

WEBVTT

00:00:12.453 --> 00:00:13.414

반갑습니다.

00:00:13.514 --> 00:00:15.992

물리학1 기초개념학습 남북우입니다.

00:00:16.092 --> 00:00:21.463

오늘은 여덟 번째 주제, 열효율에
대한 내용 진행하도록 할게요.

00:00:21.563 --> 00:00:26.157

우리 지난 시간에 스텔링
엔진에 대해서 배웠었죠.

00:00:26.257 --> 00:00:32.036

이쪽에 열에너지를 공급해주면
실린더 안에 들어있는 피스톤이

00:00:32.136 --> 00:00:36.580

왕복 운동을 하면서 프로펠러도
돌리고 바퀴도 굴리고

00:00:36.680 --> 00:00:40.307

전구를 깜빡이게 하는
일을 했었습니다.

00:00:40.407 --> 00:00:47.245

오늘 여러분한테 보여지는 이 엔진도
또 다른 모습의 스텔링 엔진입니다.

00:00:47.345 --> 00:00:51.955

그런데 애 같은 경우는 열원을
뜨거운 물로 이용하고 있어요.

00:00:52.055 --> 00:00:55.878

그래서 뜨거운 물에서부터
공급되는 열에너지를 이용해서

00:00:55.978 --> 00:00:57.881

피스톤이 왕복 운동을 하고요.

00:00:57.981 --> 00:01:04.126

그 피스톤의 왕복 운동에 의해서 이렇게
톱니바퀴가 회전하고 있는 모습을

00:01:04.226 --> 00:01:05.466

지금 보여주고 있죠.

00:01:05.566 --> 00:01:07.746

여기에 건전지, 이런 게
따로 들어있는 게 아니라

00:01:07.846 --> 00:01:13.368

오로지 이 아래 놓여있는 이 컵에
뜨거운 물 하나 담아놓고요.

00:01:13.468 --> 00:01:17.779

그 뜨거운 물에 의한 열에 의해서

왕복 운동을 하고 있습니다.

00:01:17.879 --> 00:01:22.489

그래서 이 스텔링 엔진 같은
경우는 차가운 곳에 가서

00:01:22.589 --> 00:01:24.158

손바닥에 올려놓잖아요?

00:01:24.258 --> 00:01:30.032

그러면 이 손바닥 열에 의해서도
이 피스톤이 왕복 운동 하면서

00:01:30.132 --> 00:01:34.684

여기 톱니바퀴가 뱅글뱅글
돌기도 합니다.

00:01:34.784 --> 00:01:42.902

결과적으로는 온도 차에 의한
열의 이동이 심하게 일어나면

00:01:43.002 --> 00:01:45.078

열에너지가 많이 공급될 수 있고요.

00:01:45.178 --> 00:01:50.315

그 열에너지의 공급에
의해서 톱니바퀴를 돌리는

00:01:50.415 --> 00:01:51.762

일을 할 수 있구나.

00:01:51.862 --> 00:01:55.285

오늘의 주제가 바로 열효율이에요.

00:01:55.385 --> 00:01:59.655

바로 온도 차에 의해서
열에너지의 공급이 발생하고

00:01:59.755 --> 00:02:03.776

그 열에너지의 공급에 의해서
얼마만큼의 일을 할 수 있니.

00:02:03.876 --> 00:02:07.181

지금 멈췄어, 이게 왜 멈췄을까?

00:02:07.281 --> 00:02:13.116

여기에 들어있는 물의
온도가 좀 낮아진 거야.

00:02:13.216 --> 00:02:17.084

낮아지니까 주변의 온도와
온도 차이가 적어지게 되고

00:02:17.184 --> 00:02:21.965

온도 차이가 적어지게 되면
열에너지의 공급량이 적어지거든요.

00:02:22.065 --> 00:02:27.606

그래서 그 공급되는 열에너지로 작동을
할 수 없기 때문에 멈춘 겁니다.

00:02:27.706 --> 00:02:32.178
이 스텔링 엔진 같은 경우는 정확히
어떤 교과서인지는 기억 못 하지만

00:02:32.278 --> 00:02:35.208
6종 교과서를 모두 다
분석하고 있다고 그랬잖아요.

00:02:35.308 --> 00:02:40.905
그 6종 교과서 중에 하나의 교과서에
이 스텔링 엔진이 실려있더라고요.

00:02:41.005 --> 00:02:47.505
그래서 제가 급하게 구입을 해서
여러분한테 보여드렸습니다.

00:02:47.605 --> 00:02:51.245
그래서 이런 거 하나 구입을
해서 차가운 곳에 가서

00:02:51.345 --> 00:02:55.086
손바닥 열로 정말 작동이 되는지도
한번 해보시면 좋을 것 같고요.

00:02:55.186 --> 00:02:57.222
이게 생각보다 구조가
굉장히 간단해요.

00:02:57.322 --> 00:03:02.955
그래서 이 구조를 우리가 즐겨 사용하는
CD로도 만들 수가 있습니다.

00:03:03.055 --> 00:03:06.699
그래서 이런 제작 활동을
하는 것도 또 하나의

00:03:06.799 --> 00:03:14.404
여러분의 실력 향상을 만들어내는 활동이지
않을까, 라는 생각도 해봅니다.

00:03:14.504 --> 00:03:19.910
그러면 본격적으로 열효율에 대한
내용 진행해나가도록 할게요.

00:03:20.010 --> 00:03:22.495
오늘 강의를 통해서 여러분이
반드시 익혀야 될 거.

00:03:22.595 --> 00:03:26.695
당연히 열효율이란
뭐냐로부터 시작을 해서

00:03:26.795 --> 00:03:32.372
열역학 제2법칙과 제2종 영구기관에
대해서도 말씀을 드려보도록 하겠습니다.

00:03:32.472 --> 00:03:38.000
그런데 사실 이 열역학 제2법칙과
제2종 영구기관에 대한 내용은

00:03:38.100 --> 00:03:41.729

6종 교과서 모든 교과서에
들어있진 않습니다.

00:03:41.829 --> 00:03:44.666
열효율은 모든 교과서에 들어있는데

00:03:44.766 --> 00:03:48.250
열역학 제2법칙과 제2종
영구기관에 대해서는

00:03:48.350 --> 00:03:50.420
한두 개의 교과서에만
들어있더라고요.

00:03:50.520 --> 00:03:55.839
그래서 결과적으로는 이
내용이 수능에 출제된다면

00:03:55.939 --> 00:03:59.812
출제될 내용은 열효율만 출제될
거다, 라는 거고요.

00:03:59.912 --> 00:04:03.111
열역학 제2법칙과 제2종
영구기관 같은 경우

00:04:03.211 --> 00:04:07.703
이게 교과서에 실려있는
교과서를 배우는 학교에서는

00:04:07.803 --> 00:04:10.363
학교 시험 문제로
출제될 수 있겠죠.

00:04:10.463 --> 00:04:12.214
그런데 크게 어려운 내용이 아니고

00:04:12.314 --> 00:04:16.252
물리학1 수준에서는 가벼운
수준에서 다루기 때문에

00:04:16.352 --> 00:04:18.982
좀 소개 정도를
해드리도록 하겠습니다.

00:04:19.082 --> 00:04:22.718
열역학 제2법칙과 제2종
영구기관에 대한 자세한 내용을

00:04:22.818 --> 00:04:30.210
여러분이 익히고 싶다면 물리2에서는
굉장히 자세하게 다루어나가게 됩니다.

00:04:30.310 --> 00:04:33.428
그러면 이제 시작을
해보도록 하겠습니다.

00:04:33.528 --> 00:04:37.414
효율이라는 값이 있습니다.

00:04:37.514 --> 00:04:42.356

효율이라는 건 뭐냐면, 보통
어떻게 정의내려지느냐,

00:04:42.456 --> 00:04:51.296
공급에너지로 얼마만큼의 일을
하니, 라는 걸 표현하는 게

00:04:51.396 --> 00:04:52.925
바로 효율이에요.

00:04:53.025 --> 00:04:55.268
그래서 공급된 에너지를 가지고

00:04:55.368 --> 00:05:01.993
그 에너지로 얼마만큼 땅을 파는 일을
하고 작가는 고민하는 일을 하고

00:05:02.093 --> 00:05:06.801
컴퓨터 프로그래머는 컴퓨터
프로그램을 만드는 일을 하고.

00:05:06.901 --> 00:05:08.797
그래서 얼마만큼 효율이 좋냐.

00:05:08.897 --> 00:05:12.222
그러면 효율이 좋다,
나쁘다고 표현을 하거든요.

00:05:12.322 --> 00:05:15.337
그러면 당연히 효율이 좋다고
이야기하려면 어떻게 해야 될까요?

00:05:15.437 --> 00:05:19.934
적은 에너지로 많은 일을
할 수 있다는 거죠.

00:05:20.034 --> 00:05:23.465
그런데 여러분이 분명히
기억해야 될 거, 뭐였어?

00:05:23.565 --> 00:05:27.731
열역학 제1법칙 에너지
보존 법칙에 의해서

00:05:27.831 --> 00:05:32.570
공급된 에너지보다 더 많은
일을 할 수는 없어요.

00:05:32.670 --> 00:05:38.666
무조건 공급 에너지보다 적은 일을 할
수밖에 없다는 것도 말씀을 드리고요.

00:05:38.766 --> 00:05:44.858
그러면 이 효율의 개념을
열효율로는 어떻게 표현하느냐,

00:05:44.958 --> 00:05:46.206
간단합니다.

00:05:46.306 --> 00:05:53.495
공급열로 한 일을 따져줍니다.

00:05:53.595 --> 00:05:57.714

계속 보여드렸던 이러한
스털링 엔진이라든지

00:05:57.814 --> 00:06:00.208

스털링 엔진에서도
열에너지를 공급하죠?

00:06:00.308 --> 00:06:04.650

이 열에너지를 공급하면 그
열에너지로 바퀴를 굴리고

00:06:04.750 --> 00:06:09.071

프로펠러를 돌리고 전구를 깜빡이게
하는 일을 하게 됩니다.

00:06:09.171 --> 00:06:13.594

이때 열에너지의 공급이 있으면

00:06:13.694 --> 00:06:18.330

지난 시간에 보여드렸던 실린더,
피스톤이라고 가정했을 때

00:06:18.430 --> 00:06:22.098

열에너지의 공급에 의해서
피스톤이 왕복 운동을 하잖아요.

00:06:22.198 --> 00:06:26.872

그 피스톤의 왕복 운동에 의해서
얼마만큼의 일을 할 수 있니.

00:06:26.972 --> 00:06:32.614

결국 공급열로 한 일을 열효율이라는
값으로 우리는 표현합니다.

00:06:32.714 --> 00:06:34.753

그래서 우리가 관심을
가질 건 바로 뭐냐,

00:06:34.853 --> 00:06:37.162

열기관의 열효율이에요.

00:06:37.262 --> 00:06:39.374

열기관이라는 건 엔진인 거죠?

00:06:39.474 --> 00:06:43.220

엔진에 얼마만큼의
열에너지가 공급되어지면

00:06:43.320 --> 00:06:47.378

그 엔진이 얼마만큼의
일을 하니입니다.

00:06:47.478 --> 00:06:50.046

이때 여러분이 중요하게
기억해야 될 게 있어요.

00:06:50.146 --> 00:06:56.648

바로 뭐냐, 이 한 일은 어떻게
따질 것이냐, 라는 겁니다.

00:06:56.748 --> 00:07:05.686
공급열 분의 한 일이 열효율인데 그러면
이 한 일은 어떻게 따져질 것이냐.

00:07:05.786 --> 00:07:12.133
이 열기관, 엔진에다
열에너지를 공급하면

00:07:12.233 --> 00:07:15.342
그 열에너지에 의해서 애가
왕복 운동을 하는데요.

00:07:15.442 --> 00:07:19.136
우리가 지난 시간에 배웠던
열역학 제1법칙에 의해서

00:07:19.236 --> 00:07:24.936
피스톤이 왕복 운동을 하게
되면 늘어날 때와 줄어들 때

00:07:25.036 --> 00:07:28.061
좀 차이가 나타난다는 걸
여러분이 구분할 수 있었고요.

00:07:28.161 --> 00:07:31.433
이때 여러분이 주목해볼 건
피스톤이 들어올 때입니다.

00:07:31.533 --> 00:07:35.132
피스톤이 실린더 안으로
들어오게 되면

00:07:35.232 --> 00:07:38.039
실린더 안에 들어있는
기체의 부피는 줄어들죠.

00:07:38.139 --> 00:07:42.549
기체의 부피가 줄 땐
열이 어떻게 되느냐,

00:07:42.649 --> 00:07:51.485
단열일 때는 물론 0이었지만
등온 수축, 등압 수축일 때는

00:07:51.585 --> 00:07:56.371
실린더에 들어있는 기체가
열에너지를 내보내게 됩니다.

00:07:56.471 --> 00:08:03.406
그래서 우리가 여기 물리학1 수준에서
기억할 건 뭐라고만 기억하면 되느냐

00:08:03.506 --> 00:08:16.470
엔진이 하는 일, 열기관이 하는 일은
공급열 빼기 방출열로 표현되어진다.

00:08:16.570 --> 00:08:18.154
이걸 기억하고 계시기 바랍니다.

00:08:18.254 --> 00:08:22.079

보통의 엔진들은 다
방출열이 존재하죠.

00:08:22.179 --> 00:08:26.047
우리 자동차의 엔진도 작동시켜서
만져보면 어때요? 뜨거워.

00:08:26.147 --> 00:08:27.094
이게 왜 뜨거운 거야?

00:08:27.194 --> 00:08:30.703
엔진이 열에너지를
공급받아서 바퀴를 굴리고

00:08:30.803 --> 00:08:33.759
자동차를 움직이게 하는 일을 하면서

00:08:33.859 --> 00:08:36.893
외부로 열에너지를
내보내고 있다는 소리죠.

00:08:36.993 --> 00:08:39.820
이 열에너지를 내보낼
수밖에 없는 이유는

00:08:39.920 --> 00:08:42.864
바로 피스톤이 들어오기 때문입니다.

00:08:42.964 --> 00:08:46.399
피스톤이 실린더 안으로
들어오기 때문에.

00:08:46.499 --> 00:08:49.484
지난 교재 한번 보세요.

00:08:49.584 --> 00:08:53.800
피스톤이 들어오면서
기체의 부피가 줄어들면

00:08:53.900 --> 00:08:59.861
등온 수축이나 등압 수축인 경우는
열에너지를 내보내고 있거든요.

00:08:59.961 --> 00:09:05.890
그래서 결국 이 열기관이 얼마만큼의
일을 했니를 따질 때는

00:09:05.990 --> 00:09:09.863
공급열 빼기 방출열로 따진다.

00:09:09.963 --> 00:09:12.757
이때 여러분이 또 하나 중요하게
기억해야 될 게 있어요.

00:09:12.857 --> 00:09:19.770
바로 뭐냐, 이 방출열은 절대로
0이 될 수 없다는 겁니다.

00:09:19.870 --> 00:09:22.513
방출열은 왜 0이 될 수 없을까.

00:09:22.613 --> 00:09:28.388

우리 지난 시간 열역학 제1법칙에 의해서도
방출열이 0이 될 수 없다는 건,

00:09:28.488 --> 00:09:33.901

피스톤이 열에너지의 공급에
의해서 왕복 운동을 하게 되면

00:09:34.001 --> 00:09:36.717

방출열이 0이 될 수 없다는
것도 볼 수 있지만

00:09:36.817 --> 00:09:41.481

이거는 자연 현상에서도 우리가 충분히
미루어 짐작할 수 있습니다.

00:09:41.581 --> 00:09:46.252

예를 들어서 내가 밥을 먹어요.

00:09:46.352 --> 00:09:48.443

그러면 내가 에너지를 얻은 거죠?

00:09:48.543 --> 00:09:51.412

그 에너지로 일을 합니다.

00:09:51.512 --> 00:09:58.151

그러면 이 방출되는 에너지가 없다면

00:09:58.251 --> 00:10:03.686

공급된 에너지로 모두 일을 할 수 있을
것이냐, 라는 생각을 한번 해봅시다.

00:10:03.786 --> 00:10:07.242

내가 밥을 먹고 일을
할 때 밥을 먹어서

00:10:07.383 --> 00:10:13.175

얻은 에너지를 모두 일에
사용할 수 있을까.

00:10:13.275 --> 00:10:18.024

지구상에 존재하는 모든
물체, 생명체들은

00:10:18.124 --> 00:10:22.714

모두 다 어떤 작용이
반드시 일어나느냐,

00:10:22.814 --> 00:10:28.911

공급 에너지를 얻어서
일을 하면 무조건 싸게 되어있습니다.

00:10:29.883 --> 00:10:33.897

사람이라면 똥을 찌다는 소리죠,
오줌을 찌다는 소리죠.

00:10:33.997 --> 00:10:38.083

똥, 오줌은 안 싸고 많이 먹으면서

00:10:38.183 --> 00:10:43.181

1년, 2년, 3년, 10년을

일만 하면서 살아갈 수 있을까요?

00:10:43.281 --> 00:10:45.045
절대로 불가능하다는 겁니다.

00:10:45.145 --> 00:10:49.411
사람은 무조건 먹으면 먹은
만큼 싸게 되어있어요.

00:10:49.511 --> 00:10:51.952
물론 먹은 만큼 쓴다는
표현은 잘못되어있고요.

00:10:52.052 --> 00:10:56.346
먹고 일을 하고 남는 걸
싸게 되어있습니다.

00:10:56.446 --> 00:10:57.898
안 싸는 애는 없어.

00:10:57.998 --> 00:11:00.983
어떤 생명체도 무조건
싸게 되어있어요.

00:11:01.083 --> 00:11:06.473
그러면 쓴다는 건, 내보낸다는 건
열기관의 관점에서는 뭐가 있다는 소리야?

00:11:06.573 --> 00:11:09.047
열에너지를 내보낸다는 겁니다.

00:11:09.147 --> 00:11:10.758
자동차도 마찬가지죠?

00:11:10.858 --> 00:11:16.442
배기가스로 본넷에서 뜨거운 열로
열에너지를 내보내고 있습니다.

00:11:16.542 --> 00:11:21.556
이걸 내보내지 않는 열기관은 절대로
존재할 수 없다는 겁니다.

00:11:21.656 --> 00:11:25.385
그래서 방출열은 결단코
0이 될 수 없다.

00:11:25.485 --> 00:11:27.548
이걸 여러분이 기억하고
계셔야 됩니다.

00:11:27.648 --> 00:11:33.925
그러면 방출열이 0이 될 수 없으면 결국
열효율은 얼마가 될 수 없다는 거죠?

00:11:34.025 --> 00:11:35.700
1이 될 수 없다는 겁니다.

00:11:35.800 --> 00:11:39.128
방출열이 0이라는 건 공급열이
한 일이라는 소리잖아.

00:11:39.228 --> 00:11:43.595

즉 공급열만큼 모두
일을 한다는 뜻인데

00:11:43.695 --> 00:11:46.686

이런 일은 일어날 수 없다고요,

00:11:46.786 --> 00:11:50.905

피스톤이 왕복 운동
하면서 나타날 때.

00:11:51.005 --> 00:11:54.330

그래서 이걸 간단하게
수식적으로 표현하면

00:11:54.430 --> 00:12:03.047

공급열 분의 공급열 빼기
방출열이 한 일이고

00:12:03.147 --> 00:12:07.287

열효율은 이렇게
정의내려진다는 겁니다.

00:12:07.387 --> 00:12:12.453

이때 이거를 우리 분수로
이용해서 바꿔보면

00:12:12.553 --> 00:12:16.807

공급열 분의 공급열 빼기 공급열
분의 방출열이 되는 거죠?

00:12:16.907 --> 00:12:22.763

그래서 1 빼기 공급열
분의 방출열이다.

00:12:22.863 --> 00:12:28.332

이런 관점으로 표현을
할 수 있게 됩니다.

00:12:28.432 --> 00:12:33.673

이때 이 열효율의 관점을 살짝
어떻게든 변형시킬 수 있느냐,

00:12:33.773 --> 00:12:38.747

열에너지를 공급할 수 있다는 건
그 열에너지를 공급하는 쪽은

00:12:38.847 --> 00:12:41.748

온도가 높다는 것을 의미하고요.

00:12:41.848 --> 00:12:45.965

열에너지를 내보내는 쪽은 결국
열에너지를 받아들이는 쪽이니까

00:12:46.065 --> 00:12:50.592

그 열에너지를 내보내는 쪽은 온도가
낮다고 이야기할 수 있죠.

00:12:50.692 --> 00:12:56.316

결과적으로 열에너지가
내보내진다는 건, 이동한다는 건

00:12:56.416 --> 00:13:00.634

온도가 높은 곳에서 온도가 낮은
곳으로 이동할 거 아니에요.

00:13:00.734 --> 00:13:04.786

그래서 우리는 이 공식을
이렇게도 바꿔 쓸 수 있습니다.

00:13:04.886 --> 00:13:11.418

열에너지를 공급하는 쪽의 온도.

00:13:11.518 --> 00:13:18.402

열에너지를 방출하는 쪽의 온도의
분수값을 1로 뺀 값으로

00:13:18.502 --> 00:13:20.850

열효율을 표현할 수도 있습니다.

00:13:20.950 --> 00:13:29.387

그런데 이 공식에서 이 공식으로 넘어오는
유도과정이 생각보다 어렵습니다.

00:13:29.487 --> 00:13:34.347

이게 물리학1, 물리학2에서
다뤄지는 내용이 아니에요.

00:13:34.447 --> 00:13:38.010

여기서 여기로 넘어가는
건 대학 수준입니다.

00:13:38.110 --> 00:13:45.132

그래서 우리 수준에서는 열효율은 공급열
분의 공급열 빼기 방출열이다.

00:13:45.232 --> 00:13:48.660

온도로 따지면 공급되는
쪽의 온도 분의

00:13:48.760 --> 00:13:55.072

공급되는 온도 빼기 방출되는
곳의 온도 값이다.

00:13:55.172 --> 00:14:01.903

역시나 이것도 열효율이
굉장히 높으려면

00:14:02.003 --> 00:14:06.437

방출되는 쪽의 온도가
얼마여야 되죠?

00:14:06.537 --> 00:14:10.161

이 값이 얼마여야 열효율이
굉장히 좋은 거야?

00:14:10.261 --> 00:14:13.728

0이 나와야 열효율이
굉장히 좋은 거죠?

00:14:13.828 --> 00:14:15.805

그러면 이 값이 0이라는

건 뭘 의미할까요?

00:14:15.905 --> 00:14:18.435
방출되는 쪽의 온도가 0이라는 건

00:14:18.535 --> 00:14:21.496
우리가 일상적으로 이야기하는 0℃야?
아닌 거죠.

00:14:21.596 --> 00:14:25.443
여기서 이야기하는 온도는
절대온도입니다.

00:14:25.543 --> 00:14:31.029
따라서 절대온도가 0도인
곳에서 열기관을 작동시키면

00:14:31.129 --> 00:14:33.515
열효율은 100%일 수 있습니다.

00:14:33.615 --> 00:14:36.330
열효율 값이 1이 나올 수 있어요.

00:14:36.430 --> 00:14:43.041
그런데 이 우주상에서 절대온도가
0도인 곳은 존재하지 않아요.

00:14:43.141 --> 00:14:46.663
절대온도가 0도인 곳은 몇
도인 곳이라고 그랬어?

00:14:46.763 --> 00:14:48.000
지난 시간에 배웠잖아.

00:14:48.100 --> 00:14:53.407
절대온도가 0도인 곳은 우리가
일상생활에서 사용하는 섭씨온도로 치면

00:14:53.507 --> 00:14:55.706
-273K입니다.

00:14:55.806 --> 00:14:58.180
그런 곳은 존재하지 않죠.

00:14:58.280 --> 00:15:03.606
그래서 열효율은 결단코
1이 될 수 없다는 것도

00:15:03.706 --> 00:15:06.449
여러분이 기억을 해두시길 바랍니다.

00:15:06.549 --> 00:15:08.308
다시 한번 강조하고 넘어가면

00:15:08.408 --> 00:15:13.514
열효율이란 공급열 분의 한 일인데
한 일은 어떻게 구한다고요?

00:15:13.614 --> 00:15:15.784
공급열 빼기 방출열.

00:15:15.884 --> 00:15:24.559

열기관으로 투입되는 열에너지에서 열기관에서
내보내지는 열에너지의 차이 값이

00:15:24.659 --> 00:15:28.175

열기관이 한 일이다, 라는 겁니다.

00:15:28.275 --> 00:15:33.527

그러면 이 열효율이
가장 높은 엔진,

00:15:33.627 --> 00:15:37.625

높은 열기관의 예를 한번
들어보도록 하겠습니다.

00:15:37.725 --> 00:15:40.395

그 열기관의 이름이 바로 뭐냐,

00:15:40.495 --> 00:15:43.724

카르노 기관이라고 불러줘요.

00:15:43.824 --> 00:15:49.355

카르노라는 사람이 상상으로
만들어낸 열기관이에요.

00:15:49.455 --> 00:15:54.087

그래서 이 카르노라는 사람이
상상으로 만들어낸 열기관은

00:15:54.187 --> 00:15:58.448

어떤 변화를 갖고 오게 하느냐,

00:15:58.548 --> 00:16:04.492

압력 부피 변화 그래프에서
이러한 변화를 갖고 오게 하면

00:16:04.592 --> 00:16:13.397

열효율이 굉장히 높은 열기관을 만들어낼 수
있을 거야, 라고 생각을 한 겁니다.

00:16:13.497 --> 00:16:20.251

실린더 안에 들어있는 피스톤에
압력과 부피가 이 상태인데

00:16:20.351 --> 00:16:24.039

이 열기관을 1번이라고 하겠습니다.

00:16:24.139 --> 00:16:28.563

열기관의 첫 번째, 여기 안에 들어있는
기체의 상태를 1이라고 할게요.

00:16:28.663 --> 00:16:33.981

여기 안에 들어있는 기체의
압력과 부피가 이만큼일 때

00:16:34.081 --> 00:16:38.735

애를 일단은 등온 팽창을 시킨다.

00:16:44.068 --> 00:16:45.559

즉 이 말은 무슨 말이에요?

00:16:45.659 --> 00:16:49.882

여기 안에 들어있는 기체에게
적당한 열에너지를 공급해서

00:16:49.982 --> 00:16:56.160

애의 온도를 일정하게 유지하면서
부피를 팽창시킨다는 것을 뜻하죠.

00:16:56.260 --> 00:17:05.292

그다음에 이 기체를
단열 팽창을 시킨다.

00:17:07.374 --> 00:17:13.735

즉 열을 차단시킨 다음에 애를 추가로
더 팽창을 시킨다는 것을 뜻하고요.

00:17:13.835 --> 00:17:21.198

그다음에 애를 다시
등온 수축을 시킨다.

00:17:26.454 --> 00:17:32.695

즉 온도를 일정하게 유지하면서
애를 쪽 들어오게 한 다음에

00:17:32.795 --> 00:17:37.241

다시 마지막으로 애를 원래
상태로 돌아가게 하는

00:17:37.341 --> 00:17:40.579

단열 수축을 시킨다.

00:17:41.803 --> 00:17:45.653

이렇게 실린더 안에
들어있는 기체의 부피가

00:17:45.753 --> 00:17:50.346

늘어났다 줄어들었다를 반복시키면

00:17:50.446 --> 00:17:55.763

열효율이 굉장히 높은
열기관을 만들어낼 수 있다고

00:17:55.863 --> 00:17:59.427

카르노라는 사람이 제안한 겁니다.

00:17:59.527 --> 00:18:06.354

열에 의한 기체의 상태
변화가 일어나는 변화를

00:18:06.454 --> 00:18:10.071

우리는 카르노 변환이라고
불러주기도 하죠.

00:18:10.171 --> 00:18:12.856

어쨌든 카르노라는
사람이 고안했습니다.

00:18:12.956 --> 00:18:15.291

여기서 우리가 주목해볼
건 이겁니다.

00:18:15.391 --> 00:18:19.865

카르노 기관에서는 실린더
안에 들어있는 기체가

00:18:19.965 --> 00:18:24.658

등온 팽창, 단열 팽창, 등온
수축, 단열 수축을 하면서

00:18:24.758 --> 00:18:29.527

결국은 계속 왕복 운동을
하면서 톱니바퀴를 돌려서

00:18:29.627 --> 00:18:35.295

바퀴를 굴리고 프로펠러를 돌리는 일을
할 수 있게 되는구나, 라는 거고요.

00:18:35.395 --> 00:18:39.268

여기서 우리가 주목해볼 건
이 그래프의 해석입니다.

00:18:39.368 --> 00:18:45.839

첫 번째, 1에서 2를 갈 때는
어떠한 변화로 해석을 할 수 있고

00:18:45.939 --> 00:18:51.672

2에서 3을 갈 때는 어떠한
변화를 갖고 오게 할 수 있고

00:18:51.772 --> 00:18:56.486

3에서 4로 갈 때는 어떠한
변화를 갖고 오게 할 수 있고

00:18:56.586 --> 00:19:03.480

4에서 다시 1로 돌아갈 때는 어떠한
상태 변화를 갖고 오게 할 수 있을까.

00:19:03.580 --> 00:19:10.291

그러면 여기서 주목해볼 건 열기관은 무조건
피스톤이 왕복 운동을 해야 됩니다.

00:19:10.391 --> 00:19:14.972

왕복 운동을 해야만 계속 톱니바퀴를
돌려서 프로펠러를 돌리고

00:19:15.072 --> 00:19:16.987

바퀴를 굴리는 일을 할 거 아니야.

00:19:17.087 --> 00:19:18.349

결국 들어와야 돼요.

00:19:18.449 --> 00:19:21.398

계속 밀어내는 것만
일을 할 수는 없어요.

00:19:21.498 --> 00:19:25.618

이 실린더가 무한정 갈 수도
없는 노릇이지 않습니까?

00:19:25.718 --> 00:19:32.591

그래서 결국은 왕복 운동 하는
과정에서 열기관에 열이 공급되는

00:19:32.691 --> 00:19:35.903
방출되면서 이 열기관이 일을 하는데

00:19:36.003 --> 00:19:40.895
그 일은 어떻게 효율성을 높게
만들어낼 수 있을 것이냐를

00:19:40.995 --> 00:19:43.508
카르노라는 사람이
이런 방법으로 하면

00:19:43.608 --> 00:19:47.326
열효율이 좋은 엔진을
만들어낼 수 있다는 거죠.

00:19:47.426 --> 00:19:49.411
그러면 분석을 해보도록 하겠습니다.

00:19:49.511 --> 00:19:51.201
분석은 어떤 식으로 하죠?

00:19:51.301 --> 00:19:54.424
기체의 상태 변화 분석은
우리가 지난 시간에 배웠던

00:19:54.524 --> 00:20:01.232
열역학 제1법칙과
이상기체 상태방정식

00:20:01.332 --> 00:20:04.777
또는 보일 샤를의 법칙으로
분석을 하는 거였죠.

00:20:04.877 --> 00:20:09.910
이때 이 내부 에너지의 변화량은
뭐로 따져주면 되는 거였어요?

00:20:10.010 --> 00:20:12.812
온도 변화량으로 따져주면
되는 거였고요.

00:20:12.912 --> 00:20:15.850
한 일은 뭐로 따져주면
되는 거였어요?

00:20:15.950 --> 00:20:19.896
압력 곱하기 부피 변화량으로
따져주면 되는 거였죠.

00:20:19.996 --> 00:20:21.901
한번 해석을 해보도록 하겠습니다.

00:20:22.001 --> 00:20:24.156
등온 팽창입니다.

00:20:24.256 --> 00:20:27.443
등온이라는 말은 ΔU 가 뭐니까?

00:20:27.543 --> 00:20:28.713
0이라는 소리죠?

00:20:28.813 --> 00:20:31.909

이때 팽창이니까 이게
플러스 값을 갖죠?

00:20:32.009 --> 00:20:34.835

그러니까 Q값은 플러스 값이죠.

00:20:34.935 --> 00:20:39.999

결국 실린더 안에 들어있는 기체에게
열에너지를 적당히 넣어주면

00:20:40.099 --> 00:20:45.789

온도는 일정하게 유지되면서
부피는 팽창시킬 수 있다.

00:20:45.889 --> 00:20:49.574

그때 열에너지는 당연히
공급되어야 하는 거죠.

00:20:49.674 --> 00:20:53.948

이것도 마저 채워보면 온도는
일정한 상태에서 부피가 늘어나면

00:20:54.048 --> 00:20:58.298

압력은 당연히 감소하게 된다고
우리가 해석할 수 있습니다.

00:20:58.398 --> 00:20:59.655

두 번째 보겠습니다.

00:20:59.755 --> 00:21:02.938

2에서 3번으로 가는
건 단열팽창이죠?

00:21:03.038 --> 00:21:08.312

열이 차단된 상태로 애를
팽창을 더 시키겠다는 거죠.

00:21:08.412 --> 00:21:11.961

열을 차단 시킨 상태로
팽창을 시키면

00:21:12.061 --> 00:21:14.094

ΔU 값은 뭐가 나와야 돼요?

00:21:14.194 --> 00:21:16.236

마이너스 값이 나와야 됩니다.

00:21:16.336 --> 00:21:26.174

이때 지금 열이 차단된 상태로 온도는
감소했는데 부피는 늘어났으니까

00:21:26.274 --> 00:21:31.745

실린더 안에 들어있는 기체의 압력은
많이 줄어든 상태였겠구나, 라는 걸

00:21:31.845 --> 00:21:33.239

우리가 알 수 있어요.

00:21:33.339 --> 00:21:37.457

또 3에서 4는 지금 어떤 변화를
갖고 오게 한다는 거야?

00:21:37.557 --> 00:21:39.306
등온 수축입니다.

00:21:39.406 --> 00:21:49.255
온도는 일정하게 유지시키면서 일은
마이너스 값을 갖게 한다는 거죠.

00:21:49.355 --> 00:21:52.022
실린더 안에 들어있는
피스톤의 부피가 줄어드니까

00:21:52.122 --> 00:21:54.982
당연히 기체는 일을 한 게 아니라

00:21:55.082 --> 00:21:58.563
일을 외부로부터 받은
상태라고 이야기할 수 있죠.

00:21:58.663 --> 00:22:04.847
결국은 피스톤 앞에 붙어있는
톱니바퀴가 회전하면서

00:22:04.947 --> 00:22:08.471
피스톤을 안으로 밀어 넣는
상황이겠구나, 라는 걸

00:22:08.571 --> 00:22:09.983
우리가 해석할 수 있고요.

00:22:10.083 --> 00:22:12.962
그런 상황에서는 열기관이
어떻게 됩니까?

00:22:13.062 --> 00:22:18.245
열에너지를 내보내고 있다는 것을
우리가 판단할 수 있습니다.

00:22:18.345 --> 00:22:21.306
마지막 다시 4에서 1입니다.

00:22:21.406 --> 00:22:23.331
다시 제자리로 돌아가게 해야 되죠?

00:22:23.431 --> 00:22:28.193
실린더 안에 들어있는 기체의
상태를 다시 제자리로 돌려놔야

00:22:28.293 --> 00:22:31.708
애는 계속 왕복 운동을
할 수 있을 거 아니야.

00:22:31.808 --> 00:22:33.142
그래서 4에서 1.

00:22:33.242 --> 00:22:35.807
단열 수축 상태를 만듭니다.

00:22:35.907 --> 00:22:41.126

단열 수축 상태로 애를 최종적으로
원래 상태로 만들어내겠다는 거죠?

00:22:41.226 --> 00:22:43.366
수축이니까 부피가 감소하죠?

00:22:43.466 --> 00:22:46.064
그러니까 온도는 어떻게
되는 상황이 됩니까?

00:22:46.164 --> 00:22:47.548
올라가는 상황이 됩니다.

00:22:47.648 --> 00:22:49.051
그러면 여기서 어떻게 되죠?

00:22:49.151 --> 00:22:54.277
부피는 감소했는데 온도는
올라간 상황이니까

00:22:54.377 --> 00:22:56.253
압력도 많이 증가하겠죠.

00:22:56.353 --> 00:22:58.719
이거 안 했네요,
이거 해보겠습니다.

00:22:58.819 --> 00:23:03.462
온도는 일정한 상황에서
부피가 줄어들었으니까

00:23:03.562 --> 00:23:07.307
압력은 증가한 상황으로
이야기할 수 있습니다.

00:23:07.407 --> 00:23:12.219
여기서 우리가 주목해볼
건 이겁니다.

00:23:12.319 --> 00:23:18.656
이 카르노라는 사람이
고안한 엔진의 열효율을 구하려면

00:23:18.756 --> 00:23:19.855
어떻게 구해야 돼요?

00:23:19.955 --> 00:23:26.908
열효율은 보통 e 로 표현해요.

00:23:27.008 --> 00:23:33.614
열효율은 공급열로 한 일입니다.

00:23:33.714 --> 00:23:39.817
이때 한 일은 어떻게
구하기로 했었어요?

00:23:39.917 --> 00:23:44.982
공급열 빼기 방출열로
구하기로 했죠.

00:23:45.082 --> 00:23:47.205

그러면 여기서
분석해보도록 하겠습니다.

00:23:47.305 --> 00:23:50.924
공급열 어디 있습니까?
여기 있습니다.

00:23:51.024 --> 00:23:54.630
방출열 어디 있습니까?
여기 있습니다.

00:23:54.730 --> 00:24:01.318
이 공급열과 방출열의 차이
값이 한 일이다, 라는 거죠.

00:24:01.418 --> 00:24:03.368
열기관이 한 일이다.

00:24:03.468 --> 00:24:06.735
이때 열기관은 일을 하죠.

00:24:06.835 --> 00:24:08.188
어디랑 어디서 일을 합니까?

00:24:08.288 --> 00:24:11.666
1번과 2번 갈 때 일을 하고요.

00:24:11.766 --> 00:24:14.900
2번에서 3번 갈 때 일을 합니다.

00:24:15.000 --> 00:24:20.449
그런데 여기서 또 주목해볼 건 3번에서
4번 갈 때는 오히려 일을 받고요.

00:24:20.549 --> 00:24:24.936
4번에서 1번으로 돌아갈
때도 일을 받습니다.

00:24:25.036 --> 00:24:28.237
그러면 여기서 한 일이라는
건 도대체 어떤 일이냐,

00:24:28.337 --> 00:24:30.683
이 일이냐, 아닙니다.

00:24:30.783 --> 00:24:33.271
여기서 여러분이 조심하셔야 됩니다.

00:24:33.371 --> 00:24:37.070
카르노 기관에서 한
일은 어떤 일이냐,

00:24:37.170 --> 00:24:41.957
피스톤이 한 번 왕복
운동함으로써 하는 일입니다.

00:24:42.057 --> 00:24:47.042
피스톤이 한 번 왕복 운동
하면서 한 일이에요.

00:24:47.142 --> 00:24:52.410

열효율을 따질 때 하는 일은
피스톤이 왕복 운동 하면서 하는 일.

00:24:52.510 --> 00:24:56.217
왕복 운동한다는 건 부피가
늘어날 때는 일을 하고요.

00:24:56.317 --> 00:24:59.707
부피가 줄어들 때는 일을 받죠.

00:24:59.807 --> 00:25:09.782
결국 한 일과 받은 일의 차이 값이 여기
열효율을 계산하는 일이다, 라는 겁니다.

00:25:10.984 --> 00:25:12.132
오케이?

00:25:12.232 --> 00:25:15.226
여기서 일은 이 일을
이야기하는 게 아니야.

00:25:15.326 --> 00:25:20.121
여기서 이 일은 피스톤이
왕복 운동 하면서 하는 일이고요.

00:25:20.221 --> 00:25:24.637
늘어날 때는 일을 하고
줄어들 때는 일을 받으니까

00:25:24.737 --> 00:25:29.211
왕복 운동 하면서 결국
한 일은 늘어나면서 한 일과

00:25:29.311 --> 00:25:34.642
줄어들면서 받은 일의
차이 값이 이 일이라는 겁니다.

00:25:34.742 --> 00:25:38.388
결국 이 값과 이 값의
차이 값이 되고요.

00:25:38.488 --> 00:25:41.774
이거를 그래프로 해석하면
어떻게 되느냐,

00:25:41.874 --> 00:25:48.981
이 그래프에서 보시면
1번에서 3번을 갈 때까지.

00:25:49.081 --> 00:25:58.780
1번에서 2번, 2번에서 3번을
갈 때까지 이 기관은 일을 하죠.

00:25:58.880 --> 00:26:00.837
얼마만큼의 일을 합니까?

00:26:00.937 --> 00:26:03.212
이만큼의 일을 합니다.

00:26:03.312 --> 00:26:06.618
압력 부피 변화 그래프에서

넓이가 뭐라고 그랬어요?

00:26:06.718 --> 00:26:07.877

넓이가 이거라고 그랬죠?

00:26:07.977 --> 00:26:10.492

이만큼의 일을 합니다.

00:26:10.592 --> 00:26:16.817

그러면 여기 3번에서 4번 갔다
1번으로 갈 때는 어떻게 됩니까?

00:26:16.917 --> 00:26:22.699

이 넓이만큼의 일을 받습니다.

00:26:22.799 --> 00:26:27.956

결과적으로 피스톤이 한 번
왕복 운동 함으로써 한 일은

00:26:28.056 --> 00:26:30.568

얼마만큼만 해당해요?

00:26:30.668 --> 00:26:33.889

이 사이의 넓이만큼만 해당합니다.

00:26:33.989 --> 00:26:42.409

결국 이 사이의 넓이가 열효율을
계산하는 일이 된다는 겁니다.

00:26:42.509 --> 00:26:46.099

아니나 다를까 이것을 다시 한번
좀 분석해보면 어떻게 되느냐,

00:26:46.199 --> 00:26:47.554

보세요.

00:26:47.654 --> 00:26:52.781

지금 1번으로 2번, 3번, 4번.

00:26:52.881 --> 00:26:58.085

다시 1번으로 돌아오게 되면 기체의
상태는 원래 상태가 되어야 되죠.

00:26:58.185 --> 00:27:02.780

원래 상태가 되어야만 또 밀어서
돌아오고 또 밀어서 돌아올 거니까.

00:27:02.880 --> 00:27:06.996

결국은 원래 상태가 되면
기체의 압력, 부피, 온도는

00:27:07.096 --> 00:27:11.080

1번 상태랑 다시 돌아온
1번 상태가 어떨 거야?

00:27:11.180 --> 00:27:12.374

같을 거 아닙니까?

00:27:12.474 --> 00:27:16.995

그러면 애네를 모두 다
토탈 값으로 더해버리면

00:27:17.095 --> 00:27:20.337
이 값은 어떨 거라는 거야?

00:27:20.437 --> 00:27:23.600
더하면 0이 나와야 된다는
것을 뜻하죠, 왜?

00:27:23.700 --> 00:27:29.813
원래 상태로 돌아오게 되면 압력,
부피, 온도가 동일해야 되니까

00:27:29.913 --> 00:27:34.171
여기서는 온도가 내려갔고
여기서는 온도가 올라갔는데

00:27:34.271 --> 00:27:37.695
원래 상태로 돌아왔으니까
내려간 온도와

00:27:37.795 --> 00:27:41.496
올라간 온도가 같아서 원래
상태가 된다는 소리죠.

00:27:41.596 --> 00:27:43.450
그러면 이제 어떤
결론이 나오게 돼요?

00:27:43.550 --> 00:27:51.631
이 Q와 이 Q의 차이 값이 여기 +1과
여기 -1의 차이 값과 같다는 거죠.

00:27:51.731 --> 00:28:01.610
결국 공급열과 방출열의 차이 값이
최종적인 일이 된다는 것을 뜻합니다.

00:28:01.710 --> 00:28:03.500
그래서 여러분, 다시
한번 말씀을 드리면

00:28:03.600 --> 00:28:06.626
여기서 공급된 열이 공급열이고요.

00:28:06.726 --> 00:28:10.137
여기서 방출된 열이 방출열입니다.

00:28:10.237 --> 00:28:13.846
이때 한 일은 이것만
따지는 거 아니고요.

00:28:13.946 --> 00:28:17.678
이것과 이거의 차이 값으로
따져지게 됩니다.

00:28:17.778 --> 00:28:22.787
그래서 피스톤이 왕복 운동
하면서 한 일은

00:28:22.887 --> 00:28:24.386
어떻게 해주기로 한 거야?

00:28:24.486 --> 00:28:32.476
공급열 빼기 방출열로 해주기로 했다고
결론을 내릴 수 있게 되는 거죠.

00:28:32.576 --> 00:28:33.987
됐습니까?

00:28:34.087 --> 00:28:37.800
이 내용을 여러분이 좀 기억을
하고 계셔야 됩니다.

00:28:37.900 --> 00:28:39.663
이거를 정확하게 이해하고 있어야

00:28:39.763 --> 00:28:45.475
열효율의 공급열은 뭐고
열효율의 한 일은 뭐냐를

00:28:45.575 --> 00:28:48.516
여러분이 정확하게 이해하고
넘어갈 수 있었던 거죠.

00:28:48.616 --> 00:28:52.589
여기서 일은 늘어나면서만
한 일이 아닙니다.

00:28:52.689 --> 00:28:56.151
피스톤이 왕복 운동 하는
동안 한 일인 거야.

00:28:56.251 --> 00:28:58.641
그거를 기억하시길 바랍니다.

00:28:58.741 --> 00:29:04.297
그렇다면 이 열효율에 대한
어떠한 물리학적인 표현을

00:29:04.397 --> 00:29:07.533
아까도 말씀드렸듯이 열효율이 결단코

00:29:07.633 --> 00:29:12.083
1이 될 수 없다는 것을
설명하는 이론이 바로 뭐냐,

00:29:12.183 --> 00:29:19.984
열역학 제2법칙입니다.

00:29:20.084 --> 00:29:23.690
그러면 열역학 제2법칙이란
뭔 의미하느냐,

00:29:23.790 --> 00:29:27.151
아까도 말씀드렸듯이
여기서 의미하는 건

00:29:27.251 --> 00:29:31.773
절대로 열기관의 열효율이
1이 될 수 없다는 겁니다.

00:29:31.873 --> 00:29:37.183
즉 공급열로 100%의 일을

할 수 없다는 겁니다.

00:29:37.283 --> 00:29:39.704
피스톤이 왕복 운동을 하게 되면

00:29:39.804 --> 00:29:43.491
무조건 방출열이 발생할
수밖에 없고요.

00:29:43.591 --> 00:29:47.222
무조건 방출열이 발생하게
되면 일을 하고

00:29:47.322 --> 00:29:50.347
일을 받는 상황이 발생할
수밖에 없으니까

00:29:50.447 --> 00:29:53.392
공급열로 100%
일을 할 수 없다.

00:29:53.492 --> 00:29:59.629
공급열이 모두 일로 사용될 수
없다는 걸 설명해주는 법칙을

00:29:59.729 --> 00:30:06.026
우리는 열역학 제2법칙이라고
불러줍니다.

00:30:06.126 --> 00:30:09.562
그러면 열역학 제2법칙에서
이야기하고자 하는 건

00:30:09.662 --> 00:30:12.614
또 어떤 의미가 숨어있느냐,
굉장히 단순합니다.

00:30:12.714 --> 00:30:16.601
애가 왕복 운동을 한다는 건
결과적으로 열에너지를 받고

00:30:16.701 --> 00:30:18.061
열에너지를 내보내야 돼요.

00:30:18.161 --> 00:30:21.738
그러면 열에너지를 내보내기
위해서는 어떻게 돼야 돼?

00:30:21.838 --> 00:30:27.929
열의 이동이 어디서 어디로만
이루어질 때 가능하다는 소리야?

00:30:28.029 --> 00:30:31.317
고온에서 저온으로만
이동할 때 가능합니다.

00:30:31.417 --> 00:30:35.160
그런데 열은 반드시 고온에서,
온도가 높은 곳에서

00:30:35.260 --> 00:30:39.711

저온으로, 온도가 낮은 곳으로만
이동할 수밖에 없습니다.

00:30:39.811 --> 00:30:44.194
그래서 열역학 제2법칙에서
이야기해주는 내용은 바로 뭐냐,

00:30:44.294 --> 00:30:49.518
열은 고온에서 저온으로
이동한다는 겁니다.

00:30:49.618 --> 00:30:51.983
고온에서 저온으로만 열이 이동하지

00:30:52.083 --> 00:30:55.506
저절로 저온에서, 온도가
낮은 곳에서 고온으로,

00:30:55.606 --> 00:31:00.270
온도가 높은 곳으로 이동하는 경우는
일어나지 않는다는 것을 뜻하죠.

00:31:00.370 --> 00:31:06.203
아주 단순하게 이야기하면 내가
손등에 열음을 올려놓습니다.

00:31:06.303 --> 00:31:14.499
그랬을 때 손등은 온도가 더 올라가고
열음은 온도가 더 낮아지는 일은

00:31:14.599 --> 00:31:15.990
일어날까요, 안 일어날까요?

00:31:16.090 --> 00:31:17.583
그런 일은 일어나지 않습니다.

00:31:17.683 --> 00:31:21.213
열음의 에너지가 손등으로 이동해와서

00:31:21.313 --> 00:31:25.463
손등은 온도가 더 올라가고 열음은
온도가 더 내려가는 일,

00:31:25.563 --> 00:31:27.292
이런 일은 일어나지 않는다고요.

00:31:27.392 --> 00:31:32.638
무조건 손등에서 열음으로, 온도가
높은 손등에서 온도가 낮은 열음으로

00:31:32.738 --> 00:31:37.459
열에너지가 이동하면서
손등은 온도가 내려가고

00:31:37.559 --> 00:31:42.553
열음은 온도가 올라가는 일이
발생할 수밖에 없다는 거고요.

00:31:42.653 --> 00:31:48.376
이처럼 열의 이동은 자연스럽게
고온에서 저온으로만 이동한다.

00:31:48.476 --> 00:31:50.630
반대 방향으로 이동하지 않는다.

00:31:50.730 --> 00:31:57.155
그래서 이런 걸 뭐라고 부르느냐,
비가역 과정이라고 불러줍니다.

00:31:57.255 --> 00:32:03.060
즉 거꾸로 가는 것이 불가능한
과정이다, 라는 뜻입니다.

00:32:03.160 --> 00:32:09.417
거꾸로 가는 것이 안 되는 과정.

00:32:09.517 --> 00:32:12.859
그래서 열역학 제2법칙에서
이야기하는 건 바로 뭐냐,

00:32:12.959 --> 00:32:16.941
열의 흐름은 비가역 과정이다,
라는 거죠.

00:32:17.041 --> 00:32:21.041
자연스러운 열의 이동은.

00:32:21.141 --> 00:32:21.871
되시나요?

00:32:21.971 --> 00:32:25.729
그러면 이거를 또 어떤
식으로도 해석하느냐,

00:32:25.829 --> 00:32:29.100
결국 고온인 곳은 어때요?

00:32:29.200 --> 00:32:31.532
에너지가 높은 곳이고요.

00:32:31.632 --> 00:32:34.855
저온인 곳은 에너지가 낮은 곳이죠.

00:32:34.955 --> 00:32:38.736
결국 열에 의한 에너지의 흐름은

00:32:38.836 --> 00:32:44.430
높은 에너지에서 낮은 에너지로만
이동할 수 있다는 것입니다.

00:32:44.530 --> 00:32:57.077
결국 에너지가 높은 곳에서
에너지가 작은 곳으로만 이동한다.

00:32:57.177 --> 00:33:02.043
갑자기 소 자가 생각이
안 나네, 작을 소.

00:33:02.143 --> 00:33:04.349
미안해 갑자기 작을 소
자가 생각이 안 났어.

00:33:04.449 --> 00:33:10.219

에너지가 높은 곳에서 에너지가 작은
곳으로만 이동한다는 걸 보여준 게 바로

00:33:10.319 --> 00:33:13.379

열역학 제2법칙이에요.

00:33:13.479 --> 00:33:19.331

이것도 어떻게 보면 우리가 일상생활에서
충분히 이야기할 수 있는 내용입니다.

00:33:19.431 --> 00:33:22.487

우리가 이렇게 가만히 서 있어요.

00:33:22.587 --> 00:33:27.638

그러면 어떤 느낌이
드느냐, 앓고 싶어요.

00:33:27.738 --> 00:33:31.778

앓아있으면 어떤 느낌이
드느냐, 눕고 싶어요.

00:33:31.878 --> 00:33:32.861

이거 왜 그럴까요?

00:33:32.961 --> 00:33:36.158

가만히 서 있다는 건
에너지가 높은 상태야.

00:33:36.258 --> 00:33:40.971

앓아있으면, 누우면 에너지가 낮은
상태로 이동할 수 있게 되는 거죠.

00:33:41.071 --> 00:33:45.319

그래서 에너지가 높은 상태는 우리가
어떤 상태라고도 이야기하느냐,

00:33:45.419 --> 00:33:49.658

불안정한 상태라고도 이야기합니다.

00:33:49.758 --> 00:33:54.043

그리고 에너지가 낮은 상태는
안정한 상태입니다.

00:33:54.143 --> 00:34:02.152

불안정한 상태에서 안정한 상태로만 흐름이
진행되어가는 걸 설명하는 법칙을

00:34:02.252 --> 00:34:05.383

우리는 열역학
제2법칙이라고도 부르죠.

00:34:05.483 --> 00:34:07.121

차렷.

00:34:11.233 --> 00:34:13.154

이러고 있으면 어때요? 힘들어요.

00:34:13.254 --> 00:34:18.338

에너지가 높은 상태여야 힘든
상태를 유지할 수 있다고요.

00:34:18.438 --> 00:34:20.848

그래서 이런 상태는 굉장히 불안정한 상태야.

00:34:20.948 --> 00:34:23.763

안정된 상태는 어떤 상태야?

00:34:23.863 --> 00:34:27.101

에너지가 낮은 상태, 누워있는 상태, 앉아있는 상태.

00:34:27.201 --> 00:34:29.594

이런 상태가 안정된 상태라는 거죠.

00:34:29.694 --> 00:34:34.543

그러면 누워있고 앉아있는 상태는 에너지가 작은 상태라고요.

00:34:34.643 --> 00:34:40.970

그래서 자연의 흐름은 반드시 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동해간다는 것도

00:34:41.070 --> 00:34:45.372

이야기해준 게 바로 열역학 제2법칙입니다.

00:34:45.472 --> 00:34:48.345

됐죠?

00:34:48.445 --> 00:34:52.475

이 열역학 제2법칙이 존재하는데도 불구하고

00:34:52.575 --> 00:35:00.107

아주 오래전 옛날부터 과학자들은 열역학 제2법칙이 적용되지 않는,

00:35:00.207 --> 00:35:04.652

열역학 제2법칙에 어긋나는 열기관을 만들고 싶어 했어요.

00:35:04.752 --> 00:35:10.044

그래서 열역학 제2법칙에 어긋나는 열기관을 우리는 뭐라고 부르느냐,

00:35:10.144 --> 00:35:17.897

제2종 영구기관이라고 불러줍니다.

00:35:17.997 --> 00:35:21.122

지난 시간에 배웠던 제1종 영구기관은 뭐였어?

00:35:21.222 --> 00:35:29.327

열역학 제1법칙에 위배되는 열기관이라고 했고요.

00:35:29.427 --> 00:35:34.801

제2종 영구기관은 열역학 제2법칙에 어긋나는 영구기관을

00:35:34.901 --> 00:35:36.690

제2종 영구기관이라고 불러요.

00:35:36.790 --> 00:35:39.085

예를 들어서 이런 거야.

00:35:39.185 --> 00:35:41.548

바닷물에 배를 띄워요.

00:35:41.648 --> 00:35:44.518

그래서 바닷물의
열에너지를 이용해서.

00:35:44.618 --> 00:35:48.106

바닷물도 온도를 갖고 있으니까 열에너지를
갖고 있는 거죠, 약하지만.

00:35:48.206 --> 00:35:52.720

그 온도, 열에너지를 이용해서
배를 움직이게 하겠다.

00:35:52.820 --> 00:35:55.031

그러면 반드시 어떻게 돼야 되죠?

00:35:55.131 --> 00:36:03.796

바닷물 온도보다 배의 온도가 더 낮아야
바닷물에서 배로 열에너지가 이동해와서

00:36:03.896 --> 00:36:09.474

그 열에너지를 이용해서 엔진을 작동시켜서
배를 움직이게 할 거 아니야.

00:36:09.574 --> 00:36:15.189

그런데 바닷물의 열에너지를 뽑아서

00:36:15.289 --> 00:36:19.644

배를 움직이게 하겠다는 게 제2종
영구기관인 거야, 결과적으로.

00:36:19.744 --> 00:36:22.880

열이 바닷물에서부터 배로
들어올 리가 없는데

00:36:22.980 --> 00:36:29.271

어떻게 바닷물의 열에너지를 뽑아서
배를 움직이는 데 쓰겠다는 겁니까.

00:36:29.371 --> 00:36:30.680

말이 안 되는 상황이죠?

00:36:30.780 --> 00:36:34.001

그래서 이렇게 말이 안
되는 또 다른 영구기관,

00:36:34.101 --> 00:36:35.682

영원히 쓸 수 있는 기관.

00:36:35.782 --> 00:36:39.215

바닷물이 존재하는 한 영원히 쓸 수
있을 거로 생각하는 이 기관을

00:36:39.315 --> 00:36:45.421
우리는 열역학 제2법칙에 어긋나는
제2종 영구기관이라고 불러줘요.

00:36:45.521 --> 00:36:50.692
앞서도 말씀드렸듯이 열역학
제2법칙과 제2종 영구기관은

00:36:50.792 --> 00:36:53.652
대부분 교과서에서
포함되어있지 않고요.

00:36:53.752 --> 00:36:58.104
제 기억에 한두 개의 교과서에만
이 내용이 실려있었습니다.

00:36:58.204 --> 00:37:01.872
그래서 여러분, 교과서에
이 제2종 영구기관과

00:37:01.972 --> 00:37:05.751
열역학 제2법칙이 포함되어있으면
기억해두시고요.

00:37:05.851 --> 00:37:10.248
그렇지 않으면 기억할
필요는 없습니다.

00:37:10.348 --> 00:37:15.597
당연히 수능에 이거는
나오지 않고요.

00:37:15.697 --> 00:37:22.769
이렇게 해서 우리는 열효율과 관련되어있는
내용을 모두 다 진행을 해봤고요.

00:37:22.869 --> 00:37:30.472
그러면 말씀드렸던 문제들을
해결해 나가보도록 하겠습니다.

00:37:30.572 --> 00:37:35.618
프린트에 있는 문제 이외에
열효율과 관련되어있는 문제를

00:37:35.757 --> 00:37:40.121
역시나 만들어내기 쉽지 않아서

00:37:40.221 --> 00:37:45.723
열역학 제2법칙에 관련되어있는
상식적인 문제를 한번 내봤습니다.

00:37:45.823 --> 00:37:53.924
열역학 제2법칙에 의해서 우리의 우주가
영원히 존재하는 것이 가능할까.

00:37:54.786 --> 00:38:00.371
우리는 태양으로부터 열에너지를
받아서 빛에너지를 받아서

00:38:00.471 --> 00:38:03.789
이 지구가 운영되고 있죠.

00:38:03.889 --> 00:38:08.185

이 태양이 존재하지 않으면
결과적으로 이 지구도,

00:38:08.285 --> 00:38:11.098

지구 안에 들어있는 생명체도
존재할 수 없습니다.

00:38:11.198 --> 00:38:18.367

그러면 왜 태양은 지구에게
에너지를 공급해주고 있죠?

00:38:18.467 --> 00:38:22.139

태양은 뜨거워, 지구는 온도가
태양에 비해서 낮아요.

00:38:22.239 --> 00:38:24.000

열은 어디서 어디로 이동해와요?

00:38:24.100 --> 00:38:26.871

고온에서 저온으로 이동해옵니다.

00:38:26.971 --> 00:38:31.405

고온에서 저온으로 열에너지가
공급되어지고 있기 때문에

00:38:31.505 --> 00:38:34.447

지구가 이렇게 운영이
될 수 있는 거죠.

00:38:34.547 --> 00:38:36.628

우리가 이 지구에서
살아갈 수 있습니다.

00:38:36.728 --> 00:38:38.329

그런데 보세요.

00:38:38.429 --> 00:38:44.020

고온인 물체와 저온인 물체가 붙으면
고온인 곳에서 저온인 곳으로

00:38:44.120 --> 00:38:48.278

열에너지의 이동이 발생해서
고온은 온도가 낮아지고

00:38:48.378 --> 00:38:50.568

저온은 온도가 올라갑니다.

00:38:50.668 --> 00:38:56.068

그렇다면 이 우주에는 태양과
같이 고온인 물질들이 존재하죠.

00:38:56.168 --> 00:39:04.397

그 물질들은 끊임없이 열에너지를
저온인 곳으로 내보내고 있습니다.

00:39:04.497 --> 00:39:10.603

그러니까 결과적으로는 그 고온인 태양과
같은 애들은 온도가 내려갈 것이고

00:39:10.703 --> 00:39:14.671

그 열에너지를 받은 저온인
공간은 온도가 올라가서

00:39:14.771 --> 00:39:21.906

언젠가는 우주가 온도가 모두 동일한
상태가 될 수도 있습니다.

00:39:22.006 --> 00:39:28.741

이 우주가 온도가 동일한 상태가
되면 열의 이동이 있어요, 없어요?

00:39:28.841 --> 00:39:29.443

없어요.

00:39:29.543 --> 00:39:36.145

열의 이동이 없으면 이 우주는 생명체가
존재할 수 없는 공간이 되는 거죠.

00:39:36.245 --> 00:39:38.353

그러면 이 우주가 존재한다고
이야기할 수 있을까?

00:39:38.453 --> 00:39:42.449

우리가 존재하지 않으면 존재라고
이야기하기는 좀 어렵겠죠.

00:39:42.549 --> 00:39:45.295

그래서 열역학 제2법칙에 의해서

00:39:45.395 --> 00:39:51.727

이 우주는 영원 불사할 수
없다고 이야기할 수 있어요.

00:39:51.827 --> 00:39:56.352

열의 이동은 반드시 고온에서 저온으로만
이루어지고 있기 때문입니다,

00:39:56.452 --> 00:39:59.342

평균적으로.

00:39:59.442 --> 00:40:05.347

똑같은 형태로 문제를 상식 수준에서
해석을 해보도록 하겠습니다.

00:40:05.447 --> 00:40:09.993

식물과 동물이 성장하는 건
에너지가 높아지는 거죠.

00:40:10.093 --> 00:40:15.745

에너지가 높아지는 건 어떻게 생각해 보면
열역학 제2법칙에 어긋납니다.

00:40:15.845 --> 00:40:18.668

왜? 아까도 말씀을 드렸잖아요.

00:40:18.768 --> 00:40:22.629

고온에서 저온으로 열의
흐름이 결정되어있다는 건

00:40:22.729 --> 00:40:26.838

에너지가 높은 곳에서 에너지가 낮은 곳으로 이동한다는 겁니다.

00:40:26.938 --> 00:40:30.331

자연적인 흐름은 에너지가 높은 곳에서 낮은 곳으로만

00:40:30.431 --> 00:40:35.168

에너지의 흐름이 일어나야 돼요.

00:40:35.268 --> 00:40:39.244

그런데 식물과 동물의 성장은 에너지가 높은 상태가 되어가는 거니까

00:40:39.344 --> 00:40:42.586

저절로 에너지가 높은 상태가 되어가는 거니까

00:40:42.686 --> 00:40:47.828

결과적으로는 열역학 제2법칙에 어긋나는 것처럼 보이죠.

00:40:47.928 --> 00:40:52.811

그렇지만 이거를 식물과 동물에 국한하지 않고요.

00:40:52.911 --> 00:40:55.186

이거를 조금 더 넓은 범위에서 보면

00:40:55.286 --> 00:40:59.012

식물과 동물이 성장하기 위해서는 어떻게 돼야 되죠?

00:40:59.112 --> 00:41:04.626

주변에서 열에너지가 식물과 동물 쪽으로 공급이 되고 있다는 겁니다.

00:41:04.726 --> 00:41:08.770

식물과 동물 쪽으로 열에너지의 공급이 이루어지기 때문에

00:41:08.870 --> 00:41:11.259

애네들이 성장하고 있는 거죠.

00:41:11.359 --> 00:41:15.222

단순하게 애네들이 성장하는 것만 보고 아, 이거 봐.

00:41:15.322 --> 00:41:19.057

이거는 열역학 제2법칙에 어긋나, 라고 이야기할 수 없다는 겁니다.

00:41:19.157 --> 00:41:24.943

전체적으로 보면 에너지의 흐름은 높은 곳에서 낮은 곳으로

00:41:25.043 --> 00:41:32.301

끊임없이 이동해가고 있는 거다, 라고 이야기할 수 있는 겁니다.

00:41:32.401 --> 00:41:36.205

이렇게도 해석을 해봤습니다.

00:41:36.305 --> 00:41:40.331

상식, 흥미 정도로
생각하시면 될 것 같고요.

00:41:40.431 --> 00:41:44.321

그러면 도대체 이 열효율과
관련되어있는 내용이

00:41:44.421 --> 00:41:46.856

수능에서 그리고 학교 시험에서는

00:41:46.956 --> 00:41:51.279

어떤 형태로 출제될지를 한번
확인해 나가보도록 하겠습니다.

00:41:51.379 --> 00:41:59.502

문제를 봤더니 온도가 높은 곳에서
10KJ이라는 열에너지가 공급되고 있습니다.

00:41:59.602 --> 00:42:03.973

그러면 여기서 보시면 공급열이
지금 얼마라는 소리야?

00:42:04.073 --> 00:42:06.696

10KJ이다, 라는 거고요.

00:42:06.796 --> 00:42:12.002

또 봤더니 내보내는 열이 얼마래요?
6KJ이래요.

00:42:12.102 --> 00:42:19.406

즉 방출열이 얼마라는 거야?
6KJ이다, 라는 것을 뜻합니다.

00:42:19.506 --> 00:42:21.762

그렇다면 여기서 우리는
뭘 알 수 있습니까?

00:42:21.862 --> 00:42:26.526

피스톤이 왕복 운동 하면서 열이
공급되고 열이 내보내지는데

00:42:26.626 --> 00:42:30.767

이때 왕복 운동 과정에서 하는
일은 어떻게 구한다고요?

00:42:30.867 --> 00:42:33.992

공급열 빼기 방출열로
구한다 그랬죠.

00:42:34.092 --> 00:42:41.887

따라서 왕복 운동 과정에서 한
일은 4KJ이겠구나, 라는 걸

00:42:41.987 --> 00:42:43.313

우리가 알 수 있습니다.

00:42:43.413 --> 00:42:45.932

그러면 이제 ㄱ부터

보도록 하겠습니다.

00:42:46.032 --> 00:42:48.697
온도는 T1이 높니 T2가 높니.

00:42:48.797 --> 00:42:54.018
당연히 열에너지가 공급되는 쪽의
온도가 열에너지가 방출되는 쪽.

00:42:54.118 --> 00:42:58.463
열에너지를 받는 쪽의
온도보다는 높아야 되죠.

00:42:58.563 --> 00:42:59.701
당연한 거죠.

00:42:59.801 --> 00:43:01.826
그래서 ㄱ 보기는 맞습니다.

00:43:01.926 --> 00:43:04.809
온도가 높아야 열에너지를
공급할 수 있고요.

00:43:04.909 --> 00:43:09.902
온도가 낮은 쪽으로 열에너지는
나가게 되어있습니다.

00:43:10.002 --> 00:43:13.405
이때 한 일은 4KJ이다,
라고 말씀을 드렸고요.

00:43:13.505 --> 00:43:15.013
열효율을 묻고 있어요.

00:43:15.113 --> 00:43:17.037
열효율은 어떻게 구한다고요?

00:43:17.137 --> 00:43:21.126
공급열로 한 일로
구한다고 그랬습니다.

00:43:21.226 --> 00:43:23.101
얼마가 공급되고 있어요?

00:43:23.201 --> 00:43:25.405
10kJ이 공급되고 있고요.

00:43:25.505 --> 00:43:27.992
한 일은 얼마예요? 4예요.

00:43:28.092 --> 00:43:34.910
따라서 이 열기관의 열효율은 0.4다,
라고 대답을 해야 됩니다.

00:43:35.010 --> 00:43:40.858
그래서 ㄷ번 보기는 틀렸다고
이야기할 수 있게 되죠.

00:43:40.958 --> 00:43:43.166
2번 문제 보도록 하겠습니다.

00:43:43.266 --> 00:43:44.329
별거 없죠?

00:43:44.429 --> 00:43:47.500
굉장히 간단한 내용이야,
어렵지 않아요.

00:43:47.600 --> 00:43:51.292
지금 보시면 단열되어있어.

00:43:51.392 --> 00:43:55.307
완벽하게 애네는 열이
차단되어있는 상태에서

00:43:55.407 --> 00:44:00.781
애네 둘이 열을 교환하고 있습니다.

00:44:00.881 --> 00:44:03.919
열 교환은 애네 둘
사이에서만 일어나고 있대.

00:44:04.019 --> 00:44:13.818
이때 어떻게 되어 있느냐, 처음
온도는 A가 높고 B가 낮습니다.

00:44:13.918 --> 00:44:16.675
이때 열교환에 의해서
온도가 높은 곳에서

00:44:16.775 --> 00:44:20.990
온도가 낮은 쪽으로 열에너지의
이동이 발생하고요.

00:44:21.090 --> 00:44:24.974
그 열에너지의 이동에 의해서
A는 온도가 내려가고

00:44:25.074 --> 00:44:28.142
B는 온도가 높아져서
결국은 어떻게 될까요?

00:44:28.242 --> 00:44:31.326
온도가 같아지게 되겠죠.

00:44:31.426 --> 00:44:34.489
너무 당연한 이야기를
지금 하고 있는 겁니다.

00:44:34.589 --> 00:44:36.753
그러면 이제 보기 하나씩
보도록 하겠습니다.

00:44:36.853 --> 00:44:39.093
1번 보기 보도록 하겠습니다.

00:44:39.193 --> 00:44:42.405
처음 상태에서 A의 평균 운동.

00:44:42.505 --> 00:44:46.600
평균 운동 에너지, 운동
에너지는 어떻게 구합니까?

00:44:46.700 --> 00:44:50.118
속도 값에 의해서 나타나죠?

00:44:50.218 --> 00:44:53.114
온도가 높아야 기체 분자의
움직임이 활발해요,

00:44:53.214 --> 00:44:56.508
온도가 낮아야 기체 분자의
움직임이 활발해요?

00:44:56.608 --> 00:44:59.857
당연히 온도가 높아야 기체
분자의 움직임이 활발하죠.

00:44:59.957 --> 00:45:02.401
기체 분자의 움직임이
활발하면 속도가 빠르죠?

00:45:02.501 --> 00:45:06.514
속도가 빠르면 당연히
운동 에너지가 크겠죠.

00:45:06.614 --> 00:45:11.659
그래서 A의 운동에너지가 B의
운동에너지보다 더 크다.

00:45:11.759 --> 00:45:13.288
맞는 보기입니다.

00:45:13.388 --> 00:45:14.920
2번 보도록 하겠습니다.

00:45:15.020 --> 00:45:17.506
압력을 비교하래요.

00:45:17.606 --> 00:45:20.009
이 압력은 어떤 식으로
비교할 수 있을까.

00:45:20.109 --> 00:45:22.618
우리가 앞에서 배웠던
이상기체 상태방정식

00:45:22.718 --> 00:45:26.989
또는 보일 샤를의 법칙으로
표현할 수 있습니다.

00:45:27.089 --> 00:45:30.889
압력 곱하기 부피 값은 온도에
비례한다고 이야기했어요.

00:45:30.989 --> 00:45:34.392
그런데 문제에 보면 지금
뭐라고 되어있어요?

00:45:34.492 --> 00:45:37.487
부피가 같대요.

00:45:37.587 --> 00:45:44.053

부피가 같은 상태에서 온도가 누가 높아요?
A가 높죠.

00:45:44.153 --> 00:45:46.646
그러면 압력도 누가 높을까요?
A가 높죠.

00:45:46.746 --> 00:45:48.164
상식적으로 생각할 수 있어.

00:45:48.264 --> 00:45:51.670
A의 기체는 활발하잖아.

00:45:51.770 --> 00:45:57.135
그리고 벽면을 때리면
이렇게 때리고 있겠죠.

00:45:57.235 --> 00:45:58.850
그런데 B는 온도가 낮아.

00:45:58.950 --> 00:46:02.296
그러면 활발하지 않잖아.

00:46:04.316 --> 00:46:05.537
이렇게 때리고 있겠죠.

00:46:05.637 --> 00:46:10.658
그러면 이렇게 때리는
게 압력이 큰 거야,

00:46:11.527 --> 00:46:14.749
이렇게 때리는 게 압력이 큰 거야?

00:46:14.849 --> 00:46:18.715
활발하게 때려줄 때 압력이 더
크다고 이야기할 수 있게 됩니다.

00:46:18.815 --> 00:46:24.145
그래서 A의 압력이 B의 압력보다
크다, 맞는 보기가 되는 거고요.

00:46:24.245 --> 00:46:30.462
3번, 열교환 과정에서 A와 B의
전체 에너지는 보존되지 않는다.

00:46:30.562 --> 00:46:32.156
지금 뭐라고 되어있어?

00:46:32.256 --> 00:46:38.484
완벽하게 바깥을
차단시켜놓고 있습니다.

00:46:38.584 --> 00:46:45.070
그러니까 열교환에 의해서 애는 열에너지를
잃고 애는 열에너지를 얻습니다.

00:46:45.170 --> 00:46:49.951
당연히 애가 잃은 열과
애가 얻은 열은 같겠죠.

00:46:50.051 --> 00:46:54.112

따라서 토탈 열은 외부로
방출되지 않았으니까

00:46:54.212 --> 00:46:58.238
애가 잃고 애가 잃은
만큼 B가 얻었으니까

00:46:58.338 --> 00:47:03.325
열교환에 의해서 에너지는
손실되지 않습니다.

00:47:03.425 --> 00:47:04.853
틀렸죠.

00:47:04.953 --> 00:47:08.118
물론 일반적인 상황에서는 어때요?

00:47:08.218 --> 00:47:12.138
온도가 외부로 방출되어지니까,

00:47:12.238 --> 00:47:14.616
완벽하게 차단되어지지
않으면 외부로 방출되니까

00:47:14.716 --> 00:47:19.720
열에너지를 잃는다고 표현할 수
있겠죠, 애네들이 주고받는 과정에서.

00:47:19.820 --> 00:47:21.943
4번 보도록 하겠습니다.

00:47:22.043 --> 00:47:25.965
A의 온도는 올라가고 B의 온도는
내려가는 일은 일어나지 않습니다.

00:47:26.065 --> 00:47:27.755
절대로 그런 일은
일어나지 않습니다.

00:47:27.855 --> 00:47:30.902
왜? 열은 항상 어디서
어디로 이동하니까?

00:47:31.002 --> 00:47:34.274
고온에서 저온으로만 이동하니까.

00:47:34.374 --> 00:47:35.939
이렇게 이야기할 수 있고요.

00:47:36.039 --> 00:47:37.205
5번 보겠습니다.

00:47:37.305 --> 00:47:38.429
비가역 과정이다.

00:47:38.529 --> 00:47:40.019
그렇죠, 거꾸로 갈 수 없어요.

00:47:40.119 --> 00:47:47.117
온도가 낮은 곳에서 온도가 높은 곳 쪽으로
열의 이동도 발생할 수 없을뿐더러

00:47:47.217 --> 00:47:53.020

애네 둘이 온도가 같아졌다가
다시 A가 온도가 올라가고

00:47:53.120 --> 00:47:56.133

B가 온도가 낮아지는 일이
일어날 수 있나요, 없나요?

00:47:56.233 --> 00:47:57.859

그런 일도 일어날 수 없죠, 왜?

00:47:57.959 --> 00:48:02.986

A와 B 온도가 같아지게 되면
열은 더 이상 주고받지 않습니다.

00:48:03.086 --> 00:48:07.347

만약에 온도가 같아졌다가
다시 A가 온도가 올라가고

00:48:07.447 --> 00:48:13.050

B가 온도가 낮아지려면 B 쪽에서 A
쪽으로 열에너지의 이동이 발생하면서

00:48:13.150 --> 00:48:16.640

A가 올라가고 B는 온도가
내려가야 되는 일이 발생하는데

00:48:16.740 --> 00:48:18.831

이런 일은 일어나지 않잖아요.

00:48:18.931 --> 00:48:20.821

일어날 수가 없습니다.

00:48:20.921 --> 00:48:23.302

그래서 비가역 과정입니다.

00:48:23.402 --> 00:48:25.643

거꾸로 될 수 없습니다.

00:48:25.743 --> 00:48:29.788

이렇게 해서 2번
문제 해결해봤고요.

00:48:29.888 --> 00:48:31.863

3번 문제 보도록 하겠습니다.

00:48:31.963 --> 00:48:36.522

또 열기관에 대한 문제이고요.

00:48:36.622 --> 00:48:38.859

어떻게 되어있느냐, 문제를 봤더니

00:48:38.959 --> 00:48:43.860

문제에 열기관이 받은
열은 2라고 되어있고요.

00:48:43.960 --> 00:48:47.689

열효율은 10%랍니다.

00:48:47.789 --> 00:48:53.790

이때 열기관이 할 수 있는
일은 얼마니, 라고 물었어요.

00:48:53.890 --> 00:48:56.862
공식만 알고 있으면
풀 수 있는 거잖아, 왜?

00:48:56.962 --> 00:48:59.413
열효율은 어떻게 구한다고요?

00:48:59.513 --> 00:49:03.127
공급열로 한 일로 구한다고요.

00:49:03.227 --> 00:49:06.874
그런데 여기서 조심해야 될
건 퍼센트로 나왔죠?

00:49:06.974 --> 00:49:08.285
그러면 여기다 어떻게 줘야 돼?

00:49:08.385 --> 00:49:12.298
100을 곱하는 거죠.

00:49:12.398 --> 00:49:15.864
퍼센트로 계산하기 싫으면
10%가 값으로는 몇이야?

00:49:15.964 --> 00:49:18.793
0.1인 거죠.

00:49:18.893 --> 00:49:22.379
이게 나올 수 있는
W를 구하라는 거죠.

00:49:22.479 --> 00:49:26.307
이때 공급열이 얼마라고 되어있어요?
2.

00:49:26.407 --> 00:49:31.693
그러면 2분의 한
일은 0.1입니다.

00:49:31.793 --> 00:49:36.676
그러면 한 일은 당연히 얼마가 되는 거야?
0.2.

00:49:36.776 --> 00:49:42.944
이런 문제도 나온다고요.

00:49:43.044 --> 00:49:46.439
공식만 알고 있으면 풀 수
있는 문제였던 거죠.

00:49:46.539 --> 00:49:51.829
그러면 여기서 참고로 이 열기관은
얼마의 열을 방출했을까요?

00:49:51.929 --> 00:49:54.088
방출열은 얼마였을까.

00:49:54.188 --> 00:49:56.206

공급열이 얼마야 지금?

00:49:56.306 --> 00:50:00.379
2인데 한 일은 0.2야.

00:50:00.479 --> 00:50:04.543
그러면 방출열은 얼마가 돼요?

00:50:04.643 --> 00:50:09.954
1.8이구나, 라는 것도
우리가 알아낼 수 있습니다.

00:50:10.054 --> 00:50:14.091
이렇게 해서 3번
문제 해결해봤고요.

00:50:14.191 --> 00:50:17.772
그러면 마지막 4번 문제
보도록 하겠습니다.

00:50:17.872 --> 00:50:21.710
4번 문제는 최근에 출제됐던
문제의 유형인 거죠.

00:50:21.810 --> 00:50:24.102
역시나 어렵지 않습니다.

00:50:24.202 --> 00:50:27.369
아주 가볍게 문제를
해결할 수 있어요.

00:50:27.469 --> 00:50:29.710
지금 보면 고열원,

00:50:29.810 --> 00:50:33.985
온도가 높은 곳에서 열기관 쪽으로
열에너지가 공급이 이루어지고 있고요.

00:50:34.085 --> 00:50:37.380
그 공급된 열에너지로
일부로는 일을 하고

00:50:37.480 --> 00:50:40.589
나머지는 방출시키고
있는 상황입니다.

00:50:40.689 --> 00:50:45.707
이때 A에서 B, B에서
C로 기체의 상태가

00:50:45.807 --> 00:50:51.181
변화되고 있는 과정의
일부를 보여준 거죠.

00:50:51.281 --> 00:50:54.122
원래 열기관이 작동해서 일을 하려면

00:50:54.222 --> 00:50:56.903
다시 제자리로 돌아와야
되는 거잖아.

00:50:57.003 --> 00:51:01.594
그런데 그것까지 보여주진 않은
그래프이다, 라는 걸 확인할 수 있어요.

00:51:01.694 --> 00:51:05.126
그러면 이제 ㄱ부터
보도록 하겠습니다.

00:51:05.226 --> 00:51:11.572
문제를 봤더니 문제에 열효율이
0.2인 열기관이라고 되어있어요.

00:51:11.672 --> 00:51:12.759
그러면 이제 어떻게 되는 거죠?

00:51:12.859 --> 00:51:14.616
열효율은 어떻게 구한다고요?

00:51:14.716 --> 00:51:17.995
공급열 분의 한 일이죠.

00:51:18.095 --> 00:51:20.641
이때 한 일은 어떻게 구한다고요?

00:51:20.741 --> 00:51:28.987
공급열 분의 공급열 빼기 방출열로 한
일을 구할 수 있다고 말씀을 드렸고요.

00:51:29.087 --> 00:51:33.258
이때 열효율이 문제에
얼마라고 나와 있는 거야?

00:51:33.358 --> 00:51:37.411
0.2라고 나와 있는 거죠.

00:51:37.511 --> 00:51:41.122
그때 일을 구하라고 되어있어요.

00:51:41.222 --> 00:51:43.714
그러면 이제 어떻게 되는 거죠?

00:51:43.814 --> 00:51:53.123
지금 여기 보면 문제 상황에서는
공급열이 Q1으로 표현되어있는 거고

00:51:53.223 --> 00:51:56.980
방출열이 얼마라고 되어있는 거야?

00:51:57.080 --> 00:52:00.974
Q2라고 되어있는 겁니다.

00:52:02.674 --> 00:52:10.061
여기 보시면 이걸로 W가
얼마임을 알 수 있어요?

00:52:10.161 --> 00:52:16.171
0.2Q1이겠구나, 라는
걸 알 수 있어요.

00:52:16.271 --> 00:52:19.453
그러면 Q1은 얼마가 되는 거야?

00:52:19.553 --> 00:52:23.503
이게 5분의 1이죠? 5W입니다.

00:52:24.972 --> 00:52:33.449
이게 W인데 Q1이 지금 얼마야?
5W야.

00:52:33.549 --> 00:52:36.935
그러면 Q2는 얼마여야 됩니까?

00:52:37.035 --> 00:52:42.570
Q2는 4W구나.

00:52:42.670 --> 00:52:44.132
산수죠.

00:52:44.232 --> 00:52:45.970
산수만 하면 풀 수 있는 문제잖아.

00:52:46.070 --> 00:52:49.361
그래서 ∇ 보기는
맞는 보기가 되고요.

00:52:49.461 --> 00:52:52.790
 ∇ , A에서 B
과정에서 기체는 열을.

00:52:52.890 --> 00:52:54.911
A에서 B 과정입니다.

00:52:55.011 --> 00:52:57.067
이거 어떤 식으로 해석하면 돼요?

00:52:57.167 --> 00:53:01.332
열역학 제1법칙을 적용시키면 되죠.

00:53:01.432 --> 00:53:04.761
이거 지우고 한번 해보도록 합시다.

00:53:04.861 --> 00:53:07.357
 $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$ 다 분석해볼까요?

00:53:07.457 --> 00:53:11.904
A에서 B 가는 과정과
B에서 C 가는 과정을

00:53:12.004 --> 00:53:19.997
열역학 제1법칙 그리고 보일 샤를의
법칙으로 분석을 해보도록 합시다.

00:53:20.097 --> 00:53:24.788
A에서 B 갈 때는
부피가 변하지 않는대.

00:53:24.888 --> 00:53:32.850
부피는 변하지 않으면서
압력이 증가했어요.

00:53:32.950 --> 00:53:35.808
그러니까 당연히 온도가 증가합니다.

00:53:35.908 --> 00:53:38.759

온도가 증가하면 내부 에너지의
변화량 값은 플러스죠?

00:53:38.859 --> 00:53:43.997

그러면 기체는 열에너지를 당연히
흡수했다고 표현할 수 있게 됩니다.

00:53:44.097 --> 00:53:46.674

이번에는 B에서 C
보도록 하겠습니다.

00:53:46.774 --> 00:53:48.689

B에서 C는 문제에 나와 있죠?

00:53:48.789 --> 00:53:50.369

단열 과정이다.

00:53:50.469 --> 00:53:52.147

Q가 0이라는 소리죠.

00:53:52.247 --> 00:53:54.781

그 상태에서 부피가 늘어났죠?

00:53:54.881 --> 00:53:56.920

W는 플러스 값이 되겠죠?

00:53:57.020 --> 00:54:01.604

그러면 ΔU 값은 그만큼의
마이너스 값을 갖게 될 거고요.

00:54:01.704 --> 00:54:03.038

그러면 여기서는 어떻게 됩니까?

00:54:03.138 --> 00:54:04.419

부피는 늘었죠.

00:54:04.519 --> 00:54:07.338

그런데 내부 에너지의 변화,
온도는 감소했습니다.

00:54:07.438 --> 00:54:10.446

그러면 압력은 많이
감소했겠구나, 라는 것도

00:54:10.546 --> 00:54:12.256

우리가 판단할 수 있습니다.

00:54:12.356 --> 00:54:15.337

그래서 n 보기가 맞는 거죠.

00:54:15.437 --> 00:54:20.030

A→B 과정에서 기체는
열에너지를 흡수했습니다.

00:54:20.130 --> 00:54:21.355

Δ 보겠습니다.

00:54:21.455 --> 00:54:24.665

B→C 과정에서 한 일.

00:54:28.070 --> 00:54:32.446

B→C 과정에서 내부
에너지의 변화량 값.

00:54:32.546 --> 00:54:38.766

이거랑 이거랑 크기가 같니, 값이
같니, 절댓값이 같니를 물을 거죠.

00:54:38.866 --> 00:54:41.719

이 값과 이 값을 더해서
뭐가 나와야 되죠?

00:54:41.819 --> 00:54:51.823

0이 나와야 되니까 당연히 이 값과 이
값의 절댓값은 크기가 같아야만 합니다.

00:54:51.923 --> 00:54:55.993

그래야 0이 나올 거 아니야.

00:54:56.093 --> 00:55:02.089

이렇게 해서 열효율과 관련되어있는
내용을 모두 해결해봤습니다.

00:55:02.189 --> 00:55:06.904

열효율은 아까도 거듭 말씀드렸지만,
공식만 알고 있으면

00:55:07.004 --> 00:55:09.784

어렵지 않게 여러분이 문제를
해결할 수 있어요.

00:55:09.884 --> 00:55:13.008

이 열역학 제2법칙이나 제2종
영구기관 같은 경우는

00:55:13.108 --> 00:55:15.614

물리2에서 자세하게
다뤄지는 내용이라서

00:55:15.714 --> 00:55:20.442

여러분은 크게 어렵지
않게 상식적인 부분에서

00:55:20.542 --> 00:55:25.233

열 이동의 관점에서만 기억을
해두시면 될 것 같습니다.

00:55:25.333 --> 00:55:26.781

수고하셨습니다.

00:55:26.881 --> 00:55:29.117

이제 다음 시간에
뵙도록 하겠습니다.

00:55:29.217 --> 00:55:31.161

감사합니다.