기술 01 (★★☆)

스택 알고리즘의 이해와 적용

<1문단> 스택과 스택 알고리즘의 특성

컴퓨터에서는 데이터를 처리하기 위해 여러 가지 데이터 구조를 활용한다.
→ 앞으로, 컴퓨터의 데이터 구조에 대해 이야기 해 줄 것입니다.

그 대표적인 것으로 '**스택**(stack)'을 들 수 있다.
→ 컴퓨터의 데이터 구조 중, 스택으로 글의 초점을 맞출 모양이지요?
스택은 한쪽 끝에서만 데이터가 들어가거나 나올 수 있는 특성을 가지는데, 스택에서 데이터가 가장 먼저 나올 수 있는 위치를 **톱(top)**이라 한다.
→ 스택의 특성과, 스택의 구성 요소 중 하나인 '톱'에 대해 설명하고 있습니다. 톱은 문자 그대로 스택의 가장 윗 부분에 위치하고 있으며 데이터가 가장 먼저 나올 수 있는 위치를 지칭한답니다.

스택의 구조는 위쪽만 뚫려 있는 통 안에 책을 차곡차곡 쌓는다고 생각하면 쉽게 이해할 수 있다.
→ 지문을 읽기 전에 문제를 먼저 읽었다면, 스택을 쉽게 이해할 수 있었을겁니다. 문제의 <보기>로 스택의 모양을 제시하고 있기 때문이지요. 문제를 먼저 읽지 않았더라도, '위쪽만 뚫려 있는 통 안에 책을 차곡차곡 쌓는 그림'을 그리 어렵지 않게 그릴 수 있었을 것입니다. 이런 모양이겠지요?



만약 **n개의 책**을 통에 쌓았다면 가장 먼저 꺼낼 수 있는 책은 **아래에서부터** n번째에 있는 것이고, **그 위에 책을 또 올리게 되면** 그 책은 **아래에서부터 n+1번째**에 있게 된다.
→ 그림을 통해 쉽게 이해할 수 있겠지요? '톱'에 위치한 책이 먼저 나올 것입니다.

스택 구조는 **이와 같은 통**에, **톱**은 **가장 위에 있는 책의 위치**에 비유될 수 있다.

→ 사실 그림을 그리지 않아도 머릿속으로 충분히 이해할 수도 있겠지만, 가급적 기술 지문에서 문장을 읽을 때 머릿속으로 어떤 이미지가 그려진다면, 이 이미지를 그려 주는 것이 지문을 이해할 때나, 문제를 풀 때 큰 도움이 됩니다. 문제에 그림이 제시되어있다면 당연히 그 그림을 통해 이해하는 것이 효율적이겠지요?

그리고 **스택 알고리즘**은 데이터가 들어가 보관되고 나오는 규칙으로, 통에 책을 넣어 쌓고 책을 꺼내는 행위에 비유될 수 있다.

→ 스택 알고리즘을 정의하고 있습니다. 지금껏 통과 책을 통해 스택과 톱을 설명했으므로 이 문장의 뒷부분은 그림을 통해 충분히 이해할 수 있는 내용일 것입니다.

<2문단> 수식 변환의 과정에 활용되는 스택 알고리즘

컴퓨터 내의 데이터 처리에서 **스택 알고리즘**은 **수식 변환의 과정**에 활용된다.

→ 스택 알고리즘이 수식 변환의 과정에 쓰인답니다. 앞으로는 수식 변환의 과정에 스택 알고리즘이 어떻게 활용 되는지 설명해 주어야겠지요?

수식은 '+'(덧셈), '*'(곱셈), '-'(뺄셈), ' / '(나눗셈) 등과 같은 **연산자**와, 'x, y, z, A, B, C' 등과 같은 **변수**나 '1, 2, 3' 등과 같은 **상수**가 포함되는 **피연산자**로 구성된다.

→ 수식의 구성을 제시하고 있습니다.

수식 = 연산자 + 피연산자(변수 + 상수)입니다. '수식 변환'을 설명하기 위한 준비 과정으로 이해할 수 있습니다. 수식 변환을 설명하기 위해 '수식'이 어떻게 생겨먹었는지 먼저 이야기 해 준 것이지요.

그리고 **수식**은 크게 **세 가지 표기 식**으로 표현할 수 있는데, 연산자가 피연산자 가운데 있는 **중위 표기 식**, 연산자가 피연산자 앞에 있는 **전위 표기 식**, 연산자가 피연산자 뒤에 있는 **후위 표기 식**이 그것이다.

→ 수식의 표현이 세 가지 표기 식으로 이루어 진답니다.

ⓐ 중위 표기 식: 피연산자 – 연산자 – 피연산자

ⓑ 전위 표기 식: 연산자, 연산자, 연산자 – 피연산자, 피연산자, 피연산자

ⓒ 후위 표기 식: 피연산자, 피연산자, 피연산자 – 연산자, 연산자, 연산자 일 것입니다.

예를 들어 'x 더하기 y 나누기 z'는 중위 표기 식으로는 'x+y/z'로, 전위 표기 식으로는 '+x/yz'로, 후위 표기 식으로는 'xyz/+'로 표현된다.

→ 이 예에서 주목해야 하는 것은, '전위 표기 식'입니다. +x/yz로 표기되어 있는데, 직전의 전위 표기 식의 정의에 따르면 연산자가 피연산자 앞에 있어야 합니다. 그런데 이 예에서는 '+x/yz'로, 연산자 /가 피연산자 사이에 있지요? 따라서, 이 예를 보면서, '아, 전위 표기 식, 후위 표기 식에서도 모든 연산자가 피연산자 앞에 전부 와야 하는 것은 아니고 경우에 따라 연산자가 피연산자들 사이에 있을 수 있겠구나.'라고 생각해 주어야 합니다.

우리가 일상생활에서 사용하는 것은 **중위 표기 식**이지만, 컴퓨터 내부에서는 괄호를 사용하지 않고도 계산해야 할 순서를 알 수 있는 **후위 표기 식**을 활용하기 때문에 **중위 표기 식**으로 입력한 수식은 **스택 알고리즘**을 통해 **후위 표기 식**으로 변환되어 계산된다.

→ 컴퓨터는 '괄호를 사용하지 않아야' 효율적으로 계산을 할 수 있거나, 아니면 아예 컴퓨터의 데이터 처리에 '괄호'라는 처리법은 없는 모양이지요? 둘 중 어떠한 이유가 되었든, '괄호를 사용하지 않고 계산하기 위해' 컴퓨터는 후위 표기 식을 활용한답니다. 필자는 앞으로 우리가 일상생활에서 사용하는 중위 표기 식을, 스택 알고리즘을 통해 후위 표기 식으로 변환하는 방법을 설명 해 줄 것입니다.

<3문단> 중위 표기 식을 후위 표기 식으로 변환하는 방법

중위 표기 식을 **후위 표기 식**으로 변환하는 방법은 간단하다.

→ 간단한지 어떤지 살펴보도록 합시다.

기본적인 전제는 **피연산자들의 순서는 변하지 않는다는 것**이다.

→ 피연산자(변수, 상수)의 순서는 변하지 않는답니다.

즉 **중위 표기 식**을 연산자 기준으로 괄호로 묶은 다음(ⓐ), 각 연산자를 묶고 있는 괄호의 오른쪽 괄호 밖으로 연산자를 이동한 후(ⓑ) 괄호를 모두 제거(ⓒ)하

면 된다.
→ 중위 표기 식 → ⓐ → ⓑ → ⓒ → 후위 표기 식이 된답니다.
본문에 명시되지는 않았지만, 후위 표기 식을 중위 표기 식으로 바꾸려면,
후위 표기 식 → ⓒ → ⓑ → ⓐ → 중위 표기 식
의 순서를 거치면 될 것입니다.

예를 들어 중위 표기 식 'A+B*C'를 후위 표기 식으로 바꾸기 위해서는 '(A+(B*C))'로 괄호를 묶은 뒤(=ⓐ), '(A(BC)*)+'와 같이 괄호의 오른쪽에 연산자를 옮긴 후(=ⓑ) 'ABC*+'와 같이 괄호를 제거(=ⓒ)하면 된다.
→ 직전 문장의 예시입니다. 이러한 예시 문장을 읽을 때, 이미 설명 된 단계와 이 예시가 어떻게 matching되는지 확인해 주면서 읽도록 합니다.

중위 표기 식을 **전위 표기 식**으로 변환하는 과정 역시 동일하다.
→ 근데 모든 process가 다 같으면 전위 표기 식과 후위 표기 식을 어떻게 구분하나요?

다만 연산자를 오른쪽에 옮기는 것이 아니라 **왼쪽으로 옮기는 것**만 차이가 있다.
→ 그렇군요, ⓑ에서 각 연산자를 묶고 있는 괄호의 오른쪽 괄호 밖으로 연산자를 이동하는 것이 아니라, '왼쪽 괄호 밖으로' 연산자를 이동시키면 되겠군요.

<4문단> 스택 알고리즘을 활용해 중위 표기 식을 후위 표기 식으로 변환하는 방법

컴퓨터에서는 중위 표기 식을 후위 표기 식으로 변환하기 위해 앞에서 언급한 **스택 알고리즘**을 활용한다.
→ 직전 문단에서도 한 이야기입니다.

후위 표기 식에서 피연산자들의 순서는 변하지 않으므로, 선후 순서가 바뀌어야 되는 **연산자들만** 다른 위치로 이동하면 된다.
→ 직전 문단에서 '기본적인 전제'로 피연산자들의 순서는 변하지 않는다고 했습니다. 중위 표기 식, 그리고 후위 표기 식에서 피연산자들의 순서는 변하지 않고, 연산자들의 '선후 순서'는 바뀌어야 한답니다. 그러므로 연산자들은 다른 위치로

이동 해야겠네요. 연산자들의 선후 순서가 바뀐 것은 직전 문단에서의 예에서 확인 할 수 있습니다. 중위 표기 식에서는 + → *의 순서였는데, 후위 표기 식에서는 * → +의 순서로 쓰여있지요?

스택 알고리즘에서 **피연산자**는 순서가 되면 후위 표기로 바로 나오게 된다.
→ 중위 표기 식에서 후위 표기 식으로 바뀔 때, 스택 알고리즘을 쓴다고 했지요? 스택 알고리즘을 활용하여 중위 표기 식을 후위 표기 식으로 바꾸는 과정에서 '피연산자'는 망설임 없이 후위 표기로 내보내라는 이야기네요.

그러나 **연산자**의 경우 피연산자와 달리 뒤에 스택으로 들어갈 **연산자의 존재 여부나 우선순위**에 따라 **스택에 보관**되거나 **후위 표기로 나오는 것**이 결정된다.
→ 스택 알고리즘에서는 '피연산자'는 스택에 보관하지 않고 바로 후위 표기 식에 써줬습니다. 반면, 연산자의 경우,
ⓐ 뒤에 스택으로 들어가야 하는 연산자의 존재 여부
ⓑ 연산자의 우선순위
에 따라, ① 스택에 보관되거나 ② 후위 표기로 나옵니다.

이때 **연산자의 우선순위**는 괄호 안의 연산을 우선하되, 덧셈과 뺄셈보다 곱셈과 나눗셈을 우선하는 것이 원칙이다.
→ 우리가 일상생활에서 수식을 계산할 때 전제하는 우선순위와 같은 맥락으로 이해할 수 있겠군요.

예를 들어 컴퓨터에서 스택 알고리즘을 활용해 중위 표기 식 'A+B*C'를 후위 표기 식으로 바꾸는 경우, **들어가는 데이터**는 'A', '+', 'B', '*', 'C'로 모두 5개이다.
→ 다시 말해, 이 다섯 개의 데이터에 대해 후위 표기로 바로 내보낼지, 스택에 보관할지를 결정 하는 것이 스택 알고리즘이 할 일일 것입니다.

들어가는 5개의 데이터 중 **피연산자**들은 스택에 보관되지 않고 후위 표기에 순차적으로 나오고, **연산자**들은 스택에 순차적으로 보관된다.
→ 피연산자 = 후위 표기에 순차적으로 나옴
연산자 = 스택에 순차적으로 보관
이라는데요, 연산자는 '뒤에 스택으로 들어갈 연산자의 존재 여부나 우선순위'에

따라 스택에 보관될 수도, 아니면 후위 표기에 바로 나올 수도 있을 것입니다.

다만 **연산자**들이 스택에 보관되거나 후위 표기로 나올 때에는 **현재의 스택 톱에 있는 연산자**와 **우선순위가 비교되는 과정**을 먼저 거친다.
→ 현재 스택 톱에 있는 연산자와 (스택에 보관할 지, 후위 표기로 나오게 할 지) 판단 해야하는 연산자의 우선순위를 비교한답니다.

만일 **스택 톱에 있는 연산자의 우선순위**가 **보관되려는 연산자의 우선순위**보다 **높거나 같으면** 스택 톱에 있는 연산자가 먼저 스택에서 나오게 된다.
→ 식으로 정리합시다.
If, 스택 톱 연산자 우선순위 ≥ 보관되려는(=판단 대상인) 연산자 우선순위
→ 스택 톱 연산자를 후위 표기로 내보냄

그런 뒤에는 다시 스택 톱에 오게 되는 다른 연산자와 **우선순위가 비교**된다.
→ 이런 식으로 계속 비교한답니다. 언제까지 비교할까요?
스택 톱 연산자 우선순위 < 보관되려는(=판단 대상인) 연산자 우선순위가 될 때까지 계속 비교 될 것입니다. 이 대소관계가 성립하는 순간, 보관되려는 연산자는 그제서야 스택에 보관 될 것입니다.
따라서, 스택에 보관된 연산자들은 톱에 가까울수록 우선순위가 높습니다. 연산자들이 스택에 보관되려면 직전에 스택 톱에 있었던 연산자보다 우선순위가 높아야만 하잖아요. 스택 톱에 있는 연산자는 스택에 보관된 연산자들 중 우선순위가 가장 높을 것입니다. 이 연산자보다 우선순위가 더 높은 연산자들은 이미 스택에서 나와 후위 표기 식에 표기가 되었을 것입니다.

중위 표기를 다 읽고 나면 연산자가 존재하지 않아 스택에 남아 있는 모든 연산자가 톱에서부터 하나씩 나오게 된다.
→ 결국, 후위 표기식의 연산자 표기 순서는 왼쪽부터 '우선 순위'가 높은 연산자가 오는 방식으로 표기한 것입니다. 이 연산자 표기 방식을 통해, 2 문단에서 언급한 '괄호를 사용하지 않고도 계산해야 할 순서'를 알 수 있겠지요? '괄호의 존재'가 계산의 순서를 지시하듯, 우선순위가 높은 연산자가 왼쪽부터 먼저 오는 것(=후위 표기 식)은 계산의 순서를 지시하기 때문입니다.

기술 02 (★★★)

항공기 여압 장치

<1문단> 고도에 따른 대기의 압력 변화와 항공기 여압

대기, 즉 **공기**는 그 자체의 무게를 가지고 있다.

→ 공기는 무게를 가지고 있답니다. 공기도 원소로 구성된 물질인 이상, 당연한 이야기네요.

해수면에서 우주가 시작되는 높이까지 제곱인치당 공기의 무게는 14.7lb 정도이며, 이를 활용해 표준 대기 조건에서 해수면의 대기 압력을 14.7psi라고 표시한다.

→ 우리가 해수면(=0m)에 있을 때 받는 대기 압력이 14.7psi이라는 이야기네요. 이 대기 압력과 관련된 무언가를 얘기해주려고 공기가 무게가 있고 대기 압력이 이렇습니다 와 같은 언급을 하는 것이겠지요?

대기의 압력과 온도는 **고도가 올라갈수록** 낮아지는데, 특히 **대기의 압력**이 일정 수준 이하로 낮아지면 체내로 산소 공급이 제대로 이루어지지 않아 **인간이 생활하는 것이 불가능**하다.

→ 대기의 압력, 온도 $\propto \frac{1}{\text{고도}}$ 이고, 고도가 올라가면 대기의 압력은 떨어지는데, 인간의 생활이 가능하기 위해서는 대기의 압력은 일정 수준을 넘어야 한답니다.

따라서 **항공기의 실내**는 반드시 인간이 활동하는 데 필요한 압력으로 유지해 주어야 한다.

→ 항공기는 엄청 높이 날 수 있잖아요. 고도가 높아지면 대기의 압력이 떨어진다고 했는데, 다른 조건이 다 동일하면 낮은 대기 압력에서 인간의 생활이 불가능 할 테니, 항공기의 실내의 대기 압력을 일정 수준(=인간이 활동하는 데 필요한 압력)으로 유지할 필요가 있답니다.

이러한 기능을 항공기의 '**여압**'이라고 하며 일반적으로 조종실과 객실에 **여압을 실시**한다.

→ 여압은 항공기 실내의 대기 압력을 '일정 수준'이상으로 유지하게 하는 기능일 것입니다. 조종실과 객실에는 사람이 있을 테니, 항공기의 고도가 상승할 경우 여압을 실시해 주어야 그 안에 있는 인간이 정상적으로 활동 할 수 있겠네요. 앞으로 필자는 '여압'에 대해 좀 더 자세히 설명 해 줄 것입니다.

<2문단> 항공기 여압의 고려 사항 - 객실 고도, 객실 차압, 객실 상승률

항공기에서 **여압**을 실시할 때에는 '**객실 고도**', '**객실 차압**', '**객실 상승률**' 등을 고려한다.

→ 여압을 실시함에 있어 고려해야 하는 세 가지 factor를 나열하고 있습니다. 객실 고도, 객실 차압, 객실 상승률이 무엇인지 이야기 해 줄 것이고, 이 세 factor를 여압을 실시할 때 어떻게 고려하는지 이야기 해 주겠지요?

객실 고도란 객실 내의 **압력**을 **고도로 표시**한 것으로, **항공기 객실의 압력**이 표준 대기 조건의 대기압과 같은 지점의 고도로 나타낸다.

→ 그렇다면, 객실 고도는 '높이의 단위'로 표현이 될 것이고, 그 숫자의 의미는 이 고도에 해당하는 지점의 표준 대기 조건상 대기압일 것입니다.

즉 객실 내 압력이 10.92psi인 경우, **객실 고도**는 표준 대기 조건의 대기압이 10.92psi가 되는 **8,000ft**가 된다.

→ ft는 높이의 단위이고, psi는 압력의 단위임을 확인해 줍시다.

다음으로 **객실 차압**은 **항공기 객실 내부의 압력**과 **외부 대기압**과의 **압력 차이**를 표현하는 용어이다.

→ 객실 차압 = |항공기 객실 내부 압력 – 외부 대기압| 입니다.

객실 차압은 **기체 구조의 강도**, **항공기의 최대 비행 고도**와 밀접한 관련이 있다.

→ 기체 구조의 강도와 항공기의 최대 비행 고도와 '어떤' 밀접한 관련이 있는지는 제시되지 않았네요. 이럴 땐 그냥 그렇구나 하고 받아들이면 됩니다.

마지막으로 **객실 상승률**은 **객실 고도의 변화율**을 나타내는 것으로 1분당 변화하는 객실 고도의 **피트 수**로 표현한다.

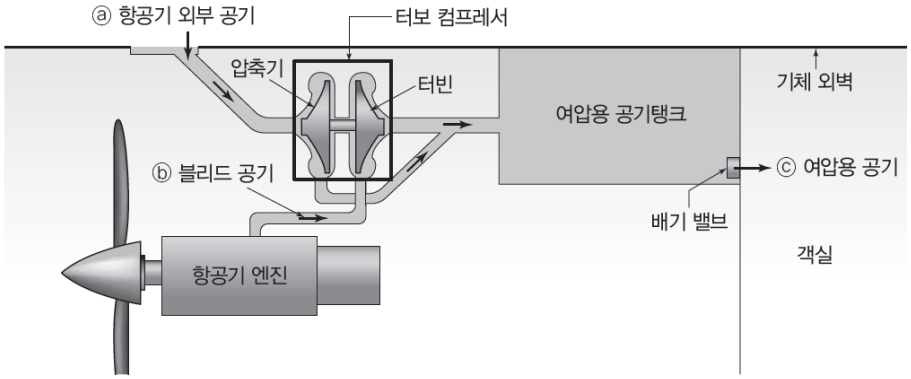
→ 객실 상승률 = △객실 고도 입니다. △객실 고도이니, 객실 상승률의 단위는 높이의 단위인 ft일 것입니다.

이제 여압을 실시할 때 고려하는 세 가지 factor가 각각 무엇인지 설명 해 주었으니, '어떻게' 고려하는 지 이야기 해 주어야겠지요?

<3문단> 항공기 여압용 공기의 공급 방법

제트 엔진을 사용하는 항공기는 **여압을 위해** 엔진의 압축기에서 공급된 '**블리드 공기**'와 **항공기 외부의 공기**를 혼합해 사용한다.

→ 문제를 먼저 읽었다면, 이 부분에 해당하는 그림이 제시 되었음을 확인 할 수 있습니다. 2번 문제의 <보기>에 있는 그림을 따라가며 내용을 이해하도록 합시다.



고도가 높으면 항공기 외부 공기의 온도와 압력이 낮아 이것만으로 **여압**을 실시하는 것이 어렵기 때문에, 상대적으로 압력과 온도가 높은 **블리드 공기**를 사용한다.

→ 1문단에 따르면, 여압은 인간이 활동하는 데 필요한 압력을 유지하는 기능입니다. 다른 조건이 일정하다고 할 때, 고도가 상승하면 온도와 압력이 낮아지지요? 항공기의 고도가 상승하면, 외부 공기의 온도와 압력이 낮아질 것입니다. 따라서 이 외부 공기만으로 항공기의 실내 압력을 올리기엔 어려움이 있을 것입니다. 그래서, 항공기 엔진의 '압축기'를 통해 공급된 (상대적으로)고압 고온의 블리드 공기를 사용한다는 것입니다.

하지만 **엔진의 압축기**는 **연료를 연소시킬 때 필요한 고압의 공기**를 공급하는 장치이므로, **블리드 공기**를 많이 사용할 경우 **엔진 추력이 줄어들기 때문**에 **블리드 공기의 사용을 최소화**해야 한다.

→ 엔진의 압축기는 여압 뿐만이 아니라 '연료 연소'를 위해서 고온 고압의 공기를 공급합니다. 따라서, 고온 고압의 블리드 공기를 여압에 많이 사용하다 보면 상대적으로 연료 연소에 사용될 수 있는 고온 고압의 공기가 줄어들겠지요? 따라서 엔진 추력은 줄어들 것입니다. 그러므로 여압을 할 때 블리드 공기의 사용을 최소화 해야한답니다. 그렇다면, 블리드 공기의 사용을 최소화 하면서 여압을 하기 위해 추가적인 조치가 필요하겠지요?

그래서 넓은 객실에 대량의 여압용 공기를 공급해야 하는 **중대형 제트 항공기**의 경우 '**터보 컴프레서**'를 설치한다.

→ 터보 컴프레서가 있으면 블리드 공기의 사용을 최소화 하면서 여압을 할 수 있나 보군요. 참고로 컴프레서는 현장에서는 '콤프'라고 하는데 유체를 압축하는 장치입니다.

블리드 공기가 터보 컴프레서에 설치된 **터빈**을 돌리면, **터빈**은 같은 축에 연결된 터보 컴프레서의 **압축기를 구동**시킨다.

→ 블리드 공기가 바로 항공기 실내에 들어가 대기압을 올리는게 아니지요?
블리드 공기는 '터빈(회전운동을 하는 기계=풍차나 물레방아를 떠올리면 됩니다)'을 돌립니다. 그러면 터빈이 블리드 공기의 에너지를 받아 압축기를 구동 시킵니다. 이제 이 압축기가 일을 할 차례입니다.

그러면 이 **압축기**에 의해 항공기 외부에서 유입되어 **압축된 공기**와, 터빈을 거친 **블리드 공기**가 **혼합**되어 **여압용 공기**로 공급된다.

→ 압축기는 항공기 외부 공기를 유입시키고, 압축시킵니다. 이 압축된 공기와 그리고 터빈을 돌리는데 힘을 쓴 블리드 공기와 혼합되어 여압용 공기로 객실로 공급이 되는군요.

아직 여압을 할 때, 객실 고도, 객실 차압, 객실 상승률을 고려하진 않았지요?

<4문단> 항공기 객실의 여압 방법

항공기에서는 **객실 내 기압**이 최소한 대기압과 같거나 대기압보다 높게 유지될 수 있도록 압력과 온도가 조절된 **여압용 공기**를 객실에 공급한다.
→ 여압의 목표는 '객실 내 기압 ≥ 대기압' 입니다. 이를 위해 여압용 공기의 압력과 온도를 setting해서 객실에 공급한답니다.

항공기는 객실 내 공기가 누설되지 않도록 다양한 장치를 사용하지만 **기체 내외부**가 완전히 차단되지는 않는다.
→ 그래서요?

그러므로 **여압용 공기**는 필요 압력보다 약간 높은 압력까지 공급한 후 일정 비율로 공기가 빠져나가도록 하여 객실 압력을 조절한다.
→ 항공기의 고도가 상승한 상태에서 여압이 이루어지면, 객실 내 기압이 대기압보다 높거나 같겠지요? 근데 기체 내외부가 완전히 차단된 상태가 아니니, 공기가 높은 기압에서 낮은 기압쪽으로 이동하는 것을 감안하면, 시간이 흐르면 결국 항공기 외부의 기압과 항공기 내부의 기압이 같아져서 '여압'의 의미가 없어질 것입니다. 따라서 공기가 기체 외부로 빠져나가는 것을 감안하여 여압용 공기의 압력을 설정해야 한다는 것이네요.

또 급격한 압력 변화로 승객들이 불편을 겪지 않도록 **여압용 공기**는 일정한 압력 상승률로 공급된다.
→ 일정 수준 이상의 기압이 되어야 인간이 생활하는 것이 가능할지라도, 급격하게 압력을 올리면 승객들이 불편을 느낄 수 있답니다.(상식적으로 생각해도, 비행기 좌석에 가만히 앉아있는데 기압이 갑자기 높아지면 막 눌리고 매우 불편한 느낌이 들겠지요...?) 그러므로 여압용 공기는 계속 일정한 압력으로 공급이 되는게 아니라, '일정한 압력 상승률'로 공급이 된답니다. 그렇다면 여압용 공기의 압력은 시간이 갈수록 커지겠지요? 압력 상승률을 일정하게 함으로써 승객이 불편을 느끼지 않게 기내의 압력을 차차 올려가는 것입니다.

민간 항공기에서는 **객실 고도**가 8,000ft 이상이 되는 것을 금지하고 있는데, 이는 고도 8,000ft 이상의 대기압에서는 인간의 정상적인 활동이 불가능하기 때문이

다.

→ 비행기 운항 시 고도를 제한한다는 것이 아닙니다. '객실 고도', 다시 말해 객실 내의 압력을 일정 수준 이상으로 유지하라는 규정이겠지요.

객실 고도가 8,000ft일 때의 객실 내 압력은 10.92psi라고 2문단에서 제시하고 있습니다. 10.92psi 이하의 대기압에서는 인간의 정상적인 활동이 불가능하다는 점을 이야기 하고 있습니다. 따라서, 다른 조건이 일정할 경우, 항공기의 운항 고도가 8,000ft 이상이 되면 여압을 실시하여 객실 고도를 8,000ft 이하로 유지 시켜야 할 것입니다.

항공기의 고도가 8,000ft 이하일 때는 객실에 별도의 여압을 실시하지 않지만, 항공기가 상승 또는 하강할 때에는 적정한 **객실 상승률**을 유지해 승객이 불편을 느끼지 않도록 한다.

→ 항공기의 고도 변경이 있을 때는 기압이 변할 것입니다. 기압이 급격히 변하면 승객이 불편을 겪을 수 있으므로, 항공기 고도 변경이 있는 상황에서, 객실 고도의 변화율인 객실 상승률을 적정하게 유지해야 한답니다.

이제, 여압을 할 때 객실 고도, 객실 상승률을 어떻게 고려하는지는 제시가 되었습니다. 아직 언급되지 않은 것은 '객실 차압'입니다.

<5문단> 항공기 객실 차압과 최대 비행 고도 간의 관계

여압에서 중요한 요소는 **기체 구조**가 외부 대기압과 객실 압력의 차이에서 생기는 **압력 하중**을 견딜 수 있어야 한다는 것이다.

→ 외부 대기압과 객실 압력의 차이는 객실 차압입니다. 압력의 차이가 생기면 압력 하중이 생기는데, 기체 구조가 이를 견딜 수 있도록 여압을 진행해야 한답니다.

높은 고도에서 운항하는 항공기에서, 여압의 결과값으로 객실 압력은 통상 증가하겠지요? 높은 고도에 위치하고 있으니 외부 대기압은 낮은 상태일 것입니다. 따라서 객실 차압은 여압이 이루어지면 커질 것입니다. 그렇다면 압력 하중이 커질 것인데, 기체 구조가 이 압력 하중을 견딜 만큼만 여압을 진행해야 한다는 이야기겠네요.

객실 차압을 견디기 위해서는 기체를 튼튼한 재료로 만들면 되지만 무게를 고려해야 하기 때문에 이러한 재료를 사용하는 데에는 **한계가 있다**.

→ 상식적으로 납득할 수 있는 문장입니다. 기체의 강도를 높이다 보면 어떤 기적의 물질이 있지 않는 이상 기체의 무게가 커질 수 밖에 없을 것이고, 그러면 높이, 멀리 나는 데 어려움이 있겠지요..

따라서 **객실 고도를 일정 수준 이하로 유지**하면서 **항공기의 고도를 높이기 위해**서는 높은 압력 하중을 견디도록 항공기를 설계해야 하며, 이는 **기체 구조 강도**에 따라 **항공기의 최대 비행 고도가 제한된다는 것을 의미**한다.

→ 이 문단 첫 번째 문장에 대한 설명에 언급했듯, 객실 고도를 일정 수준 이하로 유지 하기 위해서는 여압이 필요합니다. 항공기의 고도가 높아질수록 여압의 결과 일정하게 유지되는 항공기 내부 압력과 외부 대기압의 차이, 즉 객실 차압은 커집니다. 이는 압력 하중의 증가로 이어지겠지요. 기체 구조 강도에 따라 버틸 수 있는 압력 하중이 다르다면, 견딜 수 있는 압력 하중에 따라 최대 비행 고도는 제한 될 수 밖에 없겠지요.

기체 구조 강도가 압력 하중을 버티지 못하는 상태에서 최대 비행 고도보다 더 높게 운항하면 다음 두 가지 가능성밖에 없습니다.

① 더 높은 압력으로 여압을 진행하지 못한다 → 객실 고도가 8,000ft 이상으로 올라간다 → 기내에서 체내로 산소 공급이 제대로 이루어지지 못한다 → 기내 승객 / 조종사 사망

② 객실 고도 8,000ft 이하로 유지하기 위해 더 높은 압력으로 여압을 진행한다 → 객실 차압이 증가한다 → 압력 하중이 증가한다 → 비행기가 터진다

<6문단> 항공기 객실 압력 조절 방법과 관련 장치

객실 압력은 **조종실의 객실 압력 제어기에 의해 조절**된다.
→ 앞서 살펴 본 여압에 관한 전반을 객실 압력 제어기가 조절한답니다.

객실 압력 제어기를 통해 **객실 고도**, **객실 상승률** 등을 **설정**할 수 있으며, 입력된 **설정값**에 따라 객실에 공급되는 **여압용 공기의 양**과, 감압 밸브로 빠져나가는 **객실 내 공기의 양이 조절**된다.
→ 객실 고도, 객실 상승률등은 일정 수준으로 유지해야 하는 것입니다. 이 factor의 값을 각각 지정해주면 이 설정값에 따라 여압이 진행되고, 객실 내에서 기체 밖으로 빠져나가는 공기의 양도 조절이 된답니다.

고고도에서는 보통 객실과 외부 대기와의 **객실 차압**을 가급적 크게 유지하여 **여압 장치가 고장** 나더라도 8,000ft 이하로 하강하는 동안 여압을 최대한 유지할 수 있도록 한다.
→ 고고도에서 운항할 때 여압 장치가 고장 나면 (다른 조건이 일정하면) 기체 내부에서 외부로 공기가 빠져나가므로 객실 고도가 빠르게 상승할 것입니다. 그러면 기내의 승객, 조종사등이 일상생활이 안되겠지요? 여압 장치가 고장 나더라도, (여압이 필요 없어서 여압 장치가 고장 나도 정상적으로 운항할 수 있는) 8,000ft 이하로 기체를 하강시킬 때까지 시간이 필요할텐데, 그 시간동안 객실 고도는 증가할 것입니다. 여압 장치가 고장 나는 상황을 가정하여 객실 차압을 가급적 크게 유지한다는 것은 객실 고도를 가급적 낮게 유지한다는 것입니다. 물론, 기체 구조 강도를 고려하여 압력 하중을 견딜 수 있는 정도로만 객실 고도를 낮춰야겠지요?

또 항공기가 하강하는 경우 **감압 밸브**를 **서서히** 열어 **여압용 공기**가 **서서히** 빠져나가도록 조절하며, 항공기가 **지상**에 착륙하거나 머무르는 경우 감압 밸브가 완전히 열려 외부 공기가 들어오도록 한다.
→ 감압 벨브를 서서히 여는 것은, (항공기 고도 상승시) 객실 상승률을 적정히 유지하는 것과 마찬가지 논리겠지요. 급격한 압력 변화를 방지하기 위해서입니다. 항공기가 지상에 있으면 굳이 여압을 할 이유도 없고, 기체 내외부의 압력차를 두어야 할 이유도 없을 것이기 때문에 감압 밸브를 완전히 열어두는 것이겠지요?

통상적으로 민간 항공기는 2개의 감압 밸브를 설치하거나 1개의 감압 밸브에 복수의 회로를 설치해 여압 조절의 안정성을 높인다.

→ 여압 조절의 안정성을 높이기 위해(=다시 말해, 여압장치가 정상적으로 작동하지 않을 가능성을 낮추기 위해) 민간 항공기는 감압 밸브를 복수로 설치하거나 복수 회로를 설치한답니다. 명시되지는 않았으나, 군용 항공기에 비해 민간 항공기에서 여압 조절 장치에 문제가 생기면 더 큰 피해가 있기 때문일 수 있겠지요?(민항기를 타는 일반 승객이 전투기 조종사처럼 특수 훈련을 받는 것은 아니잖아요?), 혹은 군용 항공기에서는 여압 조절의 안정성을 확보하는 것보다 기체 중량 경감이 군용기 소기의 목적을 달성하는 데 더 중요하기 때문에 이러한 추가 설치를 하지 않을 수 있겠네요.

기술 03 (★★★)

침입 감지기

<1문단> 열선 감지기의 특성

열선 감지기는 **동작 감지기**라고도 하며 주로 실내의 천장에 설치하여 침입을 감지하는 데 사용한다.

→ 열선 감지기(=동작 감지기)가 어떻게 침입을 감지하는 지 이야기해 주겠지요?

열선 감지기는 **적외선을 이용**해 **감시하고 있는 영역 내**에 **일정 시간** 동안 **열 또는 온도의 변화**가 생기면 **이를 감지**하고 **알람 신호**를 내보낸다.

→ 열선 감지기는 '열 또는 온도의 변화'를 적외선을 이용해 감지하고 알람 신호를 보낸답니다. 열선 감지기에 들어가는 것은 적외선이고, 나오는 것은 알람 신호입니다.

적외선 → 열선 감지기 → 알람 신호

로 생각할 수 있겠지요?

물체가 복사하는 적외선은 **물체의 온도**에 **비례**하여 그 양이 다르기 때문에 물체의 **온도**를 측정할 수 있고 **낮과 밤에 관계없이 목표 물체를 관찰**할 수 있어 가시광선을 이용하는 것보다 **침입 감지에 적당**하다.

→ 물체 복사 적외선 ∝ 물체의 온도이기 때문에 물체가 복사하는 적외선의 양에 따라 물체의 온도 측정이 가능하답니다. 따라서 적외선을 이용하면 '온도 변화'를 감지할 수 있습니다. 한편 적외선은 낮,밤에 상관없이 복사되기 때문에 침입 감지에 적당하답니다.

<2문단> 집광 렌즈의 구조와 기능

열선 감지기는 **집광 렌즈**, **초전 소자**, **증폭기**, **비교기** 등으로 이루어진다.
→ 이제 열선 감지기를 구성하는 각각의 part가 어떤 기능을 하는지 주목하면서 글을 읽읍시다.

집광 렌즈는 적외선을 모아 **초전 소자**에 **전달**한다.
→ 집광 렌즈는 (감시하고 있는 영역 내의) 적외선 방출량에 변화가 있다면, 적외선을 모아 초전 소자에 전달합니다.
적외선 → 집광 렌즈 → (모아진) 적외선 → 초전 소자
로 이해할 수 있습니다.

일반적으로 빛을 모으기 위해서는 볼록 렌즈를 사용하지만, 열선 감지기용으로는 이보다 매우 얇은 **프레넬 렌즈**를 사용한다.
→ 집광 렌즈에 두께가 매우 얇은 프레넬 렌즈가 사용된답니다.

프레넬 렌즈는 볼록 렌즈의 내부를 제거하여 **두께가 매우 얇으면서도 같은 초점 거리를 갖도록 만든 것**이다.
→ 볼록 렌즈를 사용하지 않고 프레넬 렌즈를 열선 감지기에서 사용하는 이유는, 프레넬 렌즈의 두께가 매우 얇으면서도 볼록 렌즈와 같은 초점거리를 가지기 때문일 것입니다.

열선 감지기는 감지 영역 내에 침입자가 생기면 **특정 구역의 온도가 바뀌게 되어 침입 상황을 인식**하는 원리인데, **감지 영역이 넓으면** 침입자가 움직여도 전체적인 온도 변화가 없어 감지할 수 없다.
→ 감지 영역 내에 침입자가 생기면, 그 침입자가 방출하는 적외선이 있고 높은 확률로 기존 감지 영역 내에 있던 물체들이 방출하는 적외선량과 차이가 있을 것입니다. 그러므로 온도 변화가 생길 것이고 이를 열선 감지기가 인식 한다는 것입니다. 근데 감지 영역이 넓으면, 침입자가 감지 영역 내에서 움직여도 방출하는 적외선의 총량은 같을 것이기 때문에 전체적인 온도 변화가 없어 '온도 변화'를 통해 침입 상황을 인식하는 열선 감지기가 침입자가 움직인다는 사실을 감지할 수 없게 됩니다. 따라서, 감지 영역을 최소화 할 필요가 있겠군요.

따라서 **열선 감지기**에서는 **하나의 집광 렌즈**에 **여러 개의 프레넬 렌즈를 배치**하여 사용한다.

→ 여러 개의 프레넬 렌즈가 하나의 집광 렌즈에 배치된다면, 개별 프레넬 렌즈가 cover하는 감지 영역이 좁아지겠지요? 이 상황에서 침입자가 움직이면, 렌즈 한 개의 감지 영역이 넓을 때에 비해 A라는 프레넬 렌즈가 감지하는 영역에서 B라는 프레넬 렌즈가 감지하는 영역으로 이동할 가능성이 커지고, 그렇다면 개별 프레넬 렌즈에서 온도 변화를 인지하게 되고 침입 상황을 인식할 가능성이 높아질 것입니다. 한편, 하나의 집광 렌즈에 여러 개의 프레넬 렌즈를 배치하기 위해 개별 프레넬 렌즈의 두께는 얇아질 필요(=무게가 낮아야할 필요)가 있을 것입니다.

한 개의 프레넬 렌즈마다 하나씩 구역을 나누어 할당하면 **침입자가 움직였을 때 온도 변화를 감지**할 수 있다.

→ 직전 문장에서 이미 예상한 내용이었지요?

만약 **침입자**가 일정 시간 내에 **계속 이동**하면 감시 구역이 바뀌게 되어 **바뀐 구역 수만큼 감지 신호가 발생**한다.

→ 열선 감지기의 소기 목적이 잘 달성된 상황이겠지요?

한편 **구역 내에 침입자**가 움직이지 않고 **가만히 있다면** 더 이상의 온도 변화가 없어서 **열선 감지기의 신호는 변화가 없게 된다**.

→ 열선 감지기는 '온도 변화'를 인지하여 일을 하기 때문에, 침입자가 가만히 있다면 감시 구역이 바뀔 일이 없고, 온도는 변화한 상태로 유지되기 때문에 열선 감지기의 신호는 변화가 없을 것입니다.

<3문단> 초전 소자의 구조

집광 렌즈에 의해 모아진 **적외선**은 **초전 소자의 표면에 입사**된다.

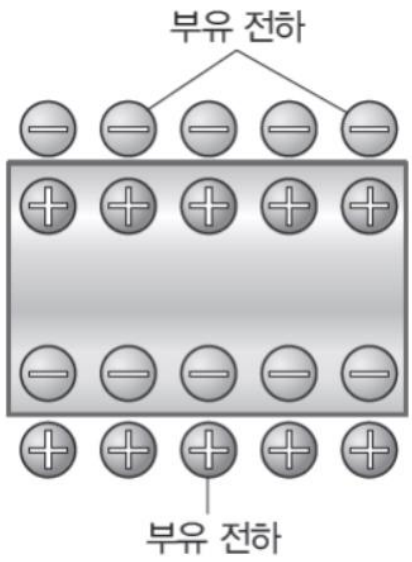
→ 직전 문단에서, (프레넬 렌즈들로 구성된) 집광 렌즈는 적외선을 초전 소자로 전달한다고 했지요? 이 적외선이 초전 소자의 표면에 입사된답니다.

초전 소자의 내부는 진공으로 되어 있으며, 윗부분에는 **적외선만 투과하는 투과창**이 있어서 감지를 방해하는 요소들인 전등의 불빛 등을 차단한다.

→ 초전 소자는 적외선에만 반응하여 작동해야 하기 때문에 다른 요소들을 차단하는 투과창이 있답니다.

열선 감지기에 사용하는 **초전 소자의 내부**에는 **양(+)전하들**이 **한끝**에 표면을 따라 배열되어 있으며, 그 **반대편 끝**에는 같은 양의 **음(-)전하들**이 배열되어 있다.

→ 4번 문제에 제시된 <보기>의 그림을 보면 충분히 이해할 수 있겠지요? 아래 그림에서 사각형은 초전 소자를 의미할 것입니다.



이를 **자발 분극**이라 한다.

→ 한쪽 끝에는 +, 반대편 끝에는 – 전하들이 있는 상황이 '분극'의 상황이지요? 다른 힘을 가하지 않은 상황에서 자발적으로 이러한 분극이 일어났으니, 자발 분극이라고 하나 봅니다.

이 전하들은 **대기 중에 부유하는 전하들을 포획**하여 **전기적으로 중성을 유지**하고 있기 때문에, (+)방향에는 (-)전하들이, (-) 방향에는 (+)전하들이 포획되어 있다.

→ 그림을 보면 충분히 납득 할 수 있습니다.

지금까지 초전 소자의 구조에 대해 설명했는데, 어쨌든 이 초전 소자는 입사된 적외선을 가지고 어떤 일을 해서 결과값을 증폭기에 보내야 할 것입니다.

초전 소자에서 하는 '어떤 일'은 상술한 자발 분극 상태의, 전기적 중성을 유지하고 있는 전하들의 변화를 통해 이루어 질 것입니다. 만약 그렇지 않다면, 필자가 굳이 뭐하러 손아프게 이런 구구절절한 설명을 했을까요;;

<4문단> 초전 소자의 기능과 동작

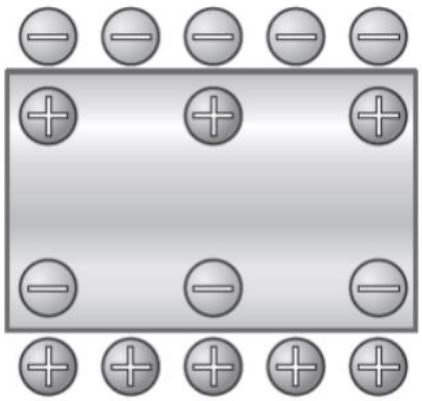
초전 소자에 **적외선이 입사**되면 **적외선의 열**에 의해 초전 소자의 **온도가 상승**하고, 분자가 **열운동**을 하면서 초전 소자 내부의 **전하의 배열이 흐트러진다**.

→ 적외선이 입사 되기 전에 초전 소자는 자발 분극의 상태에 있었습니다. 집광렌즈가 전달한 적외선은 초전 소자에 입사하면서 초전 소자에 아래와 같은 변화를 일으킵니다.

적외선 입사 → 초전 소자 온도 상승 → 초전 소자를 구성하는 분자가 열운동함 → 초전 소자 내부 전하의 배열이 흐트러짐

이로 인해 **자발 분극은 감소**하는데, **초전 소자 표면의 전하**는 이러한 분극의 변화에 신속히 대응해 변하기 어려워서 **과잉의 전하**가 나타난다.

→ 문제 4의 <보기>에 제시된 그림을 통해 이해합시다.



자발 분극이 감소한 상황은 종전 그림에 비해 초전 소자 내부의 전하 숫자가 줄어들었음을 통해 확인 할 수 있습니다(5개 → 3개). 한편 초전 소자 표면의 전하가 분극 변화에 신속히 대응해 변하기 어려운 점은, 사각형 바깥의 전하 개수에는 변화가 없음(5개 → 5개)을 통해 알 수 있네요. 과잉의 전하는, 초전 소자 표면의 전화와 초전 소자 내부의 전하의 개수 차이가 없다가 생기면서(0개 → 2개) 발생하는 것입니다.

이를 **초전 현상**이라 한다.
→ 상술한 과잉의 전하가 나타나는 현상이 바로 초전 현상이랍니다.

초전 소자의 **(+)와 (-) 양극**을 **외부 전기 회로에 연결**하면 온도 변화에 의하여 발생된 **과잉 전하의 차이**만큼 이 회로에 **전류가 흐르게 된다**.
→ 결국, 초전 소자에 입사된 적외선은 초전 소자의 온도 변화를 만들어 냈고, 그 결과 초전 소자에는 전류가 생기게 되었습니다.
적외선 → 초전 소자 → 전류의 상황이군요. 이제 이 전류가 증폭기로 가겠지요?

초전 소자는 입사되는 적외선의 강도가 충분히 크지 않아 **소량의 전류**가 흐르게 되므로 **증폭기**에서 **전류나 전압을 증폭하여 출력**한다.
→ 적외선의 강도에 따라 온도 변화의 강도는 달라질 것이고, 그에 따른 과잉 전하의 양도 차이가 날 것입니다. 어쨌든 일반적으로 초전 소자에 입사되는 적외선의 강도는 충분히 크지 않아 소량의 전류를 흐르게 하고, 이 소량의 전류로는 '변화'를 감지하기 어렵나봅니다. 그래서 증폭기에서는 이 전류(혹은 전압)를 증폭하여 출력합니다.
(소량의) 전류 → 증폭기 → (변별할 수 있을 정도로 증폭된) 전류(혹은 전압)
이제 이 증폭된 전류가 비교기로 갈 차례입니다.

비교기에서는 **전압을 측정**하여 미리 정해진 **감시 기준 전압 이상**인지를 확인한다.
→ 비교기에서는 증폭된 전류(혹은 전압)을 측정하고, 감시 기준 전압보다 큰지 여부를 확인합니다.

만약 **감시 기준 전압보다 높으면 일정 시간 내에 몇 번** 감시 기준 전압을 넘었는지 확인하고 **감지 상태로 판단**되면 **발광 다이오드(LED)를 켜고 신호를 보내** 침입 상태를 알려준다.
→ 감시 기준 전압보다 측정된 전압값이 높으면 비교기는 일정 시간 내에 감시 기준 전압을 몇 번 넘었는지 확인합니다. 이 횟수가 감지 상태로 판단 될 정도가 된다면 LED를 켜고 신호를 보내, 침입 상태임을 알려줍니다.

(증폭된) 전류(혹은 전압) → 비교기 → (침입상태라면) LED 신호

2문단에서 4문단에 걸쳐,
1문단에 제시된 '적외선 → 열선 감지기 → 신호'라는 열선 감지기의 작동원리를 열선 감지기의 구성 요소 별로 나누어 설명 해 준 셈입니다.

<5문단> 능동형 적외선 감지기의 구조와 기능

열선 감지기가 대부분 실내에 설치되어 사용되는 반면에 창고 등의 외곽을 감시하고자 하는 목적으로는 **능동형 적외선 감지기**를 많이 사용한다.
→ 실외에서 열선 감지기를 사용하는 데는 한계가 있나보군요. 그래서 실외에서의 감지 목적으로는 능동형 적외선 감지기가 사용된답니다.

능동형 적외선 감지기는 **투광기**와 **수광기**로 구성된다.
→ 투광기, 수광기에서 어떤 역할을 하는 지 설명해 주겠지요?

투광기는 적외선 LED를 통해 **적외선을 내보내고** 투광기와 떨어져 설치되는 **수광기**에서는 투광기에서 나온 **적외선을 수신한다**.
→ 이 적외선 감지기가 왜 '능동형'이라는 이름이 붙었는지 감이 오시나요? 4문단까지 설명해 준 열선 감지기는, 물체가 복사하는 적외선을 감지했었는데 반해, 이 적외선 감지기는 투광기에서 적외선을 내보내고 수신기에서 그 적외선을 수신하는 형태를 가지기 때문입니다.

따라서 **침입자가 발생**하면 **적외선이 차단**되어 수광기에 전달되지 않기 때문에 **적외선이 차단되는 시간**으로 **침입 여부를 판단**한다.

→ 침입자가 발생하면 침입자가 공간을 점유하게 되어 적외선이 차단되겠지요? 이렇게 적외선이 차단되는 시간에 따라 침입 여부가 판단된답니다.

투광기의 LED에서 방출하는 **적외선**은 레이저와 같은 직선 빔이 아니고 어느 정도 각도를 가지고 퍼져서 나오게 된다.

→ 적외선은 다른 조건이 일정하면 직선이 아니라 일정 각도를 가지고 퍼져서 방출된답니다.

경계 감시 거리를 늘리기 위해서는 투광기에서 적외선을 멀리까지 보내야 하므로 렌즈로 적외선을 집중시켜 **직선에 가까운 빔**을 사용한다.

→ 그렇답니다. 같은 에너지를 가진 적외선을 멀리까지 보내려면 곡선보다는 직선에 가까운 빔으로 보내야겠지요..

기술 04 (★★☆)

로봇의 군집 비행

<1문단> 군집 알고리즘의 개념과 규칙

다수의 로봇을 동시에 운용하여 단일 로봇이 하지 못하는 임무를 수행하거나, 동일한 목표를 보다 효율적으로 달성하도록 하는 것이 **군집 로봇 기술**이다.
→ 군집 로봇 기술의 정의입니다.

군집 로봇 사이의 충돌도 막고 군집 로봇을 원하는 방향으로 정교하게 보내는 것을 '**군집 알고리즘**'이라 하며 이는 **세 가지 규칙**을 기반으로 한다.
→ 군집 알고리즘의 정의가 제시되어 있습니다. 이제, 군집 알고리즘이 기반으로 하는 세 가지 규칙에 대해 설명해 줄 것입니다.

주변 로봇이 이동하는 방향으로 움직이는 '**정렬성**', 서로 너무 멀어지는 것을 피하는 '**응집성**', 주변 로봇과 일정한 거리를 유지해 서로 너무 가까이 접근하지 않도록 하는 '**분리성**'이다.
→ 정렬성, 응집성, 분리성이 그것인데요. 군집 로봇들은 이 세 가지 규칙을 기반으로 하여 만들어진 군집 알고리즘에 의해 주변 로봇이랑 같은 방향으로 이동하되, 너무 멀지도, 너무 가깝지도 않은 상태를 유지하며 이동할 것입니다.

군집 알고리즘 중 '**선도 추종 제어 기법**'은 철새들이 맨 앞의 리더를 중심으로 다른 새들이 V자를 유지하며 편대 비행하는 것을 본떠서 만든 것으로, 한 대의 **선도 로봇**을 **중심**으로 **추종 로봇**들이 **일정한 거리와 각도를 유지**하면서 **이동**한다.
→ 앞으로는, 선도 추종 제어 기법이 어떤 식으로 작동하여 한 대의 선도 로봇을 중심으로 추종 로봇들이 일정한 거리와 각도를 유지하며 이동하는지 설명해주겠지요?

<2문단> 선도 추종 제어 기법의 과정 ① - 위치 측정

선도 추종 제어 기법은 일반적으로 **위치 측정**, **전역 경로 계획**, **지역 경로 계획**, **대형 제어 과정**으로 구성 된다.
→ 위치 측정, 전역 경로 계획, 지역 경로 계획, 대형 제어 과정이라는 선도 추종 제어 기법의 구성 요소를 설명함으로써 선도 추종 제어 기법을 상세히 서술할 것입니다.

선도 로봇의 위치 측정 방법은 크게 **상대 위치 측정**과 **절대 위치 측정**이 있다.
→ 이제 선도 로봇(=추종 로봇은 위치 측정 한다는 말 없습니다!)의 상대 위치 측정과 절대 위치 측정 방법을 설명해 줄 것입니다.

상대 위치 측정은 주로 **주행 기록계**와 **관성 센서**를 이용하여 **현재의 위치를 측정**하는 방법이다.
→ 주행 기록계와 관성 센서를 어떻게 이용하는 것일까요?

속도 또는 가속도를 이용하여 **초기 위치**에서부터 **로봇의 변위**를 계산하는 방법으로, 항공기에서 주로 사용하며 **추측 항법**이라고도 불린다.
→ 위도, 경도값을 GPS 같은 것으로 측정하는 것이 아니라, 초기 위치에서부터 로봇의 위치 변화량을 '속도, 가속도'를 이용해서 계산해 낸답니다. 속도, 가속도 등을 주행 기록계와 관성 센서로 파악 하는 것이겠지요?

이는 **로봇의 가속도를 적분**함으로써 **구현할 수 있기 때문**에 **빠르게 계산**할 수 있지만 **시간에 따라 오차가 누적**되는 문제를 가지고 있다.
→ 가속도를 적분하면 변위를 쉽게 계산할 수 있지만, (주행 기록계 혹은 관성 센서를 통해 측정된) 가속도값이 실제 값과 오차가 있을 수 있답니다. 그렇다면, 시간이 지나면 지날수록 실제 위치와 계산을 통해 얻어낸 위치의 차이가 커지겠지요?

반면에 **절대 위치 측정**은 **다수의 센서**로부터 얻은 정보를 통해 **로봇의 위치를 측정**하는 방법이다.
→ '반면'이라고 했으니, 상대 위치 측정 방법과는 다른 방법으로 절대 위치 측정

은 이루어 질 것입니다.

과거의 위치 정보를 사용하지 않고 **현재의 데이터**만을 사용하여 **위치를 측정**한다.
→ 상대 위치 측정은 로봇의 변위를 계산해냈는데, 이 때 과거의 위치 정보가 필요 했습니다.(로봇의 가속도 데이터가 있어야 이를 적분해서 변위를 구했죠?) 반면 절대 위치 측정은 현재의 데이터를 가지고 위치를 측정한답니다.

따라서 **오차**가 누적되지는 않지만 상대적으로 **연산량**이 많다.
→ 현재 데이터만으로 위치를 측정하니 누적될 오차가 없겠지요. 반면 '다수의 센서'를 통해 위치를 측정해야 하니 연산량은 많답니다.
상대 위치 측정 방법과 절대 위치 측정 방법은 각각 장단점이 존재하는 셈이네요.
상대 위치 측정: 빠른 계산(장점) / 오차 누적(단점)
절대 위치 측정: 오차 누적 X(장점) / 연산량 많음(단점)

추종 로봇은 선도 로봇의 위치 및 각도를 이용하여 **대형을 유지**한다.
→ 추종 로봇은 위치 측정의 결과로 알아낸 선도 로봇의 위치와 각도(여기서의 각도는 앞으로 선도 로봇이 이동할 방향각을 의미할 것입니다)를 이용하여, (응집성, 분리성 기준에 따라) 대형을 유지합니다.

<3문단> 선도 추종 제어 기법의 과정 ② - 전역 경로 계획

전역 경로 계획에서 **선도 로봇**은 주어진 맵을 이용하여 초기 위치에서 목표 위치까지의 경로를 계획한다.
→ 이제 전역 경로 계획을 설명해 줄 차례입니다. 선도 로봇의 이동 경로를 계획하는 과정인 전역 경로 계획에 대해 좀 더 구체적으로 설명 해 줄 것입니다.

선도 로봇의 경로를 생성하기 위해서는 **A스타 알고리즘** 등을 이용한다.
→ A스타 알고리즘을 통해 선도 로봇의 경로를 생성하는 방법을 알려주겠지요?

A스타 알고리즘은 격자로 나누어진 지도를 이용하여 시작점에서 목표점까지 이동 가능한 경로들을 가상의 정점들로 연결하고 **거리 함수를 계산**하여 **최적 경로를 생성**한다.

→ 격자로 나누어진 지도에 시작점과 목표점을 찍어 놓으면 격자 상 시작점과 목표점 사이에는 수많은 이동 경로가 존재할 텐데요, 거리 함수를 계산해서 이 수많은 이동 경로 중 최적 경로를 고르는 알고리즘이 바로 A스타 알고리즘입니다.

각 정점에서 거리 함수는 시작점에서 현재 정점까지의 거리와 현재 정점에서 목표점까지의 거리 추정치를 합한 것이다.

→ 각 정점에서의 거리 함수는 시작점에서 '현재 정점을 거쳐' 목표점까지 가기 위해 이동해야 하는 거리의 추정치가 결과값으로 제시 될 것입니다. 다시 말해,
D(x) = y가 거리함수라고 했을 때
x= 각 정점
y= (시작점에서 x정점을 거쳐 목표점까지 도달하기 위해 이동해야 하는) 거리 추정치 입니다.

즉 현재 위치에 이르기까지 이미 지나온 경로의 거리와 현재 위치에서 목표점까지 도달하는데 더 필요한 이동 거리에 대한 추정치의 합이다.

→ 직전 문장을 통해 거리 함수식을 도출 해 냈다면, 쉽게 이해할 수 있는 문장입니다.

이 과정들을 반복해서 경로가 무효가 되거나 이 경로들 중의 하나가 목표에 도달할 때까지 **거리 함수가 최소인 경로를 선택**하여 경로상에 있는 정점들을 우선적으로 연결한다.

→ 한마디로, 전역 경로 계획에서의 '최적 경로'는 거리 함수의 y값을 최소로 하는 경로를 의미합니다.

<4문단> 선도 추종 제어 기법의 과정 ③ - 지역 경로 계획

전역 경로 계획은 주로 정적인 환경에서의 계획이다.

→ 전역 경로 계획은 '주어진 맵'을 이용하여 계획하는 것입니다. 따라서 정적인 환경에서의 계획이라고 이야기 할 수 있습니다.

하지만 로봇이 **실제 환경을 주행**한다면 거의 대부분 장애물이 움직이고 있는 **동적인 환경**이다.

→ 그렇겠지요? 상식적으로 납득할 수 있는 문장입니다.

따라서 지역 경로 계획에서는 동적 환경에서의 장애물 또는 다른 로봇과의 충돌을 피하기 위해 선도 로봇의 경로로 설정된 **다수의 정점과 장애물**에 **가상 힘을 적용하여 경로를 설정**한다.

→ 전역 경로 계획만 가지고 경로를 계획하고 이대로만 움직이면 동적 환경에서 장애물 혹은 다른 로봇과 충돌 할 우려가 있습니다. 따라서 지역 경로 계획에서는 이동 경로상의 정점, 그리고 동적인 환경에서 만날수 있는 장애물에 '가상 힘'을 적용하여 동적인 환경에서의 주행을 위한 경로를 설정한답니다.

가상 힘은 **목표 위치에 도착하기 위해** 끌어당기는 **인력**과 **장애물 회피를 위해** 밀어내는 **척력**으로 구분된다.

→ 가상 힘은 인력과 척력으로 구분된다는데요,
인력은 목표 위치에 도착하기 위해 끌어당기는 힘이라고 했으니 '다수의 정점'에 적용되는 힘일 것이고, 척력은 장애물 회피를 위해 밀어내는 힘이라고 했으니 '장애물'에 적용되는 힘일 것입니다.

즉 **선도 로봇**은 이동 경로상에서 **다음 정점을 목표로 설정**하여 **끌어당기는 인력이 있다**고 **가상**하고, 이동 경로에 있는 **장애물 및 주변 로봇과의 사이**에는 **척력이 존재한다고 가상**하여 충돌을 회피하면서 목표 위치로 주행한다.

→ 직전 문장과 연결지어 생각하면 충분히 납득 할 수 있겠지요?

<5문단> 선도 추종 제어 기법의 과정 ④ - 대형 제어

대형 제어에서 **추종 로봇**들은 **목표와 장애물의 위치를 입력받아** 사전에 계획된 대형을 유지하면서 이동한다.

→ 전역 경로 계획과 지역 경로 계획을 통해 선도 로봇의 주행 계획은 다 세워졌습니다. 추종 로봇은 2문단 마지막에서 '추종 로봇은 선도 로봇의 위치 및 각도를 이용하여 대형을 유지한다'고 명시되어 있듯, 목표와 장애물의 위치를 고려하여 사전에 계획된 대형을 유지하며 이동합니다.

이때 **추종 로봇의 위치 및 방향각**은 **선도 로봇의 위치와 방향각에 의해 결정**된

다.

→ 2문단의 마지막 문장을 통해 해 준 이야기를 다시 한번 언급하고 있습니다

또한 추종 로봇은 **이동하는 선도 로봇의 위치를 목표 위치로 설정**하여 가상 힘인 **인력을 발생**하여 이동하게 된다.

→ 지역 경로 계획에서 선도 로봇은 '이동 경로상의 다음 정점'을 목표 위치로 설정하여 인력이 있다고 가상했는데 반해, 추종 로봇은 '선도 로봇의 위치'를 목표 위치로 설정하여 인력을 발생시켜 이동시킨답니다.

<6문단> 선도 추종 제어 기법의 장점과 한계

선도 추종 제어 기법은 동일 알고리즘으로 로봇 대수를 늘리면서 편대를 유지할 수 있고 알고리즘의 성능과 안정성을 수학적으로 증명할 수 있다는 **장점**이 있다.

→ 앞서 살펴본 선도 추종 제어 기법의 장점을 나열하고 있습니다.

하지만 **선도 로봇**이 고장 나면 남은 추종 로봇들이 임무를 더 이상 수행할 수 없기 때문에 각 로봇이 동등한 지위에서 주변 정보만으로 움직이게 하는 방법도 연구 중이다.

→ 선도 추종 제어 기법은 한마디로 '선도 로봇만 위치 측정하고, 이동 경로 계획 명확히 세워주고' 추종 로봇은 '추종'이라는 문자 그대로 선도 로봇을 따라가는 형식의 제어 기법입니다. 따라서 선도 로봇이 고장 나면 추종 로봇은 이동 할 수 없게 됩니다. 이 문제를 해결하기 위해 선도 로봇 – 추종 로봇의 관계가 아닌, 각 로봇이 동등한 지위에서 개별적으로 움직일 수 있게 하는 방법을 연구 중이랍니다.

기술 05 (★★☆)

음향 블랙홀

<1문단> 다양한 구조물의 설계에서 진동이나 소음 감쇠의 중요성

건축물, 자동차, 항공기 등 **다양한 구조물**은 **구조적 강성**을 확보하기 위하여 **구조물의 뼈대**로 **판이나 보를 활용**한다.
→ 구조물이 외부에서 압력을 받았을 때 모양이나 부피가 변하면 보통 문제가 아니겠지요. 그래서 판이나 보(윗부분의 무게를 지탱해주는 수평 구조재)를 활용하여 구조적 강성을 확보한답니다.

그런데 **강성을 확보하기 위한 판이나 보**는 구조물에서 발생하는 **진동이나 소음**을 **충분히 감쇠시키지 못한다**.
→ 판이나 보가 진동/소음을 충분히 감쇠시키지 못하는 상황을 문제 상황으로 설정하고 있습니다.

따라서 **강성을 확보**하면서도 **진동이나 소음을 충분히 감쇠시키는 것**이 구조물을 설계하는 데에 중요하게 고려되는 사항이다.
→ 판/보가 그 자체로 진동/소음을 충분히 감쇠시키지 못하는데, 강성을 확보(=다시 말해, 판이나 보를 활용하면서)하면서 동시에 진동이나 소음을 충분히 감쇠시키려면 어떻게 해야할까요? 이제 필자가 이 질문에 대해 답해줄 것 입니다.

<2문단> 점탄성 물질을 활용한 자유층 감쇠 기법

진동이나 소음은, 외부로부터 힘을 받아 발생한 파동이 매질의 밀도가 달라지는 **구조물의 경계면**에서 **반사되어 증폭**된다.
→ 진동이나 소음이 구조물의 경계면에서 반사되어 증폭된다면, 다른 조치를 취하지 않는다면 구조물의 경계에서 엄청난 진동 혹은 소음이 나겠군요.

그동안 산업 현장에서는 **점탄성 물질**을 판이나 보의 표면에 도포하여 **진동이나 소음을 감쇠**시키는 **자유층 감쇠 기법** 등을 활용해 왔다.

→ 이렇게 증폭되는 진동이나 소음을 감쇠시키기 위해, 산업 현장에서는 점탄성 물질을 (다른 조치를 취하지 않으면 진동이나 소음을 충분히 감쇠시키지 못하는) 판이나 보의 표면에 도포하는 자유층 감쇠 기법을 활용해 왔답니다.
앞으로는, 점탄성 물질이 대체 무엇이길래 판이나 보의 표면에 도포하면 진동이나 소음을 감쇠시킬 수 있는지 이야기 해 주어야 합니다.
한편, '그동안'이라는 말에 주목 해 봅시다. 자유층 감쇠 기법에 대한 설명이 다 끝나면, 지금껏 쓰여왔던 자유층 감쇠 기법이 아닌 다른 기법이 나올 것임을 예상해 볼 수 있습니다. (그게 아니라면, 굳이 '그동안~활용해 왔다'라는 표현을 쓸 이유가 없잖아요?) 자유층 감쇠 기법이 완전무결한 기법이라면 다른 기법을 연구하고 실용화 시킬 이유가 없을 것이라는 점을 고려할 때, 자유층 감쇠 기법의 한계 또한 언급 해 줄 것임을 함께 예상해 볼 수 있을 것입니다.

점탄성 물질이란 '**즉각성**'과 '**시간 지연성**'을 모두 가지고 있는 물질이다.
→ 즉각성, 시간 지연성이라는 두 성질로 인해 점탄성 물질을 도포하면 진동이나 소음이 감쇠되나 보군요. 즉각성, 시간 지연성이 무엇인지 설명해 줄 것입니다.

즉각성이란 용수철과 같은 **탄성체**가 힘을 받으면 즉각적으로 변형되고 받은 힘을 제거하면 원래의 형태로 돌아오는 것을 말한다.
→ 즉각성의 정의입니다.

시간 지연성이란 힘과 변형의 관계가 **시간에 따라 서서히 변하는 것**을 말하는데, 꿀이 평평한 판 위에 놓이면 **중력**에 의해 **서서히 흐르게 되는 것**으로 이는 꿀이 흐름에 저항하는 성질인 **점성**을 가지고 있기 때문이다.
→ 시간 지연성의 정의와 예시가 제시됩니다.
꿀이 중력(=힘)을 받아 서서히(=시간에 따라 서서히) 흐르게 되는 것(=변형)을 시간 지연성의 예로 제시하고 있는데요. 꿀이 '점성'을 가지기 때문에 이러한 현상이 나타난답니다.
정리하면, 점탄성 물질이라는 것은 점성+탄성을 가진 물질이군요. 점성과 탄성의 앞글자를 따서 점탄성이라고 지칭했나봅니다.

고무나 우레탄과 같은 점탄성 물질은 외부로부터 받은 **에너지의 일부**를 **복원 가능한 탄성 에너지로 저장**하고 나머지는 **열에너지 등으로 발산**시키는 성질을 가

지고 있어 **감쇠성**을 지니고 있다.
→ 점탄성 물질은 에너지 일부를 '복원 가능한'(=힘을 제거하면 원래의 형태로 돌아올 수 있는) 탄성 에너지로 저장하고 나머지는 열 에너지로 발산시킨다는데요. 진동/소음은 파동의 형태로 에너지를 가질 것입니다. 이 에너지가 점탄성 물질에 의해 일부는 탄성 에너지로 저장되고, 나머지는 열에너지로 '발산'되면 결국 에너지는 줄어들겠지요? 그러므로 점탄성 물질은 감쇠성을 지녔다고 이야기 할 수 있습니다.

<3문단> 자유층 감쇠 기법의 단점

점탄성 물질로 표면을 처리하는 기법은 경제성과 편리성이 높고 진동이나 소음을 감쇠시키는데 별도의 에너지가 소모되지 않는다.
→ 고무나 우레탄은 그다지 비싼 물질은 아닌가봅니다. 그리고 쉽게 판이나 보에 도포할 수 있나봅니다. 그래서 자유층 감쇠 기법은 경제성과 편리성이 높습니다. 한편, 진동이나 소음을 감쇠시키는데 별도의 에너지가 소모되지 않았었지요?(진동/소음이 파동의 형태로 가진 에너지의 일부를 열에너지로 발산시키는 형태로 에너지를 감쇠시켰습니다) 그러므로, 따로 에너지를 발생시켜 진동/소음을 감쇠시키지 않는다는 점도 장점이라고 할 수 있겠네요.

하지만 **구조물의 부피와 무게를 증가**시키기 때문에 구조물의 형상이나 크기에 따라 **비효율적**일 수 있다.
→ 2문단 2번째 문장을 읽으며 예상한대로, 자유층 감쇠 기법의 단점이 언급됩니다. 점탄성 물질을 도포하게 되면 구조물의 부피와 무게는 증가할 수 밖에 없겠지요.
이제 이 글에서는 필연적으로 '진동/소음을 감쇠시킬 수 있는 다른 기법'이 언급될 것입니다. (자유층 감쇠 기법이 아닌 진동/소음을 감쇠시킬 수 있는 기법이 현실세계에서 존재하지 않는다고 하더라도, 존재하지 않음이라도 언급해 주어야만 합니다.)

예를 들어 **표면적이 넓고 두께가 얇은 판**의 진동을 감쇠시키려고 한다면 **원래 구조물의 무게 대비 많은 양의 점탄성 물질을 표면에 부착**해야 진동을 효과적으로 제어할 수 있다.

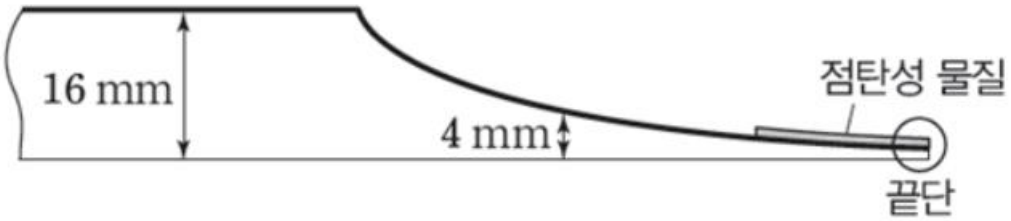
→ 상식적으로 충분히 납득 할 수 있습니다. 표면적이 넓으면 도포해야 할 면적이 넓어지겠지요. 그러면 구조물 무게 대비 많은 양의 점탄성 물질이 도포될 것입니다.

따라서 **운송 산업**과 같이 구조물의 부피와 무게가 적게 나갈수록 유리한 산업 분야에서는 자유층 감쇠 기법보다 **더욱 효율적인 진동 감쇠 방법이 요구**된다.
→ 앞으로 자유층 감쇠 기법보다 구조물의 부피와 무게를 적게 나가게 하면서 소음/진동을 감쇠시킬 수 있는 방법에 대해 설명해 줄 것입니다.

<4문단> 음향 블랙홀의 원리

'**음향 블랙홀**'은 판이나 보의 한쪽 끝단의 두께를 충분히 완만하게 감소시켜 0에 가깝게 만든 구조물이다.
→ 직전 문단 마지막에서 언급한 '더욱 효율적인 진동 감쇠 방법'이 음향 블랙홀과 관련이 있나보군요. 음향 블랙홀에 대한 정의가 제시되었습니다.

음향 블랙홀은 **멱함수** $h(x) = \varepsilon x^m (\varepsilon = 상수, m \geq 2)$ **형상을 따라 만들어지는데**, 이 멱함수는 x 값이 0 에 가까워짐에 따라 **h(x)**가 **완만하게 감소**하여 **0에 무한히 근접하게 된다**.
→ 이 문장 역시 문제에 제시된 그림을 통해 이해합시다.



이 그림에서 완만한 경사의 부분이 바로 음향 블랙홀에 해당하겠군요. 갑자기 수학적 용어(멱함수)가 나온다고 놀라지 말고, 함수가 나오면 그냥 각 문자에 임의의 숫자를 대입해 봅시다.

음향 블랙홀이 **진동이나 소음을 감쇠**시킬 수 있는 **이유**는 **파동의 속도**와 관련이 있다.
→ 음향 블랙홀의 '완만하게 감소하는 형상'이 파동의 속도를 변화시켜서 진동이

나 소음을 감쇠시킴을 이야기해 줄 것입니다.

파동의 속도는 매질의 밀도뿐만 아니라 **형상에 따라서도 달라지는데**, 판이나 보와 같은 **평판에서 파동의 속도는 매질 두께의 제곱근에 비례**한다.

→ 파동의 속도 ∝ $\sqrt{\text{매질 두께}}$ 입니다.

따라서 음향 블랙홀에서 **끝단의 두께를 무한히 얇게** 하면 끝단으로 진행하는 **파동의 속도를 무한히 느리게 할 수 있다**.

→ 직전 문장의 비례식을 통해 충분히 이해할 수 있는 문장이군요.

무한히 느려진 파동은 끝단에 도달하지 못하게 되고 끝단까지 도달하는 파동이 없으면 반사되는 파동도 없게 되므로 마치 블랙홀에 빨려 들어가는 것처럼 보이게 된다.

→ 한마디로, 반사할 소음 혹은 진동의 파동 자체가 없어져버리므로, 소음/진동을 감쇠시킬 수 있다는 것입니다.

<5문단> 점탄성 물질을 활용한 음향 블랙홀의 구현

이러한 생각은 러시아의 미로노프(Mironov)가 최초로 제안한 개념이었지만 **두께가 0에 무한히 가까워지는 구조물을 구현하는 것은 불가능**하기 때문에 오랜 기간 개념적 구상에만 머물러 있었다.

→ 파동의 속도를 무한히 느리게 하기 위해서는 두께가 0에 무한히 가까워져야 할텐데, 1문단에서 언급한 대로 판이나 보는 강성을 확보해야만 하잖아요. 강성을 확보하면서도 두께를 0에 무한히 가깝게 하는 것은 불가능 했었나 봅니다.

그러다가 2004년 크릴로프(Krylov)가 **음향 블랙홀의 끝단**에 **소량의 점탄성 물질을 부착하는 방식**으로 끝단까지 전달되는 파동 에너지를 효과적으로 감쇠시키는데 성공하면서 음향 블랙홀의 감쇠 성능을 향상 시키려는 연구들이 재개되었다.

→ '음향 블랙홀'의 끝쪽에 점탄성 물질을 부착하면, 파동의 속도를 0에 무한히 가깝게 하지 않아도(=다시 말해, 두께가 0에 무한히 가까워지지 않더라도) 파동 에너지를 감쇠 시킬 수 있겠네요. 다시 말해, 음향 블랙홀을 통해 파동의 반사를 아예 없애지는 못하더라도(=두께가 0에 무한히 가까워 지게 할 수는 없으니), 파동의 에너지를 '소량의 점탄성 물질'만 있으면 유의미하게 감쇠시킬 수 있을 정도

로는 줄여낼 수 있는 것입니다.

<6문단> 음향 블랙홀을 개선하기 위한 연구

음향 블랙홀의 감쇠 성능은 **음향 블랙홀의 길이가 길어질수록 향상**되지만 길이의 증가는 **필연적으로 음향 블랙홀이 차지하는 공간을 증가시켜 공간의 효율성을 감소**시킨다.

→ 음향 블랙홀의 길이가 길어지면 당연히 음향 블랙홀이 차지하는 공간이 증가되겠지요. 상식으로 충분히 이해할 수 있는 문장입니다.

따라서 최근에는 **음향 블랙홀의 길이를 증가**시키는 **동시**에 **음향 블랙홀이 차지하는 공간을 감소시키기 위한 연구**가 진행되고 있다.

→ 직전 문장에서 언급한 '필연'을 부정하기 위한 연구가 진행되고 있군요.

음향 블랙홀의 형상을 **직선에서 곡선으로 변경**하면 길이를 충분히 길게 하면서도 차지하는 공간을 어느 정도 줄일 수 있다.

→ 같은 공간에서 형상이 직선으로 곡선으로 바뀐다면 음향 블랙홀이 길어질 수 있겠군요.

기술 06 (★★☆)

데이터 웨어하우스 시스템

<1문단> 운영 데이터베이스 시스템과 데이터 웨어하우스 시스템의 기능

데이터베이스는 저장된 데이터의 집합체를 의미한다.
→ 데이터베이스의 정의입니다.

데이터베이스는 주로 업무를 운영하는 과정에서 생성되는 **새로운 데이터**를 **저장하고 관리**하는데, **정보 분석**을 위해 재사용되기도 한다.
→ 데이터베이스의 역할이 언급되고 있군요. 데이터베이스는 (업무 운영 과정에서 생성된) 새로운 데이터를 저장 및 관리하며, 이 데이터들의 집합인 데이터베이스가 정보 분석을 위해 재사용되기도 한답니다.

데이터 웨어하우스(DW)는 데이터를 체계적으로 조직해 효율적으로 분석하기 위한 **도구**이다.
→ 데이터베이스는 '데이터의 집합체'였지요? 데이터의 집합체가 그 자체로 무언가를 분석해 낼 수는 없습니다. 데이터는 분석 당하는 정보이지 분석 '하는' 무언가는 아니잖아요. 그래서 데이터베이스를 '분석'하기 위한 도구가 필요합니다. 그것이 바로, 데이터 웨어하우스입니다.

DW 시스템은 축적된 데이터를 사용자의 요구에 맞게 여러 관점으로 **분석할 수 있게 해 주는 시스템**으로, 기존의 **데이터베이스**를 **재사용**해 정보를 효율적으로 분석할 수 있도록 해 준다.
→ DW 시스템에 대한 설명입니다. 직전 문장과 내용이 이어지죠? DW(데이터 웨어하우스)는 도구, DW 시스템은 시스템이라는 차이만 있지 직전 문장과 내용의 얼개는 같다는 점을 확인할 수 있습니다.

정보의 분석이 중심인 **DW 시스템은**, 업무를 운영하는 과정에서 수시로 생성되는 데이터를 저장하는 **운영 데이터베이스 시스템**과 **그 기능 및 구조가 달라**, 각 **시스템을 별도로 분리해 구축**해야 한다.

→ 정보의 분석이 목적인 DW 시스템은 운영 데이터베이스 시스템과 그 기능 및 구조가 다르답니다.(데이터를 '저장, 관리'하는 것과 그 데이터들을 '분석'하는 것은 다른 level의 행위일 테니, 각 시스템의 구조와 기능 역시 다를 수 밖에 없겠죠) 그렇기 때문에 DW 시스템 / 운영 데이터베이스 시스템으로 분리해 구축해야 한답니다.

이(=각 시스템 분리 구축하는 것)는 은행의 입출금 내역 기록처럼 업무 처리 과정에서 수시로 생성되는 정보의 저장이 중심인 **운영 데이터베이스 시스템**과 달리, **DW 시스템**이 기존의 데이터를 **데이터 큐브**의 형태로 관리하는 **다차원 데이터 모델**을 기초로 하기 때문이다.

→ 이제... 데이터 큐브가 무엇인지, 그리고 다차원 데이터 모델이 설명해 주어야 겠죠?

데이터 큐브는 데이터를 여러 '차원'으로 모델링한 것인데, **차원**이란 데이터를 분석하는 일종의 관점으로 **데이터 큐브의 축**이 된다.

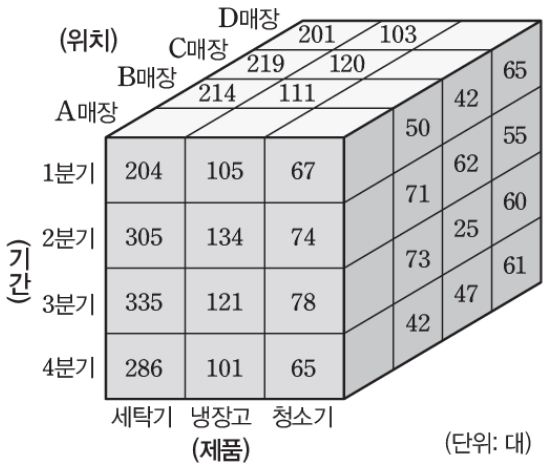
→ 데이터 큐브 = 여러 차원으로 모델링 한 데이터

차원 = 일종의 관점, 데이터 큐브의 축(axis–그래프에서 x축,y축 할 때 그 축) 정도로 정리할 수 있겠군요.

보통 큐브(cube)라는 단어는 기하학적인 3차원 입방체 구조를 뜻하지만, **데이터 큐브**는 **차원의 수**만큼 **n차원의 논리적 구조**로 표현된다.

→ '데이터를 분석하는 일종의 관점'인 차원의 수가 늘어나면 그 차원의 수만큼 데이터 큐브의 축도 늘어나는 군요!

<2문단> 데이터 큐브의 형태와 구조



〈그림 1〉

다차원 데이터 모델을 이해하기 위해 어느 기업의 판매 데이터에 대한 **데이터 큐브**를 살펴보자.

→ 이제 앞으로 <그림 1>에 대한 설명을 해주겠죠? 살펴보자고 했으니깐요. 직전 문단에서 언급한 '데이터 큐브'를 그림의 예를 들어 설명해줄 것입니다..

그리고 데이터 큐브에 대한 설명을 통해, 마찬가지로 직전 문단에서(DW 시스템은~ 다차원 데이터 모델을 기초로 하기 때문이다.) 언급했던 다차원 데이터 모델을 독자들에게 이해시키려고 할 것입니다.

이렇게 구체적인 예시가 나왔을 때는, 디테일한 내용을 이해하는 것도 중요하겠지만, 필자가 이러한 구체적인 예를 어떤 context에서 제시했는지 반드시 기억하고 읽읍시다. 그렇지 않으면 디테일에 빠져 글의 흐름을 놓치고 대체 이 필자가 이 이야기를 왜 하고 있는지 갈피를 잡을 수 없게 됩니다. (비문학 지문 읽다가 멘붕 오게 되는 전형적인 원인 중 하나입니다.)

<그림 1>은 기업의 제품 판매 수량을 '기간', '위치', '제품' 차원에서 나타낸 **3차원 데이터 큐브**이다.

→ 그렇네요. 축이 (기간), (위치), (제품) 세 개 있네요. 차원이 세개니까 축도 세개군요!

각 차원은 하나 이상의 '**차원 항목**'으로 구성되는데, 차원 항목이란 '1, 2, 3, 4분

기'와 같이 **각 축의 좌표에 해당하는 것**이다.
→ (제품) 차원의 차원 항목은 세개, (위치), (기간) 차원의 차원 항목은 네개군요.

차원 항목을 고려할 때, <그림 1>에서 B매장의 1분기 세탁기 판매 수량은 214대임을 알 수 있다.
→ 네 눈이 있으니까 확인할 수 있습니다.

사용자는 다차원 데이터의 어떤 부분을 분석할지에 따라 **데이터 큐브를 원하는 형태**로 바꾸어 볼 수 있다.
→ DW 시스템에서 데이터 큐브는 한번 만들면 바꿀 수 없는 것이 아니라, 사용자의 목적(=다차원 데이터의 어떤 부분을 분석하고자 함)에 따라 가변적이군요.

만일 이 **데이터 큐브**에 '구매자 연령' 차원이 포함된 데이터를 보려면 해당 차원이 추가된 **4차원 데이터 큐브를 활용**할 수 있으며, 이는 <그림 1>과 같은 **3차원 데이터 큐브**를 **나열한 형태**로 표현될 수 있다.
→ 만약 다차원 데이터에 '구매자 연령'에 관한 정보가 있다면, 이 차원을 기존의 3차원 데이터 큐브에 추가할 수 있답니다. 3차원 데이터 큐브를 여러 개 나열하면, 각각의 3차원 데이터 큐브 한 개가 4번째 차원의 차원 항목으로 표시될 수 있겠네요. 3차원 데이터 큐브가 여러 개 나열됨으로써, '구매자 연령'이라는 축이 추가되었다고 볼 수 있겠죠.

이런 식으로 **어떤 n차원 데이터 큐브**도 **n-1차원 데이터 큐브들의 연속으로 표현**될 수 있는데, 데이터의 실제 물리적 저장 형태는 이와 다를 수 있다.
→ 직전 문장, 즉 4차원 데이터 큐브를 3차원 데이터 큐브들의 연속으로 표시할 수 있는 것을 일반화하서 진술하고 있습니다. 물론 데이터의 실제 물리적 저장 형태는 이런 데이터 큐브의 형태(4차원인지, 3차원인지)와는 상관 없겠죠. DW 시스템은 '이미 저장되어 있는 데이터'를 분석하는 과정에서 데이터 큐브를 생성하기 때문이지요. 실제 물리적 저장 형태와 상관 없이 '다차원 데이터의 어떤 부분을 분석할지'에 따라 데이터 큐브의 차원이 결정되고, 데이터 큐브의 형태가 결정되는 것입니다.

<3문단> 데이터 큐브의 차원 항목과 개념 계층

데이터 큐브에서 **특정 차원 내**의 **차원 항목**들은 상세한 하위 개념의 집합들로부터 더 일반적인 상위 개념으로 계층적으로 조직화될 수 있으며, 이를 '**개념 계층**'이라 한다.

→ 데이터 큐브에서 '개념 계층'의 정의입니다.

특정 차원(=동일한 차원)내의 차원 항목들을 상세한 하위 개념 → 일반적 상위 개념으로 조직화 하는 것을 개념 계층이라고 한답니다.

가령 '**기간**' 차원에서 개념 계층은 **'일자<월<분기<반기<연도**'의 구조를 지닐 수 있는데, '**분기**'에 해당하는 하위 차원 항목들이 묶여 '**반기**', '**연도**' 등 상위 개념이 될 수 있다.

→ 직전 문장의 예시이지요. 1분기, 2분기, 3분기, 4분기라는 상세한 하위 개념의 집합이 묶이면 '상반기 or 하반기', '2020년'과 같은 더 일반적인 상위 개념이 된다는 거죠?

개념 계층을 구성할 때 필요한 데이터는 '**원본 데이터**'로부터 추출된다.

→ 원본 데이터가 뭔데요?

원본 데이터란 데이터베이스에 기록된 가장 세부적인 데이터로, 데이터 큐브의 바탕이 되는 데이터이다.

→ 말 그대로 데이터베이스에 저장된 가장 기본적인 데이터를 '원본 데이터'라고 하는군요. "데이터 큐브는 데이터를 여러 차원으로 모델링한 것이다"는 1문단에서 정의된 데이터 큐브의 특성을 고려하면 원본 데이터가 데이터 큐브의 바탕이 된다는 진술은 쉽게 납득할 수 있겠네요.

원본 데이터에서 추출된, **개념 계층에서 가장 상세한 개념의 데이터**는 일반적으로 데이터 큐브에서 개념 계층의 최하위 차원 항목들이 위치한 부분에 적재되어야 한다.

→ 상세한 하위 개념 → 일반적인 상위 개념으로 차원 항목들이 조직화 되는 과정이 바로 '개념 계층'이었지요? 가장 상세한 개념의 데이터는 최하위 차원 항목들이 위치한 부분에 적재되어야 한다는 진술은, 피라미드의 모습을 떠올리면 쉽게 이해할 수 있을 것입니다.

이렇게 적재된 하위 차원 항목의 데이터를 기반으로 더 일반적인 상위 차원 항목들의 데이터 값이 계산되며, 이 과정을 '**집계**'라 한다.

→ 집계의 정의군요.

어떤 물건의 일별 판매량이

월	화	수	목	금	토	일
1개	3개	2개	4개	3개	10개	12개

라고 해봅시다.

'일별 판매량'이라는 개념이 있고, '평일-주말 판매량'이라는 개념이 있다고 했을 때, 최하위 차원 항목은 '월, 화, 수, 목, 금, 토, 일' 일 것이고, 상위의 차원 항목은 '평일, 주말'이 될 것입니다.(이 차원 항목들은 '같은 차원'에 속한다는 점을 명심합시다)

이 개념 계층에서 가장 상세한 개념의 데이터는 일별 판매량일 것이고, 이 일별 판매량이라는 데이터는 데이터 큐브에서 개념 계층의 최하위 차원 항목이 위치한 부분(=각 요일이 위치한 부분)에 적재되어야 한답니다. 뭐 이렇게 표현해 줄 수 있겠지요.

평 일					주 말	
13개					22개	
월	화	수	목	금	토	일
1개	3개	2개	4개	3개	10개	12개

1+3+2+4+3 = 13

10+12 = 22 의 계산 과정이 바로 "집계"입니다.

<4문단> 롤 업과 드릴 다운 연산

다차원 데이터 모델은 **차원**과 **개념 계층**에 의해 **여러 수준의 관점**에서 데이터를 볼 수 있는 기능을 제공한다.

→ 2문단 첫 문장에서 언급한 '다차원 데이터 모델'에 대해 이야기 하려고 하나 봅니다. 다차원 데이터 모델은 지금껏 살펴본 차원, 개념 계층에 의해 '여러 수준의 관점'에서 데이터를 분석 할 수 있는 기능을 제공한답니다.

롤 업(roll up)은 데이터를 더 요약된 형태로 접근해 분석하는 연산이다.

→ 다차원 데이터 모델의 연산 방식 중 하나인 '롤 업'에 대한 정의입니다.

이는 **특정 차원 항목**들을 묶어 **개념 계층의 상위 개념으로 올라가는 방식**이나, **차원 수를 줄이는 차원 축소**에 의해 요약하는 방식으로 구현될 수 있다.

→ 롤 업은 두가지 방식으로 구현된답니다.

1. **특정 차원 항목을 묶어 상위 개념으로 올라가는 방식**
   (직전 문단에서 설명 한 내용이지요?)
2. **차원 수를 줄이는 방식**
   (2문단에서 어떤 n차원 데이터 큐브도 n-1차원 데이터 큐브들의 연속으로 표시할 수 있다는 진술의 반대겠지요? 즉, n-1차원 데이터 큐브들을 n차원 데이터 큐브들로 표시하면 차원 수가 줄어들고, 좀 더 요약된 형태의 데이터 분석 결과가 도출되겠네요.)

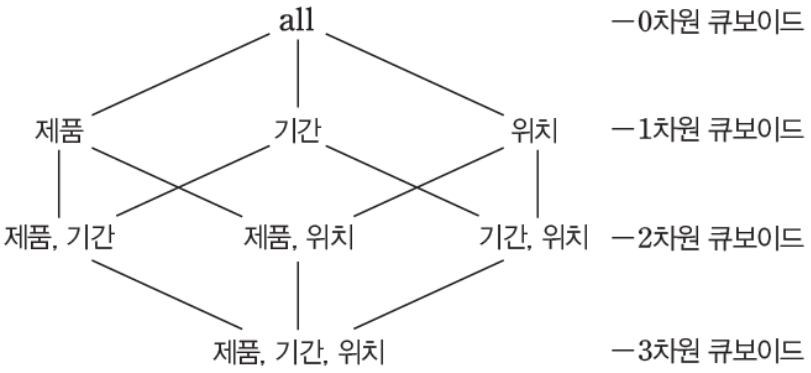
드릴 다운(drill down)은 롤 업의 반대 연산으로, 데이터를 더 상세하고 구체적인 형태로 분석하는 연산이다.

→ 롤 업의 반대 연산인 드릴 다운에 대해 정의하고 있습니다. 명시적으로 '롤 업'의 반대라 했으니, 구현 방식도 반대겠지요?

드릴 다운은 **특정 차원 항목**들에 대한 **개념 계층이 하위 개념으로 내려가는** 방식이나, **차원을 추가하는** 방식으로 구현될 수 있다.

→ 구현 방식이 롤 업 방식과 반대임을 확인해주세요.

<5문단> 데이터 큐브들의 집합인 큐보이드 격자



〈그림 2〉

데이터 큐브는 다양한 차원으로 데이터를 보여줄 수 있다.

→ 네 지금까지 실컷 얘기해줬죠.

특정 데이터를 바탕으로 보여 줄 수 있는 **데이터 큐브들의 집합**은 **격자 형식**으로 표현될 수 있는데, 격자 내부에 표현될 수 있는 각 차원의 데이터 큐브를 **큐보이드**라 한다.

→ 큐보이드의 정의가 제시되고 있군요.

큐보이드 격자는 데이터 큐브에서 드릴 다운과 롤 업을 통해 분석할 수 있는 **차원들의 조합**을 구조적으로 나타내는 모델이다.

→ '큐보이드'를 격자 구조로 나타내는 모델이 바로 큐보이드 격자로군요.

<그림 1>의 3차원 데이터를 바탕으로 한다면, 데이터 큐브에서 분석 가능한 차원들의 조합에 따라 <그림 2>와 같은 큐보이드 격자를 구축할 수 있다.

→ 이제, <그림 2>의 큐보이드 격자를 확인해 가며 지문을 읽으면 되겠군요.

큐보이드 격자 내 **차원들의 집합인 큐보이드**들은 **각각 분석 가능한 차원들의 조합**을 보여 주는데, 일반적으로 n개의 차원을 지닌 데이터의 전체 큐보이드 수는 2^n개이다.

→ 차원들의 집합인 큐보이드가 '각각 분석 가능한 차원들의 조합'을 보여준답니다. 그림을 통해 확인 할 수 있는 내용이군요. 격자 내에 있는 하나 하나가 다 큐보이드입니다.

일반적으로 n개의 차원을 지닌 데이터의 전체 큐보이드 수가 2^n이라는 것은 우리가 확률과 통계에서 배운 내용입니다.
여기서 분석 가능한 차원들은 '제품', '기간', '위치' 총 세 개였지요? 이 세 개중 아무것도 선택하지 않을 수도, 한 개를 선택할 수도, 두 개를 선택할 수도, 전부 다 선택할 수도 있겠습니다. 그 경우의 수의 합을 어떻게 계산했었지요?

$$_3C_0 + _3C_1 + _3C_2 + _3C_3 = 2^3$$

이지요? 이를 일반화 하면 위 문장에서 진술하고 있는 수식이 될 것입니다.

이때 정보가 가장 낮은 수준으로 요약된 n차원 큐보이드를 **기본 큐보이드**라 하는데, 가장 세부적인 정보까지 확인할 수 있다.
→ 그러니까 <그림 2>의 맨 밑에 있는 3차원 큐보이드가 기본 큐보이드입니다.

정보가 가장 높은 수준으로 요약된 큐보이드는 **정점 큐보이드**라 하며, 주로 'all'로 표현된다.
→ <그림 2>의 0차원 큐보이드가 정점 큐보이드군요.

<그림 2>의 경우 정점 큐보이드는 전체 제품의 총 판매 수량을 나타낸다.
→ 다시 말해, 제품, 기간, 위치라는 세 가지 차원 중 아무 것도 선택하지 않은 상황이 바로 all의 상황일 것이고, 이 상태에서는 수치 하나만 제시 될 것입니다. 그 수치는 당연히 제품, 기간, 위치 중 어떤것으로도 분류되지 않은 전체 제품의 총 판매 수량을 의미하겠죠.

<6문단> 데이터 웨어하우스 시스템의 목적과 의의

DW 시스템은 업무에서 수시로 만들어지는 새로운 데이터를 저장하지는 않지만, 여러 차원의 집계, 분석을 통해 기존의 복잡한 데이터를 사용자의 요구에 맞는 정보의 형태로 통합, 분리해 추출할 수 있게 해 주어 다양한 분야에서 사용자의 의사 결정에 도움을 주는 유용한 도구로 활용되고 있다.
→ 앞서 살펴본 대로 DW 시스템은 새로운 데이터를 저장하지는 않아요. 새로운 데이터 저장은 운영 데이터베이스 시스템에서 할 것입니다. DW 시스템의 의의에 대해서도 언급하고 있네요.

기술 07 (★★★)

마그네토솜을 활용한 발열 치료

<1문단> 주자성 박테리아의 서식 환경과 마그네토솜

생물은 여러 수단을 이용해 생존에 알맞은 환경을 찾아 이동하는데, **박테리아**도 예외는 아니다.

→ 박테리아는 여러 수단을 이용해 생존에 알맞은 환경을 찾아 이동한다는 이야기인데, 이제 이 박테리아의 특성을 가지고 이야기를 전개할 것입니다.

1975년 미국의 블레이크모어는 자기장을 따라 움직이는 '주자성(走磁性)'이 있는 **박테리아**를 발견했다.

→ 주자성의 정의와 더불어, 이 주자성이 있는 박테리아에 대해 언급하고 있습니다. '자기장을 따라 움직이는' 성질을 가지고 무슨 이야기를 해 줄까요?

주자성 박테리아는 대부분 산소를 싫어하는 혐기성을 띠어 산소 농도가 높은 수면을 피해 호수나 바다 밑 침전물에 서식한다.

→ 주자성 박테리아는 호수나 바다 밑 침전물에 서식하는데, 직전 문장과 연결지어 생각해 본다면, 주자성 박테리아는 '자기장을 따라 움직여서' 호수나 바다 밑 침전물로 이동하겠군요.

이들은 **지면의 자기장을 감지**해 **수면 아래의 지면에 위치한 침전물을 향해** 유영할 수 있는데, 이들이 자기장을 감지할 수 있는 것은 몸속에 '**마그네토솜**(magnetosome)'이라는 특수한 **세포 내 소기관**을 지니고 있기 때문이다.

→ 주자성 박테리아는 '마그네토솜'이라는 세포 내 소기관을 통해 자기장을 감지하고, 이렇게 감지한 지면의 자기장을 따라 침전물을 찾아가는군요.

이제 필자는 마그네테솜이라는 세포 내 소기관이 어떤 원리로 자기장을 감지할 수 있는 지 언급해 줄 것입니다.

<2문단> 주자성 박테리아가 마그네토솜 자석 결정을 활용하는 방법

마그네토솜은 35~120㎚ 정도의 **자석 결정을 생성**하는 소기관으로, 단백질 복합체가 자석 결정을 둘러 싼 형태이다.
→ 마그네토솜이 어떻게 자석 결정을 생성하게 될 지는 이제부터 이야기 해 주겠지요.

마그네토솜은 **박테리아가 섭취한 먹이**를 바탕으로 마그네타이트(Fe_3O_4) 또는 그레자이트(Fe_3S_4)로 이루어진 **균일한 자석 결정을 생성**한다.
→ (박테리아가 섭취한) 먹이 → 마그네토솜 내부 작용 → 균일한 자석결정 생성입니다.

자석 결정 한 개가 지닌 자기력은 아주 작지만, 주자성 박테리아 내부에는 **자석 결정 여럿**이 **N극, S극의 인력에 의해 사슬 형태**를 이루어 하나의 긴 자석처럼 **큰 자기력**을 갖게 된다.
→ 마그네토솜에서 생성된 하나의 자석 결정이 지닌 자기력은 매우 작지만, 이 자석 결정들이 사슬 형태를 이루게 되면 큰 자기력을 갖게 된다네요. 주자성 박테리아는 이 큰 자기력을 가지고 지면의 자기장을 감지하겠군요.

주자성 박테리아는 **이 자석 결정을 나침반**으로 삼아 자신들의 서식지를 감지하고, 운동 기관인 편모를 회전하는 방법으로 **해당 방향으로 움직인다**.
→ 그렇지요?

북반구와 남반구의 지면에서 감지되는 자기장은 서로 반대이므로, 수중의 주자성 박테리아들은 **북반구에서 지면의 자북극**을, **남반구에서 지면의 자남극**을 지향한다.
→ 북반구와 남반구의 지면에서 감지되는 자기장의 방향이 서로 반대이기 때문에, 주자성 박테리아들은 북반구에서는 지면의 자북극 방향으로, 남반구에서는 자남극 방향을 지향하며 이동한답니다. 자기장의 방향대로 따라 가는 성질이 주자성이라고 했었지요? 그러므로 자기장의 방향이 반대라면, 그 반대 방향대로 따라가야 하니 실제로 이동하는 방향도 반대겠지요.

<3문단> 마그네토솜 자석 결정을 활용한 발열 치료 시스템

주자성 박테리아에서 얻어 낸 **마그네토솜 자석 결정**은 인위적으로 합성한 자석 결정에 비해 **여러 장점**을 지녀 **의학 분야에서도 활용**될 수 있다.

→ 대체 마그네토솜이라는 소기관에서 생성한 자석 결정이 어떤 장점이 있길래 의학 분야에서 활용될 수 있을까요?

'**발열 치료 시스템**'은 이러한 사례 중 하나이다.

→ 직전 문장과 연결하여 생각하면, 발열 치료 시스템에는 마그네토솜 자석 결정이 활용 되었을 것이고, 이 발열 치료 시스템은 의학 분야에서 사용되는 시스템이겠군요.

마그네토솜 자석 결정은 매우 작아 세포 내에 침투하기가 용이한데, 마그네토솜 자석 결정에 **암세포를 찾아가는 표적 물질을 코팅**하면 자석 결정이 암세포에 침투할 수 있다.

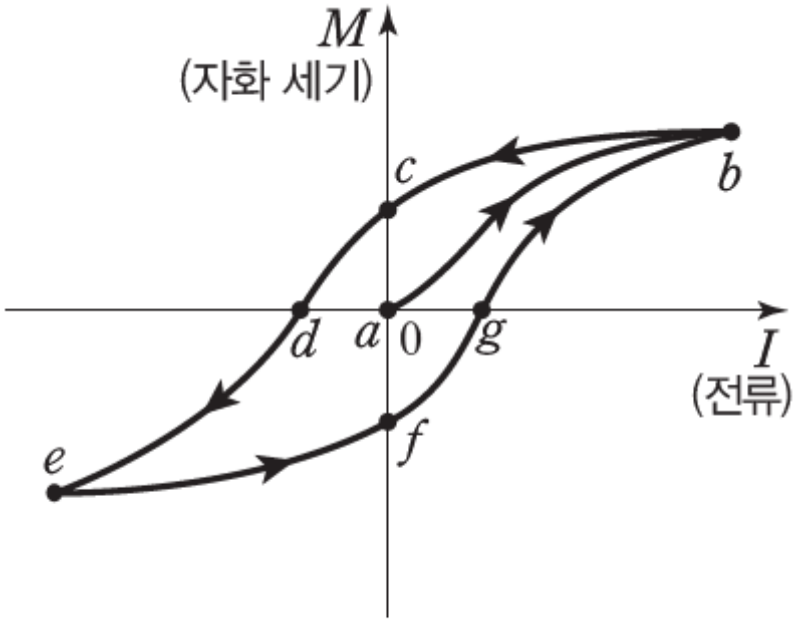
→ 마그네토솜 자석 결정은 매우 작겠죠. 박테리아의 소기관에서 생성된 걸 테니깐요. 암세포 찾아가는 표적 물질을 이 자석 결정에 코팅하면, 이 자석 결정은 매우 작으니까 암세포 내로 침투가 가능하겠군요.

근데 다른 '매우 작은' 물질에도 암세포 찾아가는 표적 물질 코팅하면 암세포 내에 침투는 할 수 있을텐데, 굳이 이 마그네토솜 자석 결정을 활용하는 것은, '자석 결정'이라는 점이 발열 치료 시스템에 활용 되기 때문이겠지요?

암세포는 정상 세포에 비해 **열에 약한 경우**가 많아 암세포에 침투한 **자석 결정**을 **체외에서 자기장을 이용해 발열**시키면 **암세포를 소멸**시킬 수 있다.

→ 자석 결정을 자기장을 이용해 발열 시키면 열에 약한 암세포가 소멸될 수 있다는 이야기군요. 2문단에서 자석 결정이 자기력을 가지고, 나침반 역할을 해 자기장을 감지할 수 있다는 것은 설명이 되었습니다만, 자기장이 (자기력을 가진) 자석 결정을 '발열'시킨다는 이야기는 없었죠? 이제 필자는 어떻게 자기장을 이용해서 자석 결정을 발열 시킬 수 있는지 설명 해 주어야 할 것입니다. 그래야 이 발열 치료 시스템이 설명되는 거겠죠?

<4문단> 자기 이력 현상의 원리



〈그림〉

체외의 자기장에 의해 **체내의 자석 결정**이 **발열**하는 현상은 '**자기 이력 현상**'과 관련된다.

→ 이제 자기 이력 현상에 대해 설명해 주겠군요.

자기 이력 현상은 외부에서 가하던 자기장을 제거해도 **자성체가 자화된 상태**를 유지하는 현상을 말한다.

→ 자기 이력 현상의 정의입니다. 외부에서 물체에 자기장을 가하면 그 물체가 자화(=자성을 지니게 되는 것)되는데, 자기장을 제거한 이후에도 그 자화된 상태를 유지하는 현상이 바로 자기 이력 현상이랍니다.

자성체란 자기장에 의해 자화되는 물질을 가리키는데, **전자석이나 영구 자석**은 철, 니켈, 코발트처럼 외부 자기장을 제거해도 자화된 상태를 유지하는 **강자성체**로 만들어질 수 있다.

→ 자성체의 정의가 제시되는군요. 또한 전자석이나 영구자석은 강자성체로 만들어질 수 있다는 점을 언급하고 있네요.

<그림>은 **전류의 세기**에 따른 **자화 세기의 변화**를 그래프로 나타낸 것으로, **자기 이력 현상**에 대해 설명하고 있다.

→ 이제, <그림>을 통해 외부에서 가하던 자기장을 제거한 이후에 자성체가 자화된 상태를 유지하게 되는 자기 이력 현상을 이해해 봅시다. 먼저, x축이 전류이고 y축이 자화 세기라는 점을 확인하고 갑시다.

자성체인 코어에 도선 코일을 감고 코일에 일정 방향으로 전류를 흘리면 코일 주위에 **자기장**이 생긴다.

→ 자성체인 코어 주위에 자기장을 만들어 놓았습니다.

이때 **자기장의 세기**는 **전류의 세기에 비례**하는데, 코일에 흐르는 **전류의 세기를 증가**시키면 **코일 주변의 자기장이 강해지고**, 이에 따라 **자성체의 자화 세기가 커진다**.

→ 전류 세기↑ → 코일 주변 자기장↑ → 코어의 자화 세기↑ 군요.
그러므로 이 <그림>에서는 기본적으로 x축과 y축의 변수들이 비례할 것입니다.

외부 자기장이 **어느 정도 강해지면** 자성체의 **자화 세기**는 **포화점 b**에 이르러 전류를 더 세게 흘려도 커지지 않는다.

→ 그런데 외부 자기장이 일정 수준으로 커지면, 전류가 더 커져도 자화 세기는 더 이상 강해지지 않는답니다. 그러니까 포화점 b의 의미는, 이 수준 이상으로 x값을 더 크게 해봐야 y값은 이 값 이상으로 올라가지 않는다는 점을 나타내는 것이겠죠? 직전 문장과 이번 문장에 걸쳐 우리는 <그림>에서 점a → 점b의 과정을 확인해 주었습니다.

이때 전류를 0으로 줄여도 자성체는 c만큼의 자화 세기를 지니는데, 이는 자성체가 영구 자석이 되었음을 뜻한다.

→ 이제 점 c를 보면, x값은 0인데 y값은 양수이지요? (0,c)라는 좌표의 의미가 '자성체가 영구자석이 되었다'라는 뜻이랍니다. 전류를 0으로 줄였다는 것은 코일 주위에 자기장이 없다는 의미잖아요? 주변 자기장이 없는데 자성체인 코어가 자화를 유지하고 있는 상황이지요?(c만큼의 자화 세기를 지니고 있으니깐요.) 자기 이력 현상이 나타난 것이군요.

자성체에 남아 있는 자화 세기를 '잔류 자기'라 하는데, **잔류 자기**를 제거하려면 코일에 전류를 이전의 역방향으로 흘려야 한다.

→ 이 그림에서 잔류 자기는 c의 크기를 가지고 있을 것입니다. 이 c를 제거해 주기 위해 역방향으로 전류를 흘리는 상황(=x값으로 음수를 넣는 상황)을 제시하겠죠?

점 c부터 다시 따라가보죠.

이 역방향 전류의 세기를 d만큼 증가시키면 자화 세기는 0이 되고, 전류를 더 세게 흘리면 자성체의 자화 세기가 반대쪽으로 커져 포화점 e에 이른다.

→ 점 d의 좌표는 (-d, 0)이군요. y값이 0이므로 자화 세기는 0입니다. 점 e는 점 b의 반대 상황이군요.

이러한 과정을 반복하면 **전류의 세기에 따른 자화 세기**는 <그림>과 같이 변화하는데, 자화의 과정과 관련된 이러한 경로를 나타낸 폐곡선을 '**자기 이력 곡선**(hysteresis loop)'이라 한다.

→ 이 <그림>의 화살표는 무한히 따라갈 수 있지요? 점 a → 점 b로 가는 과정만 제외 하구요. 점 a → 점 b의 과정은 코어에 도선 코일 감고, 일정 방향으로 전류 흘려서, 외부 자기장이 어느 정도 크기가 될 때까지의 과정이었습니다. 점 b에 도달한 순간 더 이상 전류를 가하지 않아도(=자기장을 없애도) 잔류 자기가 있는 영구 자석이 되었고, 이때부터는 전류가 흐르든, 흐르지 않든 영구 자석이라는 성질에는 변화가 없이 폐곡선(=곡선 위의 한 점에서 출발하여 곡선을 따라 한 방향으로 움직였을 때 처음 출발한 점으로 되돌아오게 되는 곡선) 내에서 전류의 세기와 자화 세기의 크기가 결정됩니다.

<5문단> 자기 이력 손실로 인한 발열 원리

외부 코일에 일정 방향으로 전류를 흘려 자성체의 자화 세기가 포화점 b에 이르렀을 때, <그림>과 같이 코일에 역방향의 전류를 흘리는 과정을 반복하면, 자성체의 자화 세기는 처음의 포화 상태와 동일하게 복구될 수 있다.

→ 네 그렇습니다. 점 b의 상태에서 폐곡선을 따라 x값을 줄였다가(=역방향으로 전류를 흘리는 과정) 다시 늘리면 다시 처음의 포화상태인 점 b로 돌아가겠죠.

이 과정에서 **사용된 전기 에너지**는 **열에너지로 전환**되어 **자성체의 온도를 높이는데**, 이때 **사용된 에너지의 양**은 <그림>의 b-c-d-e-f-g 점에 이르는 **자기 이력 곡선의 내부 면적**과 **비례**한다.

→ 전류를 흘리는 과정이라고 했으니, 전기 에너지가 사용되는 것이고, 전기 에너지가 열 에너지로 전환되고, 열 에너지가 자성체의 온도를 높인답니다.

이로써, 자기장을 이용해서 자석 결정이 어떻게 발열 되는지 설명이 다 된 셈이군요!(갑자기 무슨 소리인가 싶으면, 3문단 마지막 문장에 대한 설명을 다시 돌아가서 읽고 오세요~)

이렇게 자성체의 온도를 높이는 데 사용된 에너지 양은 <그림>에서 볼 수 있는 것과 같은 폐곡선의 면적에 비례한답니다. 이 면적이 크면 클수록 (다른 조건이 다 일정할 때) 자성체의 온도가 더 많이 오르겠네요.

자화의 과정과 관련해 **발생하는 열**은 에너지 손실의 일종인데, 이러한 손실을 '**자기 이력 손실(hysteresis loss)**'이라 한다.

→ 자성체의 온도를 높이는 열이 바로 '자기 이력 손실'이랍니다. 직전 문장과 연결 지어 생각해보면, 자기 이력 곡선의 내부 면적이 크면 클수록 자기 이력 손실도 커지겠군요.

마그네토솜 자석 결정을 활용한 발열 치료는 이렇게 자화의 과정과 관련해 발생하는 열을 활용한 것이다.

→ 네 그랬네요.

<6문단> 마그네토솜 자석 결정의 장점과 활용 전망

발열 치료에는 **발열량이 풍부한 자성체**나, **정밀한 온도 조절이 가능한 자성체**를 활용하면 효과적이다.

→ '열'을 활용해 열에 약한 표적 세포를 소멸시키는 발열 치료에서는 다른 조건이 일정하다면, 정밀한 온도 조절이 가능하거나, 발열량이 풍부한 자성체를 활용하면 더 효과적으로 치료가 가능하겠지요.

마그네토솜 자석 결정 한 개에서 발생하는 열은 매우 작지만, 암세포 속에는 이 자석 결정이 다량으로 침투 할 수 있어 치료가 필요한 부위에 충분한 열을 발생시킬 수 있다.

→ 마그네토솜 자석 결정 한 개가 지닌 자기력이 매우 작다는 점과 발생하는 열이 매우 작다는 점은 같은 맥락에서 이해할 수 있겠지요. 그렇지만 이 자석 결정은 매우 작아 하나의 암 세포에도 다량으로 침투할 수 있고, 그래서 암 세포를 소멸시키는 데 충분한 열을 발생시킬 수 있답니다.

또한 정밀한 온도 조절을 위해 **발열체의 크기, 형태의 균일성**이 필수인데, 마그네토솜 자석 결정은 이를 충족시켜 발열 치료에 활용하기에 매우 적합하다.

→ 왜 발열체의 크기, 형태의 균일성이 정밀한 온도 조절을 위해 필수적인지는 제시되지 않았으나, 마그네토솜 자석 결정이 균일하다는 점은 2문단에서 명시된 정보(="마그네토솜은 박테리아가 섭취한 ~ 균일한 자석 결정을 생성한다")이므로 그냥 받아들이면 되겠네요.

현재 주자성 박테리아의 마그네토솜 자석 결정을 활용한 발열 치료 시스템은 새로운 암 치료 수단 중 하나로 주목받고 있다.

→ 그렇다네요.

기술 08 (★★★)

현가장치

<1문단> 현가장치의 개념

자전거 뒤에 타고 이동하게 되면 울퉁불퉁한 길을 지날 때에 큰 덜컹거림을 경험할 수 있다.
→ 자전거 뒤에 타본 경험이 없더라도 충분히 받아 들일 수 있는 이야기지요.

만약 타고 있는 것이 자전거가 아닌 **자동차**라면 어떨까?
→ 자동차에 탔는데 큰 덜컹거림을 겪는다면 어떨까요?

자동차가 이렇게 덜컹거린다면 타고 다니기 곤란할 것이다.
→ 자전거보다 더 빠른 속도로 달리는 자동차를 타고 있는데 자전거 뒤에 탈 때마냥 덜컹거린다면 정신을 못 차리겠지요.

그래서 자동차에는 이런 덜컹거림을 최소화할 수 있는 장치가 있는데 이를 **현가장치**라고 한다.
→ 앞으로, 현가장치가 어떻게 덜컹거림을 최소화 할 수 있는 지 설명해 주겠군요!

<2문단> 현가장치의 구성품

현가장치는 차량의 진동을 완화하는 것 외에 차체를 지지하고, 커브를 돌 때 차가 기울어지는 현상을 줄여 주거나, 타이어와 도로 사이의 접촉을 계속 유지해 주는 일을 한다.

→ 현가장치의 역할이 제시되고 있습니다.

이러한 기능을 위한 **현가장치**는 **스프링**과 **쇼크업소버**로 구성된다.

→ 이제 현가장치를 구성하는 스프링과 쇼크업소버를 각각 설명해 주겠네요.

현가장치에 쓰이는 **스프링**은 **토션바**, **에어 스프링**, **코일 스프링** 등이 있고 **쇼크업소버**는 **유압식**이 일반적으로 사용된다.

→ 현가장치에 쓰이는 스프링은 세 종류, 쇼크업소버는 유압식이 일반적으로 쓰인다는군요. 토션바, 에어 스프링, 코일 스프링이 각각 무엇인지 이야기 해 주어야겠지요?

토션바는 축을 기준으로 양 끝을 각각 반대 방향으로 비틀면 원래대로 펴지려는 힘을 이용한 것이고, **에어 스프링**은 일정 온도에서 기체를 1/2 부피까지 압축하면 압력은 2배가 되어 압력을 밀어내는 힘도 2배가 되는 원리를 활용한 것으로, 대형 버스에 주로 쓰인다.

→ 토션바와 에어 스프링의 원리에 대해 설명해 주고 있습니다. 토션바는 일종의 탄성을 이용한 것이고, 에어 스프링은 기체를 압축하면 압력이 커지는 원리를 이용한 것임을 알 수 있군요.

승용차에는 **코일 스프링**이 주로 쓰이는데 이 코일 스프링의 **특징**을 살펴보자.

→ 토션바와 에어 스프링은 필자의 주된 관심사가 아닌가 보죠? 이제 코일 스프링의 특징을 구체적으로 설명해 주겠네요.

<3문단> 스프링과 스프링 상수

스프링은 상황에 따라 변형되는 성질을 가진다.

→ 코일 스프링은 스프링의 한 종류이지요? 스프링은 상황에 따라 변형되는 성질을 가진다네요. 어떤 상황에 따라 어떻게 변형되는 성질을 활용해서 코일 스프링이 현가장치에 쓰일 수 있는 것일까요?

스프링을 일정한 길이만큼 변형시킬 때, **길이 변화**에 대한 **힘의 크기**의 **비율**을 **스프링 상수**라고 한다.

→ 스프링 상수 = $\frac{\text{힘의 크기}}{\text{△스프링 길이}}$ 로 표현 할 수 있습니다.

스프링 상수는 **스프링이 받는 힘**과 **비례 관계**에 있다.

→ 직전 문장에서 나타낸 수식의 분자 부분에 있는 '힘의 크기'를 생각하면, 스프링 상수가 스프링이 받는 힘과 비례관계에 있음을 충분히 이해할 수 있겠군요.

또한 스프링 상수는 스프링이 받는 하중을 스프링의 변형량으로 나누어 구할 수 있으며 **기호**는 '**kgf/mm**'로 표시 하는데, 1kgf/mm의 경우 1mm를 변형시키는 질량 1kg인 물체의 하중이라는 의미이다.

→ 스프링 상수 = $\frac{\text{스프링이 받는 하중}}{\text{스프링의 변형량}}$ 의 식으로 나타낼 수 있다는 것인데, 직전 수식과 같은 맥락임을 이해하면 되겠네요. 또한 스프링 상수를 나타내는 기호가 설명되고 있네요.

그리고 모든 조건이 같은 상황에서 **동일한 스프링을 1/2로 잘랐을 경우 스프링의 변형량도 1/2로 감소**된다는 특징이 있다.

→ 스프링의 길이가 줄어드는 만큼 스프링의 변형량도 그 비율만큼 줄어든다고 이해하면 되겠습니다.

이 문단에서는, 승용차의 현가장치에 사용되는 코일 스프링이 어떻게 덜컹거림을 최소화 하는지를 설명하기 위해 스프링 상수를 먼저 설명해 주었군요.

<4문단> 스프링의 탄성력과 고유 진동수

스프링에 추를 달아 당기면 추는 꽤 오랫동안 아래위로 진동을 하게 된다.
→ 실제로 이러한 실험을 해보지 않았더라도, 이 상황을 상상하면 충분히 납득할 수 있는 이야기겠네요.

이러한 **진동**은 **탄성력**과 관계가 있는데, **탄성력**은 힘을 가하면 변형되고 힘을 빼면 원래대로 돌아가는 성질인 탄성의 정도이다.
→ 진동이 (힘을 가하면 변형되고, 그 힘을 제거하면 원래대로 돌아가는 성질의 정도인) 탄성력과 어떤 관계가 있을까요?

스프링의 탄성력은 변형된 길이에 비례한다.
→ 탄성력 ∝ 변형된 길이랍니다.

또한 **진동이 지속되는 것**은 추를 움직이는 **운동 에너지**가 스프링의 **탄성 에너지**로 **변환**되면서 총 에너지가 유지되는 것과 관련이 있다.
→ 진동과 탄성력이 어떤 관계가 있는지, 그 실마리가 제시되고 있습니다..
운동 에너지 → 탄성 에너지로 변환되면서 '총 에너지가 유지'되는 것과 진동이 '지속' 되는 것이 연관된답니다.

물론 시간이 지나면서 추가 움직인 거리인 진폭은 줄어들게 된다.
→ 진동이 지속되긴 하지만, 추가 움직인 거리인 진폭은 시간이 지나면 줄어들게 된답니다. 스프링에 추를 달아 놓고 당기면 추가 위아래로 진동하다가, 시간이 지나면서 점차 추가 위아래로 이동하는 폭이 줄어드는 상황은 충분히 상상해 볼 수 있을 것입니다.

왜냐하면 **공기와의 마찰** 등으로 에너지가 조금씩 흩어지기 때문이다.
→ 모든 운동 에너지가 탄성 에너지로 변환된다면, '총 에너지가 유지'되어야 하기 때문에 (다른 조건이 일정하다면) 진폭이 줄어들 수 없겠지요. 그렇지만 공기와의 마찰 등으로 에너지가 조금씩 흩어지기 때문에 진폭이 줄어들게 된답니다.

한편 **진동의 주기**는 한 번 왕복하는 데 걸리는 시간인데, 이 값의 역수를 **진동수**라고 한다.
→ 진동의 주기 X 진동수 = 1입니다.

스프링의 진동수는 **스프링 상수**와 **추의 질량**에 의해 결정되고, **스프링 상수**와 **질량**이 정해지면 스프링은 일정한 **고유 진동수로 진동**한다.
→ 진동의 주기의 역수인 진동수는 $\frac{\text{스프링이 받는 하중}}{\text{스프링의 변형량}}$인 스프링 상수와 추의 질량이 제시가 되면 결정 되고, 이에 따라 스프링은 진동의 주기와 진동수가 확정되어 진동합니다.

고유 진동수는 **스프링 상수**가 **커지면 같이 커지는 특징**이 있다.
→ 다시 말해, 스프링 상수와 고유 진동수는 비례 관계에 있다는 거군요.

이 문단에서는 스프링의 탄성력과 진동의 관계, 그리고 진동수에 대한 설명이 제시가 되었는데요. 직전 문단의 '스프링 상수'와 이번 문단에 제시된 이 개념들을 가지고 덜컹거림을 최소화 시키는(=다시 말해, 현가장치의 구성요소로서 코일 스프링이 어떻게 작용할 수 있는지) 방법에 대해 설명 해 주어야 합니다.

<5문단> 쇼크업소버의 필요성과 종류

현가장치에 쓰이는 스프링은 덜컹거림을 최소화해야 하므로 자동차의 몸통과 스프링이 만드는 **진동수를 작게 해야 한다**.
→ 진동수(=1초동안 진동한 횟수)를 작게 해야 덜컹거림이 최소화 될 수 있군요. 그렇다면, 어떻게 하면 진동수를 작게 할 수 있을까요?

이를 위해서는 **자동차의 무게를 무겁게 하거나 스프링 상수를 작게 하면** 된다.
→ 자동차의 무게를 무겁게 하면, 혹은 스프링 상수를 작게 하면 진동수가 작아진답니다.

하지만 자동차를 일부러 무겁게 하는 것은 효율적이지 않으며, 스프링 상수가 작은 스프링을 쓰게 되면 차량의 진폭이 커질 수 있다.
→ 자동차를 일부러 무겁게 하면 연비가 안 좋아질 테니 효율적이진 않을겁니다.

한편 스프링 상수가 작은 스프링을 쓰면, 같은 조건에서 스프링의 변형량이 크다는 의미이고, 스프링의 변형량이 크면 탄성력도 커지겠지요?(직전 문단에서 탄성력이 변형된 길이에 비례한다고 했으니깐요.) 탄성력이 '힘을 가하면 변형되고 힘을 빼면 원래대로 돌아가는 성질'의 정도라고 했으므로, 탄성력이 커지면 진폭은 커지겠군요.

또한 **스프링만**을 사용하면 진폭이 크고 진동 시간이 길어질 수 있어 **편안함을 느끼기 어렵다**.

→ (비효율적이므로 자동차 무게를 무겁게 할 수는 없으니까) 스프링 상수를 작게 하여 덜컹거림을 최소화 하면, 직전 문장에서 서술한 대로 진폭이 커질 수 있고, 진동수가 작아졌으니 진동수의 역수인 진동의 주기가 길어져 진동 시간이 길어 질 수 있습니다. 진폭이 커지고 진동의 주기가 길어진다면 편안함을 느낄 수 없겠죠. 그러면 스프링만을 사용해서는 현가장치가 제대로 작동하지 않겠네요.

이를 보완하기 위해 **쇼크업소버**가 쓰이게 된다.

→ 2문단에서 언급된 대로, 현가장치는 스프링과 쇼크업소버로 구성됩니다. 만약 스프링만으로 완벽하게 덜컹거림이 제어되었다면 굳이 쇼크업소버를 쓸 이유가 없었겠지요. 이제부터는 (유압식이 일반적으로 사용되는) 쇼크업소버에 대해 설명해 줄 것입니다. 이 쇼크업소버는 당연히 덜컹거림을 제어하는 데 기여하겠죠?

쇼크업소버는 크게 **단통식**과 **복통식**으로 나뉜다.

→ 단통식과 복통식에 대해 각각 설명해 주겠군요.

단통식은 **본체인 통이 홑겹 구조**로 되어 있고, 통 내부는 기름이 채워진 오일실과 고압의 가스가 충전된 가스실로 나뉘어 그 사이를 자유롭게 움직일 수 있는 프리 피스톤으로 나뉜 구조를 가진다.

→ 단통식은 '본체인 통이 홑겹 구조'라 '단'통식으로 이름 붙여졌나 보군요.

복통식은 **통**이 **외통과 내통의 이중 구조**로 되어 있는 것이 특징이다.

→ 반면 복통식은 본체인 통이 이중 구조로 되어 있답니다.

<6문단> 트윈 튜브식 쇼크업소버의 구조 및 작동 과정

복통식 쇼크업소버인 **트윈 튜브식 쇼크업소버**에는 외통과 내통이 있으며, 기름이 흘러가는 두 종류의 통로가 있다.

→ 트윈 튜브식 쇼크업소버도 복통식이니까 당연히 외통과 내통이 있을 것이고, 다음 문장에선 새로이 나온 정보인 '두 종류의 통로'에 대해 설명해 주겠군요.

하나는 **별다른 저항 없이 기름의 흐름에 따라 개폐**되는 통로인 **오리피스**(Orifice)이고 다른 것은 **압력 차에 의해** 스프링에 연결된 통로가 **개폐되는 감쇠력 발생 밸브**이다.

→ 굳이 기름이 흘러가는 통로를 두 종류(기름의 흐름에 따라 별다른 저항 없이 개폐 / 압력 차에 의해 개폐)로 나누어 설명한 것은, 이 통로들이 '덜컹거림'이 제어되는 원리와 연관이 있기 때문일 것입니다. 그렇지 않다면 굳이 이 지문에서 이 통로들을 나누어 설명할 이유가 없겠죠?

이 통로들은 내통 바닥의 베이스 밸브와 피스톤에 모두 설치되어 있다.

→ 내통 바닥의 베이스 벨브에도 두 종류의 통로가, 그리고 피스톤에도 두 종류의 통로가 모두 설치되어 있답니다.

피스톤의 속도가 낮은 범위에서는 **오리피스**로, 속도가 일정 수준 이상으로 높아지면 **감쇠력 발생 밸브까지 연동하여 감쇠력이 조정**된다.

→ if 피스톤 속도가 낮은 범위 → 오리피스만 열림
if 피스톤 속도가 일정 수준 이상 → 오리피스 + 감쇠력 발생 벨브 열림
정도로 정리할 수 있겠군요. 상황(피스톤 속도)에 따라 통로의 개폐가 달라지고, 이에 따라 결과적으로 덜컹거림이 제어될 수 있나보군요.

압축 시에는 내통에서 외통으로 기름이 나가고, 이때는 **베이스 밸브의 통로들**에서 감쇠력이 발생한다.

→ '압축'의 상황에서는 베이스 밸브의 오리피스(속도가 일정 수준 이상인 경우에는 + 감쇠력 발생 벨브)에서 감쇠력이 발생하는군요.

신장 시에는 외통에서 내통으로 기름이 들어오고, 이때는 **피스톤에 설치된 통로들에서 감쇠력이 발생**한다.

→ '신장'의 상황에서는 피스톤에 설치된 통로의 오리피스(속도가 일정 수준 이상인 경우에는 + 감쇠력 발생 벨브)에서 감쇠력이 발생하는군요.

오리피스에서는 기름이 별다른 저항 없이 흐를 수 있지만, **감쇠력 발생 밸브**는 압력이 높아지면 막혀 있던 판이 밀려 열리면서 생긴 간극으로 기름이 흐를 수 있도록 되어 있다.

→ 기름이 별다른 저항 없이 흐른다는 말은, 기름의 흐름에 따라 별다른 저항 없이 개폐된다는 오리피스의 특성을 생각하면 충분히 납득할 수 있습니다. 한편 감쇠력 발생 밸브는 압력이 높아지면 판이 밀려 열린다고 설명되는데, 피스톤 속도가 일정 수준 이상이 되면 압력이 높아져 막혀 있던 판이 밀려 열리게 되는 것으로 이해할 수 있습니다.

감쇠력은 **기름이 이동할 때 받는 저항에 의해** 발생하는 것이다.

→ 오리피스, 감쇠력 발생 밸브의 공통점은 '기름이 흘러가는' 통로라는 점입니다. 이 통로에 기름이 흘러가면 기름이 이동하면서 저항을 받을 것이고, 이에 따라 감쇠력이 발생합니다.

따라서 **감쇠력 발생 밸브**에 **설치된 판의 수를 증가**시키면 저항이 강해지기 때문에 **감쇠력이 커지게** 된다.

→ 설치된 판이 증가하면 기름이 이동할 때 받는 저항이 강해지나 보군요. 그러면 감쇠력이 당연히 커지겠지요.

그리고 오리피스의 **구멍을 작게 하면 감쇠력이 커지며**, 만약 인위적으로 개폐할 수 있는 두 개 이상의 오리피스를 설치한 경우 오리피스의 개폐 여부에 따라 감쇠력을 조정할 수 있다.

→ 오리피스에서는 기름이 '별다른' 저항 없이 흐를 수 있다고 했지요? 그렇다고 기름이 오리피스를 통과할 때 감쇠력이 전혀 발생하지 않는다고 생각하면 안됩니다. '별다른'이라는 말의 사전적 정의가 '다른 것과 특별히 다르다' 거든요. 그러므로, '별다른' 저항이 없이 흐른다고 했을 때, '오리피스에서는 저항이 전혀 없네~' 라고 이해 하면 안되고, '일반적인 상황과 특별히 다른 저항'은 없이 흐르는 구나!'

라고 이해해야겠습니다.

어쨌든, 오리피스의 직경이 작아지면 기름은 상대적으로 저항을 더 받을 것이고(작은 구멍을 기름이 통과해야 하니깐요) 감쇠력은 커질 것입니다. 한편 두 개 이상의 인위적으로 개폐할 수 있는(일반적인 오리피스와는 다른) 오리피스를 설치한다면 감쇠력을 인위적으로 조정 할 수 있겠네요. 두 개의 오리피스를 열어놓다가, 하나의 오리피스를 닫는다면 기름이 이동할 때 받는 저항이 커질 것이고, 이에 따라 감쇠력이 커지겠지요.

지금까지 트윈 튜브식 쇼크업소버에서 '감쇠력'을 조정하는 방법에 대해 설명을 해놨는데요. 여기까지 읽으면서 무언가 불편함을 느꼈으면 정상입니다. 왜냐하면 이 글에서 '감쇠력'이 무엇인지 명시적으로 정의해준 적이 없거든요. 분명한 것은 이 감쇠력이 덜컹거림을 최소화 하는 데 영향을 준다는 점입니다.(그렇지 않다면 이 글에서 설명할 이유가 없으니깐요) 그리고 '이러이러한 경우에는 쇼크업소버의 어떤 통로들을 통해 감쇠력이 발생한다'라는 글의 전개 방식을 통해 감쇠력이 발생하면 덜컹거림이 최소화 될 수 있겠구나!정도는 생각해 볼 수 있었을 건데, 그래서 감쇠력이 대체 뭐길래 덜컹거림을 최소화 할 수 있는지에 대한 의문은 해소되지 않았을 겁니다.
'감쇠력'은 사전적으로는 '물질이 진동을 흡수하는 능력'으로 정의되며, 자동차 용어로는, 스프링의 진동을 멈추게 하기 위한 쇼크업소버의 '저항력'을 의미합니다. 자동차 용어로서의 감쇠력의 정의를 고려할 때, 감쇠력이 커지면 스프링만을 사용했을 때의 단점(=진폭이 크고 진동 시간이 길어질 수 있어 편안함을 느끼기 어렵다)이 보완 될 수 있을 것입니다.

한편 **쇼크업소버**에서는 피스톤을 움직이는 **운동 에너지**가 **기름의 온도를 올리는 데에도 사용**되어, **탄성 에너지로 변환되는 에너지가 줄어들게** 된다.
→ 쇼크업소버에서는 운동 에너지의 일부가 열 에너지로 변환 되어, 전부 탄성 에너지로 변환되지 않는군요!

따라서 에너지 변환 과정에서 열에너지로 흩어짐이 거의 없이 탄성 에너지가 운동 에너지가 되었다가 다시 탄성 에너지로 변환되는 **스프링보다 빠르게 진동을 억제할 수 있는 것**이다.
→ 다시 말해, 운동 에너지 → 탄성 에너지로의 변환 과정에서

에너지 손실 : 쇼크업소버 > 스프링 이고, 탄성 에너지가 줄어들었으므로 진폭이 줄어들었고, 따라서 덜컹거림이 덜해질 것입니다.(물론 스프링에서도 시간이 지나면서 진폭은 줄어들겠으나, 쇼크업소버는 그 줄어드는 속도가 현저히 빠르다는 거겠죠?)

<7문단> 현가장치의 효과

차량은 **짧은 시간 동안 변화량이 큰 경우**에 **충격**을 받게 된다.
→ 상식적으로 납득 할 수 있는 진술이네요.

스프링과 쇼크업소버가 차량의 현가장치로 사용되면 그러한 변화량을 적절히 제어하면서 차량의 안락한 승차감을 만들어 우리가 차량에 탑승했을 때 편안한 상태를 유지할 수 있도록 해 주는 것이다.
→ 네 그렇겠죠?

현가장치에 대한 이해를 돕기 위해,

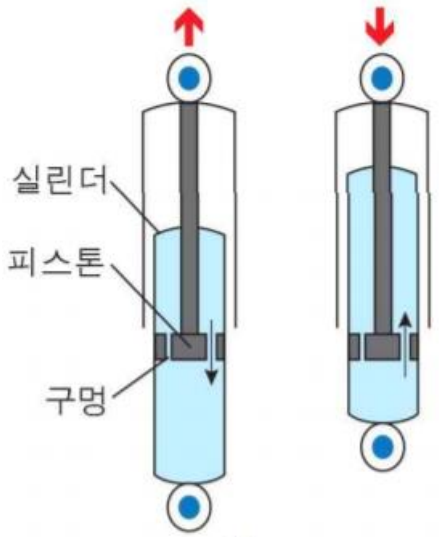
2017 학년도 11 월 고 2 학력평가 기출 지문(25~29)를 수록합니다.

선반에 고정된 스프링 끝에 추를 매달면 추의 무게와 스프링 이 추를 당기는 힘이 같아지는 지점에서 추는 멈추게 된다. 이 상태에서 추를 아래로 잡아당겨 보자. 추를 당기는 힘으로 인해 스프링은 늘어나는데 아래로 잡아당길수록 더 큰 힘이 필요하다. 이는 추를 당기는 힘에 대항하는 스프링의 탄성력 때문이다. 탄성력이란 고무줄이나 스프링같이 탄성을 가진 물체가 원래의 모양으로 되돌아가려는 힘이며, 길이를 늘이거나 압축하는 방향의 반대 방향으로 작용한다. 당겼던 추를 놓으면 탄성력에 의해 추는 상하로 진동하다가 추를 당기기 전과 동일한 지점에 서 멈추게 된다. 이 지점을 평형점이라고 한다.

이러한 추의 진동 과정은 에너지의 전환 과정으로도 설명될 수 있다. 추를 잡아당길 때, 추를 잡아당기는 데에 사용한 에너지가 스프링에 저장되었다고 할 수 있는데 이때 저장된 에너지를 탄성력에 의한 '퍼텐셜 에너지'라고 한다. 당겼던 추를 놓으면 스프링은 탄성력에 의해 스프링에 저장된 퍼텐셜 에너지만큼 추를 수직 방향으로 상향, 가속시키는 일을 한다. 즉 스프링에 저장된 퍼텐셜 에너지가 추의 운동 에너지로 전환되는 것이다. 수직 상향하던 추는 평형점을 지날 때에 속력이 가장 빠르고 운동 에너지는 최대가 된다. 이후 추는 계속 상향하면서 스프링을 누르는 일을 하여 결국 속도가 0 인 최고점에 도달하게 된다. 즉 평형점을 지나면서 추의 운동 에너지는 스프링의 퍼텐셜 에너지 로 전환되는 것이다. 이후 스프링에 저장된 퍼텐셜 에너지는 상 향으로 운동할 때와 방향이 반대일 뿐, 같은 과정을 거쳐 운동 에너지로 전환되어 추를 수직 하향하게 한다. 만약 추의 운동을 방해하는 힘이 없고 공기 저항 등으로 인한 손실이 전혀 없다고 가정한다면 이러한 에너지 전환 과정이 반복되면서 스프링과 추는 계속 진동하게 될 것이다. 즉 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지의 합은 항상 일정한 상태로 유지되는 것이다. 하지만 실제로는 공기와 스프링의 마찰 등에 의해 추의 운동 에너지가 열에너지로 전환되므로 에너지 전환 과정이 반복될수록 진동은 점차적으로 줄기 마련이다. 이를 '감쇠 현상'이라고 한다.

이와 같이 진동에서 일어나는 에너지 전환과, 감쇠의 원리를 적절히 응용한 것이 현가장치의 스프링과 쇼크업소버이다. 먼저 차체와 바퀴 사이에 위치한 스프링은 진동을 활용하여 지면 에서 받는 충격이 차체로 전달되는 것을 줄여주는 역할을 한다. 예를 들어 평지를 달리던 자동차가 과속 방지턱을 지난 후 높이 변화가 없는 평지를 계속 달리고 있다고 하자. 과속 방지 턱에서 받은 충격으로 스프링은 차체와 바퀴 사이에서 눌려 퍼텐셜 에너지가 스프링에 저장된다. 이 에너지로 인해 스프링은 스프링 상단의 차체를 밀어 올리는 일을 하게 된다. 따라서 차체는 수직으로 상향, 가속되다가 평형점을 지나 감속되면서 운동 에너지가 퍼텐셜 에너지로 완전히 전환되는 최고점에 이른다. 이후 차체는 하향, 가속되다가 평형점을 지나 최저점에도 달하게 된다. 이와 같은 에너지 전환이 반복되면서 차체와 스프링은 진동하게 되는 것이다. 하지만

스프링만으로는 차체 진동의 평형점에서 최고점이나 최저점까지의 거리인 진폭을 줄이는 데 시간이 오래 걸리므로 차에 탄 사람에게 불쾌감을 주게 다. 그래서 스프링의 진동을 줄여주는 장치가 추가로 필요한데, 그것이 바로 스프링과 연결되어 있는 쇼크업소버이다.



<그림>

<그림> 에서와 같이 쇼크업소버는 액체로 가득 찬 밀폐된 실린더와, 그 속에 여러 개의 작은 구멍이 뚫린 피스톤으로 구성되어 있으며 실린더의 윗부분은 차체, 아랫부분은 바퀴와 연결되어 있다. 자동차가 과속 방지턱을 지나 차체와 스프링이 진동할 때, 피스톤도 실린더의 상단이나 하단으로 이동하게 된다. 예를 들어 차체가 수직으로 하향할 때 피스톤도 실린더의 하단으로 이동하게 된다. 이때 피스톤 아래에 있던 액체는 작은 구멍을 통해 피스톤 위로 이동하게 되는데 구멍의 크기가 작아 액체와 구멍 사이에서 마찰이 발생하기 때문에 피스톤이 하단으로 이동하는 속도가 그만큼 줄어들어 천천히 움직이게 된다. 이때 마찰에 의해 열이 발생하여 실린더 내부의 온도가 상승하게 되는데, 이를 에너지의 전환으로 설명하면 운동 에너지가 열 에너지로 흩어지게 되는 것이다. 이와 같은 과정을 통해 쇼크업소버는 차체 진동의 진폭을 줄이게 된다. 결국 자동차의 승차감은 현가장치의 스프링과 쇼크업소버의 기능이 적절히 결합해 만들어지는 것이다.

기술 09 (★★☆)

AESA 레이더(능동 전자 주사 레이더)

<1문단> 기계식 레이더의 단점을 극복하기 위해 개발된 AESA 레이더

레이더는 **접시 모양이나 평판 모양의 안테나**로부터 **발신된 전자파**가 **목표물에 반사**되어 되돌아오는 **신호**를 분석해 목표물의 거리, 각도, 형태 등의 **정보**를 얻는 장치를 말한다.

→ 레이더의 정의, 그리고 작동 원리가 제시되고 있습니다. 레이더는 전자파를 목표물을 향해 쏘고, 그 전자파가 반사되서 돌아오는 신호를 바탕으로 정보를 얻어내는군요.

현재 비행기에 사용되고 있는 대부분의 레이더들은 **기계식 레이더**로, 기수 부분에 있는 **접시나 평판 모양의 안테나**가 **기계식 장치**에 의해 회전하면서 전자파를 주사하고 수신하는 구조로 되어 있다.

→ 직전 문장에서 '레이더'에 대해 설명했었지요? 비행기에 사용되는 대부분의 레이더는 '기계식' 레이더랍니다. 기계식 레이더의 특징은 '기계식 장치'에 의해 안테나가 회전한다는 점이군요.

그런데 좁은 기수 부분에 장착된 기계식 레이더는 **구조적, 기계적 한계**로 인해 목표물에 대한 정보를 습득하는 시간이 지연되고 사각지대가 발생할 수 있다.

→ '좁은 기수(=비행기의 맨 앞) 부분'에 기계식 레이더가 장착된다는 점, 그리고 '기계식 장치'로 안테나를 회전시킨다는 점이 각각 구조적, 기계적 한계로 작용하여 기계식 레이더의 단점을 유발하나 보군요.

이렇게 어떤 장치, 혹은 기술의 단점을 언급한 순간, 만약 지문이 끝나가는 상황이 아니라면 반드시 이 단점을 보완해주는 방법, 혹은 이 단점을 보완한 다른 장치 or 기술이 제시됩니다. 이렇게 필자가 어떤 장치 or 기술의 단점을 언급하는 것은 이 단점을 보완한 무언가를 설명하기 위한 빌드업의 과정으로 생각하시면 되겠습니다.

.

이러한 **기계식 레이더의 단점을 극복**하기 위해 최근 개발, 보급되고 있는 것이 **AESA 레이더**, **즉 능동 전자 주사 레이더**이다.

→ 앞으로는 능동 전자 주사 레이더의 구조와 작동 원리에 대해 설명해 줄 것이고, 능동 전자 주사 레이더는 기계식 레이더의 구조적, 기계적 한계로 야기된 단점을 (최소한 어느정도는) 극복했을 것입니다.

<2문단> AESA 레이더의 구성 요소 ① - AESA 안테나 장치

AESA 레이더는 **기계식 레이더와 같이** 기수 부분에 있는 평판을 통해 전자파를 발신하고 수신하지만 **회전하지 않는 평판**에 **전자 모듈(TRM)을 장착**하여, 전자파의 세기와 방향 등을 **전자적으로 제어**할 수 있는 레이더이다.

→ 기계식 레이더와 AESA 레이더의 공통점과 차이점이 나오지요?
공통점: 기수 부분에 있는 평판을 통해 전자파를 발신 and 수신
차이점: AESA 레이더의 평판은 회전하지 않음 + 전자 모듈(TRM)장착 되있음 → 이 차이점에 의해 전자파의 세기, 방향을 '전자적(~기계적)'으로 제어 가능
입니다. AESA 레이더도 '레이더'니까 레이더의 공통된 특성을 가지고 있겠지요. 첫 문단 첫 번째 문장에서 제시된 레이더의 특성을 AESA 레이더가 가지고 있음을 확인해 주세요.
AESA 레이더가 기계식 레이더의 단점을 극복할 수 있었던 이유는 바로 차이점 때문일 것입니다.

이 레이더는 크게 **AESA 안테나 장치**, **RF 처리 장치**, **냉각 장치**로 구성되어 있는데, **AESA 안테나 장치**에는 전자파 송수신 고밀도 집적 장치인 **TRM**이 적게는 수백 개에서, 많게는 1,000개 이상 배열되어 있다.

→ AESA 레이더의 구성 요소를 세 개로 제시하고 있네요. 각각의 장치에 대한 설명을 순차적으로 해 주겠지요? 가장 먼저 언급된 AESA 안테나 장치를 설명해 주고 있는데, TRM이 엄청 많이 배열되어 있군요. 아직 명시적으로 제시되지 않았으나, 직전 문장에서 '회전하지 않는 평판에 TRM을 장착'한다고 되어있었지요? (기계식 레이더는 안테나가 회전하면서 전자파를 주사 했었는데 반해) TRM이 있으니까 평판이 회전하지 않고도 전자파를 주사할 수 있었을 것이라 생각해 볼 수 있습니다. 이 TRM은 무슨 역할을 하길래 이렇게 많이 배열되어 있는지, 계속 읽

어 가면서 확인해 보실까요?

TRM은 **탐지의 목적과 대상**에 따라 **전자파의 방향, 파장, 세기** 등을 전자적으로 **제어**하여 **주사** 하는 장치로, **기계식 레이더**가 전자파를 한 방향으로 주사하는 것과 **달리 TRM의 일부 혹은 전체**를 서로 다른 방향과 세기, 파장으로 주사할 수 있다.

→ TRM은 전자파를 전자적으로 제어해서 탐지 대상에 주사하는 장치군요. 전자파의 방향, 파장, 세기 등을 control할 수 있으니, 앞서 생각한 대로 굳이 평판이 회전하지 않아도 탐지 대상에 전자파를 주사 할 수 있을 것입니다.

또 **TRM**은 **반사된 전자파를 수신**한 후 기계식 레이더에 비해 훨씬 간단한 경로로 **RF 처리 장치에 전달**해 **정확한 정보를 빠르게** 얻을 수 있도록 한다.

→ TRM의 특성이 하나 더 제시 되는군요. '수신한 전자파를 훨씬 간단한 경로로 RF 처리 장치에 전달'함으로써, 정확한(=전자파를 제어해서 주사함으로써 얻은, 기계식 레이더에 비해 정확성이 높은) 정보를 빠르게 얻을 수 있게 한답니다.

이제 RF 처리장치가 언급되기 시작하는군요. RF 처리 장치에서는 무슨 일을 할까요?

<3문단> AESA 레이더의 구성 요소 ② - RF 처리 장치와 냉각 장치

RF 처리 장치는 **주사하고자 하는 전자파**의 파장, 방향, 세기 등의 **정보**를 **신호로 처리**해 **AESA 안테나 장치에 전달**하는 역할을 한다.

→ RF 처리 장치의 역할이 제시 되었습니다. AESA 안테나 장치는 전자파를 제어하고 주사하는 장치였지요? 구체적으로 어떤 파장, 방향, 세기로 전자파를 주사할지에 대한 정보를 RF 처리 장치에서 신호로 처리하여 AESA 안테나 장치로 전달한답니다. 이 신호를 바탕으로 AESA 안테나 장치가 전자파를 제어하고 탐지 대상에 주사하겠군요.

RF 처리 장치에서는 공중, 지상, 해상 또는 두 개 이상의 영역에 **TRM이 전자파를 어떤 방향과 세기로 주사할 것**인지를 **신호**로 전달한다.

→ 이 문장을 통해, 우리는 AESA 레이더가 공중, 지상, 해상의 영역 중 두 개 이상의 영역 각각에 존재하는 탐지 대상을 향해 전자파를 주사하고 정보를 얻어 낼 수 있음을 알 수 있군요.

아울러 **TRM에서 수신된 전자파를 분석**해 필요 없는 정보나 노이즈를 제거하고 **유의미한 정보만을 선별**한다.

→ RF 처리 장치의 역할이 하나 더 제시 되는군요. 직전 문단 마지막에 설명된 대로, TRM이 전자파를 수신하면 그 전자파를 RF 처리 장치로 전달한다고 했지요? RF 처리 장치에서는 수신한 전자파를 분석하여 유의미한 정보를 선별한답니다.

정리하면, RF 처리 장치의 역할은 크게 두 가지네요.
ⓐ 전자파 제어, 주사를 위한 정보를 신호로 처리하여 AESA 안테나 장치에 전달
ⓑ AESA 안테나 장치로부터 받은 전자파를 분석하여 유의미한 정보 선별

마지막으로 **냉각 장치**는 **TRM에서 발생 하는 열을 처리하는 기능**을 **담당**한다.

→ 냉각 장치의 역할이 제시되는군요. 말 그대로, 냉각이라는 문자 그대로 열을 처리하는 기능을 담당한답니다. TRM이 전자 모듈이니까 열이 생길 수 밖에 없을 것이고, 이 열을 없애지 않는다면 모듈이 녹아버리든, 제 역할을 못하든 하겠죠.

기계식 레이더의 경우 TRM이 없어 **공랭식 냉각 장치**를 사용하지만, **AESA 레이더**는 TRM과 전원 공급 장치에서 기계식 레이더에 비해 **더 많은 열이 발생**하므로 **액체 형태의 유체를 순환시켜 냉각하는 방식**을 사용한다.

→ 여기서 알 수 있는 것은,
ⓐAESA 레이더는 기계식 레이더에 비해 더 많은 열이 발생한다.
ⓑ액체 형태의 유체를 순환시켜 냉각하는 방식이 공랭식 냉각 장치에 비해 많은 열을 처리하는데 더 효과적일 것이다.
입니다.

<4문단> AESA 레이더의 우수성 ① - 지속적인 추적, 다영역 탐색

이러한 구조적, 기능적 특성으로 인해 **AESA 레이더**는 기존의 기계식 레이더보다 다양한 기능과 뛰어난 성능을 발휘한다.

→ 그렇겠지요. 그렇지 않다면 AESA 레이더를 최근에 개발해서 보급할 이유가 없잖아요...

기계식 레이더의 경우 평판이 모터에 의해 회전하는데 이것이 한쪽 방향을 비추면 반대편에 사각지대가 발생하며, 특정 방향을 **재탐지**하는 데 **약 1초의 시간이 소요**된다.

→ 1초라는 시간은 그 자체로 길다고 말할 수도, 짧다고 말할 수도 있는 시간입니다만, '사각지대가 발생한다' → '재탐지 하는데 약 1초의 시간이 소요된다'는 필자의 진술 방식을 고려할 때 재탐지에 걸리는 약 1초라는 시간은 상대적으로 긴 시간인가 봅니다.(물론 기계식 레이더로 특정 방향을 재탐지 할 수야 있겠죠. 약 1초가 걸려서 그렇지...) 그렇다면, '사각지대가 발생한다'는 것은 기계식 레이더의 단점이라 할 수 있겠군요.

따라서 **빠르게 이동하는 물체에 대한 정보를 탐지하는 데 한계**가 있다.

→ 약 1초라는 시간은 '빠르게 이동하는' 물체에 대한 정보를 탐지하는 데에는 부족한 시간인가 봅니다.

하지만 **AESA 레이더**는 **TRM에서 전자파를 조절**해 **약 1/1,000초 정도의 시간에 특정 방향을 재탐지**할 수 있어 목표물에 대한 **지속적인 추적이 가능**하다.

→ 특정 방향 재탐지에 소요되는 시간이 1천배 가까이 줄었네요. 이로써 목표물에 대한 지속적인 추적이 가능하답니다.

또 **전자파를 동시에 여러 방향으로 주사**하여 **다양한 방향을 동시에 탐색**할 수 있다.

→ 이미 3문단에서 파악했던 정보입니다.

즉 기계식 레이더로는 공중과 지상 또는 공중과 해상을 **동시에 탐색하는 것이 어려웠지만**, **AESA 레이더**는 동시에 여러 영역을 탐색하는 것이 **가능**하다.

→ 기계식 레이더는 안테나가 회전해서 특정 방향을 향해 전파를 주사하는 방식이기 때문에 여러 영역을 동시에 탐색하는 것이 어려웠답니다. 하지만 AESA 레이더는 수 백개, 많게는 천개 이상의 TRM 각각에서 전자파를 다른 방향으로 주사할 수 있기 때문에 동시에 여러 영역을 탐색하는 것이 가능하겠군요.

<5문단> AESA 레이더의 우수성 ② - 원거리 탐지, 은밀성

이뿐만 아니라 **AESA 레이더는 목표물이 먼 거리에 있는 경우**, 비록 다른 대상에 대한 탐지 능력이 떨어지기는 하지만 TRM에서 주사되는 **전자파를 특정 방향으로 집중시키면 원거리 탐지도 가능**하다.

→ 다수의 TRM에서 주사되는 전자파를 특정 방향으로 집중 시키면, 자연히 다른 대상에 대한 탐지 능력은 떨어질 것입니다. 그렇지만 이렇게 전자파를 먼 거리에 있는 목표물에 집중시킴으로써 원거리 탐지가 가능하답니다.

또 **강력한 전자파를 집중**시켜 **상대의 레이더를 무력화하는 기능**도 수행할 수 있다.

→ 상대의 레이더 역시 목표물에 반사되어 되돌아오는 전자파를 분석해서 정보를 얻을텐데, 이 레이더에 강력한 전자파를 집중시키면 어떤 전자파가 목표물에 반사되어 되돌아오는 전자파인지 분별하기 어려워지겠지요. 상대의 레이더는 무력화 될 것입니다.

반대로 자신이 발신한 전자파의 신호를 상대가 분석해 추적하지 못하도록 상대의 레이더 전자파 감지 범위보다 약한 세기의 전자파를 발신 하거나 전자파의 주사 간격을 조절해 **은밀성을 높일 수 있다**.

→ 이렇게 은밀성을 높일 수 있는 것이, AESA 레이더의 전자파를 '제어하여 주사' 할 수 있다는 특성에 기인함을 상기합시다.

<6문단> AESA 레이더의 보급과 연구 동향

이러한 AESA 레이더의 장점과 기능으로 인해 최근에는 일부 항공기와 해군 함정에 장착된 기계식 레이더가 AESA 레이더로 교체되고 있다.

→ 네. 1문단에서 최근에 개발되고 보급되고 있다고 했지요. 항공기 뿐 아니라 해군 함정에서도 이러한 교체가 일어나고 있군요.

그리고 **발열이 심하고 고가인 TRM의 소재에 대한 연구**와 좁은 기수 부분에 TRM을 효율적으로 배열하고 **집적도를 높이는 연구**가 활발히 진행되고 있다.

→ TRM과 전원 공급 장치 때문에 기계식 레이더에 비해 AESA 레이더에서 발열이 심하다는 언급을 3문단에서 해 주었지요? TRM의 소재에 대한 연구를 진행하여 발열을 줄일 수 있다면 냉각 방식 역시 기계식 레이더와 같은 방식으로 바꿀 수 있겠군요. 한편, AESA 레이더도 기계식 레이더와 마찬가지로 '좁은 기수'에 설치될 수 밖에 없나보군요. 그래서 이 좁은 공간으로 인해 발생하는 구조적 한계를 극복하기 위해, TRM의 배열 방식과 집적도를 높이는 연구가 진행되고 있답니다. TRM을 좀더 효율적으로 배열할 수 있고, 같은 면적에 더 많은 TRM을 넣을 수 있다면 '좁은 기수'라는 공간적인 제약도 극복 할 수 있겠네요.