WEBVTT

00:00:10.229 --> 00:00:11.091
반갑습니다.

00:00:11.191 --> 00:00:14.154
물리학1 기초개념학습 남벽우입니다.

00:00:14.254 --> 00:00:19.580
오늘은 일곱 번째 주제, 내부 에너지와
열기관에 대해서 배워보도록 할게요.

00:00:19.680 --> 00:00:22.668
말 그대로 오늘은 열기관입니다.

00:00:22.768 --> 00:00:25.974
열기관이 뭘까요?
엔진입니다.

00:00:26.074 --> 00:00:28.570
우리 남학생들 되게 좋아하죠.

00:00:28.670 --> 00:00:30.689
자동차 엔진, 비행기 엔진.

00:00:30.789 --> 00:00:34.242
물론 오늘 다룰 내용은
비행기 엔진은 아니고요.

00:00:34.342 --> 00:00:38.699
자동차의 엔진, 일반적인 기계 장치의
엔진이라고 생각하시면 될 것 같고요.

00:00:38.799 --> 00:00:43.155
그러면 이 기계장치
엔진의 작동을 보고

00:00:43.255 --> 00:00:45.872
수업 시작하도록 할게요.

00:00:45.972 --> 00:00:50.412
이 엔진은 스털링 엔진이라고
해서 엔진의 구조 중에

00:00:50.512 --> 00:00:52.806
가장 간단한 형태의 엔진입니다.

00:00:52.906 --> 00:00:56.693
보통 엔진은 두 가지로
분류를 해요.

00:00:56.793 --> 00:01:01.704
열이 실린더 외부에서
공급되어지면 외연기관.

00:01:01.804 --> 00:01:06.097
실린더 내부에서 공급되어지면
내연기관이라고 부르고요.

00:01:06.197 --> 00:01:12.054

보통 외연기관이 내연기관보다 좀
더 간단한 구조를 갖고 있겠죠?

00:01:12.154 --> 00:01:15.871
그래서 이 스털링 엔진이라는
엔진은 외연기관입니다.

00:01:15.971 --> 00:01:19.816
엔진은 기본적으로
실린더라는 게 있고요.

00:01:19.916 --> 00:01:24.082
그리고 안에서 왔다 갔다
할 수 있는 피스톤이 있습니다.

00:01:24.182 --> 00:01:28.425
그리고 그 피스톤에 연결된
톱니바퀴들이 존재하죠.

00:01:28.525 --> 00:01:31.524
지금 여기다 열에너지를 공급해주면

00:01:31.624 --> 00:01:34.571
그 열에너지에 의해서
실린더 안에 들어있는

00:01:34.671 --> 00:01:38.216
기체 분자의 움직임이
좀 활발해질 것이고

00:01:38.316 --> 00:01:42.622
그 기체 분자의 움직임에 의해서
피스톤을 밀 수 있게 됩니다.

00:01:42.722 --> 00:01:44.760
그러면 피스톤을 밀게
되면 어떻게 될까요?

00:01:44.860 --> 00:01:46.186
쭉 밀어가겠죠.

00:01:46.286 --> 00:01:48.875
그런데 피스톤을 계속
밀 수는 없으니까

00:01:48.975 --> 00:01:52.823
톱니바퀴가 회전하면서
다시 밀려들어 오고

00:01:52.923 --> 00:01:56.845
다시 밀려들어 오고를 반복할 수
있게 되어있는 구조입니다.

00:01:56.945 --> 00:02:00.679
그러면 일단 작동을 좀 보고
시작을 하도록 하겠습니다.

00:02:00.779 --> 00:02:02.996
열에너지를 공급하고 있습니다.

00:02:03.096 --> 00:02:07.018

그러면 열에너지가 공급되어지면
실린더 안에 들어있는 기체에게

00:02:07.118 --> 00:02:08.880
그 열에너지가 들어가겠죠.

00:02:08.980 --> 00:02:14.081
그 열에너지에 의해서 이 피스톤을
움직일 수 있는 에너지를 얻고요.

00:02:14.181 --> 00:02:16.956
그 에너지에서 피스톤을
밀게 됩니다.

00:02:17.056 --> 00:02:20.097
그러면 이 엔진이 작동을
시작하게 되는 거죠.

00:02:20.197 --> 00:02:24.573
그러면 시동을 한번
걸어보도록 하겠습니다.

00:02:24.673 --> 00:02:26.522
시동을 걸면 보이시죠?

00:02:26.622 --> 00:02:32.238
피스톤이 왔다 갔다 왕복 운동을 하고
있구나, 라는 걸 판단할 수 있습니다.

00:02:32.338 --> 00:02:35.753
그 왕복 운동에 의해서
톱니바퀴가 회전하고 있죠.

00:02:35.853 --> 00:02:38.769
이 톱니바퀴에 다양한 톱니바퀴들.

00:02:38.869 --> 00:02:40.932
다른 톱니바퀴들이
존재하고 있거든요.

00:02:41.032 --> 00:02:44.958
바퀴 톱니바퀴를 연결하면
바퀴가 구를 것이고

00:02:45.058 --> 00:02:48.677
프로펠러 톱니바퀴를 연결하면
프로펠러가 돌 것이고요.

00:02:48.777 --> 00:02:50.461
여기 발전기도 있어요.

00:02:50.561 --> 00:02:55.844
발전기 톱니바퀴를 연결하면
발전기가 작동되게 됩니다.

00:02:55.944 --> 00:02:58.538
그러면 바퀴부터
연결해보도록 할게요.

00:02:58.638 --> 00:03:01.564
바퀴에 연결하면 바퀴가

회전하고 있죠.

00:03:01.664 --> 00:03:03.949
땅에 놔두면 바퀴가 이렇게 구르면서

00:03:04.049 --> 00:03:07.598
엔진이 이렇게 이동해갈 수
있다는 걸 볼 수 있습니다.

00:03:07.698 --> 00:03:11.452
이번에는 발전기 톱니바퀴를
연결해볼게요.

00:03:11.552 --> 00:03:14.459
발전기 톱니바퀴를 연결하면
여기 지금 보이세요?

00:03:14.559 --> 00:03:15.999
깜빡깜빡?

00:03:16.099 --> 00:03:19.930
뜨면 빛이 안 깜빡거리고,
여기 전구가 있어요.

00:03:20.030 --> 00:03:24.933
그리고 닫으면 깜빡깜빡이는
현상을 확인할 수 있습니다.

00:03:25.033 --> 00:03:30.998
그리고 프로펠러를 연결하게
되면 이 프로펠러를 돌리는

00:03:31.098 --> 00:03:33.252
이러한 일도 할 수 있게 되죠.

00:03:33.352 --> 00:03:36.154
우리가 여기서 주목해볼 건 뭐냐,

00:03:36.254 --> 00:03:39.748
실린더에 열에너지가 공급되어지면

00:03:39.848 --> 00:03:44.082
그 열에너지에 의해서 바퀴를 굴리고

00:03:44.182 --> 00:03:51.548
전구를 깜빡이게 하고 프로펠러를
돌리는 일을 할 수 있구나.

00:03:51.648 --> 00:03:56.466
결국 바퀴를 굴리는 것도
전구를 깜빡이게 하는 것도

00:03:56.566 --> 00:04:00.109
프로펠러를 돌리는 것도 다
일을 하는 거잖아요.

00:04:00.209 --> 00:04:02.964
결국 이 열기관의
핵심은 바로 뭐야?

00:04:03.064 --> 00:04:11.805

에너지가 공급되어져서 그 열에너지로
뭔가의 일을 할 수 있게 한다는 거죠.

00:04:11.905 --> 00:04:14.899
불을 한번 꺼볼게요.

00:04:14.999 --> 00:04:15.968
불을 껐거든요.

00:04:16.068 --> 00:04:19.461
지금 불을 끈 상태에서도 피스톤은
계속 어떻게 하고 있어요?

00:04:19.561 --> 00:04:23.919
왕복 운동 하면서 바퀴를 굴리는
일을 할 수 있습니다.

00:04:24.019 --> 00:04:28.164
전구를 깜빡이게 하는
일을 할 수 있습니다.

00:04:28.264 --> 00:04:30.556
왜 그럴까요?

00:04:30.656 --> 00:04:37.920
실린더 안에 들어있는 기체에 아직
피스톤을 밀어서 바퀴를 굴리고

00:04:38.020 --> 00:04:44.425
프로펠러를 돌리고 전구를 깜빡이는
일을 할 수 있다는 것을 뜻합니다.

00:04:44.525 --> 00:04:46.141
그러면 이 의미는 뭐야?

00:04:46.241 --> 00:04:56.110
실린더 안에 들어있는 기체도 에너지를
가지게 된다는 것을 확인할 수 있죠.

00:04:56.210 --> 00:04:59.350
그러면 본격적으로 이야기
시작하도록 할게요.

00:04:59.450 --> 00:05:02.827
그러면 오늘 강의를 통해서 여러분이
반드시 익혀야 될 핵심 용어들

00:05:02.927 --> 00:05:04.989
좀 확인해보고 넘어가도록
하겠습니다.

00:05:05.089 --> 00:05:06.826
일단 절대온도.

00:05:06.926 --> 00:05:08.796
과학의 온도라고 부르거든요.

00:05:08.896 --> 00:05:13.036
과학에서는 우리가 일상생활에서
쓰는 섭씨온도를 안 쓰고요.

00:05:13.136 --> 00:05:14.875
절대온도라는 걸 씁니다.

00:05:14.975 --> 00:05:18.279
그 이유가 뭔지 조금 이따가
확인을 해보도록 하겠고요.

00:05:18.379 --> 00:05:22.568
열역학 제0법칙이라고
부르는 법칙이 있습니다.

00:05:22.668 --> 00:05:26.274
이건 뭐냐, 그리고
열평형이라는 용어는 뭐냐,

00:05:26.374 --> 00:05:28.122
그리고 열역학 제1법칙.

00:05:28.222 --> 00:05:31.200
오늘 배울 내용에서
가장 중요합니다.

00:05:31.300 --> 00:05:34.122
열역학 제1법칙이란 뭐냐.

00:05:34.222 --> 00:05:37.821
그런데 이 열역학
제1법칙이라는 걸 알려면

00:05:37.921 --> 00:05:41.873
기체의 내부 에너지가 뭔지를
여러분이 판단할 수 있어야 되고요.

00:05:41.973 --> 00:05:45.800
기체가 하는 일은 뭐냐도
여러분이 알 수 있어야 됩니다.

00:05:45.900 --> 00:05:51.919
그리고 단열, 정적, 정압,
등온 변화는 어떤 변화냐,

00:05:52.019 --> 00:05:54.530
이것도 여러분이 기억하실
수 있어야 됩니다.

00:05:54.630 --> 00:05:57.889
그리고 압력 부피 변화 그래프.

00:05:57.989 --> 00:06:04.316
이게 기체의 상태를 표현할 때
기체의 압력과 부피를 이용해서

00:06:04.416 --> 00:06:07.532
기체가 어떤 상태인지를
보여주는 그래프를

00:06:07.632 --> 00:06:10.491
우리는 압력 부피 변화
그래프라고 부르고요.

00:06:10.591 --> 00:06:18.183

그리고 열역학 제1법칙이 응용된
제1종 영구기관이라는 것을

00:06:18.283 --> 00:06:20.509
한번 다뤄나가 보도록 하겠습니다.

00:06:20.609 --> 00:06:26.579
그러면 절대온도부터 오늘
강의 시작하도록 하겠습니다.

00:06:26.679 --> 00:06:33.941
절대온도란 뭐냐, 또는
켈빈온도라고 부릅니다.

00:06:34.041 --> 00:06:37.616
켈빈이라는 사람이
만들어낸 온도라고 해서

00:06:37.716 --> 00:06:40.054
켈빈온도라고 부르거든요.

00:06:40.154 --> 00:06:43.506
이 절대온도는 어떤
특징을 갖고 있느냐면

00:06:43.606 --> 00:06:46.105
우리가 일상생활에서 사용하는 온도.

00:06:46.205 --> 00:07:00.984
섭씨온도에 273을 더한 값을
절대온도라고 불러주게 됩니다.

00:07:01.084 --> 00:07:02.611
그렇다면 이제 어떻게 되는 거야?

00:07:02.711 --> 00:07:08.357
우리가 사용하는 섭씨온도 0도는
절대온도 몇 도가 돼요?

00:07:08.457 --> 00:07:10.933
273도가 됩니다.

00:07:11.033 --> 00:07:17.737
그러면 왜 절대온도라는
걸 만들어냈냐면,

00:07:17.837 --> 00:07:21.148
우리가 사용하는 섭씨온도는
마이너스 온도가 존재하죠.

00:07:21.248 --> 00:07:25.145
그런데 과학에서는 마이너스
온도를 원하지 않습니다.

00:07:25.245 --> 00:07:28.415
마이너스 값을 원하지 않아요.

00:07:28.515 --> 00:07:34.051
왜냐, 물리적으로 마이너스는
우리가 앞에서 배워왔듯이

00:07:34.151 --> 00:07:36.841
어떤 의미로 많이 이용됩니까?

00:07:36.941 --> 00:07:42.777
반대 방향이라는 의미로 마이너스가
많이 이용되고 있습니다.

00:07:42.877 --> 00:07:48.324
그런데 섭씨온도에서 사용하는
-10도, -200도.

00:07:48.424 --> 00:07:51.246
이런 온도가 반대
방향 온도인 거야?

00:07:51.346 --> 00:07:53.513
그런 의미가 아닌 거잖아요.

00:07:53.613 --> 00:07:59.001
그래서 정확하게 절대온도, 섭씨온도가 왜
마이너스의 온도를 가지면 안 되느냐.

00:07:59.101 --> 00:08:02.172
이런 것들은 사실 벡터, 스칼라.

00:08:02.272 --> 00:08:04.949
이런 내용들도 여러분이
알고 있어야 되고요.

00:08:05.049 --> 00:08:09.281
그리고 기체의 부피 변화에 대한
내용도 알고 있어야 되지만

00:08:09.381 --> 00:08:15.296
여기서는 절대온도는
섭씨온도+273이다.

00:08:15.396 --> 00:08:18.936
이 정도로만 여러분이 기억하고
계시면 될 것 같아요.

00:08:19.036 --> 00:08:23.531
그러면 왜 하고많은
숫자 중 273일까.

00:08:23.631 --> 00:08:26.799
이것도 여러분이 이유를 정확하게
기억할 필요는 없어요.

00:08:26.899 --> 00:08:30.873
그럼에도 불구하고 여러분의
궁금증을 해결해드리면

00:08:30.973 --> 00:08:33.411
이런 상상을 한번
해보도록 하겠습니다.

00:08:33.511 --> 00:08:36.842
냉장고에 물건을 넣어요.

00:08:36.942 --> 00:08:39.002

그리고 온도를 낮춰갑니다.

00:08:39.102 --> 00:08:43.709
냉장고에 물건을 놓고
온도를 낮춰가면

00:08:43.809 --> 00:08:47.924
우리가 사용하는 섭씨온도
0℃ 이하로 온도를 낮춰가면

00:08:48.024 --> 00:08:49.522
어떤 일이 일어나냐면,

00:08:49.622 --> 00:08:54.401
그 물체의 부피가
쪼그라들기 시작합니다.

00:08:54.501 --> 00:08:59.424
그 물체의 부피가 쪼그라들고
쪼그라들고 쪼그라들기 시작해요.

00:08:59.524 --> 00:09:02.843
그런데 이 부피가
얼마씩 쪼그라드느냐,

00:09:02.943 --> 00:09:04.658
정확하게 기체로 해야 되는데

00:09:04.758 --> 00:09:07.725
여러분의 이해를 돕기 위해서
그냥 물체라고 이야기했어요.

00:09:07.825 --> 00:09:13.269
물체의 부피가 쪼그라드는데 이
부피가 얼마씩 쪼그라드느냐,

00:09:13.369 --> 00:09:16.914
273분의 1씩이 없어지는 거야.

00:09:17.014 --> 00:09:20.697
부피가 273분의 1씩이
쪼그라드는 거야.

00:09:20.797 --> 00:09:27.040
그러면 273분의 1씩이 쪼그라들면
273분의 1씩이 없어지고

00:09:27.140 --> 00:09:33.417
원래 부피의 273이 없어지고
273분의 1이 없어지니까

00:09:33.517 --> 00:09:35.573
결과적으로 몇 도가 되면?

00:09:35.673 --> 00:09:40.774
-273도가 되면 다
없어져 버리겠죠.

00:09:40.874 --> 00:09:41.599
이해해?

00:09:41.699 --> 00:09:45.407
0℃ 부피에서 온도를
1도 낮출 때마다

00:09:45.507 --> 00:09:49.896
부피가 273분의 1씩이
줄어드는 거야.

00:09:49.996 --> 00:09:54.426
그래서 -273도가 되면 더
이상 없어질 것도 없는 거죠.

00:09:54.526 --> 00:10:00.890
그러면 그 -273도가 세상에 존재하는
가장 낮은 온도라고 생각을 하는 겁니다.

00:10:00.990 --> 00:10:06.546
부피가 줄다가 줄다가
-273도가 되면 없어졌어.

00:10:06.646 --> 00:10:10.890
그러면 그거보다 온도를 더
낮추면 반대로 생기나?

00:10:10.990 --> 00:10:12.481
그럴 리는 없다고 본 거죠.

00:10:12.581 --> 00:10:20.375
그래서 가장 낮은 온도를 부피가 0이 되는
온도, 절대온도라고 규정을 하고 있습니다.

00:10:20.475 --> 00:10:24.546
그래서 273이라는
숫자가 만들어졌는데

00:10:24.646 --> 00:10:27.004
우리 수준에서는 기억할
필요는 없고요.

00:10:27.104 --> 00:10:31.402
절대온도는 이런
공식으로 쓰여진다.

00:10:31.502 --> 00:10:35.007
가장 낮은 온도는 몇 도? 0도.

00:10:35.107 --> 00:10:40.352
그러면 이 절대온도의 필요성과 관련되어있는
문제 한번 보도록 하겠습니다.

00:10:40.452 --> 00:10:45.954
섭씨 0도의 두 배의
온도는 몇 도일까?

00:10:47.677 --> 00:10:52.946
섭씨 0도의 두 배?

00:10:53.046 --> 00:10:56.117
두 배 높으면 분명
0도보다는 높아야 되는데

00:10:56.217 --> 00:11:00.399
0도를 곱하기 2하면 0도야.

00:11:00.499 --> 00:11:02.320
말이 안 되는 일이 발생하는 거죠.

00:11:02.420 --> 00:11:08.502
그래서 과학적으로 뭔가 말이 안 되는
상황인 거야, 섭씨온도를 사용하게 되면.

00:11:08.602 --> 00:11:12.243
그래서 과학의 온도인
절대온도가 필요했던 겁니다.

00:11:12.343 --> 00:11:16.666
똑같은 관점에서 섭씨 -10도가
있다고 생각합시다.

00:11:16.766 --> 00:11:23.883
그러면 섭씨 -10도보다
두 배 높은 온도는 몇 도인가.

00:11:23.983 --> 00:11:24.980
-20도인데?

00:11:25.080 --> 00:11:27.484
-10도의 두 배 높은
온도는 -20도?

00:11:27.584 --> 00:11:29.528
말이 안 되는 상황인 거죠.

00:11:29.628 --> 00:11:33.034
그래서 이런 것들의 해결을
위해서 과학의 온도.

00:11:33.134 --> 00:11:35.094
절대온도라는 게 필요했던 겁니다.

00:11:35.194 --> 00:11:36.689
그러면 어떻게 해야 되느냐,

00:11:36.789 --> 00:11:42.633
이런 과학에서는 이런 표현을 사용할 때
우리는 바로 절대온도를 사용합니다.

00:11:42.733 --> 00:11:56.072
그러면 섭씨 0도는 절대온도로
바꿔주면 몇 도가 됩니까?

00:11:56.172 --> 00:11:58.595
273K입니다.

00:11:58.695 --> 00:12:02.375
절대온도는 '도'를
K(켈빈)이라고 불러요.

00:12:02.475 --> 00:12:03.538
그래서 K라고 씁니다.

00:12:03.638 --> 00:12:10.508

바로 절대온도 273도에 2배를
하면 몇 도가 됩니까?

00:12:10.608 --> 00:12:13.940
546K가 되죠.

00:12:14.040 --> 00:12:18.014
절대온도 546도입니다.

00:12:18.114 --> 00:12:27.069
이 절대온도 546도를 다시
섭씨온도로 바꾸면 얼마가 될까요?

00:12:27.169 --> 00:12:35.177
절대온도 546을 섭씨온도로 바꾸면
546에서 273을 빼주면 되죠?

00:12:35.277 --> 00:12:37.085
결국 섭씨 몇 도가 되는 거야?

00:12:37.185 --> 00:12:40.524
273℃.

00:12:40.624 --> 00:12:41.469
결국 뭡니까?

00:12:41.569 --> 00:12:49.857
0도의 두 배의 온도는
섭씨 273℃다.

00:12:49.957 --> 00:12:51.306
온도가 두 배 높은 거 같아.

00:12:51.406 --> 00:12:55.330
이런 표현 함부로 쓰면
되겠어요, 안 되겠어요?

00:12:55.430 --> 00:12:56.207
안 되죠.

00:12:56.307 --> 00:12:59.028
0도의 두 배가 273도라고요.

00:12:59.128 --> 00:13:02.294
그러면 1도의 두 배는 몇 도겠어.

00:13:02.394 --> 00:13:11.589
274니까 275℃네요.

00:13:11.726 --> 00:13:14.311
275℃가 1도의
두 배 온도입니다.

00:13:14.411 --> 00:13:18.699
1도의 두 배 온도는
2도가 아닌 거야.

00:13:18.799 --> 00:13:21.940
그래서 이런 것들을 우리가
따져줄 수 있어야 되기 때문에

00:13:22.040 --> 00:13:23.791
절대온도를 사용하고 있다.

00:13:23.891 --> 00:13:28.388
물론 이런 문제가
출제될 리는 없겠죠?

00:13:28.488 --> 00:13:35.078
그렇지만 상식선에서 판단해주십사하고
이 문제를 한번 내봤습니다.

00:13:35.178 --> 00:13:41.837
그러면 이제 본격적인 열기관을
따져나가기 위한 내용을 진행하는데요.

00:13:41.937 --> 00:13:45.862
먼저 우리는 어떤 내용을
판단할 수 있어야 되느냐,

00:13:45.962 --> 00:13:52.844
열역학 제0법칙이라는 겁니다.

00:13:52.944 --> 00:13:55.849
일단 선생님, 왜 0법칙인가요?

00:13:55.949 --> 00:14:00.125
1법칙, 2법칙, 3법칙,
4법칙이 있는데 왜 0법칙일까.

00:14:00.225 --> 00:14:05.287
이거는 사실 열역학의 1법칙,
2법칙 그리고 3법칙까지 있어요.

00:14:05.387 --> 00:14:11.907
그런데 이 0법칙은 2법칙이 나오고
나서 만들어진 법칙이거든요.

00:14:12.007 --> 00:14:15.639
그런데 이 0법칙은
1법칙, 2법칙보다

00:14:15.739 --> 00:14:20.631
우선적으로 정의가 내려져야만
하는 법칙이었던 겁니다.

00:14:20.731 --> 00:14:25.516
그래서 열역학 제0법칙이라고
불러주고요.

00:14:25.616 --> 00:14:29.065
이 열역학 제0법칙은
결과적으로 뭐냐,

00:14:29.165 --> 00:14:36.506
고온인 물체와 저온인 물체를
붙여, 접촉시켜요.

00:14:36.606 --> 00:14:39.884
그러면 얘네 둘의 온도가
어떻게 됩니까?

00:14:39.984 --> 00:14:42.455
중간 온도로 같아지게 됩니다.

00:14:42.555 --> 00:14:46.048
그래서 고온인 물체와
저온인 물체를 붙이면

00:14:46.148 --> 00:14:48.013
중간 온도로 같아지게 되죠?

00:14:48.113 --> 00:14:50.531
이러한 상태를 우리는
뭐라고 부르느냐,

00:14:50.631 --> 00:14:53.474
열평형 상태라고 불러줍니다.

00:14:53.574 --> 00:14:59.822
즉 열평형 상태란 두 물체의
온도가 같아지는 상태를

00:14:59.922 --> 00:15:02.855
우리는 열평형 상태라고 불러주죠.

00:15:02.955 --> 00:15:04.941
그러면 이제 어떤 일이 일어납니까?

00:15:05.041 --> 00:15:13.835
고온인 물체와 저온인 물체가 붙으면
중간 온도, 중온이 되는데요.

00:15:13.935 --> 00:15:17.163
그러면 고온인 물체는
온도가 내려온 거고

00:15:17.263 --> 00:15:20.207
저온인 물체는 온도가 올라간 거죠?

00:15:20.307 --> 00:15:23.995
그러면 온도가 내려가고 온도가
올라간다는 건 뭘 의미할까요?

00:15:24.095 --> 00:15:27.170
고온인 물체는 열을
내보냈다는 소리고

00:15:27.270 --> 00:15:30.727
저온인 물체는 열을
흡수했다는 것을 뜻하죠.

00:15:30.827 --> 00:15:33.636
그래서 여러분이 이걸 중학교
때 배운 게 있어.

00:15:33.736 --> 00:15:36.302
혹시 기억나요?

00:15:36.402 --> 00:15:39.561
고온인 물체와 저온인
물체를 한데 섞어주면

00:15:39.661 --> 00:15:44.803
고온인 물체는 열을 잃고
저온인 물체는 열을 얻어서

00:15:44.903 --> 00:15:47.592
같은 온도가 된다.

00:15:47.692 --> 00:15:50.455
같은 온도가 된 상태를
뭐라고 부른다고요?

00:15:50.555 --> 00:15:55.794
열평형 상태라고 불러준다고요.

00:15:55.894 --> 00:16:04.244
그래서 고온인 물체가 잃은 열량과
저온인 물체가 얻은 열이 같다는 걸

00:16:04.344 --> 00:16:09.028
우리는 중학교 때 배웠었죠.

00:16:09.128 --> 00:16:12.073
여기서는 그런 것까지
기억 안 해도 되고요.

00:16:12.173 --> 00:16:16.852
열역학 제0법칙이란 결국
열평형 상태에 도달하면,

00:16:16.952 --> 00:16:18.525
열평형 상태는 뭐라고?

00:16:18.625 --> 00:16:23.752
온도가 같아진 상태에 도달하게 되면

00:16:23.852 --> 00:16:28.445
열이 이동하지 않는다는
게 바로 열평형입니다.

00:16:28.545 --> 00:16:30.384
그러면 온도가 같지 않으면
어떻게 된다는 소리야?

00:16:30.484 --> 00:16:38.230
열은 계속 이동할 수 있다는 것을 뜻하는
게 열역학 제0법칙이기도 합니다.

00:16:38.330 --> 00:16:42.543
어쨌든 열평형과 관련되어있는
정의를 내리고 있는 게

00:16:42.643 --> 00:16:48.464
바로 열역학 제0법칙이다,
라는 거 기억하시기 바랍니다.

00:16:48.564 --> 00:16:52.519
그러면 이제 본격적인
열기관을 설명할 수 있는

00:16:52.619 --> 00:17:02.160
열역학 제1법칙에 대한 이야기를

진행하도록 하겠습니다.

00:17:02.260 --> 00:17:06.199
일단 열역학 제1법칙에
대한 이야기를

00:17:06.299 --> 00:17:10.697
여러분이 판단하려면 몇 가지 좀
정의를 내릴 게 있습니다.

00:17:10.797 --> 00:17:12.889
그 정의를 내릴 게 바로 뭐냐,

00:17:12.989 --> 00:17:16.796
일단 기체의 압력입니다.

00:17:17.746 --> 00:17:21.353
우리 압력은 어떻게 정의내려요?

00:17:21.453 --> 00:17:24.405
압력은 press(P)라고 쓰고요.

00:17:24.505 --> 00:17:32.702
압력의 정의는 뭐냐, 면적당 작용하는
힘을 압력이라고 불러주게 됩니다.

00:17:32.802 --> 00:17:35.606
이걸 기체에서만
적용하는 건 아니니까

00:17:35.706 --> 00:17:39.047
이 압력에 대한 표현을
조금 사용해보면

00:17:39.147 --> 00:17:41.950
여기 지금 원뿔이 있습니다.

00:17:42.050 --> 00:17:49.308
원뿔을 이렇게 놓은 경우랑
이렇게 놓은 경우.

00:17:49.408 --> 00:17:57.537
바닥을 누르는 힘은
어느 경우가 더 셀까?

00:17:57.637 --> 00:18:00.235
바닥을 누르는 힘은 무슨
힘으로 얘네가 눌러요?

00:18:00.335 --> 00:18:03.052
이 원뿔의 중력으로
누를 거 아니야.

00:18:03.152 --> 00:18:07.824
따라서 바닥을 누르는
힘은 똑같습니다.

00:18:07.924 --> 00:18:09.535
그런데 뭔가가 다르죠.

00:18:09.635 --> 00:18:13.222

그 다른 뭔가가 바로
뭐야, 압력이야.

00:18:13.322 --> 00:18:17.606
여기서는 이만한 면적의
중력으로 누르고요.

00:18:17.706 --> 00:18:21.325
여기서는 이만한 면적의
중력으로 누릅니다.

00:18:21.425 --> 00:18:25.380
당연히 이 면적에 작용하는 힘.

00:18:25.480 --> 00:18:29.572
면적당 작용하는 힘은 어느
게 더 셀 것 같아요?

00:18:29.672 --> 00:18:31.247
이게 더 세겠죠.

00:18:31.347 --> 00:18:34.099
여기는 이만한 면적의 원뿔의 중력.

00:18:34.199 --> 00:18:37.892
여기는 이만한 면적의
원뿔의 중력이니까

00:18:37.992 --> 00:18:42.020
여기의 압력이 여기의 압력보다
더 세다고 표현하죠.

00:18:42.120 --> 00:18:44.588
우리 머리 같은 거
손바닥으로 누를 때랑

00:18:44.688 --> 00:18:48.935
손톱으로 누를 때 똑같은 세기로
눌러도 손톱으로 누를 때가

00:18:49.035 --> 00:18:51.169
손바닥으로 누를 때보다
더 아프잖아.

00:18:51.269 --> 00:18:55.833
그 아픈 이유를 압력이라는
값으로 표현을 하는 겁니다.

00:18:55.933 --> 00:19:01.237
그래서 압력의 정의는
면적당 작용하는 힘이다.

00:19:01.337 --> 00:19:05.386
그래서 이 A가 바로 면적이고요.

00:19:05.486 --> 00:19:09.523
F가 우리가 잘 알고 있는
Force (힘)이 되는 거죠.

00:19:09.623 --> 00:19:13.374
그래서 기체의 압력에

대한 표현 기억하시고요.

00:19:13.474 --> 00:19:18.842
이 기체의 압력에 대한 표현으로 함께
여러분이 기억해야 될 게 바로 뭐냐,

00:19:18.942 --> 00:19:26.392
중학교 때 배웠던 보일
샤를의 법칙입니다.

00:19:27.915 --> 00:19:32.375
자세한 관점은 여러분에게
생략하도록 하겠고요.

00:19:32.475 --> 00:19:34.958
이 보일 샤를의 법칙의
결과는 뭐였냐,

00:19:35.058 --> 00:19:42.597
기체에 압력과 부피의 곱이
온도에 관계한다는 게

00:19:42.697 --> 00:19:44.831
바로 보일의 법칙이었습니다.

00:19:44.931 --> 00:19:46.375
보일 샤를의 법칙입니다.

00:19:46.475 --> 00:19:52.712
보일의 법칙은 뭐냐, 압력과
부피가 반비례한다.

00:19:52.812 --> 00:19:57.874
온도가 일정할 때 압력과 부피가
반비례한다는 거였어요.

00:19:57.974 --> 00:20:03.393
풍선을 우리가 큰 힘으로 누르게 되면
부피는 쪼그라들게 될 거 아니야.

00:20:03.493 --> 00:20:06.480
그런 것들을 보여주는 게
바로 보일의 법칙이었고요.

00:20:06.580 --> 00:20:13.983
샤를의 법칙은 뭐냐, 압력이 일정할
때 온도와 부피는 비례한다는 게

00:20:14.083 --> 00:20:16.733
바로 샤를의 법칙이었어요.

00:20:16.833 --> 00:20:20.984
압력이 일정할 때 온도가 올라가게
되면 기체 분자의 움직임이 활발해지면서

00:20:21.084 --> 00:20:23.368
풍선의 부피가 늘어나죠.

00:20:23.468 --> 00:20:26.624
그런 상태를 보여줬던 게
바로 샤를의 법칙이었습니다.

00:20:26.724 --> 00:20:35.743
두 개를 합쳐서 우리는 P, 압력,
V(volume) 부피의 곱이

00:20:35.843 --> 00:20:41.253
T(temperature) 온도에
비례한다는 걸로

00:20:41.353 --> 00:20:48.194
보일 샤를의 법칙을 정의합니다.

00:20:48.294 --> 00:20:52.324
또 우리가 중요하게 기억해야
될 건 바로 뭐냐면

00:20:52.424 --> 00:20:58.606
기체의 내부 에너지라는 겁니다.

00:20:58.706 --> 00:21:02.539
내부 에너지는 우리가 그동안
E라고 써왔잖아요?

00:21:02.639 --> 00:21:05.506
그런데 조금 구분하기
위해서 U라고 씁니다.

00:21:05.606 --> 00:21:09.695
이 기체의 내부
에너지라는 건 뭐냐면,

00:21:09.795 --> 00:21:17.117
사실은 어떤 공간이 있으면 공간
안에 기체 분자들이 존재하죠.

00:21:17.217 --> 00:21:20.825
그런데 이 기체 분자들은
가만히 있지 않아요.

00:21:20.925 --> 00:21:22.824
막 움직이고 있어요.

00:21:22.924 --> 00:21:25.169
지금도 움직이고 있습니다.

00:21:25.269 --> 00:21:27.965
막 움직이고 있어요.

00:21:28.065 --> 00:21:34.022
그러면 움직이고 있으면
당연히 뭘 갖고 있을까요?

00:21:34.122 --> 00:21:37.687
운동 에너지를 가지고 있겠죠.

00:21:37.787 --> 00:21:41.524
그러면 운동 에너지를 가지고
얘네들이 막 움직이고 있어요.

00:21:41.624 --> 00:21:45.262
그런데 얘네가 사실은 운동

에너지만 있는 건 아니고요.

00:21:45.362 --> 00:21:49.498
얘네들이 움직이면서 진동도 합니다.

00:21:49.598 --> 00:21:52.321
진동하면서 막 움직여.

00:21:52.421 --> 00:21:55.524
그리고 얘네는 또 진동만
하면서 움직이는 게 아니라

00:21:55.624 --> 00:21:57.131
굴러다니기도 합니다.

00:21:57.231 --> 00:22:04.322
그러니까 결국 진동하면서 구르면서
막 움직이고 있는 거죠.

00:22:04.422 --> 00:22:09.302
그러면 그 기체 분자 하나하나가
갖고 있는 에너지를

00:22:09.402 --> 00:22:12.739
덩어리로 따질 수 있겠죠.

00:22:12.839 --> 00:22:16.178
하나하나가 운동 에너지도 갖고
있고 진동 에너지도 갖고 있고

00:22:16.278 --> 00:22:17.703
회전 에너지도 갖고 있어요.

00:22:17.803 --> 00:22:24.774
그러면 그 에너지들의 합이 뭐가 돼요?
덩어리의 에너지가 되겠죠.

00:22:24.874 --> 00:22:31.265
기체 분자 하나하나의 에너지의
합을 바로 뭐라고 부르느냐,

00:22:31.365 --> 00:22:33.616
내부 에너지라고 부르고요.

00:22:33.716 --> 00:22:35.477
이 내부 에너지란 바로 뭐냐,

00:22:35.577 --> 00:22:40.298
기체 분자 덩어리의 에너지입니다.

00:22:40.398 --> 00:22:49.602
그런데 기체 분자 하나하나에 가장 큰
에너지를 결정짓는 요소는 바로 뭐냐,

00:22:49.702 --> 00:22:51.925
운동 에너지거든요.

00:22:52.025 --> 00:22:56.766
운동 에너지는 뭐였어?
2분의 $1mv^2$이죠.

00:22:56.866 --> 00:23:02.272
그러면 결과적으로 보면 기체
분자 운동 에너지의 합이,

00:23:02.372 --> 00:23:06.481
기체 분자 하나하나들의 운동
에너지의 합, 진동 에너지의 합,

00:23:06.581 --> 00:23:09.852
회전 에너지의 합이 내부 에너지인데

00:23:09.952 --> 00:23:14.195
그중에 가장 큰 요소는 운동
에너지라고 생각할 수 있고요.

00:23:14.295 --> 00:23:20.262
기체 분자 하나하나들의 속도는 어떤
요소에 의해서 결정이 될 것 같아요?

00:23:20.362 --> 00:23:24.318
온도가 느려야 기체
분자들이 빠르게 움직일까,

00:23:24.418 --> 00:23:28.126
온도가 높아야 기체
분자들이 빠르게 움직일까.

00:23:28.226 --> 00:23:30.930
어느 경우가 기체 분자가
빠르게 움직일 것 같아요?

00:23:31.030 --> 00:23:33.606
온도가 높아야 기체 분자들이
활발하게 운동할까요?

00:23:33.706 --> 00:23:36.207
온도가 기체 분자들이
활발하게 운동할까요?

00:23:36.307 --> 00:23:44.132
당연히 온도가 높아야 기체
분자의 움직임이 활발해지고요.

00:23:44.232 --> 00:23:46.172
따라서 운동 에너지가 커지고요.

00:23:46.272 --> 00:23:48.406
따라서 운동 에너지의 토탈 합.

00:23:48.506 --> 00:23:54.800
덩어리의 합, 기체 덩어리의
에너지도 온도에 비례하게 됩니다.

00:23:54.900 --> 00:23:57.023
그래서 우리가 여기서
명확하게 기억해야 될 거

00:23:57.123 --> 00:24:00.905
내부 에너지란 기체 덩어리가
가지고 있는 에너지고

00:24:01.005 --> 00:24:05.722
그 기체 덩어리가 가지고 있는
에너지는 온도에 비례한다.

00:24:05.822 --> 00:24:10.462
이걸 여러분이 명확하게
기억을 해두시길 바랍니다.

00:24:11.432 --> 00:24:15.670
우리가 열역학 제1법칙을
이해하기 위해서

00:24:15.770 --> 00:24:19.501
기억해야 될 또 하나의
요소는 바로 뭐냐,

00:24:19.601 --> 00:24:25.588
기체가 하는 일입니다.

00:24:25.688 --> 00:24:28.201
어떤 상황에서 제가
설명을 드릴 거냐,

00:24:28.301 --> 00:24:33.417
피스톤, 실린더 안에 들어있는 피스톤
상황을 설명드려보도록 하겠습니다.

00:24:33.517 --> 00:24:37.499
여기 지금 이렇게
실린더가 있습니다.

00:24:37.599 --> 00:24:43.821
그리고 그 안에 피스톤이 있습니다.

00:24:46.168 --> 00:24:53.171
그리고 이 실린더 안에
기체 분자들이 존재하고 있죠.

00:24:53.271 --> 00:24:57.386
그러면 아까도 말씀드렸듯이 이
기체 분자는 가만히 있지 않아요.

00:24:57.486 --> 00:25:00.695
막 운동하고 있어요.

00:25:00.795 --> 00:25:03.397
그러면 걔네들이 움직이고
있으니까 어떻게 되겠어?

00:25:03.497 --> 00:25:06.622
벽 때리고 벽 때리고 있어요.

00:25:06.722 --> 00:25:10.037
그러면 벽을 때리고 있다는 건 결국
얘네들이 뭘 하고 있다는 소리야?

00:25:10.137 --> 00:25:12.251
힘을 주고 있다는 소리죠.

00:25:12.351 --> 00:25:14.692
압력을 주고 있습니다.

00:25:14.792 --> 00:25:18.290
그런데 여기서 우리가
주목해볼 건 뭐냐,

00:25:18.390 --> 00:25:21.057
이쪽 실린더를 때리고
이쪽 실린더를 때리고

00:25:21.157 --> 00:25:26.350
이쪽 실린더를 때리는 압력, 힘은
우리에게 중요한 요소가 아닙니다.

00:25:26.450 --> 00:25:32.102
왜? 어차피 벽을 때리고 벽을 때리고
벽을 때려봤자 안 움직이잖아.

00:25:32.202 --> 00:25:38.376
벽을 때려봤자 안 움직이니까 힘은 있으나
이동이 없으면 아무것도 아닌 거죠.

00:25:38.476 --> 00:25:44.357
그런데 이 실린더 쪽을
때리면 어떻게 됩니까?

00:25:44.457 --> 00:25:47.447
실린더가 움직일 수 있겠죠.

00:25:47.547 --> 00:25:53.944
결국 우리가 관심 있는 압력은
바로 어느 쪽의 압력이 되느냐,

00:25:54.044 --> 00:25:58.451
실린더를 때리는 압력이 됩니다.

00:25:58.551 --> 00:26:02.085
그러면 압력으로 실린더를 밀게 되면

00:26:02.185 --> 00:26:10.286
실린더에게 힘을 주는
결과가 발생하죠.

00:26:10.386 --> 00:26:14.420
왜? 우리가 여기서
정의 내렸잖아요.

00:26:14.520 --> 00:26:15.515
어떻게 정의내렸니?

00:26:15.615 --> 00:26:18.157
압력과 힘은 관계하죠.

00:26:18.257 --> 00:26:24.872
그러면 힘을 우리는 뭐라고
표현할 수 있어요?

00:26:24.972 --> 00:26:37.571
여기 안에 들어있는 기체의
압력이 피스톤을 미는 힘은

00:26:37.671 --> 00:26:47.221

기체의 압력 곱하기 실린더의
단면적 A가 됩니다.

00:26:47.321 --> 00:26:48.369
여기 나와 있죠?

00:26:48.469 --> 00:26:50.733
힘은 압력 곱하기 A.

00:26:50.833 --> 00:26:54.284
그래서 여기 안에 들어있는 기체가

00:26:54.384 --> 00:26:59.162
피스톤을 미는 힘을 줄 수
있구나, 라는 것을 뜻하죠.

00:26:59.262 --> 00:27:05.497
여기 제가 실린더와 피스톤을 대체할만한
주사기를 가지고 왔습니다.

00:27:05.597 --> 00:27:08.286
주사기 껍데기를 실린더라고
부를 수 있고요.

00:27:08.386 --> 00:27:12.255
그 안에서 왔다 갔다 할 수 있는
주사기 막대가 이렇게 있습니다.

00:27:12.355 --> 00:27:15.720
그러면 여기 지금 실린더 안에
기체들이 들어 있는 거죠?

00:27:15.820 --> 00:27:21.329
이 기체들은 압력으로 피스톤을
밀고 이렇게 있다고요.

00:27:21.429 --> 00:27:23.414
미는 힘을 주고 있다고요.

00:27:23.514 --> 00:27:27.799
그런데 여기서 여러분이
기억해야 될 건 이겁니다.

00:27:27.899 --> 00:27:32.873
여기 안에 들어있는 기체는
막 사방팔방으로 움직이면서

00:27:32.973 --> 00:27:36.586
피스톤을 미니까 여기
안에 들어있는 기체는

00:27:36.686 --> 00:27:42.868
무조건 피스톤을 미는 방향으로
힘을 주게 되어있습니다.

00:27:42.968 --> 00:27:45.835
여러분이 이런 착각을 가끔 합니다.

00:27:45.935 --> 00:27:49.487
지금 제가 주사기의 입구를 막고요.

00:27:49.587 --> 00:27:52.962
입구를 막아놓은 상태에서
내가 얘를 쭉 당겼습니다.

00:27:53.062 --> 00:27:56.136
쭉 당겼다가 놓으면 어떻게 되죠?

00:27:56.236 --> 00:27:58.574
얘가 다시 들어갑니다.

00:27:58.674 --> 00:28:05.642
내가 주사기를 쭉 잡아당겼다가
놓으면 주사기가 다시 들어가요.

00:28:05.742 --> 00:28:08.712
다시 들어가는 이유를 많은
사람이 뭐라고 표현하느냐,

00:28:08.812 --> 00:28:17.610
여기 안에 있는 기체가 주사기를
빨아당겼다는 표현을 씁니다.

00:28:17.710 --> 00:28:19.498
그런데 여러분이 기억하셔야 될 건

00:28:19.598 --> 00:28:26.400
여기 안에 들어있는 기체는 피스톤을
빨아당기는 힘을 주지 않습니다.

00:28:26.500 --> 00:28:28.854
그런 힘 같은 건
존재하지 않습니다.

00:28:28.954 --> 00:28:34.523
여기 안에 들어있는 기체는 무조건
피스톤을 미는 방향으로만

00:28:34.623 --> 00:28:36.996
힘을 주게 되어있습니다.

00:28:37.096 --> 00:28:39.439
이거 굉장히 중요하게 여러분이
기억하고 계셔야 돼요.

00:28:39.539 --> 00:28:45.211
여기 안에 들어있는 기체는 무조건 피스톤을
미는 방향으로만 힘을 주는 거다.

00:28:45.311 --> 00:28:49.739
그런데 선생님, 얘는
왜 빨려 들어가나요?

00:28:49.839 --> 00:28:53.472
여기 안에 들어있는 기체가
피스톤을 미는 힘보다

00:28:53.572 --> 00:29:00.735
외부에서 피스톤을 미는 힘이 더
세니까 얘가 안으로 들어가는 거죠.

00:29:00.835 --> 00:29:06.423

여기 안에 들어있는 기체가 미는
힘이 더 세면 얘가 나오겠죠.

00:29:06.523 --> 00:29:09.931
그런 관점에서 우리가
판단하실 수 있어야 되고요.

00:29:10.031 --> 00:29:15.381
그러면 여기 안에 들어있는 기체가
외부에서 미는 기체의 압력이

00:29:15.481 --> 00:29:20.132
외부에서 미는 기체의 압력보다
크면 이걸 쭉 밀 수 있겠죠.

00:29:20.232 --> 00:29:30.346
그래서 피스톤이 이만큼
움직여왔다고 생각해보겠습니다.

00:29:30.446 --> 00:29:34.188
S만큼 움직여왔다고 생각해봅시다.

00:29:34.288 --> 00:29:36.432
그러면 어떻게 된 거죠?

00:29:36.532 --> 00:29:39.052
힘으로 이동을 시켰죠.

00:29:39.152 --> 00:29:42.986
힘으로 이동을 시켰으니까
뭘 한 겁니까?

00:29:43.086 --> 00:29:47.766
우리가 앞에서 배웠던
일을 한 겁니다.

00:29:47.866 --> 00:29:51.167
일은 F*S라는 일을 하죠.

00:29:51.267 --> 00:29:53.274
이때 얼마의 힘으로?

00:29:53.374 --> 00:30:00.743
압력 곱하기 단면적,
일하는 힘으로 S를 이동시켰습니다.

00:30:00.843 --> 00:30:04.611
그런데 여기서 우리가
주목해볼 게 바로 뭐냐,

00:30:04.711 --> 00:30:10.526
압력 곱하기 단면적의
힘으로 이동시키면

00:30:10.626 --> 00:30:15.892
기체가 원래 이만한
공간을 차지하고 있다가

00:30:15.992 --> 00:30:19.563
이만한 공간을 차지하게 되죠.

00:30:19.663 --> 00:30:23.005
그때 여러분이 주목해볼
건 바로 뭐냐면,

00:30:23.105 --> 00:30:26.290
단면적 곱하기 S입니다.

00:30:26.390 --> 00:30:27.780
이게 뭘까요?

00:30:27.880 --> 00:30:30.076
단면적 곱하기 거리죠?

00:30:30.176 --> 00:30:35.454
단면적 곱하기 거리는 뭘까요?

00:30:35.554 --> 00:30:36.873
v입니다.

00:30:36.973 --> 00:30:48.741
이게 의미하는 게 뭐냐, 이 그림에서
이만큼의 부피에 해당합니다.

00:30:48.841 --> 00:30:50.707
이게 바로 이만큼의 부피예요.

00:30:50.807 --> 00:30:53.231
그러면 이만큼의 부피는 뭐냐,

00:30:53.331 --> 00:30:56.944
원래 이만한 공간에
있던 기체의 부피가

00:30:57.044 --> 00:31:04.614
이만한 공간의 부피로 바뀌면서
이만큼의 부피가 변화된 거죠.

00:31:04.714 --> 00:31:09.121
따라서 기체가 하는 일은
어떻게 표현할 수 있느냐,

00:31:09.221 --> 00:31:14.805
기체의 압력 곱하기 변화된 부피다.

00:31:14.905 --> 00:31:18.206
이렇게 우리가 따질
수가 있게 됩니다.

00:31:18.306 --> 00:31:25.374
기체가 하는 일은 기체의 압력
곱하기 부피 변화량으로 따진다.

00:31:25.474 --> 00:31:31.478
그렇다면 기체의 부피가
늘어나면 일을 한 거죠?

00:31:31.578 --> 00:31:34.791
그런데 부피가 쪼그라들면
어떻게 될까요?

00:31:34.891 --> 00:31:36.708

여기서 기억하셔야 될
게 있다고 그랬어.

00:31:36.808 --> 00:31:42.077
여기 기체의 압력은 항상 피스톤을
미는 방향으로만 힘을 준다고요.

00:31:42.177 --> 00:31:44.667
잡아당기는 힘 같은 건
주지 않는다고요.

00:31:44.767 --> 00:31:48.678
결국 힘은 이쪽으로, 압력은
이쪽으로 작용하는데

00:31:48.778 --> 00:31:53.212
피스톤이 이쪽으로 옮겨온다는
건 결국 뭘 의미하는 거야?

00:31:53.312 --> 00:31:58.678
얘가 일을 하는 게 아니라 외부에서
얘한테 일을 해주는 거죠.

00:31:58.778 --> 00:32:01.761
외부에 힘이 더 큰 거야,
얘가 주는 힘보다.

00:32:01.861 --> 00:32:04.832
그러니까 외부에서 일을
한다고 표현합니다.

00:32:04.932 --> 00:32:10.934
그래서 부피 변화가 플러스면
부피가 늘어나는 거죠?

00:32:11.034 --> 00:32:15.202
부피가 늘어나면 기체가
일을 하는 거고요.

00:32:15.302 --> 00:32:19.445
조금 이따가 다시 정리할 거야.

00:32:19.545 --> 00:32:26.985
부피가 쪼그라들면 이 Δv값,
부피 변화량 값은 어떻게 됩니까?

00:32:27.085 --> 00:32:28.729
마이너스 값이 나오겠죠?

00:32:28.829 --> 00:32:31.972
힘은 이쪽인데 이동은
이쪽으로 한다는 소리잖아.

00:32:32.072 --> 00:32:37.576
힘은 이쪽인데 이동은 이쪽으로 하니까
힘의 방향과 이동 방향이 반대라서

00:32:37.676 --> 00:32:39.939
마이너스라고 표현해도 되고요.

00:32:40.039 --> 00:32:43.788

부피 변화가 마이너스 값.

00:32:43.888 --> 00:32:47.789
부피가 쪼그라드는 값에 의해서
마이너스라고 표현을 해도 되는 거죠.

00:32:47.932 --> 00:32:53.265
그 이유는 외부에서 일을
해줬다고 표현이 되는 겁니다.

00:32:53.365 --> 00:32:55.321
얘가 일을 해서 밀고 간 게 아니라

00:32:55.421 --> 00:32:56.968
외부에서 얘가 미는 힘보다

00:32:57.068 --> 00:33:00.413
더 큰 힘으로 밀어 넣은 상황이다,
라는 것을 뜻하는 거죠.

00:33:00.513 --> 00:33:03.367
그래서 부피 변화를 보면,

00:33:03.467 --> 00:33:09.293
부피가 늘었냐, 부피가 줄었냐를
보면 기체가 일을 했냐,

00:33:09.393 --> 00:33:12.053
외부에서 기체에게 일을 해줬냐.

00:33:12.153 --> 00:33:14.644
이걸 구분 지어줄 수 있다는 거죠.

00:33:14.744 --> 00:33:20.692
기체의 부피가 늘어야만 기체가 일을
한다고 표현할 수 있게 된다고요.

00:33:20.792 --> 00:33:22.522
되시죠?

00:33:22.622 --> 00:33:28.855
이렇게 해서 기체가 하는 일에
대한 내용까지 확인을 해봤습니다.

00:33:28.955 --> 00:33:37.741
그렇다면 이제 본격적으로 열역학 제1법칙이
뭐냐를 정의해보도록 하겠습니다.

00:33:37.841 --> 00:33:40.194
열역학 제1법칙이란 뭐냐,

00:33:40.294 --> 00:33:42.966
아까 우리가 엔진을 잠깐 봤죠?

00:33:43.066 --> 00:33:48.615
엔진에서 봤듯이 실린더
안에 들어있는 기체에

00:33:48.715 --> 00:33:55.412
열에너지를 공급해주면
그 열에너지에 의해서

00:33:55.512 --> 00:34:01.292
실린더 안에 들어있는 기체의
에너지가 변할 수 있습니다.

00:34:01.392 --> 00:34:05.629
기체 덩어리의 에너지를
뭐라고 부른다고 그랬어?

00:34:05.729 --> 00:34:08.660
내부 에너지라고 부른다 그랬죠.

00:34:08.760 --> 00:34:14.666
그리고 피스톤을 밀어서 프로펠러를
돌리고 바퀴를 굴리고

00:34:14.766 --> 00:34:18.914
전구를 깜빡이게 하는 일을
할 수 있게 된다는 거죠.

00:34:19.014 --> 00:34:23.881
결국은 기체의 내부 에너지가 변하고

00:34:23.981 --> 00:34:26.955
피스톤을 밀어서 프로펠러를 돌리고

00:34:27.055 --> 00:34:30.987
바퀴를 굴리는 일은 누가
할 수 있게 해준 거야?

00:34:31.087 --> 00:34:33.538
열, 열에너지가 해줄
수 있었던 거죠.

00:34:33.638 --> 00:34:36.783
그래서 열역학 제1법칙이란 뭐냐,

00:34:36.883 --> 00:34:42.104
바로 열에너지가 공급되면, 이게
열에너지를 표현하는 기호예요.

00:34:42.204 --> 00:34:48.576
열에너지가 공급되면 그
열에너지에 의해서

00:34:48.676 --> 00:34:57.630
기체 덩어리의 에너지가 변화됩니다.

00:34:57.730 --> 00:35:01.471
그리고 피스톤을 밀어서
바퀴를 굴리고

00:35:01.571 --> 00:35:07.156
프로펠러를 돌리는 일을 할 수
있다는 걸 보여주는 법칙이

00:35:07.256 --> 00:35:09.060
열역학 제1법칙입니다.

00:35:09.160 --> 00:35:12.312
열역학 제1법칙은 다른

표현으로 뭐라고 부르느냐,

00:35:12.412 --> 00:35:20.499
에너지 보존 법칙이라고 불러줍니다.

00:35:20.599 --> 00:35:26.551
이때 내부 에너지 변화는
뭐에 관계하는 값이었어요?

00:35:26.651 --> 00:35:29.637
온도 변화에 관계하는 값이었고요.

00:35:29.737 --> 00:35:32.179
일은 어떻게 표현됐었죠?

00:35:32.279 --> 00:35:38.491
압력 곱하기 부피 변화량으로
따져질 수 있었습니다.

00:35:38.591 --> 00:35:40.654
되셨나요?

00:35:40.754 --> 00:35:48.479
그러면 이 열역학 제1법칙에
수치적인 정의를 칠판 정리를 하고

00:35:48.579 --> 00:35:51.293
설명드려나가도록 하겠습니다.

00:35:51.393 --> 00:35:54.903
열역학 제1법칙에 대한 정의
표현을 내리기에 앞서서

00:35:55.003 --> 00:35:57.567
하나 빼먹은 게 있어서
진행하도록 할게요.

00:35:57.667 --> 00:36:02.703
바로 뭐냐, 압력
부피 그래프입니다.

00:36:02.803 --> 00:36:06.655
일단 압력 부피 그래프는
뭘 표현하는 거냐,

00:36:06.755 --> 00:36:14.428
기체에 압력과 부피가 어떤 값을
갖는지를 보여주는 그래프예요.

00:36:14.528 --> 00:36:20.194
그런데 기체의 압력과 부피를 알면
우리는 또 뭘 알 수 있어요?

00:36:20.294 --> 00:36:24.708
보일 샤를의 법칙에 의해서
압력과 부피의 곱을 알면

00:36:24.808 --> 00:36:27.706
우리는 온도를 알 수가 있습니다.

00:36:27.806 --> 00:36:33.098

그래서 압력 부피 변화 그래프는
기체에 압력을 파악할 수 있고

00:36:33.198 --> 00:36:35.626
기체에 부피를 파악할 수 있고

00:36:35.726 --> 00:36:41.735
기체의 온도도 파악할 수 있는
그래프다, 라는 걸 기억해주시고요.

00:36:41.835 --> 00:36:47.955
또 한 가지, 압력 부피
그래프에서 넓이가 갖는 의미도

00:36:48.055 --> 00:36:50.497
여러분이 기억하고 계셔야 됩니다.

00:36:50.597 --> 00:36:54.206
압력 부피 변화 그래프에서
넓이는 뭐냐,

00:36:54.306 --> 00:36:57.213
바로 일과 동일해집니다.

00:36:57.313 --> 00:37:00.907
왜냐, 우리 압력
곱하기 부피 값에서

00:37:01.007 --> 00:37:04.221
압력의 정의가 뭐였어요?

00:37:04.321 --> 00:37:07.391
면적당 작용하는 힘이었었죠?

00:37:07.491 --> 00:37:10.618
이때 부피는 뭐였어요?

00:37:10.718 --> 00:37:13.442
면적 곱하기 길이입니다.

00:37:13.542 --> 00:37:22.332
따라서 넓이는 가로
곱하기 세로 꼴이니까

00:37:22.432 --> 00:37:24.272
결과적으로는 뭐예요?

00:37:24.372 --> 00:37:27.790
압력 곱하기 부피 꼴이고
압력 곱하기 부피 꼴은

00:37:27.890 --> 00:37:31.103
결국 F*S의 형태가
나오게 됩니다.

00:37:31.203 --> 00:37:34.564
그래서 우리는 이걸
기억하시면 된다고요.

00:37:34.664 --> 00:37:41.740
압력 부피 변화 그래프에서는 압력 값,

부피 값, 온도 값을 판단할 수 있고

00:37:41.840 --> 00:37:46.870
넓이를 통해서 일도
판단할 수 있다는 거

00:37:46.970 --> 00:37:51.890
기억을 하시면서 열역학 제1법칙으로
다시 넘어오도록 하겠습니다.

00:37:51.990 --> 00:38:01.735
열역학 제1법칙에 의해서 열에너지, 내부
에너지의 변화량, 일을 규정하는데요.

00:38:01.835 --> 00:38:08.470
넣어주는데 이때 얘네들은 다 값으로
표현할 수 있죠, 수치로.

00:38:08.570 --> 00:38:11.995
우리가 엔진이 얼마만큼
작동될 거냐를 따질 때

00:38:12.095 --> 00:38:13.977
열에너지를 얼마큼 공급해주면

00:38:14.077 --> 00:38:16.971
그 열에너지에 의해서 내부
에너지는 얼마큼이 변하고

00:38:17.071 --> 00:38:21.002
일은 얼마큼 할까를 다
수치적으로 표현할 거 아니야.

00:38:21.102 --> 00:38:24.761
그러면 그 수치가 갖는
물리적 의미가 뭔지를

00:38:24.861 --> 00:38:27.480
우리가 명확하게 파악할
수 있어야 됩니다.

00:38:27.580 --> 00:38:32.442
그래서 얘네들의 수치를
우리가 나타낼 때

00:38:32.542 --> 00:38:35.664
그 수치값은 3개 중의 하나입니다.

00:38:35.764 --> 00:38:38.504
바로 뭐 아니면 뭐 아니면 뭐냐,

00:38:38.604 --> 00:38:39.830
플러스 값.

00:38:39.930 --> 00:38:41.388
수치 중에 플러스 값들.

00:38:41.488 --> 00:38:43.848
그리고 수치 중에 마이너스 값들.

00:38:43.948 --> 00:38:47.020

그리고 수치 중에 0값들.

00:38:47.120 --> 00:38:52.831
이 값들은 각각 어떤 의미로
부여될 수 있느냐를

00:38:52.931 --> 00:38:56.177
여러분이 좀 명확하게 기억을
하고 계셔야 됩니다.

00:38:56.277 --> 00:39:00.726
그러면 열에너지가 플러스
값으로 표현됐다는 건 뭘까,

00:39:00.826 --> 00:39:06.405
여기서 플러스 값이라는 건 열에너지가
+32다, 열에너지가 +17이다.

00:39:06.505 --> 00:39:09.854
여기서 플러스가 의미하는
건 뭐냐는 겁니다.

00:39:09.954 --> 00:39:11.644
그 플러스의 의미는 바로 뭐냐,

00:39:11.744 --> 00:39:16.862
기체에게 열에너지를
공급한다는 의미입니다.

00:39:16.962 --> 00:39:20.661
기체에게 열에너지를
투입한다는 거죠.

00:39:20.761 --> 00:39:24.001
그러면 기체에게 열에너지를
공급해주면, 투입해주면

00:39:24.101 --> 00:39:25.754
기체는 열에너지를 어떻게 할까요?

00:39:25.854 --> 00:39:27.477
흡수하겠죠.

00:39:27.577 --> 00:39:36.392
흡수한 열에너지, 공급한 열에너지를
플러스 값으로 표현을 한다고요.

00:39:36.492 --> 00:39:43.362
그렇다면 Q 값을 우리가 마이너스 값으로
표현한다는 건 물리적으로 무슨 의미일까.

00:39:43.462 --> 00:39:47.437
예를 들어서 Q 값을
-28로 표현을 했어.

00:39:47.537 --> 00:39:50.146
그러면 이게 무슨 말일까.

00:39:50.246 --> 00:39:56.081
기체가 열에너지를 방출했다는
것을 의미합니다.

00:39:56.181 --> 00:40:01.063
기체가 열에너지를 내보냈다는 거죠.

00:40:01.163 --> 00:40:06.095
그랬을 때 우리는 Q 값을
마이너스 값으로 나타냅니다.

00:40:06.195 --> 00:40:10.253
그러면 Q 값이 0으로
나타난다는 걸 뭘까요?

00:40:10.353 --> 00:40:15.113
기체가 열에너지를 흡수도 안
하고 방출도 안 하는 경우를

00:40:15.213 --> 00:40:18.721
우리는 Q 값을 0으로 표현하고요.

00:40:18.821 --> 00:40:21.301
이러한 상태를 우리는
뭐라고 부르느냐,

00:40:21.401 --> 00:40:23.466
단열이라고 부릅니다.

00:40:23.566 --> 00:40:29.482
열이 완벽하게 차단돼서 기체가
열에너지를 흡수할 수도 없는 상황이고

00:40:29.582 --> 00:40:33.352
기체가 열에너지를 밖으로
내보낼 수도 없는 상황을

00:40:33.452 --> 00:40:39.077
우리는 Q가 0, 단열
상태라고 불러주는 거죠.

00:40:39.177 --> 00:40:40.560
되셨나요?

00:40:40.660 --> 00:40:41.654
이런 상황이고요.

00:40:41.754 --> 00:40:44.204
그러면 이번에는 ΔU값.

00:40:44.304 --> 00:40:51.154
즉 내부에너지 변화량 값이 플러스
값으로 나온다는 건 뭘 의미할까.

00:40:51.254 --> 00:40:53.277
변화량에 집중해야 되죠?

00:40:53.377 --> 00:40:55.904
변화량은 어떻게 구합니까?

00:40:56.004 --> 00:40:58.864
나중 값 빼기 처음 값입니다.

00:40:58.964 --> 00:41:03.331

나중 값 빼기 처음 값을
했는데 그게 플러스 값이야.

00:41:03.431 --> 00:41:04.513
그러면 이게 무슨 말이야?

00:41:04.613 --> 00:41:07.261
나중 값이 처음 값보다
크다는 거죠.

00:41:07.361 --> 00:41:11.470
나중 값이 처음 값보다
크면 증가했다는 거죠?

00:41:11.570 --> 00:41:13.350
결국 뭐가 증가했다는 소리야?

00:41:13.450 --> 00:41:16.805
내부 에너지가 증가했다는
것을 뜻합니다.

00:41:16.905 --> 00:41:19.924
그런데 내부 에너지는 뭐로
표현되어있을 수 있어요?

00:41:20.024 --> 00:41:22.203
온도로 표현되어질 수 있죠.

00:41:22.303 --> 00:41:26.873
따라서 내부 에너지의 변화량이
플러스 값이면 내부 에너지값.

00:41:26.973 --> 00:41:33.435
즉 온도가 증가했다고
표현을 하게 됩니다.

00:41:33.535 --> 00:41:38.379
그러면 ΔU값, 내부 에너지의
변화량 값이 마이너스 값으로 나오면

00:41:38.479 --> 00:41:41.979
변화량이 마이너스라는 건 나중 값
빼기 처음 값이 마이너스라는 건

00:41:42.079 --> 00:41:44.838
나중 값이 처음 값보다
작다는 거죠?

00:41:44.938 --> 00:41:47.981
나중 값이 처음 값보다
작으면 감소했다는 거잖아.

00:41:48.081 --> 00:41:49.668
결국 내부 에너지값.

00:41:49.768 --> 00:41:54.535
온도가 감소한 상태를
이야기하는 겁니다.

00:41:54.635 --> 00:41:59.002
그러면 ΔU값이 0이라는

건 뭘 의미해요?

00:41:59.102 --> 00:42:03.650
온도와 내부 에너지가 일정한 상태.

00:42:03.750 --> 00:42:12.357
변하지 않은 상태를 우리는 0으로
표현을 하게 되는 거죠.

00:42:12.457 --> 00:42:14.209
그러면 이럴 때는 어떻게 됩니까?

00:42:14.309 --> 00:42:17.336
이런 건 온도가 일정한 상태를
우리는 또 뭐라고 부르느냐,

00:42:17.436 --> 00:42:21.974
등온이라고 불러주게 됩니다.

00:42:22.074 --> 00:42:26.936
그러면 이번에는 W값이 플러스
값인 경우 어떻게 되느냐,

00:42:27.036 --> 00:42:33.201
W가 플러스라는 건 기체가
외부에게 일을 했다는 겁니다.

00:42:33.301 --> 00:42:39.484
기체가 일을 한다고
표현을 하는 거죠.

00:42:39.584 --> 00:42:41.364
그러면 기체가 일을
하면 어떻게 되느냐,

00:42:41.464 --> 00:42:45.541
일을 한다는 건 피스톤을 밀어서
이동시켰다는 것을 의미하죠?

00:42:45.641 --> 00:42:48.223
피스톤을 밀어서 이동시켰다는 거니까

00:42:48.323 --> 00:42:51.529
부피는 당연히 어떻게 될까요?

00:42:51.629 --> 00:42:53.208
증가하게 됩니다.

00:42:53.308 --> 00:42:55.624
아니면 그냥 이걸로 표현하면 되죠.

00:42:55.724 --> 00:43:00.689
압력은 어차피 항상
피스톤을 미는 방향이니까

00:43:00.789 --> 00:43:04.946
플러스 값, 마이너스 값,
0을 결정지어주는 건

00:43:05.046 --> 00:43:07.559
부피 변화량입니다.

00:43:07.659 --> 00:43:14.648
부피 변화량이 플러스 값이냐 마이너스
값이냐 0 값이냐를 결정짓게 되어있어요.

00:43:14.748 --> 00:43:18.090
왜? P는 항상 미는 방향이니까.

00:43:18.190 --> 00:43:21.700
미는 방향으로 가면
부피가 늘어나고요.

00:43:21.800 --> 00:43:27.771
미는 방향의 반대 방향으로 이동하면
부피가 줄었다는 것을 뜻하는 거죠.

00:43:27.871 --> 00:43:32.537
결국 Δv로 플러스 값, 마이너스
값, 0 값을 판단하면 되니까

00:43:32.637 --> 00:43:38.772
Δv값이 플러스라는 건 결국 나중
부피가 처음 부피보다 크다는 거니까

00:43:38.872 --> 00:43:41.204
부피가 증가했다는 것을 뜻하고요.

00:43:41.304 --> 00:43:45.262
W값이 마이너스라는 건
기체가 일을 한 게 아니라

00:43:45.362 --> 00:43:49.165
외부에서 기체에게
일을 해주는 거죠?

00:43:49.265 --> 00:43:53.992
기체는 항상 피스톤을 미는데 뒷방향으로
이동을 했다는 거 아니야.

00:43:54.092 --> 00:43:57.110
외부에서 기체에게 일을 했다.

00:43:57.210 --> 00:44:02.224
외부에서 일을 했다고
표현을 하고요.

00:44:02.324 --> 00:44:04.460
부피는 당연히 어떻게 되는 거야?

00:44:04.560 --> 00:44:06.925
감소하게 되는 거죠.

00:44:07.025 --> 00:44:11.547
부피 변화량이 마이너스라는 건 나중
부피가 처음 부피보다 작다는 거니까

00:44:11.647 --> 00:44:15.547
나중 부피가 처음 부피보다
작으면 부피는 감소하는 거죠.

00:44:15.647 --> 00:44:19.100

그러면 W가 0이라는
건 뭘 의미합니까?

00:44:19.200 --> 00:44:22.486
일을 하지 않았다는 것을 의미하죠.

00:44:22.586 --> 00:44:25.978
그리고 부피 변화는 없다는
것을 의미합니다.

00:44:26.078 --> 00:44:31.054
부피가 일정한 상태를 우리는
W가 0인 상태라고 하는 거죠.

00:44:31.154 --> 00:44:34.852
압력은 있으나 이동은 안 한 거죠.

00:44:34.952 --> 00:44:43.208
힘은 있으나 이동은 안 한 상태가 바로
W가 0, 일이 0인 상태가 됩니다.

00:44:43.308 --> 00:44:48.873
그러면 이러한 열역학
제1법칙의 표현으로

00:44:49.016 --> 00:44:57.380
우리는 엔진이 왔다 갔다 하는
상태를 표현할 수 있는데

00:44:57.480 --> 00:45:04.280
이 엔진의 피스톤이 왔다 갔다 할 수
있는 케이스는 굉장히 많습니다.

00:45:04.380 --> 00:45:07.865
여러 조건, 여러
상황 변화에 의해서

00:45:07.965 --> 00:45:11.126
피스톤이 밀렸다 당겨졌다 하는데

00:45:11.226 --> 00:45:17.842
우리는 그 여러 상황 중에
딱 8가지만 다룹니다.

00:45:17.942 --> 00:45:20.723
그 8가지가 바로 뭐냐,

00:45:20.823 --> 00:45:22.861
이제 말씀을 드려갈게요.

00:45:22.961 --> 00:45:26.957
단열 팽창

00:45:27.686 --> 00:45:31.832
단열 수축

00:45:32.808 --> 00:45:38.526
등압 팽창

00:45:39.645 --> 00:45:42.738
등압 수축

00:45:44.217 --> 00:45:47.831
등온 팽창

00:45:49.437 --> 00:45:52.934
등온 수축

00:45:55.302 --> 00:45:59.375
정적 증압

00:46:00.680 --> 00:46:04.824
정적 감압.

00:46:05.626 --> 00:46:08.406
이렇게 총 8가지
케이스가 있습니다.

00:46:08.506 --> 00:46:13.018
그 8가지 케이스를 여러분이
모두 따질 수 있으면

00:46:13.118 --> 00:46:21.309
고등학교 수준에서 피스톤의 왕복
운동은 모두 분석할 수 있습니다.

00:46:21.409 --> 00:46:25.758
그러면 하나씩 따져나가
보도록 하겠습니다.

00:46:25.858 --> 00:46:31.287
이 피스톤이 왕복운동 하는 케이스를
이런 상태별로 나누는데요.

00:46:31.387 --> 00:46:33.955
분석할 때는 어떤
거로 분석을 하느냐,

00:46:34.055 --> 00:46:43.827
바로 열역학 제1법칙과 보일 샤를의
법칙을 이용해서 분석을 해줍니다.

00:46:43.927 --> 00:46:47.078
이때 우리가 기억해야
될 거 바로 뭐였어?

00:46:47.178 --> 00:46:50.756
내부 에너지 변화량은
뭐에 관계했었어?

00:46:50.856 --> 00:46:53.299
온도 변화에 관계했었고요.

00:46:53.399 --> 00:47:00.710
한 일은 뭐에 관계해요? 압력 곱하기
부피 변화에 관계했었다는 거죠.

00:47:00.810 --> 00:47:02.728
그러면 출발하도록 하겠습니다.

00:47:02.828 --> 00:47:06.477
일단 이 8가지 중에

제일 중요한 걸 꼽으라면

00:47:06.577 --> 00:47:12.119
당연히 단열 팽창과
단열 수축입니다.

00:47:12.219 --> 00:47:13.415
이게 제일 중요합니다.

00:47:13.515 --> 00:47:20.800
특히 물리학1에서는 이것만 출제될
확률도 굉장히 높습니다.

00:47:20.900 --> 00:47:23.231
물론 다른 것까지 알아두면 좋고요.

00:47:23.331 --> 00:47:26.494
이거만이라도 반드시
기억하고 계셔야 됩니다.

00:47:26.594 --> 00:47:28.688
일단 단열입니다.

00:47:28.788 --> 00:47:33.411
단열이라는 건 뭐야, 기체가
열에너지를 흡수도 안 하고

00:47:33.511 --> 00:47:36.256
내보내지도 않는 상태라는 뜻이죠.

00:47:36.356 --> 00:47:43.819
결국 뭐야? Q 값이 0인
상태에서 팽창했대요.

00:47:43.919 --> 00:47:45.941
부피가 늘어났답니다.

00:47:46.041 --> 00:47:52.663
부피가 늘면 W값은 뭐가 돼요?

00:47:52.763 --> 00:47:55.982
플러스 값입니다.

00:47:56.082 --> 00:47:59.419
그러면 W값이 플러스
값이면 이게 0이잖아.

00:47:59.519 --> 00:48:05.137
ΔU값 플러스 W값이 0이어야
되는데 W가 플러스 값이야.

00:48:05.237 --> 00:48:07.280
그러면 ΔU값은 뭐여야
된다는 소리야?

00:48:07.380 --> 00:48:11.590
마이너스 값을 갖게
된다는 것을 뜻합니다.

00:48:11.690 --> 00:48:14.387
그러면 이게 마이너스

값이라는 건 뭐야?

00:48:14.487 --> 00:48:16.298
ΔU가 마이너스 값이라는 건.

00:48:16.398 --> 00:48:20.278
온도가 내려갔다는 것을 의미하죠.

00:48:20.378 --> 00:48:23.726
그런데 부피는 지금
어떻게 된 상태입니까?

00:48:23.826 --> 00:48:25.992
늘어난 상태죠.

00:48:26.092 --> 00:48:29.960
압력 곱하기 부피가
온도에 관계하는데

00:48:30.060 --> 00:48:35.547
부피는 늘었는데 오히려
온도는 떨어졌어.

00:48:35.647 --> 00:48:38.171
그러면 압력은 어떻게
된다는 소리야?

00:48:38.271 --> 00:48:43.713
많이 감소했구나, 라는 것을
우리가 알 수 있게 되는 거죠.

00:48:43.813 --> 00:48:46.017
되시나요?

00:48:46.117 --> 00:48:49.436
압력이 많이 감소하고
부피가 조금 증가하니까

00:48:49.536 --> 00:48:52.708
곱하기 값은 감소할
수 있는 상황이다.

00:48:52.808 --> 00:48:55.161
결국 우리가 기억해야
되는 건 바로 뭐냐,

00:48:55.261 --> 00:49:00.580
이 상태들의 Q 값은 플러스,
마이너스, 0중에 뭔지,

00:49:00.680 --> 00:49:03.363
ΔU값은 플러스,
마이너스, 0중에 뭔지,

00:49:03.463 --> 00:49:06.297
W값은 플러스, 마이너스,
0중에 뭔지,

00:49:06.397 --> 00:49:12.870
PV, T는 증가인지 감소인지
일정인지를 표현해나가는 겁니다.

00:49:12.970 --> 00:49:16.012
이때 우리가 또 하나 기억해야
되는 건 바로 뭐냐,

00:49:16.112 --> 00:49:24.956
얘네들의 상태를 압력 부피 변화
그래프로도 나타내는 겁니다.

00:49:25.056 --> 00:49:28.173
압력 부피 변화 그래프로
나타내면 어떻게 될까요?

00:49:28.273 --> 00:49:31.384
단열 팽창은 어떻게 될까요?

00:49:31.484 --> 00:49:39.235
압력은 줄면서 부피는 줄어야 돼.

00:49:39.335 --> 00:49:40.181
그러면 어떻게 될까요?

00:49:40.281 --> 00:49:46.599
압력은 줄면서 부피가
줄면 이렇게 되는 거죠.

00:49:46.699 --> 00:49:51.921
이 상태를 우리는 단열
팽창이라고 부를 수 있습니다.

00:49:52.021 --> 00:49:53.746
이때 어떻게 돼야 돼요?

00:49:53.846 --> 00:49:58.483
이 압력 곱하기 부피 값보다.

00:49:58.583 --> 00:50:05.226
이 압력 곱하기 부피 값은 이 압력 곱하기
부피 값이 더 커야 된다는 거죠.

00:50:05.326 --> 00:50:06.961
왜? 온도가 어떻게 됐으니까?

00:50:07.061 --> 00:50:08.985
내려갔으니까.

00:50:09.085 --> 00:50:12.221
그러면 이제 단열 수축
보도록 하겠습니다.

00:50:12.321 --> 00:50:17.032
Q가 0인 상태로 수축.

00:50:17.132 --> 00:50:19.972
부피가 쪼그라들었습니다.

00:50:20.072 --> 00:50:24.409
피스톤은 막 미는데 뒤로
물러났다는 것을 뜻하죠.

00:50:24.509 --> 00:50:26.838

그러면 W값은 당연히
무슨 값이 나와요?

00:50:26.938 --> 00:50:28.301
마이너스 값이 나옵니다.

00:50:28.401 --> 00:50:31.097
이게 마이너스 값인데
여기가 0 값이어야 돼.

00:50:31.197 --> 00:50:32.714
그러면 얘는 뭐여야 된다는 소리야?

00:50:32.814 --> 00:50:33.937
플러스 값이죠.

00:50:34.037 --> 00:50:36.382
이게 플러스 값이라는
건 뭘 의미합니까?

00:50:36.482 --> 00:50:39.944
내부 에너지가 증가했다는 거고
온도가 증가했다는 거니까

00:50:40.044 --> 00:50:41.750
온도가 증가합니다.

00:50:41.850 --> 00:50:44.979
온도는 증가했는데 부피는
지금 어떻게 된 상태야?

00:50:45.079 --> 00:50:46.342
감소한 상태죠.

00:50:46.442 --> 00:50:49.304
그러면 압력은 어떻게 돼야 될까요?

00:50:49.404 --> 00:50:53.382
많이 증가했겠구나,
라는 것을 뜻합니다.

00:50:53.482 --> 00:50:59.254
그래서 압력 부피 변화 그래프에서는
단열 수축은 어떻게 되겠어요?

00:50:59.354 --> 00:51:07.731
압력이 많이 증가하는 이런 상태로 우리가
표현되어질 수 있겠구나, 라는 겁니다.

00:51:08.637 --> 00:51:11.976
이번에는 등압 팽창
보도록 하겠습니다.

00:51:12.076 --> 00:51:19.540
등압 팽창이란 뭐냐, 실린더 안에
들어있는 기체에 압력은 일정하면서.

00:51:19.640 --> 00:51:23.193
미안해, 이거 이야기하기 전에
단열 팽창과 단열 수축을

00:51:23.293 --> 00:51:25.576
상황으로 한번
보여드리도록 하겠습니다.

00:51:25.676 --> 00:51:28.890
지금 어떤 상황이냐,

00:51:28.990 --> 00:51:31.144
여기 실린더 안에 기체가 있고요.

00:51:31.244 --> 00:51:34.837
이 기체를 내가 열을
완벽하게 차단한 상태에서

00:51:34.937 --> 00:51:37.600
얘를 이렇게 당깁니다.

00:51:37.700 --> 00:51:43.296
그러면 여기 안에 들어있는 기체는
분명히 피스톤을 밀고 있죠.

00:51:43.396 --> 00:51:50.421
미는데 이동을 했으니까
비록 내가 얘를 당겼지만

00:51:50.521 --> 00:51:56.169
여기 안에 있는 기체도 밀어서
이동시키는 데 도움을 준 거죠.

00:51:56.269 --> 00:52:03.698
결국 여기 안에 들어있는 기체가
밀어서 이동시키는 일을 한 거죠.

00:52:03.798 --> 00:52:10.098
그래서 이 단열 팽창은 바로 기체가
하는 일을 표현할 수 있는 겁니다.

00:52:10.198 --> 00:52:16.301
그때 기체가 한 일은 당연히 기체의 압력
곱하기 부피 변화 값으로만 따지는 거야.

00:52:16.401 --> 00:52:22.349
얘를 잡아당기는데 한 일은
대부분 내가 하긴 했죠.

00:52:22.449 --> 00:52:24.839
그런데 여기서 따지는
일이란 바로 뭐냐,

00:52:24.939 --> 00:52:29.995
여기 안에 들어있는 기체가 한
일만을 따지겠다는 겁니다.

00:52:30.095 --> 00:52:35.971
그 일이 바로 기체의 압력 곱하기
부피 변화량으로 표현된 거고요.

00:52:36.071 --> 00:52:38.266
그러면 단열 수축이란 어떤 상태냐,

00:52:38.366 --> 00:52:43.154

여기 열을 완벽하게 차단해놓은
상태에서 쑥 밀어 넣는 겁니다.

00:52:43.254 --> 00:52:44.637
이걸 쑥 밀어 넣습니다.

00:52:44.737 --> 00:52:48.027
그러면 여기 안에 들어있는
기체의 입장에서는 어때요?

00:52:48.127 --> 00:52:52.616
피스톤을 밀고 있는데
뒤로 물러나지는 거니까

00:52:52.716 --> 00:52:57.341
일을 한 게 아니라 외부에서
일했다고 표현할 수 있게 되고요.

00:52:57.441 --> 00:53:01.059
그 일은 기체의 압력 곱하기
기체의 부피 변화량.

00:53:01.159 --> 00:53:05.993
마이너스 부피 변화량의 곱으로
표현되어질 수 있다는 거죠.

00:53:06.093 --> 00:53:07.624
되셨나요?

00:53:07.724 --> 00:53:11.432
이걸 바로 우리는 단열 팽창,
단열 수축이라고 부릅니다.

00:53:11.532 --> 00:53:13.547
그러면 이제 등압 팽창은 뭐냐,

00:53:13.647 --> 00:53:19.704
실린더 안에 들어있는 기체에 압력이
일정하면서 부피가 늘어나는 케이스입니다.

00:53:19.804 --> 00:53:24.638
압력이 일정하면서 부피가 늘어나는
케이스가 되려면 어떻게 돼야 되느냐,

00:53:24.738 --> 00:53:26.331
이걸 이제 표현하는 거예요.

00:53:26.431 --> 00:53:29.186
그러면 일단 팽창이죠?

00:53:29.286 --> 00:53:30.695
그러면 부피가 어떻게
됐다는 소리야?

00:53:30.795 --> 00:53:32.222
늘어났다는 소리잖아.

00:53:32.322 --> 00:53:34.333
그러면 이 값은 플러스 값이죠.

00:53:34.433 --> 00:53:36.553

그런데 얘랑 얘는
어떤지 아직 모르죠?

00:53:36.653 --> 00:53:38.345
그런데 등압 팽창이잖아.

00:53:38.445 --> 00:53:43.499
일단 압력은 일정하면서
부피가 늘었대.

00:53:43.599 --> 00:53:50.077
압력이 일정하면서 부피가 느는
케이스는 온도가 어떻게 된다는 거야?

00:53:50.177 --> 00:53:54.026
압력은 일정한데 부피가 늘었으니까
압력 곱하기 부피 값도 어떻게 돼요?

00:53:54.126 --> 00:53:54.961
늘어나겠죠?

00:53:55.061 --> 00:53:58.267
따라서 온도가 늘어나는
케이스가 됩니다.

00:53:58.367 --> 00:54:03.897
결국 등압 팽창이 이루어지려면
온도가 늘어나는구나.

00:54:03.997 --> 00:54:06.163
온도가 늘어나기 위해서는
어떻게 됩니까?

00:54:06.263 --> 00:54:10.835
온도가 늘어난다는 건 내부 에너지의
변화량 값이 플러스 값을 의미하고요.

00:54:10.935 --> 00:54:14.951
그러면 이 값이 플러스,
플러스니까 Q 값도 플러스죠.

00:54:15.051 --> 00:54:19.822
결국 등압 팽창을 만들려면
실린더 안에 들어있는 기체에

00:54:19.922 --> 00:54:24.142
압력이 일정한 상태로 부피가
쭉 늘어나게 하려면

00:54:24.242 --> 00:54:31.983
얘에 적당한 열에너지를
공급해서 온도도 올리고

00:54:32.083 --> 00:54:37.751
부피도 변화시키는 일을 하게
할 수 있다는 겁니다.

00:54:37.851 --> 00:54:46.205
그러면 이 등압팽창을 압력 부피 변화
그래프로 그려보면 어떻게 그려질까요?

00:54:46.305 --> 00:54:52.244
압력이 일정한 상태로 부피가
늘었으니까 이렇게 되겠죠.

00:54:54.041 --> 00:54:57.700
이게 바로 등압 팽창
그래프인 거죠.

00:54:57.800 --> 00:55:00.881
그러면 등압 수축은 뭔가요?

00:55:00.981 --> 00:55:06.354
실린더 안에 들어있는 기체에
압력은 일정하게 유지되면서

00:55:06.454 --> 00:55:10.460
부피가 줄어드는 경우는
어떤 케이스일까.

00:55:10.560 --> 00:55:11.814
일단 수축이야.

00:55:11.914 --> 00:55:13.079
부피가 줄었어.

00:55:13.179 --> 00:55:15.563
그러면 W값은 뭐가 돼요?

00:55:15.663 --> 00:55:17.276
마이너스 값이 됩니다.

00:55:17.376 --> 00:55:19.980
그런데 이건 지금 어떤지 알
수가 없죠, 여기 상황에서는.

00:55:20.080 --> 00:55:25.522
그런데 일단 압력은 일정한
상황에서 부피가 줄어드는 케이스는

00:55:25.622 --> 00:55:27.892
온도가 줄어들 수밖에 없습니다.

00:55:27.992 --> 00:55:32.511
압력 곱하기 부피가 온도인데
압력은 일정한데 부피가 줄어들면

00:55:32.611 --> 00:55:33.957
당연히 온도도 줄어들죠.

00:55:34.057 --> 00:55:35.786
그러면 온도가 줄어든다는
건 뭡니까?

00:55:35.886 --> 00:55:39.995
내부 에너지의 변화량 값도
마이너스 값을 갖는다는 소리고요.

00:55:40.095 --> 00:55:42.649
그러면 이런 케이스가
만들어지려면 어떻게 돼야 돼?

00:55:42.749 --> 00:55:45.813
기체가 열에너지를 내보내야 됩니다.

00:55:45.913 --> 00:55:51.557
아주 간단하게 이야기하면
얘를 적당히 찬물에 담그면

00:55:51.657 --> 00:55:55.654
얘가 찬물로 열에너지를 내보내면서

00:55:55.754 --> 00:56:01.382
압력은 일정하면서 부피가 쪼그라드는
케이스가 일어날 수 있다는 걸

00:56:01.482 --> 00:56:03.181
보여주는 상황인 거고요.

00:56:03.281 --> 00:56:07.024
등압 수축은 그래프로
어떤 식으로 그려져요?

00:56:07.124 --> 00:56:10.697
이런 식으로 그려지겠죠.

00:56:13.104 --> 00:56:15.760
이번에는 등온 팽창 보겠습니다.

00:56:15.860 --> 00:56:22.900
등온 팽창은 등온, 실린더 안에
들어있는 기체의 온도가 변하지 않으면서

00:56:23.000 --> 00:56:25.207
부피가 늘어난 케이스를 의미합니다.

00:56:25.307 --> 00:56:27.742
그리고 등온이야, 온도가
변하지 않는대.

00:56:27.842 --> 00:56:32.719
그러면 ΔU값은 뭡니까? 0이죠.

00:56:32.819 --> 00:56:35.706
ΔU값은 0인데 부피가 늘어났대.

00:56:35.806 --> 00:56:39.966
그 말은 뭡니까? W값이
플러스 값을 의미하죠.

00:56:40.066 --> 00:56:43.102
이게 만족되려면 어떻게 돼야 돼요?

00:56:43.202 --> 00:56:45.823
Q 값도 플러스가 됩니다.

00:56:45.923 --> 00:56:47.159
결국 뭘 의미하는 거야?

00:56:47.259 --> 00:56:52.912
실린더 안에 들어있는 기체에다
열에너지를 적당한 값으로 넣어주면,

00:56:53.012 --> 00:56:56.098
그 값은 나중에 찾아봐야 되겠지만

00:56:56.198 --> 00:57:04.100
온도는 변하지 않으면서 부피는 변화시킬
수 있다는 상황이 등온 팽창이고요.

00:57:04.200 --> 00:57:06.001
온도는 변하지 않아.

00:57:06.101 --> 00:57:08.195
그런데 부피는 늘어나.

00:57:08.295 --> 00:57:13.602
그러면 실린더 안에 들어있는 기체의
압력은 어떻게 된다는 상황이야?

00:57:13.702 --> 00:57:18.463
감소하는 상황이 된다는
것을 보여주는 겁니다.

00:57:18.563 --> 00:57:22.784
온도는 일정하면서 부피가
늘었으니까 압력은 감소해야죠.

00:57:22.884 --> 00:57:25.774
그래야 압력 곱하기 부피
값이 일정할 수 있으니까.

00:57:25.874 --> 00:57:29.167
그러면 얘는 그래프로
어떻게 나타내어지느냐,

00:57:29.267 --> 00:57:33.349
압력 부피 변화 그래프로
이렇게 나타내집니다.

00:57:33.449 --> 00:57:41.285
압력 곱하기 부피인데 압력은
감소하면서 부피는 늘어나야 되죠?

00:57:41.385 --> 00:57:42.727
그러면 이런 상황입니다.

00:57:42.827 --> 00:57:44.365
이렇게 그래프가 그려집니다.

00:57:44.465 --> 00:57:47.596
반비례 그래프로 그려집니다.

00:57:49.470 --> 00:57:51.603
그래프가 좀 유사하죠?

00:57:51.703 --> 00:57:56.722
단열 팽창과 등온 팽창은
그래프가 좀 유사합니다.

00:57:56.822 --> 00:57:58.342
뭐가 다를까?

00:57:58.442 --> 00:58:03.490

얘는 압력이 많이 감소하면서
부피가 줄어야 됩니다.

00:58:03.590 --> 00:58:06.274
왜? 온도가 감소하니까.

00:58:06.374 --> 00:58:08.111
그런데 얘는 온도가 같아야 돼요.

00:58:08.211 --> 00:58:15.496
즉 여기의 압력 곱하기 부피 값이랑 여기의
압력 곱하기 부피 값이 같다고요.

00:58:15.596 --> 00:58:18.544
그 상태를 유지하면서 부피가
줄어드는 케이스니까

00:58:18.644 --> 00:58:21.073
얘가 완만하게 감소하죠.

00:58:21.173 --> 00:58:23.984
그런데 얘는 급격히 감소하는
상황이 되는 거죠.

00:58:24.084 --> 00:58:31.182
어쨌든 중요한 건 등온 팽창이란 이런
상태의 변화를 갖게 한다는 겁니다.

00:58:32.292 --> 00:58:34.537
그러면 이번에는 등온
수축 보겠습니다.

00:58:34.637 --> 00:58:36.768
등온입니다, 온도 변화가 없습니다.

00:58:36.868 --> 00:58:39.055
그런데 부피가 쪼그라들었습니다.

00:58:39.155 --> 00:58:41.287
그러면 마이너스죠.

00:58:41.387 --> 00:58:45.755
결국 얘를 적당히 찬물에 담가주면

00:58:45.855 --> 00:58:50.064
온도가 일정한 상태로 부피가
쪼그라드는 일이 발생할 수 있다.

00:58:50.164 --> 00:58:52.492
내부 에너지는 변하지 않은 상태로

00:58:52.592 --> 00:58:56.749
이 외부에서 일을 하게 할 수
있다는 것을 뜻합니다.

00:58:56.849 --> 00:58:58.558
그러면 이때 역시나 어떻게 됩니까?

00:58:58.658 --> 00:59:01.946
온도는 변하지 않았는데
부피가 쪼그라들었으니까

00:59:02.046 --> 00:59:06.883
그때 실린더 안에 들어있는 기체의
압력은 늘어나야 한다는 거고요.

00:59:06.983 --> 00:59:12.370
이거를 그래프로 표현하면
이런 식으로 표현되는 거죠.

00:59:12.875 --> 00:59:15.827
압력 곱하기 부피
값은 변하지 않으면서

00:59:15.927 --> 00:59:21.061
일정하게 증가하는 이러한
그래프로 그려지게 된다.

00:59:21.161 --> 00:59:22.307
마지막 케이스입니다.

00:59:22.407 --> 00:59:25.393
정적 증압과 정적 감압입니다.

00:59:25.493 --> 00:59:28.010
정적 증압은 뭐죠?

00:59:28.110 --> 00:59:31.576
정적이란 부피 변화가
없다는 것을 의미합니다.

00:59:31.676 --> 00:59:41.095
즉 실린더 안에 들어있는 피스톤을 움직이지
못하게 꽉 잡아놓고 있는 상태예요.

00:59:41.195 --> 00:59:46.876
그러니까 부피 변화가 없으니까
당연히 W는 뭐가 됩니까? 0이죠.

00:59:46.976 --> 00:59:52.146
부피가 변하지 않은 상태에서
압력만을 증가시키게 되면

00:59:52.246 --> 00:59:53.539
온도는 어떻게 된다는 소리야?

00:59:53.639 --> 00:59:55.169
늘어나게 된다는 소리고요.

00:59:55.269 --> 01:00:01.520
온도가 늘어나게 되면 ΔU값, 온도
변화량 값은 플러스 값이 되는 거죠.

01:00:01.620 --> 01:00:03.469
결국 Q 값도 플러스입니다.

01:00:03.569 --> 01:00:04.714
이게 무슨 말이야?

01:00:04.814 --> 01:00:08.239
피스톤을 움직이지 못하게
해놓은 상태에서

01:00:08.339 --> 01:00:17.775
실린더 기체에다 열에너지를 공급하면 그
열에너지에 의해서 온도가 올라간다.

01:00:17.875 --> 01:00:25.992
내부 에너지가 증가하는 상황을 정적 증압
상황이라고 정의를 내리고 있습니다.

01:00:26.092 --> 01:00:27.858
그러면 정적 감압은 뭐예요?

01:00:27.958 --> 01:00:34.429
역시나 피스톤이 움직이지
못하게 해놓은 상태에서,

01:00:34.529 --> 01:00:38.761
부피를 일정하게 해놓은 상태에서
압력을 감소시켜준대요.

01:00:38.861 --> 01:00:42.575
그러면 당연히 온도도
감소해야 되죠?

01:00:42.675 --> 01:00:45.254
그 말은 ΔU값.

01:00:45.354 --> 01:00:49.512
내부 에너지의 변화, 온도 변화량이
마이너스 값을 갖는다고 뜻하고

01:00:49.612 --> 01:00:52.992
그러면 열에너지를 방출해야만
한다는 소리죠.

01:00:53.092 --> 01:00:55.938
얘를 피스톤을 움직이지
못하게 해놓은 상태에서

01:00:56.038 --> 01:00:59.540
찬물에 담가주면 얘가
열에너지를 내보내면서

01:00:59.640 --> 01:01:05.441
실린더 안에 들어있는 기체의 온도가
내려간다는 것을 보여주는 상황이

01:01:05.541 --> 01:01:07.238
정적 감압이고요.

01:01:07.338 --> 01:01:12.402
얘네 둘을 압력 부피
변화 그래프로 나타내면

01:01:12.502 --> 01:01:20.923
부피는 일정하면서 압력이 증가하고

01:01:21.023 --> 01:01:22.945
부피는 일정하면서 압력이
감소하는 상황이니까

01:01:23.045 --> 01:01:32.011
그래프가 이거 또는 이거인 상황이 정적
증압, 정적 감압인 상황이 됩니다.

01:01:32.111 --> 01:01:36.138
그래서 여러분은 기체의
상태 변화가 나오면

01:01:36.238 --> 01:01:39.978
이 표를 메꾸실 수 있어야 되고요.

01:01:40.078 --> 01:01:42.852
이 그래프를 떠올리실
수 있어야 됩니다.

01:01:42.952 --> 01:01:47.998
결국 여러분은 이 8가지
케이스를 완벽하게

01:01:48.098 --> 01:01:53.713
플러스, 마이너스, 0, 증가,
감소, 일정으로 나타낼 수 있다면

01:01:53.813 --> 01:01:58.556
열역학의 공부는 끝났다고
볼 수 있어요.

01:01:58.656 --> 01:02:02.456
그래서 이 시간이 끝나고
나면 바로 끄지 마시고

01:02:02.556 --> 01:02:06.263
이걸 한번 여러분이 메꿔보세요.

01:02:06.363 --> 01:02:08.254
이런 상태를 가지고 메꿔보십시오.

01:02:08.354 --> 01:02:13.017
그러면 여러분이 이 열역학
제1법칙을 제대로 이해했느냐를

01:02:13.117 --> 01:02:16.589
여러분이 따져나가실
수 있을 겁니다.

01:02:16.689 --> 01:02:21.335
그러면 문제 2번 해결해
나가보도록 하겠습니다.

01:02:21.435 --> 01:02:25.158
입을 오므려 바람을
불 때 시원한 이유는?

01:02:25.258 --> 01:02:26.129
이게 무슨 말이냐,

01:02:26.229 --> 01:02:34.851
여러분, 손등에 바람을 불 때
입을 크게 벌리고 하~ 하면

01:02:34.951 --> 01:02:37.171

손등이 따뜻함을 느끼게 됩니다.

01:02:37.271 --> 01:02:39.184
입 냄새 맡지 말고.

01:02:39.284 --> 01:02:40.658
하~ 따뜻함을 느끼는데

01:02:40.758 --> 01:02:46.225
입을 오므려서 후~ 하고
불면 시원함을 느낍니다.

01:02:46.325 --> 01:02:50.314
하~ 하면 따뜻한데
후~ 하면 시원해.

01:02:50.414 --> 01:02:55.172
이게 왜 이럴까를
설명해보자는 겁니다.

01:02:55.272 --> 01:02:59.771
바로 뭐냐, 입을 하~ 하고 벌리면

01:02:59.871 --> 01:03:08.157
내 몸속에 있는 공기가
빠른 속도로 못 나와요.

01:03:08.257 --> 01:03:10.581
느린 속도로 충분히 나오게 됩니다.

01:03:10.681 --> 01:03:15.188
그러면 내 몸속 온도가 그대로
손등 온도에 전달되죠.

01:03:15.288 --> 01:03:20.159
사실 손등은 내 몸속
온도보다 온도가 낮아요.

01:03:20.259 --> 01:03:25.401
이 주변의 낮은 온도랑 접해있기 때문에
손등 온도가 몸속 온도보다 낮거든요.

01:03:25.501 --> 01:03:31.015
그런데 몸속 온도가 손등에 전달되니까
따뜻하다고 느껴지는 거죠.

01:03:31.115 --> 01:03:40.423
그런데 입을 오므려서 불면 여기
안에 기체가 모였다가 빠져나오죠.

01:03:40.523 --> 01:03:48.611
즉 여기 안에 들어있던 기체가
강력하게 모여있는 상태에서,

01:03:48.711 --> 01:03:56.897
밀집되어있는 상태에서 밖으로 빠져나오면서
순간적으로 부피를 팽창시킵니다.

01:03:56.997 --> 01:04:05.950
이때 부피가 팽창할 때 순간적으로
입안에서 입 밖으로 나오니까

01:04:06.050 --> 01:04:08.608
열의 출입이 있을 틈이 없어요.

01:04:08.708 --> 01:04:11.858
열을 공기랑 주고받을
틈이 없습니다.

01:04:11.958 --> 01:04:15.556
따라서 이런 상태는 어떤 상태냐,

01:04:15.656 --> 01:04:21.035
단열 팽창 상태입니다.

01:04:21.135 --> 01:04:24.464
순간적으로 입안에 있던
공기가 밖으로 빠져나오면서

01:04:24.564 --> 01:04:34.258
열 출입 없이 안에서 머물러
있던 애들이 순간적으로 나오면서

01:04:34.358 --> 01:04:37.977
확 퍼져버리는, 팽창하게 되는
일이 발생하게 되는 거죠.

01:04:38.077 --> 01:04:40.810
그러면 단열 팽창, 다시
한번 확인해볼까요?

01:04:40.910 --> 01:04:54.301
Q=ΔU+W PV∝T의
관계에 의해서 단열 Q.

01:04:54.401 --> 01:04:57.649
팽창 플러스, 얘는 마이너스.

01:04:57.749 --> 01:05:01.793
ΔU가 마이너스라는 건 온도가 내려갔는데
부피가 늘어났어, 압력은 감소했어.

01:05:01.893 --> 01:05:03.944
이런 상황이 일어난다는 겁니다.

01:05:04.044 --> 01:05:08.161
그래서 온도가 내려가서
시원함을 느끼게 되는 거죠.

01:05:08.261 --> 01:05:12.411
그래서 이 상황이 완벽하게 단열
상태다, 라고 부를 수는 없지만

01:05:12.511 --> 01:05:17.331
단열 팽창에 가까운 상태라고 우리가
일반적으로 표현할 수 있고요.

01:05:17.431 --> 01:05:22.034
그래서 시원함을 느꼈다고
이야기하게 됩니다.

01:05:22.134 --> 01:05:23.782

되십니까?

01:05:23.882 --> 01:05:26.806
그러면 이제 개념 정리
마지막 내용입니다.

01:05:26.906 --> 01:05:33.855
바로 뭐냐, 제1종 영구기관.

01:05:33.955 --> 01:05:36.683
일단 이 영구기관이라는 건 뭐냐,

01:05:36.783 --> 01:05:41.274
영원히 작동될 수 있는 기관.

01:05:41.374 --> 01:05:44.534
엔진을 우리는
영구기관이라고 부르고요.

01:05:44.634 --> 01:05:48.061
제1종 영구기관이라는 건 뭐냐,

01:05:48.161 --> 01:05:55.696
열역학 제1법칙에 위배되는 영원히
작동되는 기계다, 라는 소리입니다.

01:05:55.796 --> 01:05:57.432
결국 이게 무슨 말이냐,

01:05:57.532 --> 01:05:59.909
있을 수 없는 엔진이라는
소리입니다.

01:06:00.009 --> 01:06:03.370
있을 수 없는 장치예요.

01:06:03.470 --> 01:06:09.547
그런데 그 장치가 열역학 제1법칙에
위배된다는 의미입니다.

01:06:09.647 --> 01:06:12.153
그래서 열역학 제1법칙의
다른 표현이 뭐라고 그랬죠?

01:06:12.253 --> 01:06:14.393
에너지 보존 법칙이라고 그랬죠?

01:06:14.493 --> 01:06:20.050
그래서 에너지 보존
법칙에 위배되는 장치를

01:06:20.150 --> 01:06:24.562
우리는 제1종 영구기관이라고
불러주고요.

01:06:24.662 --> 01:06:27.915
그 대표적인 애가 바로 얘입니다.

01:06:28.015 --> 01:06:29.528
상상 속에서나 가능한 일이야.

01:06:29.628 --> 01:06:33.844
바로 어떤 상황이냐,
여기 지금 물이 있어요.

01:06:33.944 --> 01:06:37.076
물을 이런 높은 데서부터
흘려보내 주기 시작합니다.

01:06:37.176 --> 01:06:42.421
물을 흘려보내 주기 시작하면 여기에
지금 물레방아 같은 걸 달아서

01:06:42.521 --> 01:06:45.209
이 흘러내려 오는 물이
물레방아를 돌려요.

01:06:45.309 --> 01:06:48.880
그런데 이 물레방아가
지금 스크류에 연결돼서

01:06:48.980 --> 01:06:55.320
이 물레방아가 돌면서 여기에 있는 물을
스크류가 다시 여기까지 퍼 올리는 거죠.

01:06:55.420 --> 01:06:59.987
그러면 여기에 있던 물이
수차의 회전에 의해서

01:07:00.087 --> 01:07:04.578
스크류를 타고 스크류가 나사 같은
거로 타고 올라가는 겁니다.

01:07:04.678 --> 01:07:08.166
나사를 타고 쭉 올라가서
여기서 떨어지고 떨어지고를

01:07:08.266 --> 01:07:11.494
계속 반복할 수 있을
거다, 라는 거죠.

01:07:11.594 --> 01:07:14.742
결국 물을 한 번만
채워주면 그다음부터는

01:07:14.842 --> 01:07:22.635
영원히 수차를 돌리면서 이
장치가 계속 작동될 수 있다는

01:07:22.735 --> 01:07:26.859
상상을 하고 있는 제1종
영구기관입니다.

01:07:26.959 --> 01:07:31.086
그런데 벌써 제1종 영구기관이
붙었다는 건 뭘 의미하는 거야?

01:07:31.186 --> 01:07:36.604
에너지 보존 법칙에 위배되는
기관이라는 것을 뜻합니다.

01:07:36.704 --> 01:07:41.029

그러면 어떤 면에서 에너지
보존 법칙에 위배될까요?

01:07:41.129 --> 01:07:44.197
여러분, 생각해보시면
지금 어떤 상황이야?

01:07:44.297 --> 01:07:49.951
물의 위치 에너지가,
물의 퍼텐셜 에너지가

01:07:50.051 --> 01:07:52.481
물의 운동 에너지로 변화됐죠.

01:07:52.581 --> 01:07:58.485
그게 다시 물의 위치 에너지, 퍼텐셜
에너지를 만든다는 것을 의미하지 않습니까?

01:07:58.585 --> 01:08:00.072
그러면 결과적으로 지금 뭡니까?

01:08:00.172 --> 01:08:04.487
물의 위치 에너지가 다시
물의 위치 에너지를 만들면서

01:08:04.587 --> 01:08:07.218
운동 에너지도 만든다는 소리잖아.

01:08:07.318 --> 01:08:11.331
원래는 한 번 떨어진
물은 다시 못 올라오죠.

01:08:11.469 --> 01:08:12.847
저절로 못 올라오잖아.

01:08:12.947 --> 01:08:18.371
그래서 물의 퍼텐셜 에너지가 물의
운동 에너지로 전환되는 건데

01:08:18.471 --> 01:08:19.486
지금 어떤 상황이야?

01:08:19.586 --> 01:08:24.723
물의 퍼텐셜 에너지가
물의 운동 에너지 플러스

01:08:24.823 --> 01:08:27.149
물의 퍼텐셜 에너지를
다시 만드는 거죠.

01:08:27.249 --> 01:08:28.588
물은 계속 흘러가고요.

01:08:28.688 --> 01:08:32.103
물은 계속 위쪽으로 채워지니까
결국 퍼텐셜 에너지가

01:08:32.203 --> 01:08:36.153
퍼텐셜 에너지 플러스 운동
에너지를 만드는 상황이죠.

01:08:36.253 --> 01:08:39.399
같은 높이로 올리니까
물의 퍼텐셜 에너지는

01:08:39.499 --> 01:08:41.951
물의 퍼텐셜 에너지
플러스 운동 에너지.

01:08:42.051 --> 01:08:42.931
말이 안 되죠?

01:08:43.031 --> 01:08:47.455
물이 퍼텐셜 에너지가 같은데 어떻게
거기에 또 운동 에너지가 만들어집니까.

01:08:47.555 --> 01:08:51.157
그래서 있을 수 없는 장치다,
라는 것을 뜻하고요.

01:08:51.257 --> 01:08:55.861
얘도 제1종 영구기관을
보여주는 대표적인 장치인데요.

01:08:55.961 --> 01:09:01.942
얘를 한번 툭 쳐주면 얘의
퍼텐셜 에너지의 변화에 의해서

01:09:02.042 --> 01:09:04.826
얘의 운동 에너지를 만들면서

01:09:04.926 --> 01:09:08.032
그 운동 에너지가 다시
퍼텐셜 에너지를 만들면서

01:09:08.132 --> 01:09:16.181
이게 계속 회전할 수 있다고
보는 제1종 영구기관입니다.

01:09:16.281 --> 01:09:19.937
결국 이 추의 퍼텐셜 에너지가
운동 에너지를 만들고

01:09:20.037 --> 01:09:22.829
그 운동 에너지가 다시
퍼텐셜 에너지를 만들어서

01:09:22.929 --> 01:09:26.780
이 톱니바퀴를 계속 돌릴
수 있다고 보는 거죠.

01:09:26.880 --> 01:09:28.574
그런데 여기서는 지금 뭐야?

01:09:28.674 --> 01:09:29.670
이것도 마찬가지죠?

01:09:29.770 --> 01:09:33.991
퍼텐셜 에너지가 운동
에너지를 만들고

01:09:34.091 --> 01:09:38.325

그 운동 에너지가 다시 또 퍼텐셜
에너지를 만든다면 말이 될 수 있어요.

01:09:38.425 --> 01:09:41.619
그런데 퍼텐셜 에너지가
운동 에너지만 만들고

01:09:41.719 --> 01:09:44.659
운동 에너지가 다시 퍼텐셜
에너지를 만드는 것만이 아니라

01:09:44.759 --> 01:09:46.719
중간에 무슨 에너지를
지금 만들고 있느냐,

01:09:46.819 --> 01:09:53.895
얘 톱니바퀴를 돌리는 회전 운동
에너지를 만들어내고 있습니다.

01:09:53.995 --> 01:10:01.062
결과적으로 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지
플러스 회전 운동 에너지를 만드니까

01:10:01.162 --> 01:10:05.561
그 운동 에너지가 다시 퍼텐셜
에너지를 만들 수가 없죠.

01:10:05.661 --> 01:10:06.456
같지가 않잖아.

01:10:06.556 --> 01:10:11.588
이미 운동 에너지는 여기서의 퍼텐셜
에너지보다 작은 값을 갖고 있잖아.

01:10:11.688 --> 01:10:19.295
그러면 그 작은 운동 에너지가 어떻게 더
높은 퍼텐셜 에너지를 만들 수 있겠어요.

01:10:19.395 --> 01:10:22.972
그래서 계속 돌 수가 없습니다.

01:10:23.072 --> 01:10:26.906
에너지 보존 법칙에 어긋납니다.

01:10:27.006 --> 01:10:32.173
이런 내용을 우리는 제1종
영구기관이다, 라고 불러줘요.

01:10:32.273 --> 01:10:34.363
말이 안 되는 기관이야.

01:10:34.463 --> 01:10:39.600
그래서 어디서 한 번만 작동시켜주면
계속 작동되는 그런 장치가

01:10:39.700 --> 01:10:41.147
개발됐어요, 발명됐어요.

01:10:41.247 --> 01:10:46.376
이런 이야기가 나오면
사기라고 생각하시면 됩니다.

01:10:46.476 --> 01:10:51.819
그래서 한 몇 년 전에 전기를
한 번 딱 넣어주게 되면

01:10:51.919 --> 01:10:56.905
그다음부터는 계속 뜨거운 물이
나오는 그런 걸 발명했다.

01:10:57.005 --> 01:11:03.613
그래서 사람들한테 투자금을
받은 사기꾼이 있었어요.

01:11:03.713 --> 01:11:06.328
열역학 제1법칙, 에너지
보존 법칙만 알고 있었어도

01:11:06.428 --> 01:11:10.895
그런 사기는 당하지 않았을 텐데,
라는 생각이 들더라고요.

01:11:10.995 --> 01:11:15.535
투입이 없는데 어떻게 계속 에너지를
뽑아낼 수 있겠어요, 말이 안 되죠.

01:11:15.635 --> 01:11:19.416
그러면 이제 마무리를
지어나가 보도록 하겠습니다.

01:11:19.516 --> 01:11:24.057
지금까지 배워온 내용이 수능
유형에서는 어떻게 출제가 됐었고

01:11:24.157 --> 01:11:30.387
여러분이 볼 학교 시험에서는
어떤 식으로 접근이 되어질지

01:11:30.487 --> 01:11:33.295
문제를 해결해 나가보도록
하겠습니다.

01:11:33.395 --> 01:11:34.886
1번부터 보겠습니다.

01:11:34.986 --> 01:11:43.107
문제를 봤더니 위로 올라갈수록
대기압은 낮아지고 풍선은 팽창한다.

01:11:43.727 --> 01:11:45.616
그런데 문제에 또
뭐라고 나와 있느냐,

01:11:45.716 --> 01:11:51.033
단 풍선을 통한 열교환은 무시한다.

01:11:51.133 --> 01:11:54.782
열교환이 없다는 것을 뜻하는 거죠.

01:11:54.882 --> 01:12:01.202
이렇게 기체에 상태 변화를 묻는
문제는 어떻게 풀어야 됩니까?

01:12:01.302 --> 01:12:09.861
열역학 제1법칙과 보일 샤를의
법칙에 채워 넣으면 됩니다.

01:12:09.961 --> 01:12:11.452
문제에 뭐라고 되어있어요?

01:12:11.552 --> 01:12:14.936
열교환은 없다고 되어있습니다.

01:12:15.036 --> 01:12:17.422
그러면 Q는 뭡니까? 0이죠.

01:12:17.522 --> 01:12:24.367
그런데 부피가 어떻게 됐대요?
팽창했답니다.

01:12:24.467 --> 01:12:28.871
그러면 이게 만족되기 위해서는 내부
에너지의 변화량은 뭐여야 됩니까?

01:12:28.971 --> 01:12:31.127
마이너스 값을 가져야 되죠.

01:12:31.227 --> 01:12:33.037
그러면 여기다 메꾸는 문제죠?

01:12:33.137 --> 01:12:35.002
부피는 증가했습니다.

01:12:35.102 --> 01:12:38.612
그런데 온도, 내부 에너지의
변화량은 온도로 따지는 거죠?

01:12:38.712 --> 01:12:43.331
내부 에너지의 변화량은
온도 변화에 관계하고요.

01:12:43.431 --> 01:12:46.892
일은 압력 곱하기 부피
변화량에 관계합니다.

01:12:46.992 --> 01:12:48.271
그런데 온도가 어떻게 됐어요?

01:12:48.371 --> 01:12:51.705
지금 내부 에너지의 변화량이
마이너스니까 온도는 감소했죠.

01:12:51.805 --> 01:12:53.260
그러면 압력은 어떻게
된다는 소리야?

01:12:53.360 --> 01:12:57.187
많이 감소하는구나, 라는 걸
우리가 알 수 있게 되는 거죠.

01:12:57.287 --> 01:13:02.160
ㄱ, 온도는 감소한다, 맞죠?

01:13:02.260 --> 01:13:04.185
평균 속력을 물었습니다.

01:13:04.285 --> 01:13:10.139
기체의 평균 속력, 움직이는
속력은 뭐에 관계할까요?

01:13:10.239 --> 01:13:11.955
온도에 관계한다고 그랬죠.

01:13:12.055 --> 01:13:16.575
온도가 높으면 막 이러고 온도가
낮으면 이렇게 되는 거 아니야.

01:13:16.675 --> 01:13:20.970
따라서 온도가 높아졌냐
낮아졌냐를 보면 되는 거고요.

01:13:21.070 --> 01:13:22.062
온도가 어떻게 됐어요?

01:13:22.162 --> 01:13:27.255
낮아졌으니까 평균
속력도 느려졌겠죠.

01:13:27.355 --> 01:13:29.186
그래서 ㄴ 보기는 틀렸고요.

01:13:29.286 --> 01:13:31.427
ㄷ, 외부에 일을 한다.

01:13:31.527 --> 01:13:34.609
일했죠.

01:13:34.709 --> 01:13:38.780
W가 플러스 값이니까
일을 한 겁니다.

01:13:38.880 --> 01:13:43.248
그래서 ㄱ, ㄷ이 정답이 됩니다.

01:13:44.146 --> 01:13:46.421
2번 보도록 하겠습니다.

01:13:46.521 --> 01:13:50.431
2번 문제는 여러분이 조금
조심하셔서 접근해야 되는데

01:13:50.531 --> 01:13:52.806
일단 문제를 보도록 하겠습니다.

01:13:52.906 --> 01:13:55.925
문제를 봤더니 지금 어떤 상태냐,

01:13:56.025 --> 01:13:58.847
지금 이 상태로 정지해있고요.

01:13:58.947 --> 01:14:01.551
이 상태로 정지하게 된답니다.

01:14:01.651 --> 01:14:04.965

문제에 아주 중요한
포인트가 있습니다.

01:14:05.065 --> 01:14:08.309
바로 뭐냐, 여기서 정지래.

01:14:09.938 --> 01:14:11.842
이게 뭘 의미할까요?

01:14:11.942 --> 01:14:15.676
정지라는 말 속에는 알짜힘이
0이라는 것을 뜻합니다.

01:14:15.776 --> 01:14:21.803
지금 추랑 피스톤이
기체를 누르고 있어요.

01:14:24.066 --> 01:14:27.097
그런데 정지해있다는
건 뭘 의미해요?

01:14:27.197 --> 01:14:32.039
기체가 추와 피스톤을 이렇게
막고 있다는 것을 의미하고요.

01:14:32.139 --> 01:14:35.143
이 힘과 이 힘이 당연히
어떤 상태야?

01:14:35.243 --> 01:14:38.177
같은 상태라고 보게 되는 거죠.

01:14:38.277 --> 01:14:40.521
그래야 정지해있을 거 아닙니까.

01:14:40.621 --> 01:14:42.546
또 여기서도 어떤 상태래?

01:14:42.646 --> 01:14:43.458
정지해있대.

01:14:43.558 --> 01:14:44.447
그러면 어떻게 돼?

01:14:44.547 --> 01:14:47.408
추와 피스톤이 기체를
누르고 있는데,

01:14:47.508 --> 01:14:51.679
아래쪽으로 힘을 받고 있는데 이
상태로 정지해있기 위해서는

01:14:51.779 --> 01:14:58.995
역시나 기체가 피스톤과 추를
똑같은 힘으로 받쳐줘야 됩니다.

01:14:59.095 --> 01:15:06.062
결국 여기서나 여기서나
피스톤과 추의 중력.

01:15:06.162 --> 01:15:10.501

누르는 힘은, 눌리는
힘 중력은 똑같죠?

01:15:10.601 --> 01:15:14.975
그런데 정지해있으니까 결국
기체가 추와 피스톤,

01:15:15.075 --> 01:15:22.119
기체가 추와 피스톤을 막아주는
힘, 떠받치는 힘도 어떤 상태야?

01:15:22.219 --> 01:15:23.214
같은 상황입니다.

01:15:23.314 --> 01:15:28.225
그러면 이때나 이때나
뭐가 같다는 거야?

01:15:28.325 --> 01:15:36.810
기체의 압력이 일정하구나, 라는
것을 우리가 볼 수가 있습니다.

01:15:36.910 --> 01:15:38.548
또 문제에 어떤 조건이 있느냐,

01:15:38.648 --> 01:15:41.847
서서히 감소라는 표현이 있습니다.

01:15:41.947 --> 01:15:44.752
이 서서히 감소라는 걸
어떻게 해석할 수 있냐면,

01:15:44.852 --> 01:15:50.331
바로 여기서 여기까지 오는 동안
등속으로 내려왔다고 볼 수 있어요.

01:15:50.431 --> 01:15:52.963
그러면 등속이면 역시나 뭡니까?

01:15:53.063 --> 01:15:54.835
알짜힘이 0인 상태죠?

01:15:54.935 --> 01:15:58.588
알짜힘이 0인 상태면
어떻게 됩니까?

01:15:58.688 --> 01:16:07.412
역시나 추와 피스톤의 중력과
기체가 받치는 압력이

01:16:07.512 --> 01:16:11.317
동일한 상태로 유지되어서
내려왔다고 볼 수 있습니다.

01:16:11.417 --> 01:16:16.052
물론 얘가 내려오기 시작할 때는

01:16:16.152 --> 01:16:22.213
기체의 압력이 추와 피스톤의
중력보다 조금 작았겠죠.

01:16:22.313 --> 01:16:23.735
그래서 내려오기 시작했지만

01:16:23.835 --> 01:16:30.831
서서히 내려온다는 말 속에는 금방 다시
압력과 중력이 같아지는 상태가 되고요.

01:16:30.931 --> 01:16:33.722
그런데 여기서 서서히
내려오다가 또 멈추려면

01:16:33.822 --> 01:16:40.649
순간적으로 아주 잠깐 올리는
힘이 내려가려는 힘보다

01:16:40.749 --> 01:16:45.210
조금은 더 커야 순간적으로 알짜힘이
위 방향으로 돼서 내려가다가

01:16:45.310 --> 01:16:49.233
알짜힘으로 위 방향으로 작용해서 속력이
감소해서 멈추게 될 거 아니야.

01:16:49.333 --> 01:16:53.627
결국 평균을 내면 여기서는
얘가 얘보다 작았고요.

01:16:53.727 --> 01:16:56.547
여기서는 얘가 얘보다 살짝 컸지만

01:16:56.647 --> 01:17:00.353
평균적으로 보고 결과적으로 보면

01:17:00.453 --> 01:17:05.310
압력은 전체적으로 일정했다고
가정할 수 있는 상황이라고요.

01:17:05.410 --> 01:17:06.704
어쨌든 중요한 포인트.

01:17:06.804 --> 01:17:09.121
여기서 정지, 여기서 정지.

01:17:09.221 --> 01:17:14.713
결국 압력의 변화가 없는 상태였구나,
라고 판단할 수 있습니다.

01:17:14.813 --> 01:17:17.364
그러면 역시나 기체의
상태 변화 분석이니까

01:17:17.464 --> 01:17:26.673
$Q=\Delta U+W$ $PV \propto T$의
관계를 따져주면 되는 거죠.

01:17:26.773 --> 01:17:28.488
그러면 이제 보도록 하겠습니다.

01:17:28.588 --> 01:17:30.735
압력이 일정한 상태야.

01:17:30.835 --> 01:17:35.008
압력이 일정한 상태로
부피가 감소했어요.

01:17:35.108 --> 01:17:40.006
그러면 온도가 어떻게 돼야 될까요?
감소해야 됩니다.

01:17:41.268 --> 01:17:44.542
이때 W가 어떤 상태야?

01:17:44.642 --> 01:17:49.878
부피가 감소했으니까 W는
마이너스 값입니다.

01:17:49.978 --> 01:17:53.503
이때 ΔU와 어떤 상태입니까?

01:17:53.603 --> 01:17:56.724
온도가 감소했으니까
ΔU값도 마이너스입니다.

01:17:56.824 --> 01:17:59.072
그러니까 Q 값도 뭐가 돼요?

01:17:59.172 --> 01:18:00.772
마이너스가 되는 거죠.

01:18:00.872 --> 01:18:06.758
이 기체는 외부로 열을
내보내면서 온도가 감소하고

01:18:06.858 --> 01:18:12.195
부피도 감소한 상황이다, 라는 걸
볼 수 있는 조건이 되는 겁니다.

01:18:12.295 --> 01:18:16.952
그러고 봤더니 문제에 이 실린더
피스톤이 단열되어있다,

01:18:17.052 --> 01:18:21.996
열이 완벽하게 차단될 수 있는
상태다, 라는 조건이 없죠.

01:18:22.096 --> 01:18:23.259
이제 ㄱ부터 보겠습니다.

01:18:23.359 --> 01:18:24.497
온도는 증가한다.

01:18:24.597 --> 01:18:27.866
아니죠, ㄱ 보기 틀렸죠.

01:18:27.966 --> 01:18:31.667
기체는 외부로부터 일을 받는다.

01:18:31.767 --> 01:18:35.827
W값이 마이너스면 외부에서
기체에게 일을 해준 거니까

01:18:35.927 --> 01:18:39.508

기체의 입장에서는 일을
받았다고 표현을 합니다.

01:18:39.608 --> 01:18:46.624
ㄷ, 외부로 방출한 열은
내부 에너지 변화량과 같니?

01:18:46.724 --> 01:18:49.123
이 값과 이 값이 같니,
라고 물었어요.

01:18:49.223 --> 01:18:53.783
아니죠, 이 값은 이 값
더하기 이 값입니다.

01:18:53.883 --> 01:18:59.371
따라서 이 값은 내부 에너지의 변화량
값보다 클 수밖에 없습니다.

01:18:59.471 --> 01:19:06.112
그래서 ㄷ번 보기는 틀렸다는
걸 우리가 확인할 수 있죠.

01:19:06.212 --> 01:19:09.557
3번 문제 보도록 하겠습니다.

01:19:10.030 --> 01:19:14.483
3번 문제를 봤더니 문제에
지금 뭐라고 나와 있느냐,

01:19:14.583 --> 01:19:19.935
지금 이 상태에서 정지되어있었는데
B를 치우고 났더니

01:19:20.035 --> 01:19:22.141
이 상태로 정지한답니다.

01:19:22.241 --> 01:19:23.425
그러면 여기 볼까요?

01:19:23.525 --> 01:19:25.342
이 상태에서는 지금 어떻습니까?

01:19:25.442 --> 01:19:34.250
A와 B가 누르는 A+B,
피스톤의 중력으로 누르죠.

01:19:34.350 --> 01:19:42.594
그런데 정지해있으니까 이 기체가 얘네를
똑같은 힘으로 받치고 있습니다.

01:19:42.694 --> 01:19:43.930
그런데 여기서는 어때요?

01:19:44.030 --> 01:19:45.112
B를 치웠죠.

01:19:45.212 --> 01:19:47.896
그러니까 어때요, 지금?

01:19:47.996 --> 01:19:52.990

누르는 힘, 중력이 A의 중력과
피스톤의 힘만으로 작용합니다.

01:19:53.090 --> 01:19:55.167
그런데 이 상태로 정지해있으니까

01:19:55.267 --> 01:19:59.470
역시나 똑같은 힘으로
받쳐주고 있는 거죠.

01:19:59.570 --> 01:20:02.478
결국 이 받치는 힘이 뭡니까?

01:20:02.578 --> 01:20:07.038
기체가 받쳐주고 기체가 받치는
힘은 압력에 의한 거죠.

01:20:07.138 --> 01:20:10.526
결국 압력이 어떻게
돼야 되는 상태야?

01:20:10.626 --> 01:20:15.635
줄어들었다는 것을 이 상황을
통해서 확인할 수 있고요.

01:20:15.735 --> 01:20:17.823
또 문제에 뭐라고 나와 있느냐,

01:20:17.923 --> 01:20:20.803
단열된 피스톤, 단열된 실린더인데

01:20:20.903 --> 01:20:26.056
여기 안에 있는 기체에게 열을
넣어주거나 빼주는 상황도 아닙니다.

01:20:26.156 --> 01:20:29.544
그러니까 얘는 지금
어떤 상태인 거야?

01:20:29.644 --> 01:20:37.389
단열된 상태로 부피가
늘어난 단열 팽창이구나.

01:20:37.489 --> 01:20:39.954
지겹다, 그렇지만 한번 해봅시다.

01:20:40.107 --> 01:20:49.437
$Q=\Delta U+W$, $PV \propto T$의 관계만 따질 줄
알면 이런 문제는 다 해결되는 거야.

01:20:49.537 --> 01:20:53.909
단열된 상태로 부피가 늘었으니까

01:20:54.009 --> 01:20:57.487
내부 에너지의 변화량은
마이너스 값을 가져야 되고요.

01:20:57.587 --> 01:21:03.168
이때 부피는 늘었는데
내부 에너지 변화량.

01:21:03.268 --> 01:21:07.730
온도는 감소했으니까 압력은
많이 감소한 상황이 되겠구나.

01:21:07.830 --> 01:21:09.428
그래서 아까 우리가 짐작했던.

01:21:09.528 --> 01:21:15.707
압력이 많이 감소했구나, 라는 상황과
딱 맞아떨어지게 되는 거죠.

01:21:15.807 --> 01:21:20.816
ㄱ, 기체의 압력은 (가)에서가
(나)에서보다 크다, 맞죠?

01:21:20.916 --> 01:21:26.635
이 그림 상황에서 힘의
관계로 따져도 되고요.

01:21:26.735 --> 01:21:31.744
단열 팽창의 상태 파악을
통해서도 판단할 수 있었죠.

01:21:31.844 --> 01:21:33.191
ㄴ, 평균 속력.

01:21:33.291 --> 01:21:34.127
또 나왔죠?

01:21:34.227 --> 01:21:38.247
기체 분자의 움직임은 뭐에 관계해요?
온도에 관계한다고요.

01:21:38.347 --> 01:21:42.941
온도가 어떻게 됐어요?
내려갔으니까 속력도 느려지겠죠.

01:21:43.041 --> 01:21:47.554
그러니까 (가)가 (나)보다 속력이 클
것이다, 라는 걸 알 수 있고요.

01:21:47.654 --> 01:21:51.853
ㄷ, (가)에서 (나)로
변하는 동안 한 일은.

01:21:51.953 --> 01:21:55.743
이 값은 이 값과 같니,
라고 물었어요.

01:21:55.843 --> 01:22:00.546
이 값과 이 값이 같으니까
이게 0인 거 아니야.

01:22:00.646 --> 01:22:04.643
이 값과 이 같이 같으니까 플러스,
마이너스 값 해서 0이 나오게 됩니다.

01:22:04.743 --> 01:22:08.210
그래서 ㄱ, ㄴ, ㄷ
모두 정답이라는 걸

01:22:08.310 --> 01:22:11.125
우리가 판단할 수 있게 되죠.

01:22:11.864 --> 01:22:17.259
이제 마지막 문제 4번입니다.

01:22:17.359 --> 01:22:20.365
문제를 봤더니 지금
뭐라고 되어있느냐,

01:22:20.465 --> 01:22:28.664
(가)에서 (나)로 갈 때는 열량
Q를 가했다, 라고 되어있고요.

01:22:28.764 --> 01:22:36.361
(나)에서 (다)를 갈 때는 열을
주고받는 관계가 나와 있지 않은데

01:22:36.461 --> 01:22:38.528
문제에는 또 뭐라고 나와 있어요?

01:22:38.628 --> 01:22:43.337
단열된 실린더, 단열된
피스톤입니다.

01:22:43.437 --> 01:22:47.613
그러면 완벽하게 열이 차단된 상태로

01:22:47.713 --> 01:22:51.384
부피만 쪼그라든 상태라는
것을 판단할 수 있죠.

01:22:51.484 --> 01:22:54.873
어쨌든 우리가 이러한 문제의
유형은 어떻게 판단한다고요?

01:22:54.973 --> 01:23:03.237
$Q=\Delta U+W$, $PV \propto T$의
관계를 통해서 파악하는데

01:23:03.337 --> 01:23:07.402
(가)에서 (나)로
갈 때는 어떻게 됩니까?

01:23:07.502 --> 01:23:10.865
열에너지를 공급했죠?

01:23:10.965 --> 01:23:13.229
그런데 부피가 늘었어요.

01:23:13.329 --> 01:23:15.314
얘는 지금 어떻게 되는지는 모르죠?

01:23:15.414 --> 01:23:18.137
그래서 플러스일 수도 있고 0일
수도 있고 마이너스일 수도 있으니까

01:23:18.237 --> 01:23:19.832
여기다 따져주면 되겠죠?

01:23:19.932 --> 01:23:20.734

어떻게 됩니까?

01:23:20.834 --> 01:23:24.216
부피가 늘었죠?

01:23:26.534 --> 01:23:27.929
아, 문제에 나와 있죠?

01:23:28.029 --> 01:23:33.850
문제에 A의 압력은 (가)에서 (나)
과정에서 일정하다고 되어있습니다.

01:23:33.950 --> 01:23:36.525
그러니까 압력이 일정하죠.

01:23:36.625 --> 01:23:39.118
그러니까 압력 곱하기
부피가 온도인데

01:23:39.218 --> 01:23:42.635
부피가 늘었으니까
온도도 늘어야 되죠.

01:23:42.735 --> 01:23:47.823
온도가 느니까 내부 에너지의 변화량
값도 플러스가 나오게 됩니다.

01:23:47.923 --> 01:23:52.668
이번에는 (나)에서 (다)
갈 때입니다.

01:23:52.768 --> 01:23:55.559
이때는 열이 완벽하게
차단된 상태입니다.

01:23:55.659 --> 01:24:00.101
이 상태에서 부피가
쪼그라들었습니다.

01:24:00.201 --> 01:24:02.576
그래서 어떻게 됩니까?

01:24:02.676 --> 01:24:05.735
내부 에너지의 변화량,
온도는 증가해야 되죠.

01:24:05.835 --> 01:24:09.426
부피는 쪼그라들었는데
온도는 증가했으니까

01:24:09.526 --> 01:24:16.296
압력은 많이 증가하겠구나, 라는 걸
우리가 판단할 수 있게 되는 거죠.

01:24:16.396 --> 01:24:18.794
그러면 ㄱ부터 보도록 합시다.

01:24:18.894 --> 01:24:23.310
A의 온도는 어떻게 되느냐,

01:24:23.410 --> 01:24:24.813

계속 올라가고 있죠.

01:24:24.913 --> 01:24:27.078
(가)에서 (나)갈 때
온도 올라가고요.

01:24:27.178 --> 01:24:30.833
(나)에서 (다)갈 때도
온도가 올라갔습니다.

01:24:30.933 --> 01:24:36.523
따라서 A의 온도는 (가)에서가
(다)에서보다 낮다, 맞는 이야기고요.

01:24:36.623 --> 01:24:42.102
ㄴ, (나)→(다) 과정에서
A의 압력은 일정하다, 아니죠?

01:24:42.202 --> 01:24:46.840
(나)→(다)과 과정에서 A의 압력은
매우 크게 증가를 하고 있습니다.

01:24:46.940 --> 01:24:48.852
ㄴ 보기는 틀렸고요.

01:24:48.952 --> 01:24:53.263
(가)→(나)
과정에서 A가 한 일.

01:24:53.363 --> 01:25:02.343
이것과 (나)→(다) 과정에서
내부 에너지 이 값을 비교하랍니다.

01:25:02.443 --> 01:25:07.750
도대체 이 값과 이 값을
어떻게 비교할 수 있을까?

01:25:07.850 --> 01:25:11.983
그런데 가만히 봤더니 우리는
뭘 알 수 있느냐,

01:25:12.083 --> 01:25:14.869
이 값과 이 값을 알 수 있죠.

01:25:14.969 --> 01:25:17.467
이 값과 이 값은 어떻습니까?

01:25:17.567 --> 01:25:18.578
무조건 같죠?

01:25:18.678 --> 01:25:22.941
이 값과 이 값이 같으니까 두 값을
합쳐서 0이 나올 거 아니야.

01:25:23.041 --> 01:25:26.343
그러면 결국 우리는 이 값과 이
값을 비교하라고 그랬으니까

01:25:26.443 --> 01:25:34.187
결국 이 값과 이 값이 같으니까 이
값과 이 값을 비교하면 되죠.

01:25:34.287 --> 01:25:37.434
기체가 하는 일은 어떻게 구했죠?

01:25:37.534 --> 01:25:41.827
압력 곱하기 부피 변화량입니다.

01:25:41.927 --> 01:25:43.499
부피 변화량은 어때요?

01:25:43.599 --> 01:25:48.068
(가)에서 (나) 갈 때
부피 변화량 값과

01:25:48.168 --> 01:25:52.881
(나)에서 (다) 갈 때 부피 변화량 값은 어때요?
같아요.

01:25:52.981 --> 01:25:55.681
부피가 여기는 늘고
여기는 부피가 줄어서

01:25:55.781 --> 01:25:59.588
결국 A의 부피는 (가)와
(다)가 같다고 했으니까

01:25:59.688 --> 01:26:02.404
(가)와 (나)에서
부피 변화량 값과

01:26:02.504 --> 01:26:05.543
(나)와 (다)에서 부피
변화량 값이 같습니다.

01:26:05.643 --> 01:26:10.543
그러면 결국 일은 누구에
의해서 결정된다는 소리야?

01:26:10.643 --> 01:26:13.953
압력에 의해서 결정이
된다는 소리죠.

01:26:14.053 --> 01:26:18.070
(가)→(나)에서는 압력이 어떤 상태야?
일정한 상태야.

01:26:18.170 --> 01:26:21.660
그런데 (나)→(다)에서는
압력이 증가하는 상태야.

01:26:21.760 --> 01:26:25.391
그러면 일이 어느 게 더 크겠니?

01:26:25.491 --> 01:26:30.709
곱하기 값은 똑같은데 압력이 얘는
일정하고 얘는 압력이 증가하니까

01:26:30.809 --> 01:26:33.626
당연히 증가하는 값으로 곱하기가

01:26:33.726 --> 01:26:36.509

일정한 값으로 곱하기보다
더 클 수밖에 없죠.

01:26:36.609 --> 01:26:41.375
결국은 이 값이 이
값보다 크다는 겁니다.

01:26:41.475 --> 01:26:47.644
(나)→(다)가 (가)→(나)보다
더 크구나, 라는 것을 뜻하는 거죠.

01:26:47.744 --> 01:26:54.340
그래서 ㄷ번 보기가 틀렸다고 우리가
알 수 있게 되는 거였습니다.

01:26:54.440 --> 01:26:55.224
됐죠?

01:26:55.324 --> 01:27:00.035
결과적으로 이번 단원은 뭐만
따질 수 있으면 되는 거였어?

01:27:00.135 --> 01:27:07.883
Q=ΔU+W, PV∝T의 관계를 증가,
감소, 일정, 플러스, 마이너스, 0.

01:27:07.983 --> 01:27:10.208
이걸 여러분이 메꿔
넣을 수만 있다면

01:27:10.308 --> 01:27:14.041
관련되어있는 문제들을 무리 없이
해결할 수 있다는 겁니다.

01:27:14.141 --> 01:27:16.225
생각보다 어려운 단원이 아닙니다.

01:27:16.325 --> 01:27:20.087
그리고 생각보다 흥미롭게
여러분이 과정을 밟아서

01:27:20.187 --> 01:27:23.814
결과를 만들어낼 수 있는
단원이라고 생각이 듭니다.

01:27:23.914 --> 01:27:24.910
힘내시고요.

01:27:25.010 --> 01:27:30.151
자신감 있게 도전하셔서 여러분
것으로 소화해내시길 바랍니다.

01:27:30.251 --> 01:27:32.481
감사합니다.