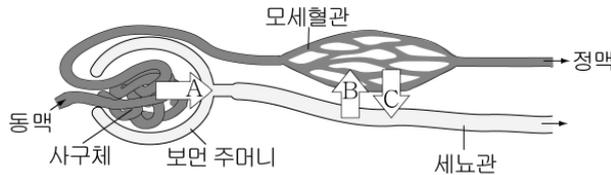




1. 첫 번째 쪽지 “배설의 원리와 수송체 단백질의 수송능력”

(1) 수능 문항으로 감(感) 잡기

■ 그림은 건강한 사람의 신장에서 오줌이 생성되는 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (2012년 9월 고1 전국연합학력평가)

< 보 기 >

- ㄱ. 혈액에서 혈구를 제외한 모든 성분은 A 과정으로 이동된다.
- ㄴ. A 과정을 통해 이동한 포도당은 B 과정을 통해 100 % 흡수된다.
- ㄷ. C 과정을 통해 이동한 노폐물은 오줌으로 배설된다.

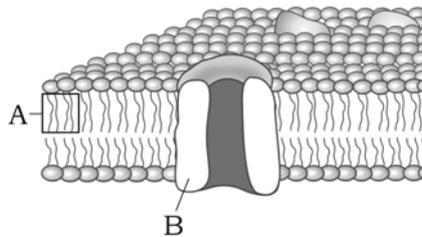
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[정답] ④

[출제의도] 배설 기관의 구조와 기능 이해하기

[해설] A는 여과 과정이며 사구체에서 보먼 주머니로 혈구, 단백질, 지방을 제외한 혈장 성분(물, 포도당, 아미노산, 무기염류, 요소 등)의 일부가 여과된다. 여과된 포도당은 세뇨관에서 모세혈관으로 100% 흡수(B)되며, 모세혈관에서 세뇨관으로 분비(C)된 노폐물은 오줌으로 배설된다.

■ 그림은 세포막의 구조를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (2012년 11월 고1 전국연합학력평가)



< 보기 >

ㄱ. A 부위는 친수성이다.  
 ㄴ. B는 단백질이다.  
 ㄷ. 세포막은 선택적으로 물질의 출입을 조절한다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[정답] ④

[출제의도] 세포막의 구조와 기능 이해하기

[해설] 세포막은 인지질과 단백질로 구성되어 있으며, 인지질의 A 부위는 소수성이고, B는 단백질이다.

(2) 논술 문항 따라잡기

※ 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오. (2012년 건국대 기출문제 응용)

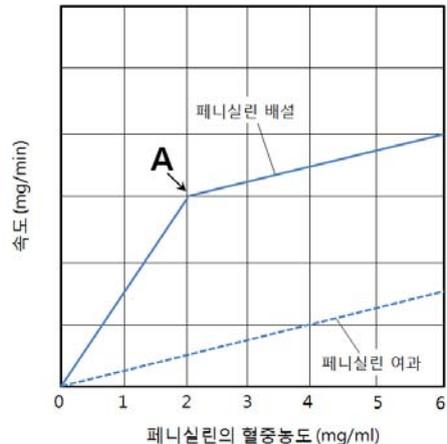
<가>

혈액은 사구체를 통해 신장으로 들어간다. 혈액 속의 혈구, 단백질, 지방 등을 제외한 분자 크기가 작은 혈액 성분들은 혈압 차에 의해 사구체의 모세혈관으로부터 보먼주머니로 빠져 나가는데 이를 여과라 하고 이 때 여과된 액체를 원뇨라고 한다. 보먼주머니로 여과된 원뇨의 성분 중 우리 몸에 필요한 성분들은 세뇨관을 통해 다시 흡수되는데 이를 재흡수라고 한다. 한편 사구체에서 여과를 거쳤다고 하더라도 아직 혈액 내에는 노폐물과 불필요한 무기 염류들이 많이 포함되어 있다. 이런 물질들은 모세혈관에서 세뇨관 쪽으로 다시 내보내지는데 이 과정을 분비라고 한다. 이러한 재흡수와 분비 과정에는 ATP를 소비하는 능동수송체 단백질이 관여한다.

<나>

1928년 플레밍(Alexander Fleming)은 세균의 성장을 멈추게 한 곰팡이에서 페니실린이라는 항생제를 발견하였다. 2차 세계대전 동안 페니실린은 감염으로 인한 사상자 수를 감소시키는데 매우 중요한 역할을 하였다. 페니실린은 환자들에게 투여 후 3~4시간 내에 약 80%가 오줌으로 배설된다. 따라서 유효한 혈중농도를 유지하기 위해서는 페니실린을 지속적으로 반복 투여해야 했다. 하지만 당시 곰팡이에서 분리하는 것이 페니실린을 생산하는 유일한 방법이였기 때문에 페니실린의 공급이 매우 부족했다. 프로베네시드(probenecid)라는 합성화합물은 이러한 페니실린의 공급 부족에 대한 해법으로 개발되었다. 프로베네시드를 페니실린과 동시에 투여하면 신장의 분비과정에서 서로 경쟁하게 되어 페니실린의 체내 혈중농도를 오랫동안 유지시킨다.

[논 제] 오른쪽 그림은 페니실린을 단독으로 투여할 때 혈중농도의 변화에 따른 신장의 배설속도와 여과속도를 측정된 실험 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 배설속도와 여과속도의 차이는 무엇을 의미하는지 설명하시오. 페니실린의 혈중농도와 배설속도의 관계를 나타내는 그래프가 A 지점에서 꺾인 이유를 신장의 배설과정과 관련하여 설명하시오. 그리고 프로베네시드를 페니실린과 함께 투여하였을 경우 페니실린의 혈중농도와 배설속도 사이의 관계를 나타내는 그래프가 어떻게 달라지는 지를 예상하고 이유를 설명하시오.





### (3) 예시답안으로 확인하기

제시문 <가>를 참고하면, 신장을 통해 배설되는 페니실린의 양은 사구체로부터 여과되는 양과 세뇨관에서 일어나는 재흡수 및 분비량에 의해 결정된다.

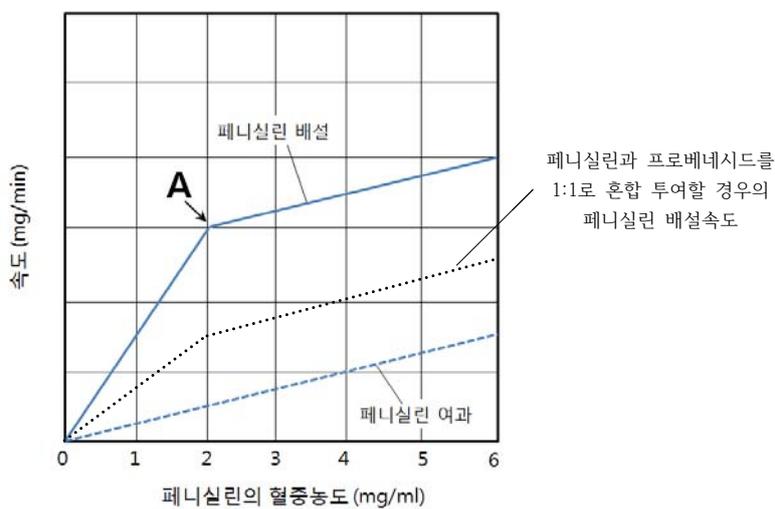
$$\text{배설량} = \text{여과량} - \text{재흡수량} + \text{분비량}$$

세뇨관에서 모세혈관으로 재흡수 되는 물질은 보통 물을 포함한 영양소(포도당, 아미노산, 무기염류 등)들이 대부분으로, 페니실린은 이에 해당하지 않을 것이다. 따라서 페니실린의 배설량은 여과량과 분비량에 의해 결정될 것이므로, 페니실린의 배설속도(단위시간당 페니실린의 배설량)와 여과속도(단위시간당 페니실린의 여과량)의 차이는 분비속도(단위시간당 분비량)를 의미함을 알 수 있다.

$$\text{페니실린 배설량} = \text{여과량} + \text{분비량}$$

한편 페니실린의 배설속도는 페니실린의 혈중농도가 커짐에 따라 일정하게 증가하는데, 2mg/mL를 넘어서면 (A지점) 그 증가율이 감소하는 경향을 보인다. 이는 분비에 관여하는 능동수송체 단백질의 수적 제한에 기인한 것이다. 모세혈관으로부터 세뇨관으로 물질을 분비할 경우에는 ATP를 소모하며 물질을 운반하는 능동수송체 단백질이 필요한데, 이들은 일정한 수를 유지하고 있기 때문에 물질을 이동시킬 수 있는 양에 한계를 가지고 있다. 즉 페니실린의 농도가 일정 수준 이상으로 증가한다하더라도 능동수송에 의해 분비될 수 있는 양에는 영향을 미치지 못한다. 그 결과, 페니실린의 농도가 2mg/mL에 미치지 못할 때에는 페니실린이 증가함에 따라 단위시간당 분비량도 증가하게 되므로, 단위시간당 배설량이 여과량보다 가파르게 상승한 것이다. 또한 2mg/mL 이상일 경우에는 단위시간당 분비량은 더 이상 증가하지 못하고 일정하게 유지될 것이므로, 단위시간당 배설량의 변화는 여과량의 증가율과 같아지는 것이다.

만약 이 능동수송체 단백질을 통해 페니실린과 경쟁적으로 분비될 수 있는 프로베네시드를 투여한다면, 페니실린의 여과량에는 큰 변화가 없을 것이나 분비량은 상대적으로 감소할 것이다. 이때 페니실린과 프로베네시드의 능동수송체 단백질에 대한 친화도가 동일하고, 페니실린을 단독으로 투여할 때와 비교하여 전체 투여량은 같게 하고 페니실린과 프로베네시드를 같은 비율로 혼합 투여할 경우에는 다음과 같이 페니실린의 배설속도에 변화를 보일 것이다.

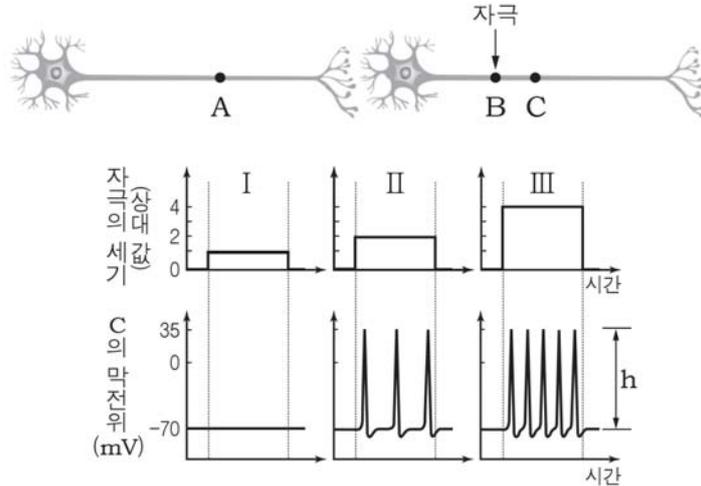




## 2. 두 번째 쪽지 “자극의 전도 및 전달”

### (1) 수능 문항으로 감(感) 잡기

▣ 그림은 인접한 두 뉴런을, 그래프는 뉴런의 B 지점에 세기가 다른 자극 I ~ III을 동일한 시간 동안 각 1회씩 주었을 때 C 지점에서의 막전위 변화를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (2012년 11월 고2 전국연합학력평가)

- < 보 기 >
- ㄱ. 자극 I의 세기는 역치보다 작다.
  - ㄴ. 자극 II를 주었을 때 A 지점에서 활동 전위가 발생한다.
  - ㄷ. 자극 III보다 세기가 큰 자극을 주면 h값이 커진다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[정답] ①

[출제의도] 자극의 전도와 전달 적용하기

[해설]

- ㄴ. 자극 II를 주었을 때 A 지점에서 활동 전위가 발생하지 않는다.
- ㄷ. 자극 III보다 세기가 큰 자극을 주어도 h값은 변하지 않는다.

### (2) 논술 문항 따라잡기

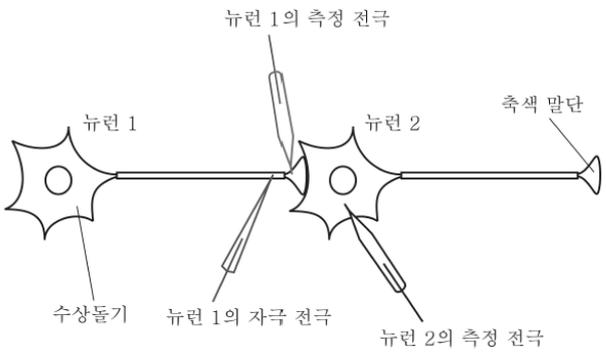
※ 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오. (2012학년도 고려대 기출문제 응용)

<제시문>

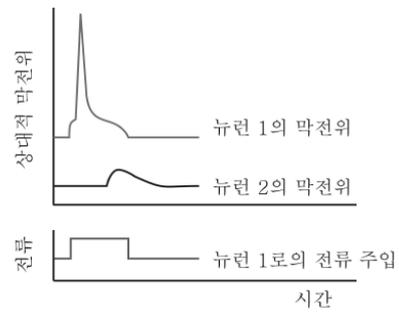
‘시냅스 전달’은 시냅스를 통하여 한 뉴런에서 다음 뉴런으로 흥분이 전달되는 과정이다. 시냅스 전달의 특성에 관한 논의는 오랫동안 지속되었다. 시냅스 전달이 빠르게 일어난다는 사실을 근거로 시냅스에 전류가 직접 흐른다고 보는 ‘전기적 시냅스 가설’과 전기적 신호가 축색 말단에서 화학적 신경전달물질을 분비시켜 시냅스 전달이 일어나는 것이라는 ‘화학적 시냅스 가설’이 대립하였다. 두 뉴런 간 직접 전류를 통과시키는 전기적 시냅스도 소수 존재하지만, 인간 신경계의 대부분은 화학적 시냅스로 이루어져 있다. 근육의 수축을 조절하는 운동 뉴런과 근육세포 사이의 시냅스는 아세틸콜린을 신경전달물질로 이용하는 대표적인 화학적 시냅스이다.



[논 제] 시냅스 전달을 알아보기 위하여 아래 <그림 1>과 같이 뉴런 1의 축색 말단과 그 신호를 전달받는 뉴런 2로부터 막전위를 측정하였다. 뉴런 1의 축색 말단에 자극용 전극을 넣어 인위적으로 전류를 주입하여 탈분극을 유도했을 때 <그림 2>와 같은 막전위 변화가 나타났다. 이러한 실험 결과를 바탕으로 주어진 두 뉴런 사이 시냅스 전달의 특성을 제시문을 근거로 추론하시오. 또한 만약 뉴런 1이 아닌 뉴런 2의 수상돌기 부위에 전류를 주입할 경우 막전위 변화는 어떨지를 예상하여 자신의 논거를 보완하시오.



<그림 1>



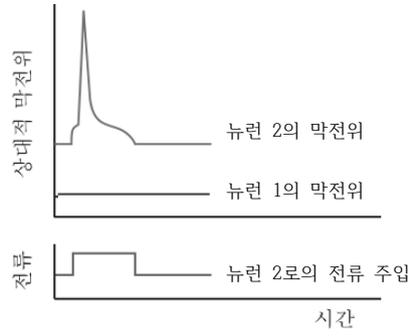
<그림 2>

**(3) 예시답안으로 확인하기**

뉴런 1에 전기 자극을 주어 뉴런 1과 뉴런 2의 막전위 변화를 측정한 결과(그림 2)를 살펴보면, 뉴런 1의 축색 말단에서는 즉각적으로 높은 막전위(혹은 활동전위)가 형성된 반면, 뉴런2의 수상돌기는 보다 느리게 반응하며 낮은 막전위가 형성되었다. 이러한 실험결과의 차이는 두 지점 간 거리 차에 기인한 것이라기보다는, 뉴런 내부에서의 흥분 전도과정과 두 뉴런 사이의 시냅스에서 일어나는 흥분 전달과정의 차이에 기인한 것이라 할 수 있다.

<그림 2>를 자세히 살펴보면 뉴런 1에 가한 전기자극의 시간 간격이 뉴런 1의 축색말단에서 일어난 막전위 변화 시간과 일치하는 것을 알 수 있는데, 이로부터 뉴런 내에서 일어나는 자극의 전기적 전도는 매우 빠르게 진행됨을 알 수 있다. 만약 시냅스 틈에서도 이러한 전기적 신호전달과정이 적용된 것이라면, 뉴런 2의 수상돌기에서도 즉각적인 막전위 변화가 측정되었어야 한다. 그러나 실제결과는 이러한 예상과는 다르게, 소폭의 막전위 변화가 꽤 긴 시간이 지난 후에야 측정되었다. 이는 시냅스에서의 흥분 전달과정이 화학적 신경전달물질(아세틸콜린)에 의한 것임을 반증하는 결과라 할 수 있다. 결론적으로 뉴런 사이에 존재하는 시냅스에서는 뉴런 1의 축색 말단에서 전기자극을 통해 분비된 신경전달물질이 분비된 후, 시냅스 틈을 거쳐 확산된 후 뉴런 2의 수상돌기를 자극하여 막전위 변화를 일으킨 것이다.

뉴런 2의 수상돌기에 전기 자극을 줄 경우에는 같은 뉴런 내부의 다른 지점에서는 즉각적으로 높은 막전위가 형성될 것이나, 뉴런 1에는 아무런 변화가 나타나지 않을 것이다(그림 3). 왜냐하면, 신경전달물질을 분비하는 소포체는 축색말단에 존재하기 때문에 뉴런 2의 수상돌기로부터는 신경전달물질을 분비할 수 없고, 그 결과 뉴런 1의 축색말단까지 화학적 시냅스에 의한 흥분전달이 이루어질 수 없기 때문이다. 만약 전기적 시냅스 가설이 옳다면 뉴런 1에서도 막전위의 변화는 일어났어야 할 것이다. 이러한 예상결과는 시냅스에 의한 흥분 전달과정이 화학적 전달과정임을 재차 확인해 줄 수 있는 증거가 된다.



<그림 3>

김세영과 김태환의 과학논술

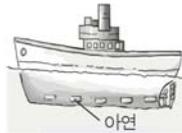
Do Scipedia!



### 1. 첫 번째 꼭지 “금속의 반응성과 부식 방지 원리”

#### (1) 수능 문항으로 감(感) 잡기

▣ 다음은 철의 부식을 방지하기 위한 방법을 활용한 예이다.



(가) 아연을 부착한 선박



(나) 스테인리스로 만든 주방 용기



(다) 페인트를 칠한 우체통

(가) ~ (다)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [2012년 11월 고2 전국연합학력평가]

< 보 기 >

- ㄱ. (가)에서 아연은 철보다 반응성이 크다.
- ㄴ. 철의 성질을 변화시켜 부식을 방지한 것은 (나)이다.
- ㄷ. 도금은 (다)와 같이 수분과 산소를 차단하여 부식을 방지한다.

- ① ㄱ    ② ㄴ    ③ ㄱ, ㄷ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[정답] ⑤

[출제외도] 철의 부식을 방지하기 위한 방법 이해하기

[해설]

- ㄱ. (가)는 철보다 반응성이 큰 금속인 아연을 이용하여 철의 부식을 방지한 예이다.
- ㄴ. 스테인리스는 철의 성질을 변화시켜 철의 부식을 방지한 합금이다.
- ㄷ. 도금과 페인트칠은 부식의 조건인 수분과 산소를 차단하는 역할을 한다.

#### (2) 논술 문항 따라잡기

※ 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오. (2013학년도 경희대 기출문제 응용)

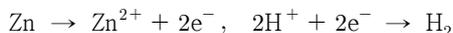
<가>

금속은 종류에 따라 빨리 녹이 슬기도 하고 천천히 녹이 슬기도 한다. 철에 녹이 스는 것은 공기 중의 산소와 물이 철 표면에 결합하여 산화 반응이 일어나기 때문이다. 따라서 철이 공기나 물에 접촉되는 것을 막으면 산화에 의한 부식을 방지할 수 있다. 금속의 표면에 기름이나 페인트를 칠하는 것은 이 같은 원리를 응용한 것이다. 그러나 모든 금속이 녹이 슬어서 못 쓰게 되는 것은 아니다. 예를 들어, 철은 산화로 생긴 녹이 벗겨지면서 산화가 내부로 계속 진행되지만, 구리나 알루미늄의 경우 공기 중에서 생긴 산화막이 스스로를 보호하는 막으로 작용하기 때문에 더 이상 산화가 진행되지 않는다.



<나>

금속의 산화 환원 반응은 전자의 이동으로도 정의할 수 있다. 전자를 내놓는 반응을 산화 반응, 전자를 받아들이는 반응을 환원 반응이라고 하며 두 반응을 합한 것을 산화 환원 반응이라고 한다. 예를 들어, 금속이 산소와 결합하여 산화물을 만드는 반응도 산소에게 전자를 잃어 금속이 산화되고 산소는 전자를 얻어 환원되는 것으로 이해할 수 있다. 그리고 아연(Zn) 조각을 묶은 황산에 넣으면 다음 반응식처럼 아연 이온으로 녹아들어 가면서 동시에 수소 기체를 발생시킨다.



산화 반응에서 생겨난 전자는 환원 반응에 사용되기 때문에 두 반응은 항상 동시에 일어난다. 레몬처럼 전해질과  $\text{H}^{+}$  이온을 내놓는 산이 포함된 과일에 아연과 구리판을 꽃은 후 전구를 사이에 두고 전선으로 연결하면 전구를 밝힐 수도 있다. 이때 전구가 켜지는 것은 반응성이 큰 아연판에서는 산화 반응이, 구리판에서는  $\text{H}^{+}$  이온의 환원 반응이 일어나면서 전자의 흐름(전류)이 생기기 때문이다. 한편 알칼리 금속은 반응성이 너무 커서 실온에서 물과 격렬히 반응하여 수소를 발생시킨다. 여러 금속의 산화 반응성을 다음과 같이 이온화 경향으로 표시할 수 있다.



[문제 1] 철로 만들어진 배의 선체를 산화에 의한 부식으로부터 보호하기 위해서 물에 잠기는 선체 외부에 아연 덩어리를 전기적으로 연결하기도 한다. 이 방법을 '음극화 보호'라고 부르고 사용된 아연을 '희생 음극'이라 일컫는다. 제시문 <가>와 <나>에 있는 과학적 원리를 이용하여 음극화 보호의 작동 원리를 유추하고, 아연 대신에 주석(Sn), 알루미늄(Al) 또는 나트륨(Na)을 사용할 때 예상되는 결과를 각각 논술하시오.

[문제 2] 아연은 우리 몸에 필요한 원소지만 많은 양이 흡수되면 독이 될 수 있다. 미국의 일부 동전은 아연의 비율이 아주 높는데, 이 동전을 많이 삼킨 사람이 죽은 예는 이러한 아연의 독성과 관련되어 있다. 함석은 산화에 의한 철의 부식을 방지하기 위해 철 표면에 아연을 도금해 놓은 물질이다. 특히 함석의 아연 표면은 고온에서 인공적인 산화 반응으로 만들어진 탄산아연 보호층으로 덮여 있지만, 사용 기간과 방법에 따라 기계적인 마모 등으로 이 보호층이 없어지기도 한다. 함석으로 만들어진 컵을 충분히 오랜 기간 동안 오렌지 주스를 담은 컵으로 사용할 때, 컵에 생길 수 있는 화학적인 변화를 건강에 미치는 영향과 함께 논술하시오. 단, 함석판의 층구조에 생기는 변화에 따라 단계를 나누어 서술하시오.

### (3) 예시답안으로 확인하기

[문제 1]

반응성이 다른 두 금속이 전기적으로 연결된 상태에서 산화가 일어날 수 있는 환경에 놓이게 되면 산화 반응성이 더 큰 금속에서 우선적으로 산화로 인한 부식이 진행되고 상대 금속에서는 환원 반응이 일어나 부식이 방지된다. 문제에서 제시된 아연 덩어리가 철로 만들어진 선체보다 반응성이 더 크므로 먼저 부식되어 선체를 바닷물에 의한 부식으로부터 보호하게 된다. 이러한 부식 방지법을 음극화 보호라고 부른다.

한편 희생 음극으로 사용되기 위해서는 철보다 반응성이 더 커야 한다. 따라서 반응성이 더 작은 주석은 음극화 보호에 적절하지 않다. 알루미늄은 아연보다도 반응성이 더 커서 희생 음극의 필요조건을 만족시키지만, 제시문의 설명대로 표면에 생성된 산화 보호막 때문에 자체의 산화 반응이 저해되어 음극화 보호에 부적절하다고 유추할 수 있다. 나트륨은 알루미늄과 같이 반응성 면에서 희생 음극의 필요조건을 만족하나, 제시문의 설명대로 이온화 경향이 너무 강해 물과 격렬한 반응을 하면서 소모된다. 따라서 음극화 보호에 적절하지 않다고 판단할 수 있다.

[문제 2]

산화에 따른 함석판의 단면 층구조의 변화에 따라 다음과 같이 네 단계로 구분할 수 있다.  
(i) 탄산아연 층이 존재할 때: 탄산아연 층으로 인해 아연이 산성을 띠는 오렌지 주스 용액과 직접 닿지 않으므로



산화이온이 포함되지 않으므로 건강에 영향을 미치지 않는다고 유추할 수 있다.

(ii) 탄산아연 층이 일부 벗겨졌을 때: 아연은 수소보다 반응성이 더 크므로 노출된 아연 표면에서 산화 반응이 일어나 아연 이온이 주스 속으로 녹아들어 간다. 따라서 주스와 함께 아연 이온을 과다 흡수하여 건강에 위험이 될 수 있다.

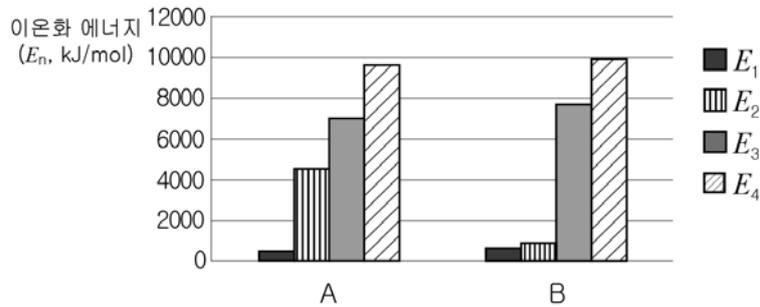
(iii) 아연 층의 일부가 다 녹아 없어져 철이 노출되었을 때: 반응성이 다른 두 금속이 전기적으로 연결된 상태에서 산성 용액에 닿으면 문제(1)의 답안에서 설명한 음극화 보호 현상이 일어나게 된다. 즉, 철이 수소보다 반응성이 커서 산화될 가능성이 있지만, 반응성이 더 큰 아연이 먼저 산화되고 철은 반응하지 않는다. 결국 아연 이온이 주스로 녹아들게 되므로 여전히 건강에 영향을 미치게 된다.

(iv) 아연 층이 모두 산화되었을 때: 더 이상 희생 음극으로 작용할 아연이 없으므로 철 표면이 산화되기 시작한다. (본 제시문 만으로는 주스에 녹아든 철 이온이 건강에 미치는 영향을 판단할 수 없다.)

## 2. 두 번째 쪽지 “이온화 에너지의 경향과 반응성”

### (1) 수능 문항으로 감(感) 잡기

▣ 그림은 3주기 원소 A, B의 순차적 이온화 에너지( $E_n$ )를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A와 B는 임의의 원소 기호이다.) [2012년 9월 고2 전국연합학력평가]

〈 보 기 〉

- ㄱ. A에서 순차적으로 두 번째 전자를 떼어낼 때 L껍질의 전자를 잃는다.  
 ㄴ. 바닥 상태의 전자 배치에서 홀전자 수는  $A < B$  이다.  
 ㄷ. B가 산화물이 되면  $B_2O$ 가 된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

[정답] ①

[출제의도] 순차적 이온화 에너지 이해하기

[해설]

ㄱ. A는 3주기 원소이고,  $E_2$ 가 크게 증가하므로, M껍질에 원자가 전자를 1개 가지고 있다. A에서 전자 2개를 떼어 내면 M껍질에서 1개, L껍질에서 1개의 전자를 잃는다.

ㄴ. 바닥 상태에서 A는  $[Ne]3s^1$ , B는  $[Ne]3s^2$ 의 전자 배치를 가지므로 홀전자는 A가 1개이고, B는 없다.

ㄷ. B는  $B^{2+}$ 이온이 되므로  $BO$  산화물을 형성한다.



## (2) 논술 문항 따라잡기

※ 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오. (2011학년도 연세대(원주) 의예 모의문제 응용)

<가>

위성과 지구 사이에는 상호간의 거리  $r$ 의 제곱에 반비례하는 중력이 작용하며, 이 인력에 의하여 위성은 궤도 운동을 한다. 수소 원자에서 양전하를 띤 핵과 음전하를 띤 전자 사이에 작용하는 전기력 또한 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하는 인력이다. 따라서 수소 원자에서 전자의 운동에 관한 고전 모형으로서 위성 운동과 같이 전자가 핵 주위를 궤도 운동하는 모형을 고려할 수 있다. 중력만이 작용하여 특정한 궤도 반경  $r$ 을 가지고 원 운동하는 위성의 에너지는 일정하며, 수소 원자의 고전 모형에서 핵과 일정거리  $r$  만큼 떨어져 원 운동하는 전자의 에너지 또한 일정하게 유지된다. 이와 같이 어떤 물체에 중력이나 전기력이 작용할 경우에는 역학적 에너지가 보존 된다.

일반적으로 일정한 힘이 작용하는 경우 힘이 한 일은 힘과 거리의 곱으로 나타나지만 중력이나 전기력과 같이 두 물체 사이의 거리에 따라 힘이 변하는 경우에는 힘( $F$ )과 거리( $r$ )의 그래프에서 면적으로 나타난다. 따라서 중력이나 전기력에 의한 일은 곧 위치에너지의 형태로 전환되므로, 위치에너지( $U$ )는 거리  $r$ 에 따라 변하게 된다.

한편 원 운동하는 물체의 속력( $v$ )은 궤도 반경( $r$ )의 제곱근에 반비례하므로, 이때의 운동에너지도 결국 거리  $r$ 에 따라 변하게 된다.

<나>

바닥상태에 있는 원자, 분자 및 이온으로부터 전자를 떼어내는 데 필요한 최소한의 에너지를 이온화 에너지라고 정의할 수 있다. 특히 원자, 분자 및 이온의 가장 바깥쪽 궤도에 존재하는 전자 중 하나를 떼어내어 자유전자로 완전히 분리하는 데 필요한 에너지를 1차 이온화 에너지라고 하며, 이 값의 크기는 바닥상태에 있는 원자, 분자 및 이온의 가장 바깥쪽 궤도에 존재하는 전자의 에너지와 관련이 있다. 일반적으로 1차 이온화 에너지의 크기가 클수록 더 많은 에너지가 필요하고, 양이온이 되는 것이 어려워짐을 뜻한다. 그리고 금속 원자의 경우 이온화 에너지가 작을수록 양이온이 되려는 경향이 강하므로 반응성이 크다.

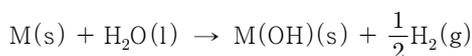
금속	원자번호	전자배치	원자반지름( $\times 10^{-12}\text{m}$ )
Li	3	$1s^2 2s^1$	152
Na	11	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$	186
K	19	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$	227
Ag	47	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 4d^{10} 5s^1$	144

[표] 1+ 양이온으로 이온화될 수 있는 여러 가지 금속 원소의 화학적 정보

[논 제] 이온화 되어 1+ 양이온을 형성할 수 있는 금속들은 대체적으로 물과 반응하여 폭발적인 반응을 일으킬 수 있다. [표]에 제시되어 있는 금속들은 1+ 양이온을 형성하기 쉬운 화학적 특성을 가졌으나, 물과의 반응성에 있어서는 서로 차이가 있을 수 있다. 1+ 양이온을 형성할 수 있는 어떤 금속 원소 M이 물과 반응할 때의 반응식을 예측하고, [표]에 제시된 금속 원소들 간의 반응성 차이를 설명하시오.

## (3) 예시답안으로 확인하기

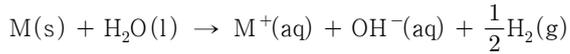
임의의 금속 M과 물의 폭발적 반응이라는 점에서 기체가 생성되는 반응임을 유추할 수 있고, 반응 생성물로서는  $M(OH)$ ,  $M^+$ ,  $OH^-$  등의 침전물 혹은 이온이 생성됨을 추론해 볼 수 있다. 따라서 아래와 같은 반응식을 제시할 수 있다.



또는

김세영과 김재우는 과학논술

Do Scipedia!



또한, 제시문으로부터 추론된 사실, 즉 원자반경과 이온화 에너지의 관계로부터 반응성을 연관시킬 수 있다. 실제 이온화 에너지에 영향을 미치는 요소는 매우 많으나, 제시문으로부터 추론할 수 있는 것은 원자 반경에 따른 최외각 전자의 에너지이다. 따라서 이러한 유추 관계를 통하여 대체적으로 화학적 성질이 비슷한 금속들은 원자 반경과 반응성이 다음과 같은 상관관계가 있음을 추론하여 제시할 수 있다.

제시문 <가>로부터 전자와 핵 간의 상호작용은 보존력인 전기력으로 생각해 볼 수 있다. 이때 전자에 작용하는 힘은 거리에 대한 함수( $F \propto \frac{1}{r^2}$ )로, 힘을 거리에 대해 적분하면( $W = \int Fdr = \Delta U$ ) 전기력에 의한 위치에너지가 거리에 반비례함을 알 수 있다( $U \propto \frac{1}{r}$ ). 또한 원 운동하는 전자의 운동속력이 거리의 제곱근에 반비례하므로( $v \propto \frac{1}{\sqrt{r}}$ ), 전자의 운동에너지( $K = \frac{1}{2}mv^2$ )도 거리에 반비례함을 알 수 있다( $K \propto \frac{1}{r}$ ). 따라서 전기력에 의해 원자핵 둘레를 원 운동하고 있는 전자의 총 역학적 에너지는 궤도 반경에 반비례함을 알 수 있다( $E = U + K \propto \frac{1}{r}$ ).

이러한 논리에 근거하면 원자핵으로부터 전자를 떼어내는데 필요한 이온화 에너지 또한 궤도 반경( $r$ )에 반비례함을 추론할 수 있다. 표에 제시된 금속 원소 Li, Na, K, Ag는 궤도 반경이  $Ag < Li < Na < K$  순이므로 1차 이온화 에너지는  $Ag > Li > Na > K$  순임을 유추할 수 있다. 제시문에서 1차 이온화 에너지가 작을수록 금속의 반응성이 커진다고 하였으므로, 결과적으로 금속의 반응성은  $K > Na > Li > Ag$  순이 됨을 추론할 수 있다.



### 1. 첫 번째 꼭지 “운동량과 충격량의 이해”

#### (1) 수능 문항으로 감(感) 잡기

■ 그림 (가), (나)와 같이 야구 선수가 운동량이 같은 공을 야구 장갑으로 받았다. (가)에서는 야구 장갑을 뒤로 빼면서, (나)에서는 야구 장갑을 움직이지 않은 채로 공을 받았다.



(가)



(나)

공이 야구 장갑에 닿는 순간부터 정지할 때까지, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [2012년 11월 고2 전국연합학력평가 물리1]

◀ 보기 ▶

ㄱ. (가)에서 야구 장갑에 들어간 공의 속력이 감소하는 동안 공의 운동량의 크기는 감소한다.  
 ㄴ. 공이 야구 장갑으로부터 받은 충격량의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.  
 ㄷ. 야구 장갑이 공으로부터 받는 평균 힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.

- ① ㄱ    ② ㄷ    ③ ㄱ, ㄴ    ④ ㄴ, ㄷ    ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[정답] ③

[출제의도] 운동량과 충격량 자료 분석하기

[해설]

- ㄱ. 운동량은 질량×속도이다.
- ㄴ. (가)와 (나)에서 공의 운동량의 변화량, 즉 충격량은 같다.
- ㄷ. 공이 장갑으로부터 받은 충격량의 크기가 같고, 공이 정지할 때까지 걸린 시간은 (가)에서가 (나)에서보다 더 오래 걸렸으므로 야구 장갑이 받은 평균 힘의 크기는 (나)에서가 더 크다.

#### (2) 논술 문항 따라잡기

※ 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오. (2013학년도 경희대 기출문제 응용)

<가>

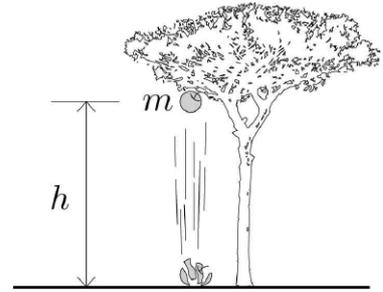
만유인력의 법칙은 질량이 있는 모든 물체 사이의 상호 작용을 일컫는다. 중력이란 천체의 표면에 있는 물체에 작용하는 만유인력이다. 중력에 의해 운동하는 물체의 가속도를 중력 가속도라고 한다. 지구 지표면 근처에 있는 물체는 작용하는 중력이 일정하므로 중력 가속도  $g$ 는 일정하다. 달 표면에서의 중력 가속도는 지구의 중력 가속도의 약  $\frac{1}{6}$ 이다.



<나>

운동에너지와 위치에너지를 합을 역학적 에너지라고 한다. 공기 저항이나 마찰력 등의 힘이 작용하지 않으면 역학적 에너지는 위치에 관계없이 일정하다. 같은 속력이라도 질량이 큰 물체는 멈추기가 어렵고, 같은 질량이라도 속력이 빠르면 멈추기가 어렵다. 운동하는 물체가 갖는 이러한 효과와 관계있는 물리량을 운동량이라고 하고, 물체의 질량과 속도의 곱으로 나타낸다. 한편, 물체에 힘을 작용하면 속도가 변한다. 이때 속도 변화량은 힘의 크기가 클수록, 힘을 작용한 시간이 길수록 커진다. 물체에 작용하는 이러한 힘의 효과를 충격량이라고 하며, 힘과 시간의 곱으로 나타낸다.

[논 제] 오른쪽 그림과 같이 지구 지표면에서 높이  $h$ 인 위치에 질량  $m$ 인 사과가 달려 있다. 이 사과가 자유 낙하하여 딱딱한 바닥에 떨어져 깨졌다. 공기의 저항은 무시하고, 중력 이외에 어떠한 힘도 작용하지 않는다고 가정하자.



(1) 바닥에 닿기 직전에 사과가 지닌 운동량과 같은 값의 운동량을 달에서 자유 낙하하는 사과가 달 지표면에 닿기 직전에 가지게 하고자 한다. 이를 위해 달에서 사과의 질량( $m'$ )과 초기 높이( $h'$ ) 사이의 관계식을 구하는 과정을 논술하시오. 또한, 구해진 관계식을 이용해 사과의 질량이 지구와 달에서 동일한 경우 달에서 사과의 초기 높이를 구하고, 사과의 높이가 지구와 달에서 동일한 경우 달에서 사과의 질량을 구하시오.

(2) 위 논제와 같이 자유 낙하한 사과가 딱딱한 바닥에서는 깨지고 폭신한 바닥에서는 깨지지 않았다. 그 이유에 대해 사과가 바닥에 충돌하는 동안에 받는 힘을 시간에 따라 나타내는 그래프를 이용하여 논술하시오

(3) 예시답안으로 확인하기

(1)

운동량  $p = mv$ 이므로 지구에서 사과의 운동량을 구하기 위해서는 사과가 바닥에 닿기 직전의 속도  $v$ 를 구해야 한다. 높이  $h$ 에서 질량  $m$ 인 사과의 위치에너지는  $E_p = mgh$ 이고, 바닥에 닿기 직전의 사과의 속도는 역학적 에너지 보존 법칙에 의해  $E_{P(\text{초기})} = mgh = \frac{1}{2}mv^2 = E_{K(\text{최종})}$ 의 관계식으로부터  $v = \sqrt{2gh}$ 가 된다. 따라서 지구에서 바닥에 닿기 직전 사과의 운동량은  $p = m\sqrt{2gh}$ 가 된다. 한편, 달에서는 중력이 지구의  $1/6$ 이므로 달에서 사과의 질량을  $m'$ , 초기 높이를  $h'$ 이라 할 때, 달에서 자유 낙하에 의해 바닥에 닿기 직전 사과의 운동량은  $p' = m'v' = m'\sqrt{2\frac{g}{6}h'} = m'\sqrt{\frac{1}{3}gh'}$ 가 된다. 사과의 운동량이 지구와 달에서 같으려면  $p = p'$ 이 되어야 하므로  $p = m\sqrt{2gh} = m'\sqrt{\frac{1}{3}gh'} = p'$ 가 되고, 정리하면 달에서 사과의 질량과 높이는 다음과 같은 관계를 만족해야 한다.

$$6m^2h = (m')^2h'$$

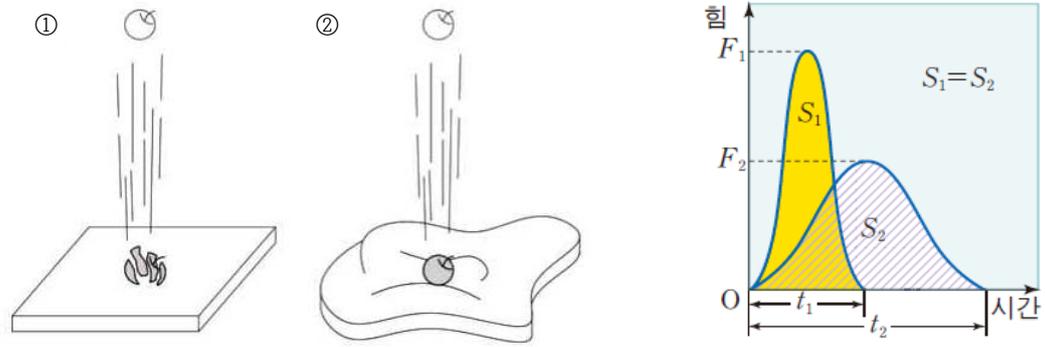
즉, 같은 질량의 사과를 사용하는 경우 달에서의 초기 높이는  $h' = 6h$ 이므로 지구에서보다 6배 높은 위치에서 사과를 떨어뜨리면 되고, 높이가 같은 경우 달에서의 사과 질량은  $m' = \sqrt{6}m$ 이므로 지구에서 사용한 사과보다  $\sqrt{6}$ 배되는 질량의 사과를 사용하면 된다.

(2)

충격량은  $I = F\Delta t = \Delta p$ 와 같이 나타낼 수 있다. 사과가 아래 그림 ①과 같이 딱딱한 바닥에 떨어져 깨지는 경



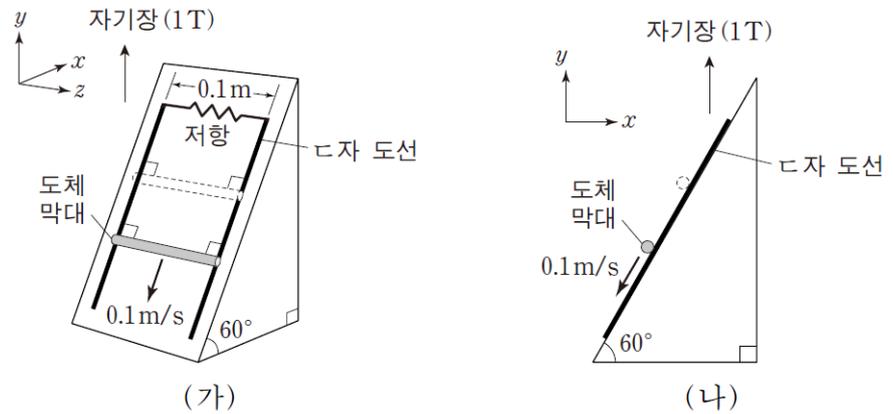
우와 그림 ②와 같이 폭신한 바닥에 떨어져 깨지지 않는 경우는 아래의 힘과 시간에 대한 그래프로 설명할 수 있다. 사과가 바닥에 떨어져 깨지지 않게 하려면 사과가 받는 충격력  $F$ 를 작게 해야 한다. 외부에서 추가적인 힘이 작용하지 않았으므로 ①과 ②의 경우 운동량 변화량  $\Delta p$ 는 같다. 따라서 충격량이 같으므로(즉,  $S_1 = S_2$ ) 사과가 바닥에 닿아 힘을 받는 시간  $\Delta t$ 를 길게 하면 충격력을 작게 하여 사과가 깨지지 않게 할 수 있다. 그래프에서 ①은 사과가 딱딱한 바닥에 떨어지는 경우로  $\Delta t = t_1$ 가 작고  $F_1$ 이 크다. 반면, 충격량이 같으므로 ②와 같이 폭신한 바닥에 사과가 떨어지는 경우  $\Delta t = t_2$ 가 커져 충격력  $F_2$ 가 작아진다. 이러한 이유로 폭신한 바닥에서는 사과가 깨지지 않는다.



## 2. 두 번째 쪽지 “전자기 유도 현상의 이해와 분석”

### (1) 수능 문항으로 감(感) 잡기

■ 그림 (가)와 같이 자기장 영역에서 도체 막대가 저항이 연결된  $\pi$ 자 도선을 따라  $0.1\text{m/s}$ 의 일정한 속력으로 운동하고 있다. 도선은 폭이  $0.1\text{m}$ 이고 경사각  $60^\circ$ 인 빗면에 고정되어 있으며, 자기장은 세기가  $1\text{T}$ 이고 방향이  $+y$  방향이다. 그림 (나)는 (가)의 측면 모습을 나타낸 것이다.



저항에 흐르는 유도 전류의 방향과 도체 막대 양단의 유도 기전력의 크기로 옳은 것은? [2013년 고3 6월 평가원 물리2]

	유도 전류의 방향	유도 기전력의 크기
①	$-z$	$2.5\text{mV}$
②	$-z$	$5.0\text{mV}$
③	$-z$	$7.5\text{mV}$
④	$+z$	$5.0\text{mV}$
⑤	$+z$	$7.5\text{mV}$

김세영과 김재현의 과학논술

Do Scipedia!



[정답] ④

[출제의도] 전자기 유도 현상 분석하기

[해설]

도체 막대에 작용하는 빗면에 나란한 중력과 자기력의 성분이 같은 크기이므로 막대는 등속도 운동을 하고 있다. 도체 막대가 이동함에 따라 회로면 위로 나오는 자속이 증가(자기장을 받는 단면적의 증가)하여 유도 전류가 발생하게 된다. 이때 유도 전류는 빗면을 앞에서 바라 볼 때 시계 방향으로 흐르므로(플레밍의 오른손 법칙), 저항 체에서는  $+z$  방향으로 전류가 흐른다.

한편, 유도 기전력의 크기는  $V = B_{\perp}lv = B\cos 60^{\circ} \times l \times v = 1 \times 1/2 \times 0.1 \times 0.1 = 0.005V = 5mV$ 이다.

### (2) 눈술 문항 따라잡기

※ 다음 제시문을 읽고 논제에 답하시오. (2011학년도 고려대 기출문제 응용)

<가>

물체가 균일한 속력  $v$ 로 반지름  $a$ 인 원주 위를 운동하는 경우, 물체의 중심각  $\theta$ 의 시간  $t$ 에 대한 변화율을 각 속도  $\omega$ 라 하면  $v = a\omega$ 가 된다. 이를 이용하면 반지름이  $a$ 인 수레바퀴가 균일한 각속도  $\omega$ 로 미끄러지지 않고 굴러갈 때 회전축의 진행속력이  $a\omega$ 가 됨을 알 수 있다.

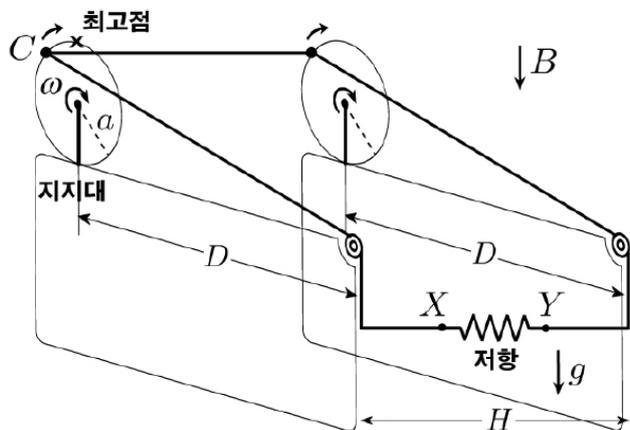
<나>

철수는 물리시간에 배운 지식을 바탕으로 역학적 에너지를 다른 형태의 에너지로 변환하는 실험을 고안하였다.

[실험 1]

그림 1과 같이 반지름이  $a$ 인 두 개의 원판을 폭이  $H$ 인 지지대에 걸쳐 평행하게 돌아가게 하고 질량이  $M$ 인 저항  $R$ 이 달린 회로를 원판의 점  $C$ 에 연결한다. 원판의 바닥과 같은 높이에 마찰이 없는 도르래를 설치하여 원판이 회전하는 동안 회로의 모양은 꺾인 직사각형 형태를 유지하도록 한다. 저항 이외의 모든 부분의 질량을 무시하며 직사각형 회로 이외의 부분은 부도체이다.

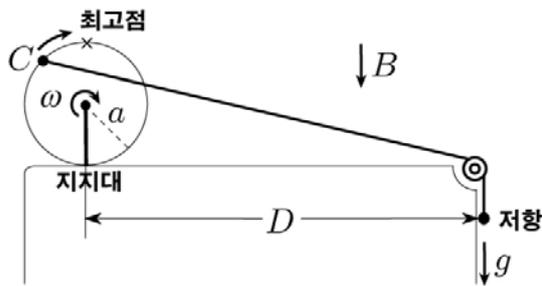
이 장치를 자기장  $B$ 가 중력방향으로 지나가는 공간에 설치한다. 이제 원판의 회전축을 그림 2처럼 균일한 각속도  $\omega$ 로 회전시킨다. 회로가 원판에 연결된 점  $C$ 가 최고점에 도달하는 순간을 시간  $t=0$ 이라고 하고  $C$ 가 한 바퀴 돌아 다시 최고점으로 돌아올 때를  $t=T$ 라고 하자. 위에서 회로를 내려다볼 때 반시계방향으로 양의 방향으로 잡고 전류의 크기와 방향을 측정하여  $t=0$ 에서  $T$ 까지 전류-시간 그래프를 얻는다.



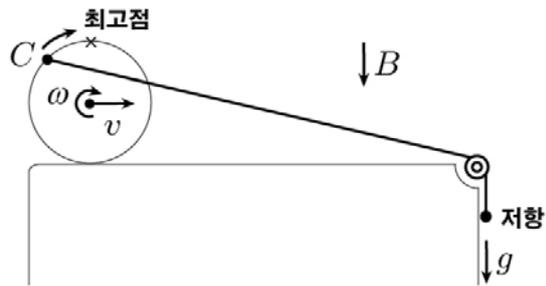
<그림 1>

[실험 2]

그림 3과 같이 실험 1의 장치에서 지지대를 제거한 후 원판을 실험 1에서와 같은 각속도  $\omega$ 로 미끄러지지 않게 굴린다. 실험 1과 같은 방식으로 나머지 실험을 진행하여  $t=0$ 에서  $T$ 까지 전류-시간 그래프를 얻는다.



<그림 2> 지지대에 고정하여 회전시키는 경우



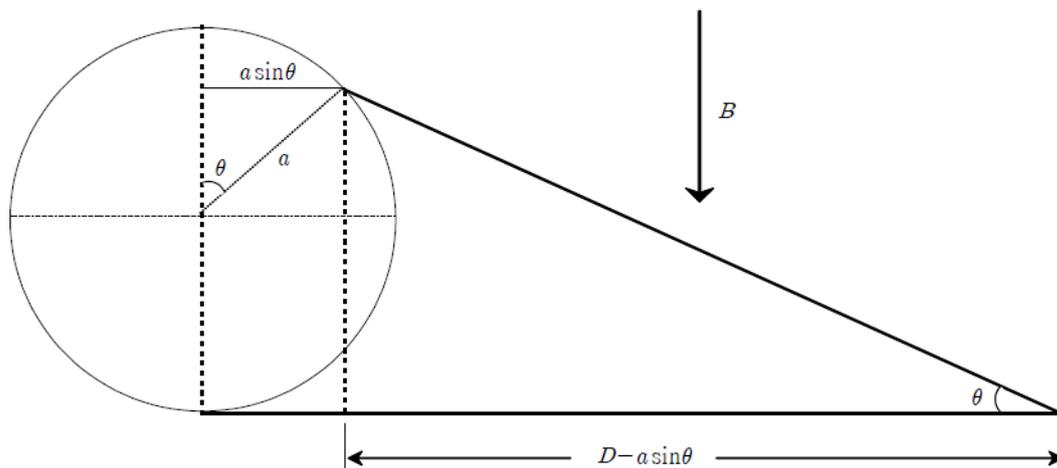
<그림 3> 미끄러지지 않게 굴리는 경우

[문제 1] 실험 1에서 철수가 얻은 전류-시간 그래프를 구하고, 그 과정을 설명하시오.

[문제 2] 실험 2의 전류로부터 실험 1의 전류를 뺀 전류-시간 그래프를 구하고, 그 과정을 설명하시오.

(3) 예시답안으로 확인하기

[문제 1 예시답안]



자속의 변화율을 구하기 위해서는 자기장이 영향을 미치는 수직성분의 면적을 고려해야하므로, 빗면 부의 정사영을 내려 면적을 구한 후 자속의 변화량을 나타내면 다음과 같다. 이때 각속도의 개념을 고려하면,  $\theta = \omega t$ 로 나타낼 수 있다.

$$\Delta\Phi = B \cdot \Delta A = B \cdot \{H \cdot (D - a \sin \theta)\} = B \cdot \{H \cdot (D - a \sin \omega t)\}$$

Faraday의 법칙에 의하면 자속에 의해 유도되는 기전력은  $E = -n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 이다. 이 경우 하나의 회로 단면에 기전력이 유도되므로  $n=1$ 이고, Faraday의 법칙을 미분식으로 나타내면  $E = -\frac{d\Phi}{dt}$ 이 됨을 고려하면, 회로면에 유도되는 기전력의 크기는

$$|E_1| = \left| -\frac{d\Phi}{dt} \right| = aBH\omega \cos \omega t$$

이 된다. 이때 플레밍의 오른손 법칙을 이용하면 사각 회로면에 대해 시계방향( $Y \rightarrow R_{\text{지향체}} \rightarrow X$ )으로 유도전류가 형성됨을 알 수 있다.

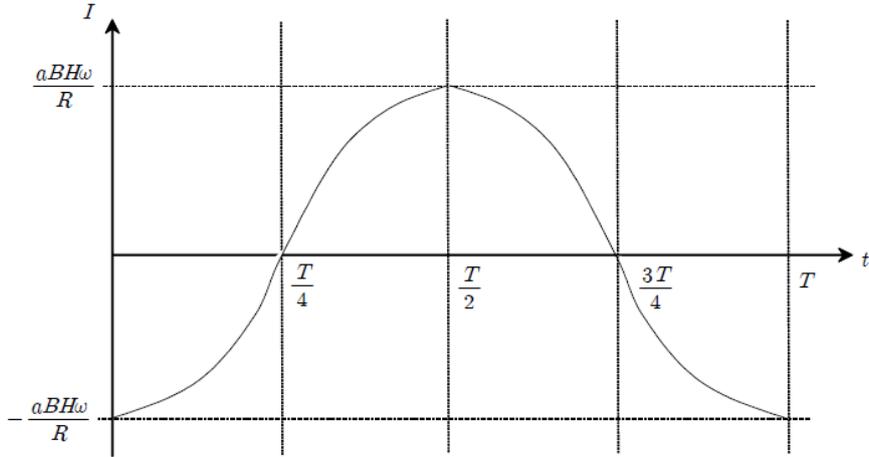
그러므로, 옴의 법칙에 의해 유도 전류를 구하면 다음과 같은 결과가 나온다.(단, 시계방향의 전류는 옴의 방향으로 잡는다.)

김세영과 김태환의 과학논술

Do Scipedia!

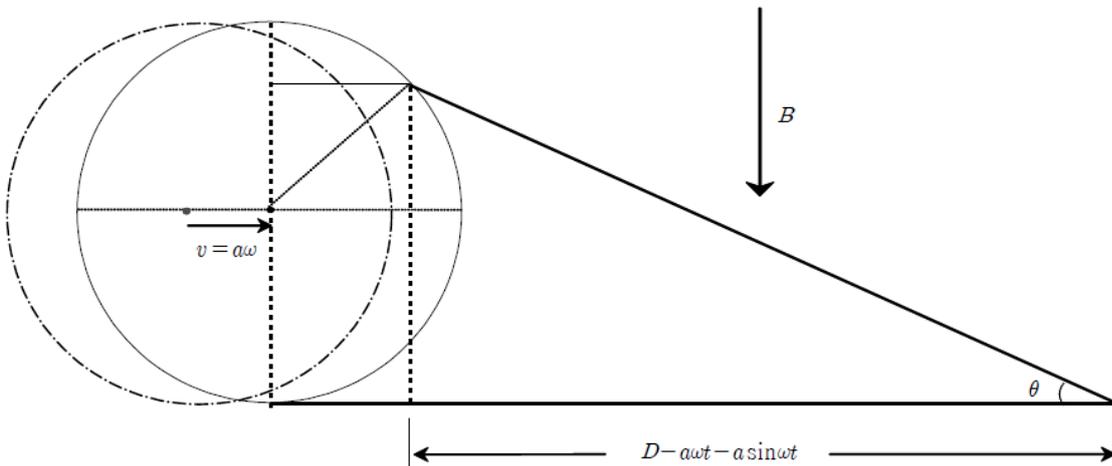


$$\therefore I_1 = -\frac{aBH\omega}{R} \cos \omega t$$



[문제 2 예시답안]

실험 2와 같이 지지대를 제거하면 회전 원판의 축은  $v = a\omega$ 의 속력으로 이동하게 된다.



이 경우 자속의 변화량은  $\Delta\Phi = B \cdot \Delta A = B \cdot \{H \cdot (D - a\omega t - a \sin \omega t)\}$ 이므로, 문제 1과 같은 방식으로 유도 기전력의 크기 및 유도 전류의 세기와 방향(시계방향, (-))을 나타내면 다음과 같다.

$$|E_2| = \left| -\frac{d\Phi}{dt} \right| = aBH\omega(1 + \cos \omega t)$$

$$\therefore I_2 = -\frac{aBH\omega}{R}(1 + \cos \omega t)$$

문제의 요구사항처럼 실험 2의 전류에서 실험 1의 전류를 빼면,

$$I = I_2 - I_1 = -\frac{aBH\omega}{R}$$

이다.

