

WEBVTT

00:00:10.588 --> 00:00:11.485

반갑습니다.

00:00:11.585 --> 00:00:14.126

물리학1 기초개념학습 벽 샘입니다.

00:00:14.226 --> 00:00:19.581

오늘은 18번째 주제, 파동의 성질에
대한 내용 배워보도록 할게요.

00:00:19.681 --> 00:00:24.051

이 파동, 어디서 뭔가 들어본
느낌 이런 거 있는 거죠?

00:00:24.151 --> 00:00:27.952

우리 중학교 때도 중요하게
다뤘었던 내용이기도 하거든요.

00:00:28.052 --> 00:00:33.400

중학교 때 배운 걸 전체로
내용을 설명할 건 아니니까

00:00:33.500 --> 00:00:35.895

중학교 때 선생님, 저 공부를
잘 못해서 모르겠어요.

00:00:35.995 --> 00:00:38.629

전혀 걱정하실 필요 없습니다.

00:00:38.729 --> 00:00:41.924

기초부터 차근차근
설명해드릴 거니까.

00:00:42.024 --> 00:00:43.219

도대체 파동이랑 뭐냐,

00:00:43.319 --> 00:00:47.666

파동은 어떻게 표현할 것이냐에 대한
내용들로 채워나가도록 할게요.

00:00:47.766 --> 00:00:50.986

오늘 강의를 통해서 여러분이
반드시 익혀야 될 핵심 용어들

00:00:51.086 --> 00:00:52.797

먼저 좀 확인해보도록 하겠습니다.

00:00:52.897 --> 00:00:55.388

첫 번째, 파동.
도대체 이게 뭐냐,

00:00:55.488 --> 00:00:57.159

파동의 종류가 있어요.

00:00:57.259 --> 00:01:01.360

횡파라는 아이가 있고
종파라는 아이가 있는데

00:01:01.460 --> 00:01:05.421
애네들은 어떤 특성을 갖고 있는지
설명을 드리도록 할 거고요.

00:01:05.521 --> 00:01:10.119
파동을 표현하는 용어들 중에
주기, 진동수, 파장.

00:01:10.219 --> 00:01:11.836
이런 것들이 존재하고요.

00:01:11.936 --> 00:01:18.169
그리고 파동의 속력은 또 어떻게 표현할지에
대한 내용도 다뤄나가도록 하겠습니다.

00:01:18.269 --> 00:01:22.007
그리고 나면 파동에 의해서
나타나는 현상 중에

00:01:22.107 --> 00:01:25.638
오늘은 굴절에 대한 이야기도
좀 진행을 해보도록 할게요.

00:01:25.738 --> 00:01:30.907
굴절이란 도대체 뭐냐, 굴절률이라는
건 어떻게 정의내려지는지.

00:01:31.007 --> 00:01:35.461
그리고 입사각,
굴절각으로 표현되어지는

00:01:35.561 --> 00:01:38.684
굴절에 대한 이야기도
다뤄보도록 하겠고요.

00:01:38.784 --> 00:01:41.266
굴절에 의해서 나타나는 현상 중에

00:01:41.366 --> 00:01:46.415
우리는 오목렌즈와 볼록렌즈의 특성에
대해서 다뤄보도록 하겠고요.

00:01:46.515 --> 00:01:50.504
그리고 사실은 신기루라는 내용도
여기서 다뤄봐야 되는데

00:01:50.604 --> 00:01:53.405
이 신기루라는 내용은
이어지는 강의.

00:01:53.505 --> 00:02:02.559
19번째 강의인 전반사와 광통신에서
따로 설명을 드리도록 하겠습니다.

00:02:02.659 --> 00:02:06.933
그러면 오늘의 강의 본격적으로
시작해보도록 하겠습니다.

00:02:07.033 --> 00:02:14.270
먼저 파동이란 뭐냐에 대해서
설명해 나가보도록 할게요.

00:02:14.370 --> 00:02:20.609
파동을 보여줄 수 있는 대표적인 예는
바로 용수철을 이용하는 겁니다.

00:02:20.709 --> 00:02:22.300
여기 지금 용수철이 있어요.

00:02:22.400 --> 00:02:25.247
용수철을 이렇게 쭉 늘여놓고요.

00:02:25.347 --> 00:02:30.472
제 오른손을 위아래로 한번
움직여보도록 하겠습니다.

00:02:30.572 --> 00:02:35.377
내가 오른손을 위아래로 움직이면
어떤 일이 일어나느냐,

00:02:35.477 --> 00:02:37.312
뭐가 가는 게 보였죠?

00:02:37.412 --> 00:02:40.078
다시 오른손을 위아래로
움직여볼게요.

00:02:40.178 --> 00:02:45.705
그러면 뭐가 이렇게 갑니다.

00:02:45.805 --> 00:02:49.242
이 가는 걸 바로 뭐라고 부르느냐,

00:02:49.342 --> 00:02:52.667
이런 현상을 우리는
파동이라고 불러요.

00:02:52.767 --> 00:02:57.323
그래서 파동이란 뭐냐, 내가
오른손을 위아래로 움직였어요.

00:02:57.423 --> 00:03:01.369
위아래로 움직였다는 건 진동을
줬다는 것을 뜻하거든요.

00:03:01.469 --> 00:03:09.858
바로 파동이란 진동한 에너지가,
진동한 출렁임이 이동해가는.

00:03:09.958 --> 00:03:14.172
다시 한번 보시면, 제가
위아래로 손을 움직이게 되면

00:03:14.272 --> 00:03:20.822
위로 불룩한 뭔가가 쭉 가는 게 보입니다.
봤죠?

00:03:20.922 --> 00:03:24.109
다시, 위아래로 불룩한 게
쭉 가는 게 보입니다.

00:03:24.209 --> 00:03:27.010

이 현상을 우리는 파동이라고 부르는 거예요.

00:03:27.110 --> 00:03:35.738
그래서 파동이란 바로 뭐냐,
진동에너지가 출렁이는.

00:03:35.838 --> 00:03:37.367
불룩한, 출렁이는.

00:03:37.467 --> 00:03:50.677
진동에너지가 쪽 진행되는
현상을 파동이라고 불러줘요.

00:03:50.777 --> 00:03:54.399
이때 파동의 일반적인
특성은 바로 뭐냐,

00:03:54.499 --> 00:03:56.842
물질을 타고 갑니다.

00:03:56.942 --> 00:04:00.680
방금 전에 보셨던 이 파동은
뭘 타고 가는 거야?

00:04:00.780 --> 00:04:02.639
용수철을 타고 가는 거예요.

00:04:02.739 --> 00:04:07.951
용수철을 타고 가는데
자세히 보시면 쪽 가는데

00:04:08.051 --> 00:04:11.400
이 가는 게 용수철이 가는 건가요?

00:04:11.500 --> 00:04:13.421
이게 지금 용수철이 가는 거야?
아니죠.

00:04:13.521 --> 00:04:16.140
용수철이 가려면 이렇게 가야지
용수철이 가는 거잖아?

00:04:16.240 --> 00:04:18.482
가는 건 용수철이 아닙니다.

00:04:18.582 --> 00:04:24.341
가고 있는 건 용수철이 아니라
진동에너지가 갑니다.

00:04:24.441 --> 00:04:25.647
용수철은 안 가요.

00:04:25.747 --> 00:04:30.621
어쨌든 파동이란 물질을
통해서 이동하는 현상이야.

00:04:30.721 --> 00:04:35.172
용수철이라는 물질을 통해서 이동하는
현상을 파동이라고 부르는데

00:04:35.272 --> 00:04:43.246

진동에너지가 진행되어가는
물질을 매질이라고 불러요.

00:04:43.346 --> 00:04:49.207

그런데 이 매질은
이동하지 않습니다.

00:04:49.307 --> 00:04:53.640

매질은 이동하지 않는다.

00:04:53.740 --> 00:04:57.060

그러면 매질은 뭐만 합니까?

00:04:57.160 --> 00:05:00.512

진동만 합니다.

00:05:02.281 --> 00:05:03.792

이게 무슨 뜻인지 이해하셨어요?

00:05:03.892 --> 00:05:06.914

방금 전에 보셨다시피
용수철, 매질.

00:05:07.014 --> 00:05:09.614

용수철이 가지 않는다고요.

00:05:09.714 --> 00:05:14.301

용수철은 그냥 위아래로
출렁이기만 했어요.

00:05:14.401 --> 00:05:16.467

여기서 올라갔다 내려오고
여기서도 올라갔다 내려오고

00:05:16.567 --> 00:05:20.591

여기서도 올라갔다
내려온 것뿐이라고요.

00:05:20.691 --> 00:05:23.120

이동하지 않았어, 가지 않았다고.

00:05:23.220 --> 00:05:26.058

이렇게만 움직였다고.

00:05:26.158 --> 00:05:27.131

오케이?

00:05:27.231 --> 00:05:30.313

그래서 우리는 이런 표현을
사용하게 되는 거죠.

00:05:30.413 --> 00:05:35.640

매질은 이동하지 않는다,
매질은 진동만 한다.

00:05:35.740 --> 00:05:43.046

그런데 파동은 이 매질의 진동과
에너지의 진행 방향으로

00:05:43.146 --> 00:05:45.002

두 가지로 분류를 합니다.

00:05:45.102 --> 00:05:53.584
그 두 가지가 바로 뭐냐, 횡파라는
파동과 종파라는 파동으로 분류를 해요.

00:05:53.684 --> 00:05:58.580
이 횡파라는 파동은 여러분이 방금
보셨다시피 이런 파동입니다.

00:05:58.680 --> 00:06:01.256
이런 파동을 우리는
횡파라고 불러요.

00:06:01.356 --> 00:06:06.522
지금 보시면 진동에너지는
어떻게 이동했어요?

00:06:06.622 --> 00:06:08.360
용수철을 타고 이동해갔습니다.

00:06:08.460 --> 00:06:11.320
진동에너지는 용수철을
타고 진행해갈 때

00:06:11.420 --> 00:06:13.167
용수철은 어떻게 움직였어요?

00:06:13.267 --> 00:06:14.994
위아래로만 움직였죠.

00:06:15.094 --> 00:06:17.817
그러면 여기서 뭐라고
표현할 수 있어요?

00:06:17.917 --> 00:06:24.111
진동에너지의 진행 방향,
에너지의 진행 방향과 매질.

00:06:24.211 --> 00:06:28.941
용수철의 진동 방향은 몇 도를
이룬다고 볼 수 있어요?

00:06:29.041 --> 00:06:31.682
90도를 이룬다고 볼 수 있죠.

00:06:31.782 --> 00:06:38.015
이렇게 용수철은 진동하면서
이렇게 진행하고 있으니까.

00:06:38.115 --> 00:06:42.943
그래서 내가 이 파동을
연속적으로 만들어 보내주면

00:06:43.043 --> 00:06:46.560
파가 이렇게 진행해가는 거죠.

00:06:46.660 --> 00:06:52.344
진동에너지가 쪽 진행해가는
모습으로 나타낼 수 있게 됩니다.

00:06:52.444 --> 00:06:56.339

그래서 횡파라는 파동은
어떤 모습의 파동이나,

00:06:56.439 --> 00:06:58.335

이런 모습의 파동이에요.

00:06:58.435 --> 00:07:02.500

이런 모습의 파동으로 가는 걸
우리는 횡파라고 부르고요.

00:07:02.600 --> 00:07:04.847

횡파는 어떤 특징을 갖고 있느냐,

00:07:04.947 --> 00:07:09.269

진동에너지의 진행 방향과.

00:07:09.369 --> 00:07:22.050

파동이 진행하는 진행 방향과
매질의 진동 방향이 수직이면

00:07:22.150 --> 00:07:25.673

우리는 이것을 횡파라고 불러줍니다.

00:07:25.773 --> 00:07:33.509

그래서 이런 줄 같은 애들로
진동을 만드는 거죠.

00:07:33.609 --> 00:07:37.158

그러면 이런 애를 우리는
횡파라고 불러줘요.

00:07:37.258 --> 00:07:41.555

그러면 종파는 어떤 애를
종파라고 불러주느냐,

00:07:41.655 --> 00:07:45.162

바닥에다 놓고 보여주면
깔끔하게 보이는데

00:07:45.262 --> 00:07:47.376

그냥 이렇게 여기서
보여드리도록 하겠습니다.

00:07:47.476 --> 00:07:51.167

이번에는 내가 용수철을
위아래로 움직이지 않고

00:07:51.267 --> 00:07:58.956

용수철을 따라서 앞뒤로
진동시켜볼게요.

00:07:59.056 --> 00:08:02.927

그러면 뭔가가 역시나
용수철을 타고 가는데요.

00:08:03.027 --> 00:08:05.920

잘 봐야돼. 원래 바닥에
놓고 해야 잘 보이는데

00:08:06.020 --> 00:08:10.079

여기서는 그냥 공중에 놓고 할게요.

00:08:10.179 --> 00:08:13.155
보여? 다시.

00:08:13.440 --> 00:08:15.815
뭔가 쭉 가는 게 보이죠?

00:08:15.915 --> 00:08:17.762
뭔가 쭉 가는 게 보여요.

00:08:17.862 --> 00:08:21.319
가는 이런 파동을 우리는
바로 뭐라고 부르느냐,

00:08:21.419 --> 00:08:22.700
종파라고 불러요.

00:08:22.800 --> 00:08:25.599
그래서 종파를 그림으로
그리면 어떻게 보이느냐,

00:08:25.699 --> 00:08:33.505
이렇게 압축됐던 용수철이 쭉
진행해가는 모습으로 보이는 거죠.

00:08:33.605 --> 00:08:36.572
압축된 모습이 쭉
진행해가는 이러한 파동을

00:08:36.672 --> 00:08:38.566
우리는 종파라고 부르고요.

00:08:38.666 --> 00:08:42.675
종파는 어떤 특성을 갖고
있는 애냐, 진행 방향.

00:08:42.775 --> 00:08:44.489
쭉 가잖아? 압축된 게 가잖아?

00:08:44.589 --> 00:08:52.936
진행 방향과 이때 용수철은,
매질은 어떻게 했어?

00:08:53.036 --> 00:08:55.133
이게 이동하는 게 매질이야?
아니야.

00:08:55.233 --> 00:09:02.530
매질은 어떻게 했느냐, 내 손의
움직임에 맞춰서 이렇게 진동한 거예요.

00:09:02.630 --> 00:09:05.911
그냥 이렇게만 진동했어요.

00:09:06.011 --> 00:09:16.839
그래서 에너지의 진행 방향과
매질의 진동 방향이

00:09:16.939 --> 00:09:24.862
나란한 파동을 우리는

종파라고 불러줍니다.

00:09:24.962 --> 00:09:26.152
되셨죠?

00:09:26.252 --> 00:09:28.245
충분히 구분하실 수 있는 거죠?

00:09:28.345 --> 00:09:29.457
굉장히 중요해요.

00:09:29.557 --> 00:09:31.491
여러분이 반드시 기억하셔야 되고요.

00:09:31.591 --> 00:09:39.228
그러면 횡파로 에너지가 진행하는 파동의
대표적인 애들이 바로 누가 있느냐,

00:09:39.328 --> 00:09:43.474
물결파가 있고요.

00:09:43.574 --> 00:09:46.693
그리고 빛의 또 다른 표현.

00:09:46.793 --> 00:09:48.535
우리가 뒤쪽에서 배울 내용인데요.

00:09:48.635 --> 00:09:54.018
빛의 또 다른 표현이
바로 전자기파이거든요.

00:09:54.118 --> 00:09:56.386
그래서 물결파, 전자기파.

00:09:56.486 --> 00:10:01.553
애네들은 횡파로서 에너지를
진행시키고 있고요.

00:10:01.653 --> 00:10:05.730
종파로 에너지를 진행시키는
파동에는 뭐가 있느냐,

00:10:05.830 --> 00:10:07.865
바로 소리가 있습니다.

00:10:07.965 --> 00:10:09.596
우리는 소리를 뭐라고 불러요?

00:10:09.696 --> 00:10:11.342
음파라고 부르죠.

00:10:11.442 --> 00:10:14.791
그런데 이 소리에는 또
어떤 소리도 있느냐,

00:10:14.891 --> 00:10:17.484
초음파라는 것도 있어요.

00:10:17.584 --> 00:10:22.050
이 초음파는 소리가 아닌 거로
생각하는 친구들이 있어요.

00:10:22.150 --> 00:10:24.512
아니야, 초음파도 소리아.

00:10:24.612 --> 00:10:30.035
단지 우리가 듣지 못하는
소리, 라고 해서

00:10:30.135 --> 00:10:32.327
초음파라고 부르는 것뿐입니다.

00:10:32.427 --> 00:10:40.850
이 소리, 음파, 초음파는 종파로
에너지를 전파시킨다는 거

00:10:40.950 --> 00:10:44.105
여러분이 기억하실 수
있어야 됩니다.

00:10:44.205 --> 00:10:49.732
이렇게 해서 파동에 대한 정의,
분류를 좀 내려봤고요.

00:10:49.832 --> 00:10:55.048
그러면 이제 본격적으로 파동에 대한
표현으로 들어가 보도록 하겠습니다.

00:10:55.148 --> 00:11:01.234
파동을 표현하기 위해선 우리가 어떠한
상황을 이해할 수 있어야 되냐면,

00:11:01.334 --> 00:11:05.567
여기 지금 내가 용수철을
이용해서 파동을 만들어볼게요.

00:11:05.667 --> 00:11:10.615
제가 용수철을 이용해서 파동을 만들면
용수철을 타고 파동이 이동해가죠.

00:11:10.715 --> 00:11:11.856
이렇게 이동해갑니다.

00:11:11.956 --> 00:11:17.677
그러면 내가 파동을 쭉 만들어주면 이
파동이 용수철을 타고 쭉 이동해가요.

00:11:17.777 --> 00:11:23.251
파동을 만들면 용수철을 타고
파동이 쭉 이동해갑니다.

00:11:23.351 --> 00:11:29.206
그 이동해가는 모습을 순간적으로
찰각 사진을 찍으면

00:11:29.306 --> 00:11:32.143
이런 모습으로 보이게 되겠죠.

00:11:32.243 --> 00:11:37.264
이렇게 있을 때 용수철을 길게
늘여놓고 보여주면 좋은데

00:11:37.364 --> 00:11:39.999

내 손이라는 범위 내에서
짧게 보여주다 보니까

00:11:40.099 --> 00:11:42.005

지금 제한되어있는 부분이 있어요.

00:11:42.105 --> 00:11:47.462

어쨌든 용수철을 통해서
파가 이렇게 만들어지고요.

00:11:47.562 --> 00:11:54.683

이 모습이 그대로 이동해가는 걸
우리는 횡파라고 불러줄 수 있죠.

00:11:54.783 --> 00:11:58.759

어쨌든 파가 만들어지고 파가
이동해갈 때 사진을 찍으면

00:11:58.859 --> 00:12:01.343

이렇게 찰카하고 찍어지고요.

00:12:01.443 --> 00:12:05.589

이때 이 y 축은 바로 뭐가 되느냐,

00:12:05.689 --> 00:12:08.119

높이 값에 해당하는 변위가 되고요.

00:12:08.219 --> 00:12:15.573

x 축은 뭐가 되느냐, 이 길이에
해당하는 거리가 되겠죠.

00:12:15.673 --> 00:12:18.298

이때 파동이 이렇게 표현되어졌을 때

00:12:18.398 --> 00:12:23.920

횡파가 이렇게 표현되어졌을
때 우리는 이 높이 값을.

00:12:24.020 --> 00:12:25.210

이 높이가 아니야.

00:12:25.310 --> 00:12:27.368

이 절반의 높이 값이야.

00:12:27.468 --> 00:12:30.529

이 높이 값을 우리는
뭐라고 부르기로 했느냐,

00:12:30.629 --> 00:12:33.639

진폭이라고 부르기로 했고요.

00:12:33.739 --> 00:12:39.515

이 불룩한 부분을 뭐라고
부르기로 했느냐,

00:12:39.615 --> 00:12:42.281

마루라고 부르기로 했고요.

00:12:42.381 --> 00:12:47.488

옴폭 들어간 부분은 뭐라고

부르기로 했느냐,

00:12:47.588 --> 00:12:51.054
골이라고 부르기로 했습니다.

00:12:51.154 --> 00:12:53.779
그러면 여기서 중요한
게 바로 뭐냐,

00:12:53.879 --> 00:12:57.522
내가 출렁이므로
웨이브를 만들잖아요?

00:12:57.622 --> 00:13:04.612
그러면 이 웨이브가 용수철을 타고.

00:13:07.271 --> 00:13:16.976
다시, 이것 훨씬 더 길게 해놓고
해야 실험이 잘 되거든.

00:13:17.076 --> 00:13:18.644
그런데 제한된 조건에서 할게.

00:13:18.744 --> 00:13:21.059
내가 여기서 출렁임을
만들면 출렁임이

00:13:21.159 --> 00:13:24.699
용수철을 타고 그대로
쭉 이동해가는 거죠.

00:13:24.799 --> 00:13:26.127
그대로 이동해갑니다.

00:13:26.227 --> 00:13:28.917
그러면 내가 이렇게 출렁임을 만들면

00:13:29.017 --> 00:13:32.434
이 출렁임이 그대로
이동해가는 거야.

00:13:32.534 --> 00:13:38.100
이게 그대로, 파의 모습이
그대로 이동해간다고요.

00:13:38.200 --> 00:13:41.063
그러면 그대로 이동해가는
모습을 제가 그려볼게요.

00:13:41.163 --> 00:13:50.971
애가 옆으로 조금 이동했을 때를 그리면
이렇게 옮겨오는 모습으로 그려지겠죠.

00:13:53.401 --> 00:13:56.061
이때 여러분이 중요하게
기억해야 될 게 있어요.

00:13:56.161 --> 00:14:00.570
바로 여기에 있던 용수철은
이쪽으로 옮겨왔나요?

00:14:00.670 --> 00:14:03.738

지금 블록하게 만들어진
용수철이 있으면

00:14:03.838 --> 00:14:10.473

이 블록하게 만들어진 용수철이
이렇게 옮겨온 건가요?

00:14:10.573 --> 00:14:14.918

아니죠, 용수철, 매질은
이동하지 않아요.

00:14:15.018 --> 00:14:17.739

여기에 있던 용수철은 그냥
어디로 간 거에 불과해?

00:14:17.839 --> 00:14:19.769

여기로 내려온 거에 불과해요.

00:14:19.869 --> 00:14:23.687

여기에 있던 용수철은
여기로 내려온 거예요.

00:14:23.787 --> 00:14:25.408

그러면 여기로 올라간 건 누구니?

00:14:25.508 --> 00:14:29.685

여기에 있던 애가
위로 올라간 거죠.

00:14:29.785 --> 00:14:32.194

그렇게 우리가 판단하실
수 있어야 됩니다.

00:14:32.294 --> 00:14:34.693

그런데 여기서 또 시간이
지나면 어떻게 될까요?

00:14:34.793 --> 00:14:37.470

애는 그대로 이동해간다고요.

00:14:37.570 --> 00:14:41.509

용수철이 계속 길면 이
웨이브가, 이 파형이,

00:14:41.609 --> 00:14:45.667

내가 출렁이면서 만든 애가
그대로 쭉 이동해갑니다.

00:14:45.767 --> 00:14:52.240

그러면 애가 또 이렇게
이동해오겠죠, 옆으로.

00:14:55.014 --> 00:14:57.012

그러면 또 시간이 지나면
어떻게 되겠어요?

00:14:57.112 --> 00:15:05.452

애가 그대로 또 이동해가겠죠.

00:15:05.552 --> 00:15:07.266

그러면 또 시간이 지나면
어떻게 되겠어요?

00:15:07.366 --> 00:15:10.894
그대로 이동해가서 이번에는 무슨
색으로 다시 나타나겠어요?

00:15:10.994 --> 00:15:13.769
다시 흰색으로 나타나겠죠.

00:15:13.869 --> 00:15:17.792
여기서 여러분이 보시면
내가 흰색 웨이브를 만들면

00:15:17.892 --> 00:15:24.755
이 흰색 웨이브가 그대로 옮겨가면서
노란색, 빨간색, 파란색으로 이동해가서

00:15:24.855 --> 00:15:27.297
다시 흰색으로 나타나게 됩니다.

00:15:27.397 --> 00:15:32.600
그러면 내가 만들어진
웨이브가, 파동이, 출렁임이

00:15:32.700 --> 00:15:36.059
흰색에서 출발해서
다시 쪽 이동해가서

00:15:36.159 --> 00:15:41.057
다시 흰색으로 나타날 때까지
이동해간 거리는 이만큼이 되죠.

00:15:41.157 --> 00:15:44.295
그 이동해간 거리.

00:15:44.395 --> 00:15:50.038
흰색에서 출발해서 다시 흰색이
나타날 때까지 이동해간 거리를

00:15:50.138 --> 00:15:52.053
우리는 뭐라고 부르기로 했느냐,

00:15:52.153 --> 00:15:55.222
파장이라고 부르기로 했고요.

00:15:55.322 --> 00:15:58.224
기호로는 람다(λ)라고 쓰기로 했습니다.

00:15:58.364 --> 00:16:01.613
파장은 거리, 길이야.

00:16:01.713 --> 00:16:06.249
움직여간 길이라고,
움직여간 거리라고요.

00:16:06.349 --> 00:16:11.564
그러면 이 불룩한 부분도
따지면 그대로 이동해가고

00:16:11.664 --> 00:16:14.377

여기서부터 따지면
어디까지가 파장이예요?

00:16:14.477 --> 00:16:19.337
애가 그대로 이동해가서 다시 흰색이
될 때까지 이동해간 거리니까

00:16:19.437 --> 00:16:21.684
불룩한 부분에서 불룩한 부분.

00:16:21.784 --> 00:16:31.802
즉 마루에서 마루까지의 거리를
파장이라고 부를 수 있게 되는 거죠.

00:16:31.902 --> 00:16:33.722
이 파장이라는 건 뭐라고?

00:16:33.822 --> 00:16:38.060
거리라고, 길이라고요.

00:16:38.160 --> 00:16:39.877
이렇게 우리가 표현할 수 있습니다.

00:16:39.977 --> 00:16:44.269
그러면 이때 우리가 또 하나 관심을
가져야 되는 건 바로 뭐냐,

00:16:44.369 --> 00:16:48.218
이때 용수철은, 매질은
이동하지 않아요.

00:16:48.318 --> 00:16:50.122
그러면 매질은 어떻게만
된다는 소리야?

00:16:50.222 --> 00:16:51.993
출렁이기만 한다는 소리죠.

00:16:52.093 --> 00:16:59.461
그러면 내가 용수철 흰색
웨이브에 이 부분의 움직임을

00:16:59.561 --> 00:17:02.301
한번 그래프로
나타내보도록 하겠습니다.

00:17:02.401 --> 00:17:03.579
굉장히 중요합니다.

00:17:03.679 --> 00:17:08.345
이 부분을 그래프로 나타낼
때는 어떻게 나타내느냐,

00:17:08.445 --> 00:17:15.401
변위와 시간의 그래프로 나타내요.

00:17:15.501 --> 00:17:21.106
여기에 있던 용수철의 이 부분은 시간이
지나면 여기로 가는 게 아니죠.

00:17:21.206 --> 00:17:24.256

시간이 지나면 어디로 가요?

00:17:24.356 --> 00:17:26.728
노란색의 여기로 옵니다.

00:17:26.828 --> 00:17:30.723
그러면 이거를 시간의
움직임으로 내가 표현해본다면

00:17:30.823 --> 00:17:45.743
여기에 있던 애는 시간이
지나면 어디로 갑니까?

00:17:45.843 --> 00:17:49.252
여기로 내려와요.

00:17:49.352 --> 00:17:51.440
또 시간이 지나면 어디로 갑니까?

00:17:51.540 --> 00:17:54.318
여기로 내려옵니다.

00:17:54.418 --> 00:17:57.760
출렁이니까.

00:17:58.847 --> 00:18:00.999
여기에 있던 애가 여기로
내려오는 거죠.

00:18:01.099 --> 00:18:04.937
또 시간이 지나면
애는 어디로 갑니까?

00:18:05.037 --> 00:18:07.266
여기로 갑니다.

00:18:07.366 --> 00:18:10.347
또 시간이 흐르면 어디로 갑니까?

00:18:10.447 --> 00:18:12.117
다시 여기로 오죠.

00:18:12.217 --> 00:18:14.297
또 시간이 흐르면
다시 어떻게 됩니까?

00:18:14.397 --> 00:18:15.725
다시 여기로 옵니다.

00:18:15.825 --> 00:18:19.632
그러면 애의 움직임을 내가
이렇게 연속적으로 표현해본다면

00:18:19.732 --> 00:18:24.811
이 지점은 어떻게
움직이는 거로 보여요?

00:18:24.911 --> 00:18:30.835
시간에 대해서 이렇게
출렁이는 거로 보이죠.

00:18:30.935 --> 00:18:39.602

여기에 있던 애가 이렇게
출렁이는 거로 보인다고요.

00:18:39.702 --> 00:18:44.487

그러면 이제 용수철, 매질
입장에서는 어떻게 됐어요?

00:18:44.587 --> 00:18:51.173

여기서 출발해서 내려갔다 내려갔다
올라갔다 다시 올라오게 됩니다.

00:18:51.273 --> 00:18:52.656

그때까지 걸린 시간.

00:18:52.756 --> 00:19:00.039

여기서 출발해서 다시 이
위치까지 오는 데 걸리는 시간.

00:19:00.139 --> 00:19:02.805

이 시간을 우리는 뭐라고
부르기로 했느냐,

00:19:02.905 --> 00:19:09.062

이 시간을 주기라고
부르기로 했고요.

00:19:09.162 --> 00:19:14.504

그걸 우리는 T라고
표기하기로 했습니다.

00:19:14.604 --> 00:19:19.850

그래서 주기란 뭐냐, 매질 입장에서는
한 번 출렁이는 시간입니다.

00:19:19.950 --> 00:19:22.022

한 번 출렁이는 시간이 되고요.

00:19:22.122 --> 00:19:24.474

그러면 한 번 출렁이면
어떻게 되는 거죠?

00:19:24.574 --> 00:19:28.504

원래 흰색 파가 다시
나타나는 거죠.

00:19:28.604 --> 00:19:32.988

여기에 있던 애가 노란색의 여기로,
빨간색의 여기로, 파란색의 여기로.

00:19:33.088 --> 00:19:36.167

다시 흰색의 여기로 나타날
때까지 걸리는 시간.

00:19:36.267 --> 00:19:42.212

결국 흰색에서 출발해서 다시 흰색이
나타날 때까지 걸리는 시간을

00:19:42.312 --> 00:19:45.798

우리는 주기라고 불러주게 됩니다.

00:19:45.898 --> 00:19:51.315
그러면 여기서 우리가 한 가지
중요하게 판단할 곳은 또 어디냐면,

00:19:51.415 --> 00:19:53.775
바로 이 부분이에요.

00:19:53.875 --> 00:20:00.724
흰색 파에 이 부분의
움직임을 한번 표현해봅시다.

00:20:00.824 --> 00:20:04.546
흰색 파의 이 부분에 예를 들어서
끈을 매달았다고 생각해 보세요.

00:20:04.646 --> 00:20:08.925
그러면 이 흰색 파 이 부분의
끈은 어떻게 움직일까?

00:20:09.025 --> 00:20:10.078
이쪽으로 가지 않죠.

00:20:10.178 --> 00:20:11.277
애는 어떻게 됩니까?

00:20:11.377 --> 00:20:13.311
여기에 있다가 어디로 가요?

00:20:13.411 --> 00:20:16.764
노란색의 여기로 갑니다.

00:20:16.864 --> 00:20:20.297
이 흰색 웨이브가 옮겨가면
무슨 웨이브가 나타나니까?

00:20:20.397 --> 00:20:21.988
노란색의 웨이브가 나타나니까

00:20:22.088 --> 00:20:25.690
흰색의 여기에 있던 애는
시간이 지나면 여기로 갔다가

00:20:25.790 --> 00:20:27.494
다시 시간이 지나면 여기로 갔다가

00:20:27.594 --> 00:20:30.778
다시 시간이 지나면 여기로
오게 되는 거죠.

00:20:30.878 --> 00:20:36.412
다시 표현하면 흰색
웨이브의 이 부분.

00:20:36.512 --> 00:20:44.473
이 부분을 표현하면 흰색의
애는 여기에 있다가

00:20:44.573 --> 00:20:49.103
시간이 지나면 위로 올라갑니다.

00:20:49.203 --> 00:20:51.076

그랬다가 다시 어떻게 됩니까?

00:20:51.176 --> 00:20:53.437

다시 아래로 내려옵니다.

00:20:53.537 --> 00:20:55.435

다시 시간이 지나면

어디로 내려옵니까?

00:20:55.535 --> 00:20:56.949

다시 아래로 내려옵니다.

00:20:57.049 --> 00:21:00.325

그리고 다시 시간이 지나면

여기로 돌아오게 되는 거죠.

00:21:00.425 --> 00:21:03.260

다시 시간이 지나면 또

위로 올라가게 되고요.

00:21:03.360 --> 00:21:07.151

역시나 이것을 연속적으로

그려주면 어떻게 표현되어져요?

00:21:07.251 --> 00:21:13.271

이렇게 진동하는 거로

보이게 되는 거죠.

00:21:13.371 --> 00:21:14.997

역시나 어떻게 되는 거야?

00:21:15.097 --> 00:21:21.098

여기서 출발해서 위로 올라가기

시작해서 다시 위로 올라가기 시작하는

00:21:21.198 --> 00:21:25.401

이 지점까지 걸린 시간을

뭐라고 부를 수 있어요?

00:21:25.501 --> 00:21:29.226

주기라고 부를 수 있게 됩니다.

00:21:29.326 --> 00:21:34.276

다시 이야기하면, 흰색에서 출발해서

다시 흰색이 될 때까지 걸리는 시간을

00:21:34.376 --> 00:21:37.015

우리는 주기라고 부를 수 있고요.

00:21:37.115 --> 00:21:41.492

매질 입장에서는 반복될 때까지

걸리는 시간이라고요.

00:21:41.592 --> 00:21:46.521

원래 위치의 상태로 반복될

때까지 걸리는 시간.

00:21:46.621 --> 00:21:49.268

여기로 빠진다면 위로

올라가기 시작해서

00:21:49.368 --> 00:21:57.033

다시 위로 올라가기까지 걸리는 이 지점을
통과하는 시간을 주기라고 불러줍니다.

00:21:57.133 --> 00:21:58.541

되셨죠?

00:21:58.641 --> 00:21:59.446

문제없죠?

00:21:59.546 --> 00:22:01.830

그래서 여러분, 기억하셔야
될 건 뭐냐.

00:22:01.930 --> 00:22:06.426

변위 시간의 그래프는 뭘
표현하는 그래프냐,

00:22:06.526 --> 00:22:14.285

매질의 움직임을
표현하는 그래프입니다.

00:22:14.385 --> 00:22:18.872

변위 거리 그래프는
파형을 표현하는 거야.

00:22:18.972 --> 00:22:22.440

파의 모습을 나타낸 그래프고요.

00:22:22.540 --> 00:22:30.599

변위 시간의 그래프는 매질의
움직임을 표현하는 그래프다.

00:22:30.699 --> 00:22:31.664

되셨죠?

00:22:31.764 --> 00:22:35.185

이건 횡파로 나타낸 모습이에요.

00:22:35.285 --> 00:22:39.274

그러면 이번에는 종파로
한번 나타내보겠습니다.

00:22:39.374 --> 00:22:41.473

아까 그랬던 종파의 모습이에요.

00:22:41.573 --> 00:22:44.683

종파는 이렇게 진동하는
애가 그대로.

00:22:44.783 --> 00:22:48.961

이렇게 진동하는 애가
그대로 옮겨가는 거죠.

00:22:49.061 --> 00:22:54.015

그러면 종파는 어디서부터
어디까지가 파장일까요?

00:22:54.115 --> 00:22:58.799

역시나 종파도 이 웨이브
모습에서 진행해가서

00:22:58.899 --> 00:23:04.052

다시 이 웨이브의 모습으로
나타날 때까지 걸리는 시간을

00:23:04.152 --> 00:23:05.579

우리는 종파라고 불러요.

00:23:05.679 --> 00:23:14.857

이 파동의 모습에서 진행해가서 다시
이 파동의 모습이 나타날 때까지

00:23:14.957 --> 00:23:18.535

움직인 거리는 파장이라고
부를 수 있게 되죠.

00:23:18.635 --> 00:23:22.529

따라서 여기서부터 따진다면
어디까지가 파장이 될까요?

00:23:22.629 --> 00:23:29.666

바로 여기까지가
파장이 됩니다.

00:23:29.766 --> 00:23:37.193

왜? 여기서부터 이렇게 움직여오면
원래 파의 모습으로 나타나니까.

00:23:37.293 --> 00:23:41.804

원래 파의 모습이 나타날 때까지
이동해간 거리를 파장.

00:23:41.904 --> 00:23:46.652

원래 파의 모습이 나타날 때까지
걸리는 시간을 주기라고 부르죠.

00:23:46.752 --> 00:23:49.612

이때 매질은 어떻게 움직인 걸까요?

00:23:49.712 --> 00:23:56.733

특정 매질을 찍어주면 이 매질은
어떻게 움직이게 될까요?

00:23:56.833 --> 00:23:58.299

같까요? 아니죠.

00:23:58.399 --> 00:24:01.819

애는 체자리에서 이렇게
출렁이기만 하는 거죠.

00:24:01.919 --> 00:24:05.450

그러면 애를 시간에 대해서 나타내면
애는 이렇게 갔다가 이렇게 갔다가

00:24:05.550 --> 00:24:10.657

이렇게 갔다가 이렇게 갔다가 이렇게
갔다가 이렇게 갔다가...

00:24:10.757 --> 00:24:13.745

이렇게를 여기서 왔다 갔다 하겠죠.

00:24:13.845 --> 00:24:17.383

이거를 그대로 역시나
시간의 그래프로 나타내면

00:24:17.483 --> 00:24:22.097

똑같이 이런 식으로 나타나겠죠.

00:24:22.197 --> 00:24:30.991

그래서 종파도 매질의 움직임을 시간으로
나타내면 똑같이 이렇게 나타납니다.

00:24:31.091 --> 00:24:35.894

결국 무슨 이야기냐, 변위
시간의 그래프만 보고

00:24:35.994 --> 00:24:38.150

아, 이 파동은 횡파야.

00:24:38.250 --> 00:24:39.970

이렇게 이야기할 수 없다고요.

00:24:40.070 --> 00:24:44.480

횡파는 이렇게 움직이는 걸
그래프로 나타낸 거고요.

00:24:44.580 --> 00:24:49.025

종파는 이렇게 움직이는 걸
그래프로 나타낸 것뿐이야.

00:24:49.125 --> 00:24:52.523

어차피 제자리에서 진동하고
있거든요, 시간에 대해서.

00:24:52.623 --> 00:24:56.527

이렇게 제자리에서 진동하나
이렇게 제자리에서 진동하나

00:24:56.627 --> 00:24:59.345

어쨌든 이런 움직임으로
나타나게 되는 거죠.

00:24:59.445 --> 00:25:02.970

이렇게 움직이면, 이렇게 진동하면

00:25:03.070 --> 00:25:10.845

여기 가운데를 중심으로 이만큼
갔다가 이만큼 갔다가를

00:25:10.945 --> 00:25:12.781

반복적으로 그려주면 되니까.

00:25:12.881 --> 00:25:16.378

다시 한번 말씀드리면,
변위 시간의 그래프로는

00:25:16.478 --> 00:25:21.446

이 그래프만 보고 애는
횡파야, 애는 종파야.

00:25:21.546 --> 00:25:23.654

이런 이야기를 할 수는 없다고요.

00:25:23.754 --> 00:25:26.274
애는 매질의 움직임을 나타낸다.

00:25:26.374 --> 00:25:30.223
매질의 움직임은 가운데를 중심으로

00:25:30.323 --> 00:25:35.825
횡파든 종파든 왕복운동을
하기 때문인 거죠.

00:25:35.925 --> 00:25:37.122
되셨나요?

00:25:37.222 --> 00:25:40.903
이렇게 해서 어쨌든 우리는
밀 정의를 내렸느냐,

00:25:41.003 --> 00:25:47.119
웨이브랑 파형이 반복될
때까지 움직여간 거리,

00:25:47.219 --> 00:25:53.040
웨이브랑 파형이 반복될 때까지
이동해간 시간을 정의내렸어요.

00:25:53.140 --> 00:25:56.930
즉 움직인 거리랑 시간을
정의내렸습니다.

00:25:57.030 --> 00:26:03.417
시간과 거리를 정의내리면 우리는
밀 표현할 수 있게 될까요?

00:26:03.517 --> 00:26:15.527
시간과 거리로 표현할 수 있는 바로
파동의 속력을 정의내릴 수 있습니다.

00:26:15.627 --> 00:26:16.765
파동의 속력.

00:26:16.865 --> 00:26:19.201
속력은 우리 어떻게 표현하죠?

00:26:19.301 --> 00:26:23.279
일정한 속력으로 움직이는
물체의 속력은 바로

00:26:23.379 --> 00:26:28.012
시간 동안에 움직인
거리로 구합니다.

00:26:28.112 --> 00:26:32.126
그러면 이 파동이 일정한
속력으로 움직인다면

00:26:32.226 --> 00:26:38.202
애는 시간을 어떻게 표현할 수 있고
거리를 어떻게 표현할 수 있을까요?

00:26:38.302 --> 00:26:43.463

파형이 반복될 때까지
움직여간 거리는 파장.

00:26:43.563 --> 00:26:47.629
파가 반복될 때까지
이동해간 시간은 주기.

00:26:47.729 --> 00:26:50.918
따라서 시간을 뭐로
표현할 수 있어요?

00:26:51.018 --> 00:26:53.964
주기(T)로 표현할 수 있고요.

00:26:54.064 --> 00:26:56.227
거리는 뭐로 표현할 수 있어요?

00:26:56.327 --> 00:27:00.088
파장(λ)로 표현할 수 있죠.

00:27:00.188 --> 00:27:05.530
그래서 파동의 속도 V 는 어떤
식으로 표현되어질 수 있느냐,

00:27:05.630 --> 00:27:11.028
주기 분의 파장이다, 라는 식으로
우리가 정의내릴 수가 있습니다.

00:27:11.128 --> 00:27:12.933
너무너무 중요한 공식입니다.

00:27:13.033 --> 00:27:15.128
반드시 기억하셔야 돼요.

00:27:15.228 --> 00:27:18.115
이때 주기의 정의는 뭐였어요?

00:27:18.215 --> 00:27:21.740
매질 입장에서 보면 주기란 뭐였어?

00:27:21.840 --> 00:27:28.257
바로 한 번 진동하는 시간이었죠.

00:27:28.357 --> 00:27:34.484
매질 입장에서 한 번 진동하는 시간을
주기라고 부를 수가 있어요.

00:27:34.584 --> 00:27:39.961
그러면 한 번 진동시간이
예를 들어서 0.1초.

00:27:40.061 --> 00:27:52.522
즉 10분의 1초이면 1초 동안
진동 횟수는 몇 번이 될까요?

00:27:52.622 --> 00:27:55.826
한 번 진동하는데 0.1초,
10분의 1초가 걸려.

00:27:55.926 --> 00:27:58.107
그러면 1초 동안에는

몇 번 진동할까?

00:27:58.207 --> 00:28:02.092
당연히 10번 진동하겠죠.

00:28:02.192 --> 00:28:07.336
한 번 진동하는데 0.2초.

00:28:07.436 --> 00:28:10.252
즉 5분의 1초가 걸렸어요.

00:28:10.352 --> 00:28:14.425
어떤 애가 한 번 진동하는데
0.2초, 5분의 1초가 걸렸어.

00:28:14.525 --> 00:28:16.866
그러면 1초 동안은 몇 번
진동할 수 있을까요?

00:28:16.966 --> 00:28:20.276
당연히 5번 진동할 수 있겠죠.

00:28:20.376 --> 00:28:23.212
한 번 진동하는데 0.5초.

00:28:23.312 --> 00:28:25.009
즉 2분의 1초가 걸렸어요.

00:28:25.109 --> 00:28:28.012
그러면 1초 동안에는
몇 번 진동할 수 있을까요?

00:28:28.112 --> 00:28:30.603
두 번 진동하겠죠.

00:28:30.703 --> 00:28:32.692
한 번 진동하는 데 1초가 걸려.

00:28:32.792 --> 00:28:35.207
그러면 1초 동안에는
당연히 몇 번 진동할까?

00:28:35.307 --> 00:28:37.646
당연히 한 번 진동하겠죠.

00:28:37.746 --> 00:28:39.980
한 번 진동하는 데 2초가 걸려.

00:28:40.080 --> 00:28:43.135
그러면 1초 동안에는 몇 번
진동한다고 이야기해야 돼?

00:28:43.235 --> 00:28:47.763
0.5번, 2분의 1번
진동한다고 볼 수 있습니다.

00:28:47.863 --> 00:28:49.347
규칙성을 찾았나요?

00:28:49.447 --> 00:28:52.011
어떤 규칙성을 찾았나요?

00:28:52.111 --> 00:28:59.782
한 번 진동하는 시간과 1초 동안 진동
횟수는 역수 관계에 있구나, 라는 걸

00:28:59.882 --> 00:29:01.745
여러분이 알 수 있어요.

00:29:01.845 --> 00:29:08.294
그래서 1초 동안 진동횟수를
우리는 뭐라고 부르기로 했느냐,

00:29:08.394 --> 00:29:12.387
진동수라고 부르기로 했고요.

00:29:12.487 --> 00:29:15.265
기호로는 뭐로 표현하느냐, f.

00:29:15.365 --> 00:29:21.634
frequency라는 영문 이니셜을
따서 f로 표현하기로 했습니다.

00:29:21.734 --> 00:29:28.555
그래서 한 번 진동하는 시간인 주기랑
진동수는 무슨 관계에 놓이게 돼요?

00:29:28.655 --> 00:29:33.414
역수 관계에 놓이게 됩니다.

00:29:33.514 --> 00:29:39.141
그래서 우리는 파동의 속도를 표현하는
공식을 어떻게 바꿔쓸 수 있느냐,

00:29:39.241 --> 00:29:43.335
이렇게 바꿔쓸 수 있게 됩니다.

00:29:45.577 --> 00:29:47.287
너무너무 중요한 표현입니다.

00:29:47.387 --> 00:29:50.819
이 공식은 반드시
외우고 있어야 돼요.

00:29:50.919 --> 00:29:55.001
이때 진동수는 단위를 어떻게 할까?

00:29:55.101 --> 00:29:58.646
우리가 10번, 5번, 2번
이렇게 안 부르거든요.

00:29:58.746 --> 00:30:05.841
어떻게 부르기로 했느냐, 이 번
대신 뭐라고 표현하기로 했느냐,

00:30:05.941 --> 00:30:09.640
여기다 Hz(헤르츠)라고
표현하기로 했어요.

00:30:09.740 --> 00:30:16.430
그래서 10Hz라는 건 뭐냐, 10번
진동한다는 뜻이 되는 거죠.

00:30:16.530 --> 00:30:18.944

그래서 우리 라디오
주파수 같은 거 보면

00:30:19.044 --> 00:30:24.516

95.9MHz,
91.9MHz라고 부르거든요.

00:30:24.616 --> 00:30:27.503

이 메가가 10의 6승이에요.

00:30:27.603 --> 00:30:39.003

결국 95.9MHz란 뭐냐, 95×10 의
6승번 진동하는 전파다, 라는 뜻이에요.

00:30:39.103 --> 00:30:41.621

엄청나게 많이 진동한다는 소리죠.

00:30:41.721 --> 00:30:45.113

1초에 95×10 의 6승.

00:30:45.213 --> 00:30:54.158

10의 6승이면 얼마나,
1000000.

00:30:54.258 --> 00:31:03.113

959만 번 떨리는 게
95.9MHz가 되는 거죠.

00:31:03.213 --> 00:31:05.082

아닌가?

00:31:05.182 --> 00:31:11.412

어쨌든 그렇게 이 번을
헤르츠라고 불러주게 된다고요.

00:31:11.512 --> 00:31:13.688

여기까지 여러분
문제없을 것 같습니다.

00:31:13.788 --> 00:31:16.766

그런데 여기서 또 하나 중요하게
기억해야 될 게 있어요.

00:31:16.866 --> 00:31:20.690

바로 뭐냐, 파동의 속도를
우리는 T분의 λ .

00:31:20.790 --> 00:31:25.799

$\lambda \cdot f$ 로 표현을 하는데

00:31:27.853 --> 00:31:31.953

이 파동의 속도는
파장에 비례하는 거고

00:31:32.053 --> 00:31:35.257

진동수에 비례하는
거냐, 라고 물으면

00:31:35.357 --> 00:31:37.763

그렇게 단정적으로
이야기할 수 없습니다.

00:31:37.863 --> 00:31:40.735
왜냐면, 잘 보세요.

00:31:40.835 --> 00:31:44.903
제가 용수철에 파동을 만들 거야.

00:31:45.003 --> 00:31:48.210
그러면 용수철에 파동을
만들면 이 만든 파동이

00:31:48.310 --> 00:31:53.459
이 오른손에서 왼손까지 쪽
진행되어 올 거 아닙니까?

00:31:53.601 --> 00:31:57.989
이 진행되어 오는 속도를
눈어림으로 한번 보세요.

00:31:58.089 --> 00:32:03.715
여기서 내가 파동을 만들면
이렇게 진행되어가죠.

00:32:03.815 --> 00:32:05.482
이렇게 진행되어갑니다.

00:32:05.582 --> 00:32:13.016
그러면 내가 여기서 이번에는
파를 굉장히 짧게 만들어볼게요.

00:32:13.116 --> 00:32:16.241
이거를 짧게 한다는 건 뭐야?

00:32:16.341 --> 00:32:19.656
주기를 작게 한다는 소리죠.

00:32:19.756 --> 00:32:22.084
이 주기를 작게 해볼게요.

00:32:22.184 --> 00:32:26.987
그러면 주기를 작게 할 때
여기서 여기까지 오는 속도를

00:32:27.087 --> 00:32:28.814
눈어림으로 한번 보세요.

00:32:28.914 --> 00:32:32.646
짧게 갑니다.
하나, 둘, 셋 이렇게.

00:32:32.746 --> 00:32:33.461
이 정도 걸려요.

00:32:33.561 --> 00:32:37.429
다시, 하나, 둘, 셋.

00:32:37.529 --> 00:32:38.519
이 정도 걸립니다.

00:32:38.619 --> 00:32:41.945

이번에는 내가 주기를
길게 만들어볼게.

00:32:42.045 --> 00:32:47.304

애를 짧게 안 하고 빠르게 안
하고 천천히 움직여보겠습니다.

00:32:47.404 --> 00:32:51.253

그때 여기서부터 여기까지
불룩한 웨이브가

00:32:51.353 --> 00:32:54.081

움직여가는 속도를
눈어림으로 보겠습니다.

00:32:54.181 --> 00:32:57.202

하나, 둘, 셋.

00:32:57.302 --> 00:33:00.885

다시, 하나, 둘, 셋.

00:33:00.985 --> 00:33:02.989

누가 더 빠른 거 같아요?

00:33:03.089 --> 00:33:04.486

짧은 거.

00:33:06.458 --> 00:33:08.286

긴 거.

00:33:09.828 --> 00:33:11.137

누가?

00:33:11.237 --> 00:33:14.393

그렇죠, 길게 놓으면 정확하거든요.

00:33:14.493 --> 00:33:18.784

학교에서 길게 늘어놓고
실험을 하면 정확하게 보이는데

00:33:18.884 --> 00:33:23.892

이 속도는 누가 더
빠르냐, 똑같습니다.

00:33:23.992 --> 00:33:27.236

속도가 똑같아요.

00:33:27.336 --> 00:33:28.949

다시 돌려서 측정해보세요.

00:33:29.049 --> 00:33:30.191

거의 똑같습니다.

00:33:30.291 --> 00:33:38.069

바로 이걸 뭘 의미하느냐, 속도는
주기에 따라서 또는 진동수에 따라서

00:33:38.169 --> 00:33:42.988

또는 파장에 따라서 달라지는
애가 아니라는 겁니다.

00:33:43.088 --> 00:33:54.545

속도는 누가 결정지어주냐, 바로
매질의 상태가 결정짓습니다.

00:33:54.645 --> 00:33:56.021

다시 한번 볼게요.

00:33:56.121 --> 00:34:05.903

제가 이 용수철에 파동을 만들면 여기서
여기까지 파가 쏙 이동해옵니다.

00:34:06.003 --> 00:34:10.043

그러면 내가 이 용수철의
상태를 바꿔볼게요.

00:34:10.143 --> 00:34:11.516

팽팽하게 바꿨어요.

00:34:11.616 --> 00:34:15.061

제 오른손과 왼손의 길이는 똑같죠?

00:34:15.193 --> 00:34:19.630

이번에는 여기서 여기까지
얼마나 걸리는지 볼게요.

00:34:19.730 --> 00:34:20.962

하나, 둘, 셋.

00:34:21.062 --> 00:34:22.246

순식간에 가죠?

00:34:22.346 --> 00:34:24.268

다시, 하나, 둘, 셋.

00:34:24.368 --> 00:34:25.617

순식간에 갑니다.

00:34:25.717 --> 00:34:28.262

속도가 어떻게 됐어? 빨라졌어.

00:34:28.362 --> 00:34:33.189

결국 매질의 상태가 바뀌면
속도가 바뀌어요.

00:34:33.289 --> 00:34:39.912

그런데 매질의 상태가 바뀌지 않으면
속도는 바뀌지 않는다는 겁니다.

00:34:40.012 --> 00:34:48.190

결국 속도는 누가 결정짓느냐,
매질의 상태가 결정합니다.

00:34:48.290 --> 00:34:55.870

즉 매질의 상태에 의해서 속도는
이미 결정되어있다는 것을 뜻해요.

00:34:55.970 --> 00:34:58.835

이런 예를 한번
들어보도록 하겠습니다.

00:34:58.935 --> 00:35:06.995
여기 지금 잔잔한 호수가 있습니다.

00:35:07.095 --> 00:35:11.375
내가 이 잔잔한 호수에
손가락을 한번 넣었다 뺍니다.

00:35:11.475 --> 00:35:15.184
그러면 물이 블록 솟아서 퍼지죠.

00:35:15.284 --> 00:35:17.322
또 한 번 손가락을
넣었다 빼면 어때요?

00:35:17.422 --> 00:35:19.577
또 블록 솟아서 퍼집니다.

00:35:19.677 --> 00:35:23.935
그러면 내가 이번에는 이
물에 손가락을 넣었다 뺄 때

00:35:24.035 --> 00:35:31.664
손가락을 통통통 넣었다 빼면 블록
솟아서 퍼지고 블록 솟아서 퍼집니다.

00:35:31.764 --> 00:35:35.245
그런데 내가 손가락을
통통통 넣어주면

00:35:35.345 --> 00:35:38.358
블록 솟아서 퍼지고
블록 솟아서 퍼집니다.

00:35:38.458 --> 00:35:39.843
어떤 차이가 나타날까요?

00:35:39.943 --> 00:35:47.806
통통통 하면 블록 솟아서
퍼져나가고 그리고 통이니까

00:35:47.906 --> 00:35:49.504
그다음 퍼져나갑니다.

00:35:49.604 --> 00:35:52.473
그러면 블록과 블록의 간격이.

00:35:52.573 --> 00:35:57.991
천천히 통통통 하면 블록, 블록.

00:35:58.091 --> 00:36:01.964
블록과 블록의 간격이 어떨 수밖에 없어요?
멀어요.

00:36:02.064 --> 00:36:06.115
그런데 통통통 해주면 빠르게 블록
솟아서 퍼지고 블록 솟아서 퍼지니까

00:36:06.215 --> 00:36:08.849
블록과 블록의 간격이 어때요?
좁아요.

00:36:08.949 --> 00:36:09.844

그러면 이제 보세요.

00:36:09.944 --> 00:36:14.255

블록과 블록의 간격이 넓고

00:36:14.355 --> 00:36:19.347

블록과 블록의 간격이
좁으면 뭐가 다른 거죠?

00:36:19.447 --> 00:36:20.732

파장이 다른 거죠.

00:36:20.832 --> 00:36:22.937

애는 파장이 길고요.

00:36:23.037 --> 00:36:24.839

애는 파장이 짧아요.

00:36:24.939 --> 00:36:26.644

애는 왜 파장이 길어요?

00:36:26.744 --> 00:36:31.833

통통통 진동수를 작게 했어요.

00:36:31.933 --> 00:36:33.773

애는 왜 파장이 짧아요?

00:36:33.873 --> 00:36:37.846

통통통통통 진동수를 크게 했어요.

00:36:37.946 --> 00:36:42.550

결국 진동수가 작으면
파장은 길어지고요.

00:36:42.650 --> 00:36:46.453

진동수가 크면 파장은 짧아지죠.

00:36:46.553 --> 00:36:51.127

결국 파동의 속도는 통통통
할 때 물결이 퍼지나

00:36:51.227 --> 00:36:59.624

통통통 할 때 물결이 퍼지나
그 속도는 똑같다는 겁니다.

00:36:59.724 --> 00:37:06.632

물의 상태가 똑같으면 물결이
퍼지는 속도도 똑같다.

00:37:06.732 --> 00:37:16.174

결국 매질의 상태가 파동의
속도를 결정짓는다는 겁니다.

00:37:16.274 --> 00:37:18.221

그 부분을 여러분이
기억하셔야 되고요.

00:37:18.321 --> 00:37:22.480

그렇다면 매질의 상태에
의해서 속도가 결정되는데

00:37:22.580 --> 00:37:26.887

매질이 어떤 상태일 때
어떻게 속도가 결정되느냐를

00:37:26.987 --> 00:37:29.307

우리는 세 가지를
기억하셔야 됩니다.

00:37:29.407 --> 00:37:32.253

바로 뭐 뭐 뭐를 기억해야 되느냐,

00:37:32.353 --> 00:37:35.951

첫 번째, 물결파의 속도입니다.

00:37:36.051 --> 00:37:39.805

물결파의 속도는 누가 결정짓느냐,

00:37:39.905 --> 00:37:41.854

매질의 어떤 요소가.

00:37:41.954 --> 00:37:46.318

물의 어떤 요소가 물결파의
속도를 결정짓느냐,

00:37:46.418 --> 00:37:49.870

바로 깊이가 결정짓습니다.

00:37:49.970 --> 00:37:57.813

깊은 물은 파동이 퍼져나가는
속력이 빨라요.

00:37:57.913 --> 00:38:04.893

깊은 물은 통 했을 때 물결이
퍼지는데 퍼지는 속도가 빠르다고.

00:38:04.993 --> 00:38:10.038

수면이 낮은, 물의 깊이가
낮은 물은 통했을 때

00:38:10.138 --> 00:38:15.283

물결이 퍼지는 속도가 느리다고요.

00:38:15.383 --> 00:38:19.996

왜 그러냐, 이렇게
생각할 수 있어요.

00:38:20.096 --> 00:38:25.534

물의 바닥은 물결이 퍼지는 걸
도와줄까요, 방해할까요?

00:38:25.634 --> 00:38:27.751

당연히 방해하겠죠.

00:38:27.851 --> 00:38:33.200

따라서 바닥이 가까우면 물결이 퍼지는
걸 방해하는 성질이 커지니까

00:38:33.300 --> 00:38:35.330

속도가 느릴 수밖에 없고요.

00:38:35.430 --> 00:38:42.259
바닥이 깊으면 물결이 퍼져나가는 걸
방해하는 효과가 거의 없으니까

00:38:42.359 --> 00:38:44.885
그 속도가 빠릅니다.

00:38:44.985 --> 00:38:49.934
그래서 우리가 여름철에
동해안 같은 데를 가서

00:38:50.034 --> 00:38:52.092
파도가 치는 모습을 보잖아요?

00:38:52.192 --> 00:38:57.438
그러면 어떻게 되느냐, 저 먼
해안가에서는 파도가 이렇게 되다가

00:38:57.538 --> 00:39:02.461
해안으로 다가올수록 파가 이렇게
줄어든다는 걸 알 수 있어요.

00:39:02.561 --> 00:39:08.042
왜냐, 수심이 이렇게 되어있거든요.

00:39:08.142 --> 00:39:10.584
해안 쪽으로 올수록
수심이 얕아져요.

00:39:10.684 --> 00:39:15.416
그러니까 파장이 짧아져요.

00:39:15.516 --> 00:39:16.811
파장이 왜 짧아져요?

00:39:16.911 --> 00:39:19.062
속도가 느려지기 때문인 거죠.

00:39:19.162 --> 00:39:23.064
해안으로 올수록 속도가
느려져서 파장이 짧아집니다.

00:39:23.164 --> 00:39:26.586
그래서 파와 파의
간격이 좁아진다는 걸

00:39:26.686 --> 00:39:29.693
실제로 바다를 가면 쉽게
눈으로 확인할 수 있어요.

00:39:29.793 --> 00:39:34.643
저 먼바다는 파와 파의 간격이
멀다가 애가 이렇게 다가오게 되면

00:39:34.743 --> 00:39:40.846
파와 파의 간격이, 이 블록과 블록의 간격이
좁아져 있다는 걸 알 수가 있어요.

00:39:40.946 --> 00:39:44.881
그래서 물결파의 속도는
바로 깊이가 결정짓는다.

00:39:44.981 --> 00:39:49.131

그러면 깊이가 똑같으면
물결파의 속도는 똑같은 거죠.

00:39:49.231 --> 00:39:52.372

그 부분 기억을 하고
계셔야 되고요.

00:39:52.472 --> 00:39:56.764

또 우리는 어떤 파동의 속도를
기억할 수 있어야 되느냐,

00:39:56.864 --> 00:39:59.950

바로 빛의 속도입니다.

00:40:00.050 --> 00:40:04.023

빛의 속도는 어떤 요소에
의해서 결정이 되느냐,

00:40:04.123 --> 00:40:12.199

바로 진공 그리고 기체,
액체, 고체의 상태에 의해서

00:40:12.299 --> 00:40:15.500

속도가 달라집니다.

00:40:15.600 --> 00:40:17.935

빛의 속도는 어디서 제일 빠를까요?

00:40:18.035 --> 00:40:20.782

진공을 달릴 때가 제일 빠를까요,

00:40:20.882 --> 00:40:23.267

기체 속을 달릴 때가
제일 빠를까요,

00:40:23.367 --> 00:40:26.739

물과 같은 액체를 달릴
때가 제일 빠를까요,

00:40:26.839 --> 00:40:31.256

다이아몬드와 같은 고체 속을
달릴 때가 제일 빠를까요?

00:40:31.356 --> 00:40:36.463

빛은 진행되어가야 돼요.

00:40:36.563 --> 00:40:42.398

진행되어가야 되는데 거리적거리는 게
있으면 속도가 느릴 수밖에 없겠죠.

00:40:42.498 --> 00:40:45.286

거리적거리는 게 없으면 잘 가겠죠.

00:40:45.386 --> 00:40:49.945

따라서 거리적거리는 게 없는, 아무것도
없는 상태를 진공이라고 부르죠?

00:40:50.045 --> 00:40:53.809

거리적 거리는 게 없는 진공일 때가

00:40:53.909 --> 00:40:56.008

빛의 속도가 가장 빠르고요.

00:40:56.108 --> 00:40:57.499

그다음 액체.

00:40:57.599 --> 00:41:02.853

결리적 거리는 게 제일 많은 고체에서가
빛의 속도가 가장 느립니다.

00:41:02.953 --> 00:41:17.106

그래서 실제로 빛의 속도가 가장
느린 물질이 뭔지 아세요?

00:41:17.206 --> 00:41:24.261

비싼 고체인 다이아몬드가
가장 속도가 느립니다.

00:41:24.361 --> 00:41:27.298

다이아몬드는 어떤 특징을 갖고 있어요?
비싸.

00:41:27.398 --> 00:41:28.861

그거 말고 또?

00:41:28.961 --> 00:41:30.153

굉장히 단단하죠.

00:41:30.253 --> 00:41:31.637

단단하다는 건 뭐야?

00:41:31.737 --> 00:41:34.836

애네들이 굉장히 뻑뻑하게
구성되어있다는 소리야.

00:41:34.936 --> 00:41:41.484

뻑뻑하게 구성되어있으니까
빛이 진행해가기에 어떻게? 힘들어.

00:41:41.584 --> 00:41:45.839

그러니까 속도가 제일 느려요.

00:41:45.939 --> 00:41:50.019

우리가 뒤쪽에서 전자기파할 때
말씀드릴 내용이기도 한데요.

00:41:50.119 --> 00:41:55.938

빛은 특이하게 매질 없이 진행할
수 있는 파동인 거죠.

00:41:56.038 --> 00:41:59.935

그래서 아무것도 없는 진공에서
빛은 진행할 수 있고요.

00:42:00.035 --> 00:42:04.675

그 진공에서 속도가 가장
빠르게 진행할 수 있습니다.

00:42:04.775 --> 00:42:08.814

빛은 아무것도 없는 우주 공간을

통해서 날아오고 있잖아.

00:42:08.914 --> 00:42:12.867
진공에서 빛의 속도는 가장
빠르다는 걸 기억하셔야 되고요.

00:42:12.967 --> 00:42:16.599
이번에는 소리의 속도입니다.

00:42:16.699 --> 00:42:21.483
일단 소리는 매질에 의해서
전달 전달되어지기 때문에

00:42:21.583 --> 00:42:23.794
진공에서는 진행하지 않습니다.

00:42:23.894 --> 00:42:25.999
진공에서는 속도가 없어요.

00:42:26.099 --> 00:42:33.120
그러면 기체, 액체, 고체 중
소리는 어디서 제일 빠를까요?

00:42:33.220 --> 00:42:38.991
바로 고체에서 제일 빠르고 그다음
액체, 그다음 기체 순입니다.

00:42:39.091 --> 00:42:41.069
왜냐하면 소리는 전달이에요.

00:42:41.169 --> 00:42:43.624
전달 전달 전달입니다.

00:42:43.724 --> 00:42:54.385
떨림이 빠르게 전달되려면 전달시키는
물질들이 촘촘해야지 빠르게 전달될까요,

00:42:54.485 --> 00:42:56.842
엉성해야지 빠르게 전달될까요?

00:42:56.942 --> 00:43:00.118
당연히 촘촘해야지
빠르게 전달되겠죠.

00:43:00.218 --> 00:43:06.807
그래서 가장 촘촘한 고체에서가 가장 빠르게
소리가 전달되면서 진행하기 때문에

00:43:06.907 --> 00:43:09.259
소리의 속도는 고체에서 제일 빠르고

00:43:09.359 --> 00:43:11.620
그다음 액체, 그다음
기체 순입니다.

00:43:11.720 --> 00:43:18.667
액체 속에서가 기체 속에서도 훨씬
더 소리가 빠르게 잘 전달돼요.

00:43:18.767 --> 00:43:21.910
이건 여러분이 충분히 실험으로도

확인할 수 있어요.

00:43:22.010 --> 00:43:26.047

물속에 잠수해서,
깊이 들어가야 돼.

00:43:26.147 --> 00:43:30.467

한 50cm~1m만 들어가도 돼요.

00:43:30.567 --> 00:43:33.194

잠수해서 바닥에 이렇게
잠수를 하잖아요?

00:43:33.294 --> 00:43:37.375

잠수한 상태에서 바닥 면을
한번 툭툭 쳐보세요.

00:43:37.475 --> 00:43:45.560

그러면 그 소리가 바로 옆에서
들리는 것처럼 들려요.

00:43:45.660 --> 00:43:48.025

그리고 남이 쳐주잖아요?

00:43:48.125 --> 00:43:52.620

그러면 이 소리가 어디서 나는지를
알아차릴 수가 없습니다.

00:43:52.720 --> 00:43:55.522

우리가 소리가 어디서
나는지를 아는 이유는

00:43:55.622 --> 00:44:00.987

왼쪽 귀와 오른쪽 귀에
들어오는 소리의 시간차를 두고

00:44:01.087 --> 00:44:06.376

이게 왼쪽에서 나는 소리다, 오른쪽에서
나는 소리다, 라는 걸 알아차리거든요.

00:44:06.476 --> 00:44:08.718

왼쪽에서 나는 소리,
오른쪽에서 나는 소리를

00:44:08.818 --> 00:44:12.306

이 속도 차이로 알거든요,
시간 차이로 알아요.

00:44:12.406 --> 00:44:14.639

이 왼쪽 구멍으로 들어오는 시간,

00:44:14.739 --> 00:44:17.854

오른쪽 구멍으로 들어오는
시간의 차이로 알아내는데

00:44:17.954 --> 00:44:20.823

물속에서 하면 소리의
속도가 너무 빠르니까

00:44:20.923 --> 00:44:24.988

왼쪽과 오른쪽으로 거의

동시에 소리가 들어옵니다.

00:44:25.088 --> 00:44:28.169

그러니까 소리가 나는 방향을
찾을 수가 없어요.

00:44:28.269 --> 00:44:36.392

어쨌든 액체 속에서의 속도가 바로
기체 속에서의 속도보다 더 빠르다.

00:44:36.492 --> 00:44:39.241

그 부분도 여러분이
기억하셔야 되겠고요.

00:44:39.341 --> 00:44:41.877

한 가지 여러분이 더
기억할 건 바로 뭐냐,

00:44:41.977 --> 00:44:48.174

소리와 빛의 경우는 바로
공기 중에서 진행하죠?

00:44:48.274 --> 00:44:57.615

이 소리와 빛이 공기 중에서 진행할 때
속도는 어떤 요소에 의해서 결정이 되느냐,

00:44:57.715 --> 00:45:01.837

바로 온도에 의해서도
결정이 됩니다.

00:45:01.937 --> 00:45:06.716

온도가 빠른 공기일수록
빛의 속도도 빠르고요.

00:45:06.816 --> 00:45:08.620

소리의 속도도 빠릅니다.

00:45:08.720 --> 00:45:10.260

소리는 당연하죠? 왜?

00:45:10.360 --> 00:45:14.900

소리는 공기의 진동에
의한 전달전달이에요.

00:45:15.000 --> 00:45:18.311

따라서 공기가 빠르게
움직이고 있으면

00:45:18.411 --> 00:45:20.957

온도가 올라가면 공기가
빠르게 움직이거든요.

00:45:21.057 --> 00:45:26.692

빠르게 움직이면 전달 전달되어지는
속도가 빠를 수밖에 없겠죠.

00:45:26.792 --> 00:45:28.578

빛의 경우는 어떨까요?

00:45:28.678 --> 00:45:33.905

공기의 온도가 빠르면

애네들이 막 흠어져.

00:45:34.072 --> 00:45:40.424
그러니까 빛이 진행하기에 수월함이
있겠죠, 흠어져있으니까.

00:45:40.524 --> 00:45:45.385
그래서 공기 중에서 소리와 빛이
진행할 때는 온도에 관계한다.

00:45:45.485 --> 00:45:50.869
이거는 우리가 뒤쪽에서 신기루를 다룰 때
중요하게 써먹을 내용이기도 합니다.

00:45:50.969 --> 00:45:56.030
그래서 여러분이 이 요소를
기억해두셔야 되겠어요.

00:45:56.130 --> 00:46:01.497
이렇게 해서 우리는 파동의 특성

00:46:01.597 --> 00:46:10.251
그리고 파동의 표현에 대한
이야기를 쪽 진행해왔고요.

00:46:10.351 --> 00:46:17.912
그러면 이제 칠판 정리하고 두 번째 주제,
굴절에 대한 내용 진행하도록 하겠어요.

00:46:18.012 --> 00:46:23.430
그러면 오늘의 두 번째 표현, 굴절에
대한 내용을 진행해보도록 하겠습니다.

00:46:23.530 --> 00:46:25.548
굴절이란 도대체 뭘까.

00:46:25.648 --> 00:46:30.349
굴절은 왜 일어날까, 이 부분에 대해서
초점을 맞춰서 설명해보도록 할게요.

00:46:30.449 --> 00:46:34.264
저는 굴절을 이렇게 예를
들어서 설명하는 걸 즐겨요.

00:46:34.364 --> 00:46:35.683
여기 보도록 하겠습니다.

00:46:35.783 --> 00:46:40.550
이쪽은 아스팔트 길이라고
생각을 해보겠고요.

00:46:40.650 --> 00:46:44.739
이쪽은 잔디밭 길이다,
라고 생각해보겠습니다.

00:46:44.839 --> 00:46:48.886
그러면 아스팔트 길에서
장난감 자동차가 구르고요.

00:46:48.986 --> 00:46:52.379
잔디밭 길에서 장난감

자동차가 구릅니다.

00:46:52.479 --> 00:46:55.897

바퀴 4개짜리인 장난감
자동차가 구를 때

00:46:55.997 --> 00:46:59.880

아스팔트에서 잘 굴러요,
잔디에서 잘 굴러요?

00:46:59.980 --> 00:47:06.022

당연히 아스팔트에서가 잔디에서보다
더 잘 구를 수밖에 없겠죠.

00:47:06.122 --> 00:47:08.220

잘 구른다는 건 뭐죠?

00:47:08.320 --> 00:47:13.511

아스팔트에서는 속도가
빠르다고 표현할 수 있고요.

00:47:13.611 --> 00:47:18.682

잔디에서는 속도가 느리다고
표현할 수 있습니다.

00:47:18.782 --> 00:47:24.744

그렇다면 아스팔트 쪽에서 잔디밭
쪽으로 장난감 자동차가

00:47:24.844 --> 00:47:28.294

이렇게 굴러오는 경우를
보도록 하겠습니다.

00:47:28.394 --> 00:47:33.488

바퀴 4개짜리 장난감
자동차가 이렇게 굴러옵니다.

00:47:33.588 --> 00:47:39.054

그러면 이렇게 굴러오다
보면 어떤 일이 일어나죠?

00:47:39.154 --> 00:47:46.027

이 4개의 바퀴 중에 이 바퀴가
잔디밭에 먼저 들어옵니다.

00:47:46.127 --> 00:47:48.146

그러면 이 바퀴는 어떻게 될까요?

00:47:48.246 --> 00:47:49.553

잘 못 구르겠죠.

00:47:49.653 --> 00:47:53.319

그에 비해서 나머지 3바퀴는 어떻게 돼요?
잘 구르겠죠.

00:47:53.419 --> 00:47:57.235

그러면 이 바퀴는 잘 못 구르고
이 바퀴는 잘 구를 거니까

00:47:57.335 --> 00:47:58.407

애가 어떻게 될까요?

00:47:58.507 --> 00:48:06.234
애는 잘 못 구르고 애는 잘 구르면
이렇게 꺾여서 들어오게 됩니다.

00:48:06.334 --> 00:48:08.445
이처럼 꺾여들어오는 현상.

00:48:08.545 --> 00:48:11.691
꺾이는 현상을 우리는 바로
뭐라고 부르는 거야?

00:48:11.791 --> 00:48:13.513
굴절이라고 부르죠.

00:48:13.613 --> 00:48:18.324
그러면 굴절은 왜 일어났죠?
왜 꺾였습니까?

00:48:18.424 --> 00:48:24.765
아스팔트와 잔디에서의 속도
차이가 발생하기 때문입니다.

00:48:24.865 --> 00:48:27.775
결국 굴절은 왜 일어나느냐,

00:48:27.875 --> 00:48:31.454
굴절이 일어나는 이유는 파동의
관점에서든 똑같아요.

00:48:31.554 --> 00:48:55.384
매질의 차에 의한 속력의 차 때문에
굴절이 일어난다고 표현합니다.

00:48:55.484 --> 00:48:56.148
됐죠?

00:48:56.248 --> 00:48:59.616
그래서 애가 어떻게
꺾여가느냐를 우리는

00:48:59.716 --> 00:49:02.684
이 장난감 자동차의
바퀴를 생각하시면

00:49:02.784 --> 00:49:06.753
아, 이렇게 꺾여가는구나,
라는 걸 찾아낼 수 있어요.

00:49:06.853 --> 00:49:09.267
여기서 이런 상황 한번 보겠습니다.

00:49:09.367 --> 00:49:16.314
예를 들어서 장난감 자동차가
이렇게 가서 이렇게 꺾여갔어요.

00:49:16.414 --> 00:49:19.123
그러면 이쪽이 빠를까,
이쪽이 빠를까?

00:49:19.223 --> 00:49:19.941

어떻게 될까요?

00:49:20.041 --> 00:49:21.182

이렇게 찾으면 되겠죠?

00:49:21.282 --> 00:49:26.841

애가 이렇게 갔는데 이쪽으로 꺾여가려면
이쪽 바퀴가 먼저 들어갔죠?

00:49:26.941 --> 00:49:30.293

이쪽 바퀴가 먼저 들어가고 이쪽
바퀴는 아직 안 들어왔는데

00:49:30.393 --> 00:49:32.536

이렇게 꺾여가려면 이쪽
바퀴가 어떻게 돼야 돼?

00:49:32.636 --> 00:49:37.715

이쪽 바퀴가 잘 돌고 이쪽 바퀴는 잘 못
돌아야 되니까 이렇게 꺾여야 되는 거죠.

00:49:37.815 --> 00:49:44.564

그래서 이쪽은 속도가 빠르고 이쪽은
속도가 느리구나, 라는 걸

00:49:44.664 --> 00:49:48.717

이런 관점으로도 찾아낼
수 있다고요.

00:49:48.817 --> 00:49:55.037

이런 방법으로 속도의
차이를 알아낼 수 있다.

00:49:55.137 --> 00:50:01.140

그러면 여기서 우리가 이 방법
말고 또 다른 방법은 없을까를

00:50:01.240 --> 00:50:03.334

당연히 고민할 수밖에 없고요.

00:50:03.434 --> 00:50:06.773

좀 더 과학적으로 표현할
수 있는 방법을

00:50:06.873 --> 00:50:08.760

우리가 찾아내야 됩니다.

00:50:08.860 --> 00:50:14.213

그 방법은 바로 뭐냐,
경계면에 수직선을 그어요.

00:50:14.313 --> 00:50:17.580

이 만나는 지점에
수직선을 긋습니다.

00:50:17.680 --> 00:50:23.924

그리고 수직선으로부터
이루는 각도를 봅니다.

00:50:24.024 --> 00:50:39.188

수직선으로부터 들어오는 각도를

입사각이라고 부르고요.

00:50:39.288 --> 00:50:48.705
수직선으로부터 빠져나가는 각도를
굴절각이라고 불러줍니다.

00:50:48.805 --> 00:50:51.382
이때 어떤 특징이 있어요?

00:50:51.482 --> 00:50:56.881
입사각이 굴절각보다 크다는
특징을 갖고 있습니다.

00:50:56.981 --> 00:50:58.498
이런 상상 한번 해보겠습니다.

00:50:58.598 --> 00:51:05.984
만약에 아스팔트와 잔디에서 장난감 자동차
바퀴가 똑같은 속도로 구를 수 있다.

00:51:06.084 --> 00:51:07.481
그러면 어떨까요?

00:51:07.581 --> 00:51:09.619
애는 그냥 쪽 오겠죠.

00:51:09.719 --> 00:51:12.619
그러면 애가 그냥 쪽 오게
되면 어떻게 될까요?

00:51:12.719 --> 00:51:15.920
입사각과 굴절각이 똑같겠죠.

00:51:16.020 --> 00:51:18.742
맞습니까? 그렇죠.

00:51:18.842 --> 00:51:22.306
그러면 잔디밭은 엄청나게 느리고

00:51:22.406 --> 00:51:25.714
아스팔트는 엄청나게
빠르다고 생각해보겠습니다.

00:51:25.814 --> 00:51:26.681
그러면 어떻게 될까요?

00:51:26.781 --> 00:51:29.487
애가 이렇게 들어오다가
이 바퀴는 엄청 느리고

00:51:29.587 --> 00:51:32.512
이 바퀴는 엄청 빠르면
이렇게 꺾여오겠죠.

00:51:32.612 --> 00:51:34.453
결국 이렇게 꺾여오겠죠.

00:51:34.553 --> 00:51:35.506
그러면 어떻게 될까요?

00:51:35.606 --> 00:51:39.691

입사각과 굴절각의 차이가 커지겠죠.

00:51:39.791 --> 00:51:42.397

여기서 우리가 알 수
있는 게 뭐야?

00:51:42.497 --> 00:51:49.066

속도가 빠른 쪽에 각도가 크구나, 라는
걸 우리가 판단할 수 있게 돼요.

00:51:49.166 --> 00:51:50.644

아까 설명드렸던 예.

00:51:50.744 --> 00:51:57.448

예를 들어서 이렇게 경계면이 있는데
애가 이렇게 가서 이렇게 왔습니다.

00:51:57.548 --> 00:52:01.192

그러면 어디가 빠르냐, 이걸 우리는
어떤 방법으로 알 수 있느냐,

00:52:01.292 --> 00:52:03.964

경계면에 수직선을 그어요.

00:52:04.064 --> 00:52:10.900

경계면에 수직선을 긋고 수직선으로부터
이루는 각을 비교해보면

00:52:11.000 --> 00:52:13.082

각도가 어디가 커요?

00:52:13.182 --> 00:52:14.715

이쪽의 각도가 크죠?

00:52:14.815 --> 00:52:19.838

각도가 큰 쪽의 속도가
빠르다는 겁니다.

00:52:19.938 --> 00:52:24.593

각도가 큰 쪽의 속도가
빠를 수밖에 없습니다.

00:52:24.693 --> 00:52:30.545

그래서 우리는 아, 애네 중에 누가
빠르냐를 어떤 방법으로 알 수 있느냐,

00:52:30.645 --> 00:52:33.158

각도를 보면 알 수가 있다고요.

00:52:33.258 --> 00:52:35.296

그런데 그 각도는 어떤 각도야?

00:52:35.396 --> 00:52:39.132

수직선에서부터 이루는 각도입니다.

00:52:39.232 --> 00:52:45.248

그래서 결국 각도의 차이가 크면
속도의 차이가 큰 거고요.

00:52:45.348 --> 00:52:49.621

각도의 차가 작으면

속도의 차이가 작죠.

00:52:49.721 --> 00:52:54.884

아까 말씀드렸듯이 여기랑
여기서의 속도가 완전 똑같다면

00:52:54.984 --> 00:52:56.867

애는 그냥 쪽 들어올 거고

00:52:56.967 --> 00:52:59.164

그러면 입사각과 굴절각은 똑같겠죠.

00:52:59.264 --> 00:53:04.267

그래서 우리는 이 관계를 통해서
어떤 걸 판단할 수 있느냐,

00:53:04.367 --> 00:53:09.857

바로 속도의 비가 각도의
비에 관계하겠구나, 라는 걸

00:53:09.957 --> 00:53:12.642

우리가 찾아낼 수 있어요.

00:53:12.742 --> 00:53:17.686

그래서 속도가 빠른 쪽의
각도가 크다는 의미는

00:53:17.786 --> 00:53:22.980

속도의 비와 각도의 비는
일치한다는 겁니다.

00:53:23.080 --> 00:53:29.909

입사각 쪽을 θ_1 , 굴절각
쪽을 θ_2 라고 하고

00:53:30.009 --> 00:53:36.389

이쪽에서의 속도를 1,
이쪽에서의 속도를 2라고 한다면

00:53:36.489 --> 00:53:42.736

바로 v_1 , 여기서의 속도 대
여기서의 속도 v_2 는

00:53:42.836 --> 00:53:52.591

바로 이쪽에서의 각도 $\theta_1:\theta_2$ 에
관계한다는 걸 알아낼 수 있는데요.

00:53:52.691 --> 00:53:58.631

엄밀하게 이야기하면 이게
그냥 각도의 비는 아니고요.

00:53:58.731 --> 00:54:03.195

우리 물리학1 수준에서는
속도의 비가

00:54:03.295 --> 00:54:09.767

그냥 각도의 비에 해당한다고
해도 상관없는데요.

00:54:09.867 --> 00:54:15.451

정확하게는 어떻게 되느냐,

바로 $\sin$ 각도의 비입니다.

00:54:15.551 --> 00:54:20.602

어차피 $\sin$ 이 90도까지는
증가함수를 보이잖아요.

00:54:20.702 --> 00:54:25.624

그래서 그냥 우리
수준에서는 속도의 비는

00:54:25.724 --> 00:54:30.188

각도의 비와 관계한다고
기억해두시면 되고

00:54:30.288 --> 00:54:32.333

정확하게는 기억하고 싶은 친구는

00:54:32.433 --> 00:54:36.566

여기에 $\sin$ 을 붙인
각도의 비와 일치한다.

00:54:36.666 --> 00:54:40.700

중요한 건 속도가
빠르면 각도가 크다.

00:54:40.800 --> 00:54:45.373

속도의 비는 각도의
비를 결정짓는다.

00:54:45.473 --> 00:54:49.035

그 부분을 여러분이 기억을
해두셔야 되겠어요.

00:54:49.135 --> 00:54:51.803

너무 또 당연한 건 그러면
입사각이 커지면.

00:54:51.903 --> 00:54:55.629

애가 좀 더 누워서 들어오면
당연히 애도 어떻게 되겠어요?

00:54:55.729 --> 00:54:58.503

굴절각도 커지게 되겠죠.

00:54:58.603 --> 00:55:02.944

애가 점점 세워지게 되면,
세워져서 들어오게 되면

00:55:03.044 --> 00:55:05.547

이렇게 들어온 애가
이렇게 들어오게 되면

00:55:05.647 --> 00:55:10.104

당연히 이 굴절각도 좁아지게
되겠구나, 라는 걸 뜻하고요.

00:55:10.204 --> 00:55:12.540

완전히 수직으로 들어오게
되면 어떻게 됩니까?

00:55:12.640 --> 00:55:16.418

그대로 이렇게 지나가게 되겠다,
라는 것도 알 수 있죠.

00:55:16.518 --> 00:55:22.580
속도 차이가 있음에도 수직으로 들어오게
되면 굴절이 일어나지 않는 거죠.

00:55:22.680 --> 00:55:28.245
이런 관계성을 여러분이
기억하실 수 있어야 됩니다.

00:55:28.345 --> 00:55:30.651
이 부분 여러분이
기억을 해두시고요.

00:55:30.751 --> 00:55:34.366
두 번째, 또 어떤 표현을
여기서 우리가 할 수 있냐면,

00:55:34.466 --> 00:55:35.832
이런 표현을 할 수 있습니다.

00:55:35.932 --> 00:55:41.048
결국 이렇게 실제로 들어오는 건
파동이 들어오는 거잖아요.

00:55:41.148 --> 00:55:45.704
빛이 들어오든 물결과가 들어오든
어쨌든 파동이 들어옵니다.

00:55:45.804 --> 00:55:52.212
파동은 꿀렁꿀렁하는 애가 들어온다고
우리가 표현할 수 있죠?

00:55:52.312 --> 00:55:57.170
그러면 꿀렁꿀렁할 때 꿀렁의
윗부분, 꿀렁의 윗부분.

00:55:57.270 --> 00:56:02.107
즉 마루와 마루
부분들을 짝 표현해보면

00:56:02.207 --> 00:56:10.197
이렇게 웨이브가 들어온다고
표현할 수 있습니다.

00:56:10.297 --> 00:56:14.024
이런 웨이브가 들어오고 있으면

00:56:14.124 --> 00:56:20.832
이 윗부분을 선으로 그린 거야.

00:56:20.932 --> 00:56:26.330
출렁하는 이런 웨이브가 들어오면 이
윗부분을 이렇게 그려준 거고요.

00:56:26.430 --> 00:56:30.661
이 꿀렁꿀렁 들어올 때
이 윗부분, 마루.

00:56:30.761 --> 00:56:36.091

마루 부분을 이루는 선을
우리는 뭐라고 부르느냐,

00:56:36.191 --> 00:56:41.283
파면이라고 불러줘요.

00:56:44.489 --> 00:56:48.074
그러면 꿀렁꿀렁 들어올
때 윗부분, 마루.

00:56:48.174 --> 00:56:49.972
그다음 윗부분 마루.

00:56:50.072 --> 00:56:57.325
마루와 마루 사이의 간격을 우리는
뭐라고 부르기로 했어요?

00:56:57.425 --> 00:56:59.515
파장이라고 부르기로 했죠.

00:56:59.615 --> 00:57:03.166
그래서 이 간격을 우리는
 λ 1이라고 부를 수 있습니다.

00:57:03.266 --> 00:57:04.213
그러면 이제 보세요.

00:57:04.313 --> 00:57:06.785
웨이브가 이렇게 오는 겁니다.

00:57:06.885 --> 00:57:08.825
꿀렁꿀렁하면서 웨이브가 옵니다.

00:57:08.925 --> 00:57:11.623
웨이브가 올 때 여기에
있던 웨이브가 여기로 오고

00:57:11.723 --> 00:57:13.967
여기에 있던 웨이브가 여기로 오고
여기에 있던 웨이브가 여기로 오고

00:57:14.067 --> 00:57:16.218
여기에 있던 웨이브가
여기로 오고 있는 거죠.

00:57:16.318 --> 00:57:17.057
그러면 이제 보세요.

00:57:17.157 --> 00:57:18.453
여기에 있던 웨이브가 여기로 오고

00:57:18.553 --> 00:57:19.717
여기에 있던 웨이브가 여기로 오고

00:57:19.817 --> 00:57:20.974
여기에 있던 웨이브가 여기로 오고

00:57:21.074 --> 00:57:23.206
여기에 있던 웨이브가 여기로 올 때

00:57:23.306 --> 00:57:27.178

여기에 있던 웨이브는
어떻게 될까요?

00:57:27.278 --> 00:57:31.024
속도가 느린 곳으로 들어갑니다.

00:57:31.124 --> 00:57:33.415
그러니까 어떤 일이 일어날까요?

00:57:33.515 --> 00:57:39.758
애가 이만큼을 올 때 애는 속도가
느린 곳으로 들어갔으니까

00:57:39.858 --> 00:57:45.136
이만큼을 갈 수가 없죠.

00:57:45.236 --> 00:57:47.905
여기보다 어떻게 돼요?
뒤쳐질 수밖에 없어요.

00:57:48.005 --> 00:57:52.254
그러면 애가 어떻게 되느냐,
이렇게 뒤쳐지게 되는 거죠.

00:57:52.354 --> 00:57:57.370
애는 이만큼 같이 오다가 속도가
뒤쳐져서 이렇게 되는 거고

00:57:57.470 --> 00:58:00.406
애는 여기서부터 오니까 속도가
훨씬 더 뒤쳐지게 되는 거죠.

00:58:00.506 --> 00:58:02.412
그러면 애는 어떻게 됩니까?

00:58:02.512 --> 00:58:04.770
속도가 느린 상태로
이동해오는 거죠.

00:58:04.870 --> 00:58:06.778
속도가 느린 상태로 이동해오고

00:58:06.878 --> 00:58:10.828
애네는 역시나 애네보다
뒤쳐질 수밖에 없습니다.

00:58:10.928 --> 00:58:15.247
그러면 이렇게 되는 거죠.

00:58:15.347 --> 00:58:21.919
애네가 이렇게 이동해올 때 애네는
이렇게 뒤쳐져서 오게 되는 거죠.

00:58:22.019 --> 00:58:28.817
이렇게 뒤쳐져서
진행하게 되는 겁니다.

00:58:28.917 --> 00:58:33.706
뒤쳐져서 진행하게 되다 보니까 결국은
이 간격이 어떻게 될 수밖에 없어요?

00:58:33.806 --> 00:58:35.571

좁아질 수밖에 없어요.

00:58:35.671 --> 00:58:38.107

우리는 이 간격을 뭐라고
부를 수 있어요?

00:58:38.207 --> 00:58:42.249

역시나 파장이라고
부를 수가 있습니다.

00:58:42.349 --> 00:58:44.358

그러면 결국은 어떤 특징이 있어요?

00:58:44.458 --> 00:58:50.643

여기서는 파장이 길고 여기서는
파장이 작아지게 되죠.

00:58:50.743 --> 00:58:55.364

왜? 여기서는 속도가 빠르니까
이동 거리가 길고요.

00:58:55.464 --> 00:58:59.459

여기서는 속도가 느리니까 이동
거리가 짧게 되는 거죠.

00:58:59.559 --> 00:59:02.645

그리고 우리는 이 관계를 또
뭐라고 표현할 수 있어요?

00:59:02.745 --> 00:59:11.254

속도의 비가 파장의 비를 결정지었구나,
라고 표현할 수 있게 됩니다.

00:59:11.354 --> 00:59:14.428

그런데 여기에서는 중요한
전제가 있어요.

00:59:14.528 --> 00:59:20.816

어떤 전제가 있느냐, 파가,
웨이브가 진행되어올 때는 출렁임.

00:59:20.916 --> 00:59:23.726

꿀렁꿀렁하는 진동이 오는 거잖아요?

00:59:23.826 --> 00:59:33.296

그러면 진동이 빠른 곳에서 오다가
느린 곳으로 진행해갈 때

00:59:33.396 --> 00:59:37.719

결국은 빠른 곳의 진동이
느린 곳의 진동을 만들잖아.

00:59:37.819 --> 00:59:42.405

빠른 곳에서 진동하던 애들이
그대로 느린 곳을 진동시키죠.

00:59:42.505 --> 00:59:46.461

그러면 빠른 곳의 진동으로 느린
곳을 톱톱 쳐주게 될 거니까

00:59:46.561 --> 00:59:52.147
이 처럼의 박자에 맞춰서 이쪽도
쳐질 수밖에 없습니다.

00:59:52.247 --> 00:59:57.431
빠른 곳에서 진동의 출렁임이 느린
곳의 진동의 출렁임을 만들게 되니까

00:59:57.531 --> 00:59:58.700
결국 이 출렁임.

00:59:58.800 --> 01:00:04.041
이 진동은 빠른 곳의 진동과 느린
곳의 진동이 동일할 수밖에 없어요.

01:00:04.141 --> 01:00:06.580
무슨 말이나, 결론은
이렇게 된다고요.

01:00:06.680 --> 01:00:11.099
굴절이 일어날 때는
속력의 차이가 일어나고

01:00:11.199 --> 01:00:15.512
각도의 차가 일어나고
파장의 차는 일어나지만

01:00:15.612 --> 01:00:21.049
진동수는 불변이라는 겁니다.

01:00:21.149 --> 01:00:23.132
진동수는 달라지지 않아요.

01:00:23.232 --> 01:00:27.724
진행해오던 파동의 진동수는
달라지지 않습니다.

01:00:27.824 --> 01:00:31.517
여기서 때리던 진동을 그대로
여기서도 때려주니까

01:00:31.617 --> 01:00:34.828
그 때림이 그대로
진행되어가는 거죠.

01:00:34.928 --> 01:00:38.072
그래서 진동수는 차이가
나지 않는다.

01:00:38.172 --> 01:00:40.100
그러니까 이런 관계가
성립되는 거야.

01:00:40.200 --> 01:00:42.950
원래 파동의 속도는 어떻게
표현하기로 했어?

01:00:43.050 --> 01:00:46.675
 λf 라고 표현하기로 했었죠.

01:00:46.775 --> 01:00:53.378

그런데 진동수가 어차피 같으니까 그냥
속도의 비는 파장의 비다, 라는 결론으로

01:00:53.478 --> 01:00:56.349
우리가 내릴 수 있다고요.

01:00:56.449 --> 01:00:59.101
우리는 그래서 기억해야
될 건 뭐냐,

01:00:59.201 --> 01:01:04.662
속도가 빠른 쪽의 각도가 크다,
속도가 빠른 쪽의 파장이 길다.

01:01:04.762 --> 01:01:09.610
속도의 비는 각도의 비,
파장의 비와 일치한다는 걸

01:01:09.710 --> 01:01:13.349
여러분이 좀 기억을
하고 계셔야 되겠어요.

01:01:13.449 --> 01:01:18.001
그래서 굴절이 발생하는 현상에
대한 이야기를 진행해봤고요.

01:01:18.101 --> 01:01:22.473
그러면 이런 식의 상황을 한번
표현해보도록 하겠습니다.

01:01:22.573 --> 01:01:25.433
여기 지금 유리가 있고요.

01:01:25.533 --> 01:01:29.570
여기에 다이아몬드가 있어요.

01:01:30.682 --> 01:01:37.906
유리에서 다이아몬드로
빛이 이렇게 옵니다.

01:01:39.037 --> 01:01:42.604
굴절이 일어날 때 애는
어떻게 굴절이 일어날까요?

01:01:42.704 --> 01:01:45.473
이렇게 굴절이 일어날까요,
이렇게 굴절이 일어날까요?

01:01:45.573 --> 01:01:48.429
이렇게 굴절이 일어날까,
이렇게 굴절이 일어날까?

01:01:48.529 --> 01:01:53.000
그걸 알려면 우리는 뭘
알아야만 표현할 수 있습니까?

01:01:53.100 --> 01:01:57.568
속도가 누가 빠른지를
알아야 됩니다.

01:01:57.668 --> 01:02:01.053

그러면 빛이 진행할 때
유리에서 속도가 빠를까요?

01:02:01.153 --> 01:02:03.846
다이아몬드에서 속도가 빠를까요?

01:02:03.946 --> 01:02:05.391
아까 이야기했는데.

01:02:05.491 --> 01:02:09.995
다이아몬드에서 빛의
속도가 제일 느려요.

01:02:10.095 --> 01:02:13.984
유리에서의 속도는 다이아몬드에서의
속도보다 빨라요.

01:02:14.084 --> 01:02:16.192
그러면 결국 이 상황은
어떤 상황이라는 소리야?

01:02:16.292 --> 01:02:20.024
속도가 빠른 곳에서 속도가
느린 곳으로 왔다는 소리죠?

01:02:20.124 --> 01:02:21.269
그러면 어떻게 될까요?

01:02:21.369 --> 01:02:23.693
장난감 자동차로 표현하면
어떻게 된다는 소리야?

01:02:23.793 --> 01:02:28.048
속도가 빠른 곳에서 오다가
속도가 느린 곳으로 들어가니까

01:02:28.148 --> 01:02:35.438
애는 속도가 느리고 애는 속도가
빠를 거니까 이렇게 꺾여오겠죠.

01:02:35.538 --> 01:02:40.219
이거를 각도 관점으로
보면 어떻게 되는 거야?

01:02:40.319 --> 01:02:44.207
이렇게 경계면에 수직선,
법선을 긋고요.

01:02:44.307 --> 01:02:47.817
법선으로부터 이루는 각을
비교하면 되는 거죠.

01:02:47.917 --> 01:02:49.801
누가 더 커야 돼요?

01:02:49.901 --> 01:02:54.124
속도가 빠른 쪽의 각도가
커야 된다고요.

01:02:54.224 --> 01:02:56.714
그러면 유리가

다이아몬드보다 빠르니까

01:02:56.814 --> 01:03:01.607

유리 쪽의 각도가 다이아몬드
쪽의 각도보다 커야 됩니다.

01:03:01.707 --> 01:03:06.601

그러려면 이렇게 꺾여갈
수밖에 없다는 거죠.

01:03:06.701 --> 01:03:11.649

무슨 말씀을 드리고 싶냐.

01:03:11.749 --> 01:03:18.190

진공에서 유리로 들어가는 경우랑

01:03:18.290 --> 01:03:24.079

진공에서 다이아로 들어가는
경우를 비교해보겠습니다.

01:03:24.179 --> 01:03:28.102

진공에서 유리로 빛이
이렇게 들어가고요.

01:03:28.202 --> 01:03:33.647

진공에서 다이아로 빛이
이렇게 들어갑니다.

01:03:33.747 --> 01:03:38.484

이때 진공에서 유리로 들어갈
때의 빛이 많이 꺾일까요,

01:03:38.584 --> 01:03:42.864

진공에서 다이아로 들어갈
때 빛이 많이 꺾일까요?

01:03:42.964 --> 01:03:49.032

어디서 더 많이 꺾이냐는 각도 차이가
누가 더 심하게 일어나느냐고

01:03:49.132 --> 01:03:53.290

각도 차이가 누가 더
심하게 일어나느냐는

01:03:53.390 --> 01:03:57.911

속도 차가 누가 더
심하게 일어나느냐죠.

01:03:58.011 --> 01:04:01.534

진공과 유리에서의 빛의
속도 차이가 심해요?

01:04:01.634 --> 01:04:05.240

진공과 다이아에서의 빛의
속도 차이가 심해요?

01:04:05.340 --> 01:04:07.457

빛의 속도가 제일 빠른 곳은 진공,

01:04:07.557 --> 01:04:10.142

빛의 속도가 제일

느린 곳은 다이아.

01:04:10.242 --> 01:04:14.441
그러니까 여기서의 속도 차이가
여기서의 속도 차이보다 심하겠죠.

01:04:14.541 --> 01:04:15.236
그 말은 뭐야?

01:04:15.336 --> 01:04:26.659
여기서의 각도 차이가 여기서의
각도의 차이보다 커야 된다고요.

01:04:26.759 --> 01:04:30.960
결국 여기서이 이 각도와 여기의
각도 차이가 심해야 돼.

01:04:31.060 --> 01:04:33.421
그런데 여기는 각도가
더 작아야 돼, 왜?

01:04:33.521 --> 01:04:34.863
속도가 느리니까.

01:04:34.963 --> 01:04:38.617
그러면 애는 확 꺾여온다는 소리죠.

01:04:38.717 --> 01:04:40.912
그러니까 각도 차이가
엄청나게 나는 거죠.

01:04:41.012 --> 01:04:44.398
그런데 여기서이 여기보다
각도 차이가 적어야 돼.

01:04:44.498 --> 01:04:47.921
이렇게 되는 거죠.

01:04:48.021 --> 01:04:51.395
그러면 이제 결국 어떻게
걸 알 수 있어요?

01:04:51.495 --> 01:04:56.861
다이아에서의 꺾이는 정도가
유리에서의 꺾이는 정도보다

01:04:56.961 --> 01:05:00.031
더 심하구나, 라는 걸
알 수가 있어요.

01:05:00.131 --> 01:05:04.267
우리는 진공에 대해서
빛이 들어올 때

01:05:04.367 --> 01:05:08.029
물질 안에서 빛이 꺾이는
정도를 뭐라고 부르느냐,

01:05:08.129 --> 01:05:16.230
이처럼 꺾이는 정도를 우리는
굴절률이라고 부르기로 했어요.

01:05:16.330 --> 01:05:22.000

굴절률, 꺾이는 정도는 진공에서
유리로 들어올 때가 심해요,

01:05:22.100 --> 01:05:24.528

진공에서 다이아로
들어올 때가 심해요?

01:05:24.670 --> 01:05:28.982

당연히 진공에서 다이아로 들어올
때의 굴절률, 꺾이는 정도가

01:05:29.082 --> 01:05:33.915

진공에서 유리로 들어올 때의 굴절률,
꺾이는 정도보다 더 심합니다.

01:05:34.015 --> 01:05:39.476

즉 굴절률은 이 상황이 이
상황보다 더 크다는 거죠.

01:05:39.576 --> 01:05:44.968

그러면 굴절률이 크다는
건 뭘 의미할까요?

01:05:45.068 --> 01:05:48.264

속도가 느리다는 겁니다.

01:05:48.364 --> 01:05:52.737

속도 차가 크다는 거고요.

01:05:52.837 --> 01:06:01.452

진공에 대해서 속도 차가 크려면 그 물질
안에서의 속도가 매우 느려야 되겠죠.

01:06:01.552 --> 01:06:09.067

결국 느린 물질일수록 굴절률이
크다, 라고 표현할 수 있다고요.

01:06:09.167 --> 01:06:14.708

그래서 굴절률이라는
수치는 바로 물질.

01:06:14.808 --> 01:06:21.356

매질 속 빛의 속도에 반비례합니다.

01:06:26.781 --> 01:06:34.770

매질 속 빛의 속도가 느릴수록
굴절률이 크다고 표현한다고요.

01:06:34.870 --> 01:06:36.916

그래서 굴절률의 정의는
어떻게 내려지느냐,

01:06:37.016 --> 01:06:43.436

매질 속 빛의 속도 분의
진공 속 빛의 속도입니다.

01:06:43.536 --> 01:06:48.052

그런데 어차피 진공 속 빛의
속도는 정해진 값이잖아요.

01:06:48.152 --> 01:06:50.649
3억m/s로 정해진 값이거든요.

01:06:50.749 --> 01:06:56.887
그 정해진 값에 대해서 매질
속에서의 빛의 속도가 느릴수록

01:06:56.987 --> 01:07:00.750
굴절률은 크다, 라고
표현할 수 있게 되죠.

01:07:00.850 --> 01:07:04.106
그래서 이 부분 여러분이
기억하셔야 돼요.

01:07:04.206 --> 01:07:09.228
굴절률이란 이렇게 정의내려진다.

01:07:09.328 --> 01:07:16.533
그러면 우리는 지금까지 굴절의 일반적인
표현에 대해서 확인을 해봤어요.

01:07:16.633 --> 01:07:25.039
그러면 이번에는 굴절에 의해서 나타나는
현상들을 좀 정리해보도록 하겠습니다.

01:07:25.139 --> 01:07:28.003
굴절에 의해서 나타나는 현상.

01:07:28.103 --> 01:07:35.315
바로 잠긴 물체가 위로 떠 보이면서
커 보이는 현상이 일어나죠.

01:07:35.415 --> 01:07:38.813
그런 현상은 왜 일어나는지를
설명해보도록 하겠습니다.

01:07:38.913 --> 01:07:41.184
여기 지금 물이 있어요.

01:07:41.284 --> 01:07:46.345
그 물속에 이렇게 물고기가
있다고 생각해볼게요.

01:07:46.445 --> 01:07:49.135
이 물고기를 내가 위에서 봅니다.

01:07:49.235 --> 01:07:52.155
이때 우리는 눈이 2개죠?

01:07:52.255 --> 01:07:56.778
눈 2개로 이렇게 쳐다보는 거야.

01:07:56.878 --> 01:08:01.541
어떤 느낌인지 알겠죠?

01:08:01.641 --> 01:08:06.065
그러면 물고기 끝에서
빛이 나와서 이 빛이

01:08:06.165 --> 01:08:10.782

내 오른쪽 눈에 들어가고
왼쪽 눈에 들어가겠죠.

01:08:10.882 --> 01:08:14.406

그러면 오른쪽 눈으로 들어오는
빛은 어떻게 되겠어요?

01:08:14.506 --> 01:08:17.232

빛이 이렇게 가서 굴절해서
이렇게 들어올 거고

01:08:17.332 --> 01:08:21.581

이쪽으로 가는 빛은 빛이 이렇게
와서 이렇게 꺾여 들어옵니다.

01:08:21.681 --> 01:08:23.000

어쨌든 굴절이 일어나죠?

01:08:23.100 --> 01:08:25.448

그러면 우리 눈은
뭐라고 착각하느냐,

01:08:25.548 --> 01:08:31.067

이렇게 들어오는 빛의 연장선,
이렇게 들어오는 빛의 연장선.

01:08:31.167 --> 01:08:37.261

바로 이 지점에서 이 지점의 빛이
직선으로 뻗어 나왔다고 생각합니다.

01:08:37.361 --> 01:08:40.441

지금 여기서부터 빛이 쭉,
여기서부터 빛이 쭉.

01:08:40.541 --> 01:08:42.040

이렇게 생각하는 거죠.

01:08:42.140 --> 01:08:44.852

그래서 이 지점이 여기서
왔다고 생각하고요.

01:08:44.952 --> 01:08:47.392

이번에는 꼬랑지에서
오는 빛을 보겠습니다.

01:08:47.492 --> 01:08:57.505

꼬랑지에서 오는 빛을 그리면 이렇게
가다가 이렇게 굴절하겠죠.

01:08:57.605 --> 01:08:59.668

무수하게 많은 빛이 있죠.

01:08:59.768 --> 01:09:04.497

그런데 그중에 오른쪽 눈, 왼쪽으로
들어오는 빛만 그리는 거야.

01:09:04.597 --> 01:09:07.973

그러면 이 꼬랑지에서
무수하게 많은 빛이 있는데

01:09:08.073 --> 01:09:12.407

그중에 이렇게 간 빛이
왼쪽 눈에 들어가고

01:09:12.507 --> 01:09:16.219

이렇게 간 빛이 오른쪽
눈으로 들어가겠죠.

01:09:16.319 --> 01:09:21.622

그러면 이 빛의 연장선,
이 빛의 연장선.

01:09:21.722 --> 01:09:27.668

이 지점에서 빛이 쪽쪽
뻗어서 왼쪽 눈,

01:09:27.768 --> 01:09:30.141

오른쪽 눈으로 들어갔다고
생각한다고요.

01:09:30.241 --> 01:09:34.976

그러면 꼬랑지 부분, 이 지점은 여기서부터
빛이 출발했다고 보이는 거죠.

01:09:35.076 --> 01:09:38.234

결국 애는 어떻게
물고기가 보이느냐,

01:09:38.334 --> 01:09:40.506

대가리는 여기, 꼬랑지는 여기.

01:09:40.606 --> 01:09:44.541

그래서 이렇게 보이는 거죠.

01:09:49.421 --> 01:09:51.890

그러면 당연히 어떻게 돼 보여?

01:09:51.990 --> 01:09:54.895

실제 물고기의 위치보다 떠 있고요.

01:09:54.995 --> 01:09:59.509

실제 물고기의 크기보다
커 보이게 되는 거죠.

01:09:59.609 --> 01:10:05.841

바로 이 물속에 잠긴 물체가 떠 보이고
커 보이는 이유는 뭐 때문이야?

01:10:05.941 --> 01:10:09.609

굴절 때문에 나타나는 현상이에요.

01:10:09.709 --> 01:10:12.386

굴절, 플러스 눈깔이 2개.

01:10:12.486 --> 01:10:17.953

물론 눈깔 1개여도 우리가 눈구멍으로
여러 가닥의 빛이 들어오니까

01:10:18.053 --> 01:10:21.537

그 빛의 연장선을 취하면 이런
형태로 취해지게 됩니다.

01:10:21.637 --> 01:10:27.743
어쨌든 때 보이고 커 보이는 현상이
나타나는 이유는 굴절 때문이구나, 라는 걸

01:10:27.843 --> 01:10:29.806
판단할 수 있고요.

01:10:29.906 --> 01:10:32.818
두 번째 또 판단할 내용은
바로 신기루인데요.

01:10:32.918 --> 01:10:36.208
앞서서도 말씀을 드렸듯이
신기루는 다음 강의.

01:10:36.308 --> 01:10:41.715
이어지는 19강 강의, 전반사와
광통신에서 말씀을 드리도록 하겠습니다.

01:10:41.815 --> 01:10:46.222
그러면 또 굴절에 의해서 나타나는
현상은 바로 뭐가 있느냐,

01:10:46.322 --> 01:10:48.033
렌즈가 있습니다.

01:10:48.133 --> 01:10:49.770
렌즈는 두 종류가 있죠.

01:10:49.870 --> 01:10:52.795
볼록렌즈와 오목렌즈가 있거든요.

01:10:52.895 --> 01:10:56.126
이것도 우리가 간단하게
판단을 해보도록 할게요.

01:10:56.226 --> 01:10:58.817
일단 볼록렌즈를 한번
보도록 하겠습니다.

01:10:58.917 --> 01:11:01.777
볼록렌즈는 이렇게 생겼어요.

01:11:01.877 --> 01:11:08.581
좀 과장되게 그럴게요.

01:11:08.681 --> 01:11:10.110
그러면 이제 빛이 옵니다.

01:11:10.210 --> 01:11:15.962
빛이 오면 빛이 어떻게 되나요?

01:11:16.062 --> 01:11:17.701
경계면을 만나요.

01:11:17.801 --> 01:11:19.811
여기 경계면은 실제로
이렇게 되어있는 거죠?

01:11:19.911 --> 01:11:21.581

여기 이렇게 경계면을 만나요.

01:11:21.681 --> 01:11:24.313
그러면 경계면에 뭘 그어줘야 돼요?

01:11:24.413 --> 01:11:28.362
수직선을 그어줘야 됩니다.

01:11:28.462 --> 01:11:32.242
경계면에 수직선을 그어주면
수직선과 이루는 각도.

01:11:32.342 --> 01:11:33.758
이 각도가 뭐가 돼요?

01:11:33.858 --> 01:11:35.215
입사각이 되는 거죠.

01:11:35.315 --> 01:11:41.576
그러면 이 각도가 커요, 렌즈
속에서의 각도가 클까요?

01:11:41.676 --> 01:11:43.307
그걸 알려면 뭘 알아야 되죠?

01:11:43.407 --> 01:11:46.125
공기에서의 빛의 속도가 빠르지.

01:11:46.225 --> 01:11:49.880
렌즈, 유리 속에서의 빛의
속도가 빠르지를 알아야 되죠?

01:11:49.980 --> 01:11:51.748
어디서의 빛의 속도가 빨라요?

01:11:51.848 --> 01:11:54.889
공기에서 빠르고
유리에서는 느려져요.

01:11:54.989 --> 01:11:58.100
즉 이 각도가 여기의
각도보다 커야 돼요.

01:11:58.200 --> 01:12:00.033
그러면 애는 어떻게
꺾여온다는 소리야?

01:12:00.133 --> 01:12:03.733
이 각도가 이 각도보다 더
작아야 된다는 소리죠?

01:12:03.833 --> 01:12:05.577
그러려면 애는 어떻게 꺾여야 돼?

01:12:05.677 --> 01:12:08.989
이렇게 꺾여야 되는 거죠.

01:12:09.089 --> 01:12:11.310
잘 모르겠으면 어떤
방법을 취해도 돼요?

01:12:11.410 --> 01:12:13.359
장난감 자동차를 취하면 돼요.

01:12:13.459 --> 01:12:17.011
이렇게 오면 어느 바퀴가
먼저 들어갑니까?

01:12:17.111 --> 01:12:18.711
이 바퀴가 먼저 들어가요.

01:12:18.811 --> 01:12:20.280
이 바퀴는 나중에 들어가요.

01:12:20.380 --> 01:12:23.040
그래서 이 바퀴는 느리고 이
바퀴는 빠르니까 어떻게 됩니까?

01:12:23.140 --> 01:12:26.292
이렇게 꺾여 들어오는 거죠.

01:12:26.392 --> 01:12:28.707
그래서 이렇게 꺾여오겠구나.

01:12:28.807 --> 01:12:30.749
그러면 이번에는 또 어떻게 됩니까?

01:12:30.849 --> 01:12:35.001
이런 경계면을 만납니다.

01:12:35.101 --> 01:12:38.674
그러면 또 어떻게 해줘야 되죠?

01:12:38.774 --> 01:12:44.581
경계면에 수직선을 그어주고

01:12:44.681 --> 01:12:50.655
수직선으로부터 이루는 각도와 여기서
빠져나가는 각도를 비교해야 되죠.

01:12:50.755 --> 01:12:53.813
여기 각도의 크기가 커야 돼요,
여기 각도의 크기가 커야 돼요?

01:12:53.913 --> 01:12:56.483
속도가 빠른 쪽의 각도가 크다고요.

01:12:56.583 --> 01:13:01.638
그러면 이렇게 각도가
더 커야 되죠?

01:13:01.738 --> 01:13:03.744
그러면 애는 어떻게 돼야 됩니까?

01:13:03.844 --> 01:13:06.052
이렇게 꺾여야 됩니다.

01:13:06.152 --> 01:13:08.584
이것도 잘 모르겠으면 어떤
방법을 취하면 돼요?

01:13:08.684 --> 01:13:10.413

장난감 자동차를 취하면 되죠.

01:13:10.513 --> 01:13:13.316

이렇게 오다 보면 이
바퀴가 먼저 나가요.

01:13:13.416 --> 01:13:16.192

그러면 이 바퀴는 속도가 빠르고
이 바퀴는 속도가 느리겠죠?

01:13:16.292 --> 01:13:18.475

그러면 이렇게 꺾여오게 되는 거죠.

01:13:18.575 --> 01:13:21.384

결국 빛이 가서 어떻게
된다는 소리야?

01:13:21.484 --> 01:13:23.422

이렇게 꺾여온다는 소리죠.

01:13:23.522 --> 01:13:27.435

그러면 이쪽으로 가던
빛은 어떻게 됩니까?

01:13:27.535 --> 01:13:30.035

이렇게, 이렇게 꺾여간다는 소리죠.

01:13:30.135 --> 01:13:36.997

결과적으로 볼록렌즈는 수평으로
진행하던 빛이 굴절 굴절 해서

01:13:37.097 --> 01:13:42.829

한 점에 모이는 현상이 발생하는구나,
라는 걸 우리가 알 수 있습니다.

01:13:42.929 --> 01:13:46.684

그래서 볼록렌즈가
수평으로 들어오는 빛을

01:13:46.784 --> 01:13:50.988

나란하게 들어오는 빛을 모아주는
이유가 바로 뭐 때문이야?

01:13:51.088 --> 01:13:57.707

굴절 때문이다, 라고 표현할
수 있게 되는 거죠.

01:13:57.807 --> 01:14:00.331

그러면 이제 오목렌즈 한번 볼게요.

01:14:00.431 --> 01:14:04.776

오목렌즈도 과장되게 그려보겠습니다.

01:14:08.982 --> 01:14:11.187

빛이 이렇게 옵니다.

01:14:11.287 --> 01:14:13.209

잘 모르면 장난감 자동차.

01:14:13.309 --> 01:14:17.427

좀 아는 척하고 싶으면 각도를

이용하면 되는 거죠?

01:14:17.527 --> 01:14:18.538
이렇게 옵니다.

01:14:18.638 --> 01:14:21.076
이렇게 오는 빛도 역시나
어떻게 해줘야 돼요?

01:14:21.176 --> 01:14:22.813
경계면을 그어줘야 되고요.

01:14:22.913 --> 01:14:27.557
경계면에 수직선을 그어줘야 되죠.

01:14:27.657 --> 01:14:28.725
그러면 어떻게 돼요?

01:14:28.825 --> 01:14:32.531
수직선으로부터 이루는
각을 비교해야 되죠.

01:14:32.631 --> 01:14:35.162
여기의 각도가 커요,
여기의 각도가 커요?

01:14:35.262 --> 01:14:37.918
속도가 빠른 쪽의 각도가 크다고요.

01:14:38.018 --> 01:14:41.917
그러면 여기의 각도가 여기의
각도보다 더 커야 되죠?

01:14:42.017 --> 01:14:46.758
그러면 여기의 각도는
작아져야 돼요.

01:14:46.858 --> 01:14:48.275
그러면 애는 어떻게 꺾여야 돼요?

01:14:48.375 --> 01:14:51.119
이렇게 꺾여가야 된다는 소리죠.

01:14:51.219 --> 01:14:52.313
잘 모르면 어떻게?

01:14:52.413 --> 01:14:54.095
장난감 자동차.

01:14:54.195 --> 01:14:58.320
이렇게 갔는데 이 바퀴는 느리고
이 바퀴는 빠를 거니까

01:14:58.420 --> 01:14:59.788
위쪽으로 꺾여갈 거 아니야.

01:14:59.888 --> 01:15:02.297
그러면 역시나 이때도
어떻게 돼야 돼요?

01:15:02.397 --> 01:15:04.029

경계면을 그어주고요.

01:15:04.129 --> 01:15:08.259

경계면에 수직선을 또
그어줘야 되죠.

01:15:08.359 --> 01:15:11.518

그러면 수직선으로부터 이루는 각.

01:15:11.618 --> 01:15:12.969

어디가 커야 돼요?

01:15:13.069 --> 01:15:16.207

속도가 빠른 쪽의 각도가
커야 된다고요.

01:15:16.307 --> 01:15:19.733

그러면 여기의 각도가 커요,
여기의 각도가 커요?

01:15:19.833 --> 01:15:22.119

여기의 각도가 더 커야죠.

01:15:22.219 --> 01:15:26.380

그러면 수직선으로부터 이루는
각도가 더 커야 되니까

01:15:26.480 --> 01:15:28.162

애는 어떻게 꺾여야 된다는 소리야?

01:15:28.262 --> 01:15:30.065

이렇게 꺾여야 된다는 소리입니다.

01:15:30.165 --> 01:15:32.851

이렇게 와서 또 이렇게
꺾여가는 거죠.

01:15:32.951 --> 01:15:34.619

그러면 결국 어느 쪽으로 꺾여가요?

01:15:34.719 --> 01:15:36.176

바깥쪽으로 꺾여간다고요.

01:15:36.276 --> 01:15:38.630

이쪽에서 오는 빛도 어떻게 됩니까?

01:15:38.730 --> 01:15:41.263

이렇게 꺾이고 이렇게 꺾여간다고요.

01:15:41.363 --> 01:15:44.958

결국 오목렌즈는 수평으로
오는 빛이 어떻게 됩니까?

01:15:45.058 --> 01:15:47.926

퍼지는 현상이 나타나게 됩니다.

01:15:48.026 --> 01:15:50.381

이 이유도 바로 뭐 때문이야?

01:15:50.481 --> 01:15:56.677

굴절 때문이구나, 라는 걸 우리가

판단할 수 있게 되는 거죠.

01:15:56.777 --> 01:16:04.784
우리는 이렇게 해서 이 파동의 표현과
굴절에 의해서 나타나는 용어들.

01:16:04.884 --> 01:16:07.414
그리고 표현들에 대해서
확인해봤습니다.

01:16:07.514 --> 01:16:15.456
그러면 오늘 배운 내용이 기출 문제에서는
어떻게 출제됐었는지를 확인해보면서

01:16:15.556 --> 01:16:19.563
보강설명도 마저 해나가도록 할게요.

01:16:19.663 --> 01:16:21.587
1번부터 보도록 하겠습니다.

01:16:21.687 --> 01:16:29.320
지금 문제의 조건을 봤더니 같은
속력으로 진행하는 파동 A와 B래요.

01:16:29.420 --> 01:16:31.170
그래프는 무슨 그래프예요?

01:16:31.270 --> 01:16:34.145
변위와 위치 그래프예요.

01:16:34.245 --> 01:16:38.349
그러면 변위와 위치, 변위와 거리
그래프로 뭘 알 수 있어요?

01:16:38.449 --> 01:16:39.886
파장을 알 수 있습니다.

01:16:39.986 --> 01:16:44.321
A는 파장이 어디서부터 어디예요?

01:16:44.421 --> 01:16:48.492
여기서부터 여기까지입니다.

01:16:48.592 --> 01:16:51.235
즉 여기서부터 여기까지의 길이.

01:16:51.335 --> 01:16:55.956
이 길이가 A의 파장이죠.

01:16:56.056 --> 01:16:58.634
B는 파장이 어디서부터 어디예요?

01:16:58.734 --> 01:17:00.979
여기서부터 여기까지.

01:17:01.079 --> 01:17:03.489
여기서 따지면 어디까지가 파장이야?

01:17:03.589 --> 01:17:08.248
이 길이가 파장이 됩니다.

01:17:08.348 --> 01:17:11.762

우리는 A와 B의 파장이
몇 대 몇임을 알 수 있어요?

01:17:11.862 --> 01:17:15.670

1:2구나, 라는
것도 알 수 있어요.

01:17:15.770 --> 01:17:18.148

그러면 문제의 조건에서
속력이 같대.

01:17:18.248 --> 01:17:20.391

파동의 속도 어떻게 구합니까?

01:17:20.491 --> 01:17:28.112

$v = T$ 분의 $\lambda = \lambda * f$ 에서
속도가 어떤 거야?

01:17:28.212 --> 01:17:28.979

같대요.

01:17:29.079 --> 01:17:32.917

속도가 같은데 파장이
몇 대 몇이야?

01:17:33.017 --> 01:17:34.016

1:2죠?

01:17:34.116 --> 01:17:39.950

λ_A 와 λ_B 의 파장의
비는 1:2야.

01:17:40.050 --> 01:17:41.589

그러면 주기는 몇 대 몇이야?

01:17:41.689 --> 01:17:44.559

역시나 1:2고 진동수는
몇 대 몇이야?

01:17:44.659 --> 01:17:48.796

2:1이구나, 라는 걸 우리가
알 수 있게 되는 거죠.

01:17:48.896 --> 01:17:51.822

그러면 γ 부터 보도록 하겠습니다.

01:17:51.922 --> 01:17:56.354

파장은 A가 B보다 작다,
맞는 표현이고요.

01:17:56.454 --> 01:17:57.625

γ 보겠습니다.

01:17:57.725 --> 01:17:58.433

진폭.

01:17:58.533 --> 01:18:00.556

진폭은 뭐죠?

01:18:01.405 --> 01:18:03.892

이 높이 값을 진폭이라고 불러요.

01:18:03.992 --> 01:18:06.529
A는 높이 값이 이만큼이고요.

01:18:06.629 --> 01:18:09.273
B는 높이 값이 이만큼이에요.

01:18:09.373 --> 01:18:10.785
진폭은 누가 커요?

01:18:10.885 --> 01:18:15.005
A가 B보다 진폭이 크다는
걸 알 수가 있습니다.

01:18:15.105 --> 01:18:18.234
따라서 진폭은 A와
B가 같다, 틀렸죠.

01:18:18.334 --> 01:18:19.278
ㄷ 보겠습니다.

01:18:19.378 --> 01:18:21.225
주기는, 주기는 어때요?

01:18:21.325 --> 01:18:23.343
파장이 지금 몇 대 몇이야?

01:18:23.443 --> 01:18:24.386
1:2죠?

01:18:24.486 --> 01:18:27.877
그러면 주기도 1:2여야
속도가 같겠죠.

01:18:27.977 --> 01:18:34.846
그래서 주기 ㄷ번도 틀렸구나,
라는 걸 판단할 수 있어요.

01:18:34.946 --> 01:18:36.505
어려운 문제 아니죠?

01:18:36.605 --> 01:18:39.120
2번 문제 보도록 하겠습니다.

01:18:39.220 --> 01:18:42.021
2번 문제 굉장히
조심하셔야 됩니다.

01:18:42.121 --> 01:18:44.012
주의하실 필요가 있어요.

01:18:44.112 --> 01:18:52.632
뭐냐, 문제를 봤더니 줄에서
x축과 나란하게 진행한대요.

01:18:52.732 --> 01:18:57.598
x축과 나란하게 진행하지만,

01:18:57.698 --> 01:19:01.947
이쪽으로 진행하는지 이쪽으로

진행하는지 아직은 몰라요.

01:19:02.047 --> 01:19:04.769
그런데 진동은 이렇게 한대요.

01:19:04.869 --> 01:19:09.915
그러면 진행 방향과 진동 방향이
몇 도를 이루는 거야?

01:19:10.015 --> 01:19:11.362
90도를 이루네?

01:19:11.462 --> 01:19:13.364
그러면 애는 횡파야 종파야?

01:19:13.464 --> 01:19:17.011
횡파겠구나, 라는 걸
재빨리 알 수 있고요.

01:19:17.111 --> 01:19:27.212
또 하나 문제를 봤더니, 이 P점의
움직임을 변위 시간의 그래프로 나타냈대요.

01:19:27.312 --> 01:19:30.014
앞에 개념 강의에서도
말씀을 드렸듯이

01:19:30.114 --> 01:19:33.398
변위 시간의 그래프는 뭘
나타내는 거라고요?

01:19:33.498 --> 01:19:36.924
매질의 움직임을 나타내는
거라고 그랬죠.

01:19:37.024 --> 01:19:39.807
이 매질이 어떻게 움직인대요?

01:19:39.907 --> 01:19:45.281
위로 올라갔다가 아래로 내려왔다가
아래로 내려갔다가 위로 올라갔다가

01:19:45.381 --> 01:19:47.581
위로 올라갔다 아래로 내려갔다.

01:19:47.681 --> 01:19:49.098
이런 상황입니다.

01:19:49.198 --> 01:19:52.273
그러면 애가 지금 어디로
움직이기 시작하고 있어요?

01:19:52.373 --> 01:19:53.680
위로 움직이기 시작하죠.

01:19:53.780 --> 01:19:57.857
그러면 애가 위로 움직이려면
이 웨이브는, 이 파는

01:19:57.957 --> 01:20:00.915
오른쪽으로 이동해야 될까,

왼쪽으로 이동해야 될까.

01:20:01.015 --> 01:20:06.071

애가 만약에 오른쪽으로
이동하는 웨이브라면 이 줄이

01:20:06.171 --> 01:20:09.219

이 파형 그대로 오른쪽으로
움직여오겠죠.

01:20:09.319 --> 01:20:13.932

이렇게 움직여오겠죠.

01:20:14.032 --> 01:20:20.126

이 줄이 그대로 이렇게 움직이게 되면
이 P점은 어디로 움직여가야 되죠?

01:20:20.226 --> 01:20:22.217

아래로 움직여와야 돼요.

01:20:22.317 --> 01:20:24.636

아래로 움직이기 시작해야 됩니다.

01:20:24.736 --> 01:20:27.034

그런데 애는 어디로
움직이기 시작했어?

01:20:27.134 --> 01:20:28.502

위로 움직이기 시작했어.

01:20:28.602 --> 01:20:32.140

결국 애는 오른쪽으로 움직이는
게 아니라는 소리죠.

01:20:32.240 --> 01:20:34.469

애가 왼쪽으로 움직여야.

01:20:34.569 --> 01:20:42.694

이게 그대로 왼쪽으로 움직여가야

01:20:42.794 --> 01:20:48.633

여기에 있던 애가 위로
올라가기 시작합니다.

01:20:48.733 --> 01:20:53.332

결국 이 웨이브는 왼쪽으로
움직이는 웨이브구나, 라는 걸

01:20:53.432 --> 01:20:55.332

우리가 판단할 수 있습니다.

01:20:55.432 --> 01:20:57.581

굉장히 중요한 문제의 유형입니다.

01:20:57.681 --> 01:20:59.397

반드시 기억을 해두셔야 되겠어요.

01:20:59.497 --> 01:21:01.457

ㄱ, 황파 맞죠?

01:21:01.557 --> 01:21:07.017

진행 방향과 진동 방향의 수직이니까
진동수는 얼마니, 라고 물었어요.

01:21:07.117 --> 01:21:11.889

애는 지금 이 상태에서
위로 올라가기 시작해서

01:21:11.989 --> 01:21:15.469

다시 위로 올라가는 데까지
걸리는 시간이 얼마가 됐어요?

01:21:15.569 --> 01:21:16.606

2초가 걸렸어요.

01:21:16.706 --> 01:21:19.257

이 말은 뭐야? 주기가
얼마라는 소리야?

01:21:19.357 --> 01:21:20.403

2초라는 소리죠.

01:21:20.503 --> 01:21:23.572

그런데 진동수는 주기랑
무슨 관계에 있어요?

01:21:23.672 --> 01:21:26.634

역수 관계에 있으니까
진동수는 얼마가 돼요?

01:21:26.734 --> 01:21:32.137

0.5Hz구나, 라는 걸 알 수
있어서 2번 보기는 틀렸습니다.

01:21:32.237 --> 01:21:35.321

0.5Hz예요.

01:21:35.421 --> 01:21:36.306

ㄷ 보겠습니다.

01:21:36.406 --> 01:21:40.039

파동의 진행 방향은 아까
말씀드렸듯이 왼쪽 방향.

01:21:40.139 --> 01:21:45.870

-x 방향이다, 라는 걸
우리가 알아낼 수 있어요.

01:21:45.970 --> 01:21:48.658

이렇게 해서 2번
문제도 해결해봤고요.

01:21:48.758 --> 01:21:52.952

그러면 이제 3번 문제로
들어가 보도록 하겠습니다.

01:21:53.052 --> 01:21:59.008

3번 문제는 지금 파가 이렇게
와서 이렇게 진행해가고 있대요.

01:21:59.108 --> 01:22:01.528

이 검은색 선이 뭐죠?

01:22:01.628 --> 01:22:03.083

이 그림 상황에서 이 선.

01:22:03.183 --> 01:22:06.192

이 선이 바로 뭐예요?

01:22:06.292 --> 01:22:10.119

화면을 나타내고 있고요.

01:22:10.219 --> 01:22:13.633

이때 이 거리가 뭐가 되는 거야?

01:22:13.733 --> 01:22:21.687

λ_1 이 되는 거고 여기서 이
거리가 λ_2 가 되는 거죠.

01:22:21.787 --> 01:22:24.431

그러면 이제 γ 부터
보도록 하겠습니다.

01:22:24.531 --> 01:22:29.038

γ , 누가 빠르니, 라고 물었어요.

01:22:29.138 --> 01:22:32.314

이 빠르기를 알아내는 방법이
이 문제의 조건에서는

01:22:32.414 --> 01:22:34.170

여러 가지 방법이 있습니다.

01:22:34.270 --> 01:22:35.844

일단 어떤 방법이 있어요?

01:22:35.944 --> 01:22:38.550

파장의 길이를 비교하는 거죠, 왜?

01:22:38.650 --> 01:22:47.880

속도의 비는, $v_1:v_2$ 는
 $\lambda_1:\lambda_2$ 의 비와 일치하거든요.

01:22:47.980 --> 01:22:50.198

따라서 파장이 누가 길어요?

01:22:50.298 --> 01:22:56.088

λ_1 이 λ_2 보다 기니까 이쪽이
이쪽보다 빠르다고 찾아내도 되고요.

01:22:56.188 --> 01:22:57.926

뭘 이용해서 찾을 수도 있어요?

01:22:58.026 --> 01:23:00.277

각도를 이용해서 찾을 수도 있어요.

01:23:00.377 --> 01:23:03.908

경계면의 수직선으로부터 이루는 각.

01:23:04.008 --> 01:23:07.074

경계면의 수직선으로부터 이루는 각.

01:23:07.174 --> 01:23:09.665

그러면 이 각과 이 각을
비교하면 된다는 소리죠?

01:23:09.765 --> 01:23:13.339
각도가 큰 쪽의 속도가 빠르다고요.

01:23:13.439 --> 01:23:16.147
이쪽의 각도가 이쪽의
각도보다 크죠?

01:23:16.247 --> 01:23:19.737
그러면 이쪽의 속도가 이쪽의
속도보다 빠른 거죠.

01:23:19.837 --> 01:23:24.259
그래서 v_1 이 v_2 보다
빠르다는 걸 알 수 있어서

01:23:24.359 --> 01:23:25.939
ㄱ 보기는 틀렸고요.

01:23:26.039 --> 01:23:27.619
ㄴ, 진동수는?

01:23:27.719 --> 01:23:35.010
진동수, 진동하는 횟수는 여기 I에서
진동하던 게 그대로 II를 때려주니까

01:23:35.110 --> 01:23:38.986
I의 매질에서 진동이
II의 매질을 때리고

01:23:39.086 --> 01:23:43.437
그 II의 매질이 그대로 그 매질의
진동으로 맞춰서 진동하게 되니까

01:23:43.537 --> 01:23:47.318
결국 I의 진동과 II의
진동은 똑같이 일어납니다.

01:23:47.418 --> 01:23:49.013
진동수는 똑같다고요.

01:23:49.113 --> 01:23:55.922
진동수는 똑같은데 속도가 달라서
파장이 달라지는 거죠.

01:23:56.022 --> 01:23:58.037
그래서 진동수는 동일하다.

01:23:58.137 --> 01:24:02.733
굴절할 때 진동수는 변하지
않는다는 거 기억해두시고요.

01:24:02.833 --> 01:24:07.769
물결파가 A에서 C까지.

01:24:07.869 --> 01:24:23.956
이 그림 상황에서 보면 A에서
C까지 이동할 때랑

01:24:24.056 --> 01:24:29.720

B에서 D까지 이동할 때 시간이
어떻니, 라고 물었어요.

01:24:29.820 --> 01:24:31.552

지금 애는 어떻습니까?

01:24:31.652 --> 01:24:34.869

여기서 여기까지
한 번, 두 번 왔죠.

01:24:34.969 --> 01:24:36.869

B도 여기서부터 여기까지 어때요?

01:24:36.969 --> 01:24:38.576

한 번, 두 번 왔습니다.

01:24:38.676 --> 01:24:41.733

여기도 두 파.

01:24:41.833 --> 01:24:53.831

v 는 $\lambda \cdot f$ 에 의해서
두 파가 가고 있다고요.

01:24:53.931 --> 01:24:56.585

두 파가 가고
두 파가 가고 있어요.

01:24:56.685 --> 01:24:58.939

파는 둘 다 두 파가 가고 있어요.

01:24:59.039 --> 01:25:03.019

그런데 속도는 어디가 빨라요?

01:25:07.259 --> 01:25:10.442

미안해, 이 관계로 설명하기는
좀 애매함이 있다.

01:25:10.542 --> 01:25:12.907

다시 한번 설명을 해보면,

01:25:13.007 --> 01:25:20.372

여기서 웨이브가 여기 오고 여기 올 때
여기는 웨이브가 여기 오고 여기 온 거죠.

01:25:20.472 --> 01:25:23.262

여기는 속도가 빠르니까 많은
거리를 이동한 거고요.

01:25:23.362 --> 01:25:26.458

여기는 속도가 느리니까 적은
거리를 이동한 거라고요.

01:25:26.558 --> 01:25:31.195

그 웨이브가 그대로 밀려왔다
그대로 밀려가는 상황이니까

01:25:31.295 --> 01:25:37.090

애가 두 파를 오는 시간과
애가 두 파를 가는 시간은

01:25:37.190 --> 01:25:39.439
동일한 시간이 걸리게 됩니다.

01:25:39.539 --> 01:25:42.324
결국 이 시간은 주기에
관계하는 거고요.

01:25:42.424 --> 01:25:44.324
주기의 역수는 진동수죠.

01:25:44.424 --> 01:25:49.483
진동수가 동일하니까 당연히 주기도
동일할 수밖에 없습니다.

01:25:49.583 --> 01:25:56.375
두 번 진동하는 시간이니까
II 주기라고요.

01:25:56.475 --> 01:25:59.248
결국 진동수가 똑같으니까
주기가 똑같죠.

01:25:59.348 --> 01:26:04.843
두 번의 주기를 거치는 상황이고 여기도
두 번의 주기를 거치는 상황이니까

01:26:04.943 --> 01:26:10.340
결국 시간은 동일하다고
표현할 수 있다고요.

01:26:10.440 --> 01:26:15.843
여기는 속도가 빨라서 많은 거리, 여기는
속도가 느려서 적은 거리를 갔다고

01:26:15.943 --> 01:26:20.113
단순하게 비교해도 어느 정도
짐작은 할 수 있는 내용이죠.

01:26:20.213 --> 01:26:24.605
그래서 ㄷ번 보기는 틀렸다는
걸 우리가 확인할 수 있어서

01:26:24.705 --> 01:26:29.179
정답은 ㄴ이구나, 라는
걸 알 수 있어요.

01:26:29.279 --> 01:26:34.501
이번에는 마지막 문제
4번 보도록 하겠습니다.

01:26:34.601 --> 01:26:37.757
매질 1, 2, 3이 있어요.

01:26:37.857 --> 01:26:40.013
이런 문제 어떻게 해결해야 될까요?

01:26:40.113 --> 01:26:44.676
일단 누가 빠른지를
판단해봐야 되겠죠.

01:26:44.776 --> 01:26:45.835

그 방법은 뭐니까?

01:26:45.935 --> 01:26:51.823

매질 1과 매질 2의 경계면에
법선, 수직선이 그어져 있고요.

01:26:51.923 --> 01:26:55.367

그 수직선과 이루는
각도를 비교하는 거죠.

01:26:55.467 --> 01:26:58.314

그러면 이 각과 이
각을 비교해야 됩니다.

01:26:58.414 --> 01:27:04.700

이번에는 매질 2와 매질 3의
경계면에 수직선이 그어져 있고요.

01:27:04.800 --> 01:27:11.315

그 수직선으로부터 이루는 각, 이
각과 이 각을 비교하는 거죠.

01:27:11.415 --> 01:27:12.299

뭐라고 그랬어요?

01:27:12.399 --> 01:27:15.668

각도가 큰 쪽의 속도가 빠르다고.

01:27:15.768 --> 01:27:19.489

그러면 매질 1과 매질 2를
비교하면 누가 각도가 커요?

01:27:19.589 --> 01:27:22.257

매질 2의 각도가 매질
1의 각도보다 크죠?

01:27:22.357 --> 01:27:24.128

그러면 이걸 가지고 우리가
알 수 있는 게 뭐야?

01:27:24.228 --> 01:27:26.223

이 조건을 통해서 알
수 있는 게 뭐니까?

01:27:26.323 --> 01:27:30.544

v_2 의 속도가 v_1 의
속도보다 빠르구나.

01:27:30.644 --> 01:27:33.579

이번에는 이 조건을 통해서
알 수 있는 건 뭐니까?

01:27:33.679 --> 01:27:37.790

여기 매질 3에서의 각도가
매질 2의 각도보다 크죠?

01:27:37.890 --> 01:27:40.070

그러면 이걸 가지고
알 수 있는 게 뭐야?

01:27:40.170 --> 01:27:44.638

매질 3에서의 속도가 매질 2에서의 속도보다 빠르구나.

01:27:44.738 --> 01:27:48.259
그러면 이것과 이거의 관계를 통해서 우리는 바로 뭘 알 수 있어요?

01:27:48.359 --> 01:27:56.045
 v_3 , v_2 , v_1 의 관계가 성립되는구나, 라는 걸 바로 알 수 있죠.

01:27:56.145 --> 01:27:57.942
ㄱ 보겠습니다.

01:27:58.042 --> 01:28:03.234
매질 단색광이 속력은 1에서가 2에서 보다, 틀렸죠?

01:28:03.334 --> 01:28:05.273
ㄴ 보도록 하겠습니다.

01:28:05.373 --> 01:28:06.110
굴절률.

01:28:06.210 --> 01:28:07.288
아까 말씀드렸어요.

01:28:07.388 --> 01:28:11.334
굴절률은 어때요?

01:28:11.434 --> 01:28:13.404
굴절률은 기호로 n 이라고 써요.

01:28:13.504 --> 01:28:18.660
굴절률은 매질의 속도와
반비례 관계한다고요.

01:28:18.760 --> 01:28:23.229
매질의 속도가 빠르면
굴절률은 늘어요.

01:28:23.329 --> 01:28:30.596
굴절률은 매질 속 빛의 속도예요.

01:28:30.696 --> 01:28:32.533
그런데 진공 속 빛의 속도.

01:28:32.633 --> 01:28:35.207
우리 진공에서의 빛의 속도는
보통 c 라고 표현하죠.

01:28:35.307 --> 01:28:39.052
그래서 매질 속에서의 빛의 속도가
느릴수록 굴절률이 크니까

01:28:39.152 --> 01:28:45.111
결국 굴절률과 매질 속 빛의
속도는 반비례 관계죠.

01:28:45.211 --> 01:28:47.392
그러면 애가 어떤 관계가

성립되었습니까?

01:28:47.492 --> 01:28:52.363

굴절률은 반대라고요.

01:28:52.463 --> 01:28:56.232

속도가 느릴수록 굴절률은 크다고요.

01:28:56.332 --> 01:28:59.452

이런 관계를 보이게 됩니다.

01:28:59.552 --> 01:29:05.315

그래서 n 번 보기, 매질 1의 굴절률이 매질 3의 굴절률보다 크다.

01:29:05.415 --> 01:29:06.810

맞는 보기가 되고요.

01:29:06.910 --> 01:29:15.419

n , 매질 1에서 단색광이 i_0 보다.

01:29:15.519 --> 01:29:18.898

지금 보기 n 은 전반사라는 문구를 묻고 있죠?

01:29:18.998 --> 01:29:23.642

전반사는 이어지는 19강에서 우리가 다룰 내용이에요.

01:29:23.742 --> 01:29:26.440

그럼에도 불구하고 미리 한번 확인해보도록 하겠습니다.

01:29:26.540 --> 01:29:30.166

이제 지금 문제에서 이야기하고자 하는 게 뭐냐,

01:29:30.266 --> 01:29:32.430

여기서 i_0 를 키운대요.

01:29:32.530 --> 01:29:36.209

i_0 키우면 여기서 입사각을 키우는 거죠?

01:29:36.309 --> 01:29:39.912

i_0 를 증가시키면 어떤 일이 일어납니까?

01:29:40.012 --> 01:29:42.986

당연히 굴절각도 커져야 되죠.

01:29:43.086 --> 01:29:45.988

그러면 애가 이렇게 꺾여갈 거 아니야.

01:29:46.088 --> 01:29:49.849

그러면 이렇게 꺾여가면 여기서 어떻게 됩니까?

01:29:49.949 --> 01:29:53.575

입사각, 들어가는 각도가
어떻게 된 거야?

01:29:53.675 --> 01:29:54.632
작아졌죠?

01:29:54.732 --> 01:29:57.540
그러면 여기서도 굴절각은
어떻게 될 수밖에 없어요?

01:29:57.640 --> 01:30:02.121
이 각도보다 작아질 수밖에 없죠.

01:30:02.221 --> 01:30:07.774
결국 애는 그냥 똑같이
빠져나가는 거죠.

01:30:07.874 --> 01:30:12.578
전반사에 대해서는 19강에서 좀 더
자세하게 말씀을 드리도록 할게요.

01:30:12.678 --> 01:30:16.469
결국 애는 빛이 이렇게
와서 이렇게 갔다가

01:30:16.569 --> 01:30:20.817
이렇게 빠져나가는 형태를
취하겠구나, 라는 걸

01:30:20.917 --> 01:30:22.459
우리가 알 수 있게 됩니다.

01:30:22.559 --> 01:30:28.321
그래서 ㄷ번 보기는 틀렸다.

01:30:28.421 --> 01:30:31.535
이렇게 해서 우리는 파동의 성질

01:30:31.635 --> 01:30:35.172
그리고 굴절에 대한 내용을
쭉 확인해봤고요.

01:30:35.272 --> 01:30:37.760
내용 자체가 어렵다기보다는

01:30:37.860 --> 01:30:42.131
여러분이 논리적으로 좀 따져갈 수
있는 훈련을 하셔야 되고요.

01:30:42.231 --> 01:30:45.120
기본적으로 파동을 표현하는 용어들.

01:30:45.220 --> 01:30:50.337
그리고 간단한 공식들, 머릿속에
꼭 담아두시길 바랍니다.

01:30:50.437 --> 01:30:51.393
수고하셨습니다.

01:30:51.493 --> 01:30:54.482
다음 강의에서 뵈도록 할게요.

