압기의 원리는 ‘패러데이의 전자기 유도 법칙’으로 설명할 수 있다. 1차 코일에 교류가 입력되면 1차 코일 주위에 자기장이 변화하고, 2차 코일 주위에 영향을 미친다. 따라서 변화하는 자기장에 의해 2차 코일에 전류가 유도된다. 이때 유도전류의 세기는 패러데이의 전자기 유도 법칙에 의해 코일의 감은수와 자속의 변화율에 비례한다.

※ 만일 전력 손실이 없는 변압기라면 1차 코일에 공급되는 전력과 2차 코일에서 유도되는 전력은 같아야 한다. 하지만 시험문제에서는 전력 손실이 없는 아주 이상적인 변압기가 주어지지 너무 걱정 하지는 말자.

◎ 철심에 코일을 감는 까닭

1차 코일에서 발생하는 자기력선속이 외부로 흩어지지 않고 철심을 통해 2차 코일로 거의 모두 전달 될 수 있도록 하기 위한 것이다.

(출처 : 교학사, 「물리 교과서」)



(그림 20)