

2027학년도 대비 한국창의영재교육원 5월 영재성 검사Ⅱ

정답 및 해설

1. 출제의도

이 문항은 소리의 중첩으로 발생하는 두 가지 핵심 현상인 맥놀이와 간섭을 비교·분석하는 수준 높은 문항입니다. 본 문항은 파동의 중첩 원리에 의해 발생하는 두 가지 물리적 현상인 맥놀이와 파동의 간섭을 실제 사례를 통해 구별할 수 있는지를 평가하기 위해 출제되었습니다. 우선, 오케스트라의 조율 과정을 통해 진동수가 미세하게 다른 두 음원이 만날 때 소리의 세기가 시간에 따라 주기적으로 변하는 맥놀이 현상을 이해하고 있는지 확인합니다. 이와 동시에, 동일한 진동수를 가진 두 음원으로부터 발생한 파동이 중첩될 때 관찰자의 공간적 위치에 따라 소리의 크기가 달라지는 간섭 현상의 원리를 대조하여 파동의 독립성과 중첩의 원리를 통합적으로 사고할 수 있는 능력을 측정하고자 합니다. [난이도 : 상]

1. [모범답안]

상황 구분	(가) 오케스트라 튜닝 상황	(나) 스피커 상황
두 현상의 이름	맥놀이	간섭
두 음원의 진동수 관계	진동수 다름	진동수 같음
변화로 나타나는 현상(시간 또는 공간)	시간에 따라 커지고 작아짐	공간 위치에 따라 큰 곳, 작은 곳 분포

조건 항목별 비교 표:

① 진동수 관계:

- ㉠ 맥놀이 - 두 음원의 진동수가 조금 다름 ($f_1 \neq f_2$, $|f_1 - f_2|$ 는 작음)
- ㉡ 간섭 - 두 음원의 진동수가 같음 ($f_1 = f_2$)

② 변화 기준:

- ㉠ 맥놀이 - 시간에 따라 주기적 커짐·작아짐 (맥놀이 진동수 = $|f_1 - f_2|$)
- ㉡ 간섭 - 공간 위치에 따라 큰 곳·작은 곳 분포

2~3. 출제의도

지구과학 분야의 공간적 추론 능력을 측정하는 매우 짜임새 있는 문항입니다. 본 문항은 일식과 월식이 발생하는 천체 역학적 원리를 기하학적 모델을 통해 이해하고, 이론적 가설과 실제 관측 데이터 사이의 차이를 과학적 근거로 설명할 수 있는지를 평가하기 위해 설계되었습니다. 먼저, 달의 위상 변화(삭, 망)와 일식·월식의 인과관계를 파악하여 천체의 일직선 배치가 현상의 필수 조건임을 논리적으로 설명하도록 유도합니다. 나아가 황도와 백도의 기울어짐이라는 입체적 구조를 도입하여 매달 현상이 일어나지 않는 이유를 추론하게 함으로써, 학생들의 공간 시각화 능력과 복합적인 변인을 고려한 문제 해결 능력을 종합적으로 측정하고자 합니다. [난이도 : 중, 상]

2. [모범답안]

만약 경사 = 0° 이면, 지구·달·태양이 매달 반드시 정확히 한 직선 위에 놓이는 순간(삭)이 발생한다. 삭에서 달은 태양과 지구 사이에 정확히 위치하여 태양빛을 가리게 되므로 매달 1회 일식이 일어난다. 연간 약 12회(12삭).

3. [모범답안]

실제 경사 5° 에서는, 삭이 일어날 때 달이 태양의 궤도면(황도) 위·아래로 최대 약 5° (달까지 거리/지구 반지름 비) 정도 벗어나 있을 수 있다. 각거리 관점에서 달은 태양으로부터 최대 약 5° 떨어져 보일 수 있음. 태양의 각지름은 약 0.5° 이므로, 달이 태양 앞을 가리려면 두 천체의 각거리가 약 0.25° (반각지름) 이내여야 함. 이 조건은 달이 황도와 백도의 교점(노드) 근처에 있을 때만 만족됨.

- 지구 공전 주기 동안 달은 황도 교점을 약 1년에 2회 통과(승교점 1회, 강교점 1회). 각 교점 통과 전후 약 1개월 구간에서 삭이 발생하면 일식 조건이 맞춰짐.
- 이로 인해 실제 일식은 연 2~5회.

일식이 월식보다 더 자주 일어나는 이유:

- 기하학적으로 일식의 "가능 각거리 조건"(달이 태양을 가릴 수 있는 범위)이 월식의 "지구 그림자에 달이 들어갈 수 있는 범위"와 다름.
- 지구 그림자의 각지름(달 궤도 거리에서 약 1.3°)은 태양의 각지름(0.5°)보다 크지만, 그림자의 실제 차지 기하에서 월식 조건이 더 엄격하게 작용.
- 결과적으로 일식 2~5회 vs 월식 0~3회.

4~6. 출제의도

물리 변화의 규칙성과 에너지 전환, 그리고 수리적 사고를 결합한 수준 높은 통합 문항입니다. 본 문항은 일상적인 그네 타기 경험을 단진자 운동이라는 물리적 모델로 변환하여 이해하고, 파동과 에너지의 핵심 원리인 공명현상을 정성적·정량적으로 분석할 수 있는지를 평가하기 위해 출제되었습니다. 구체적으로는 외력의 주기와 물체의 고유 주기가 일치할 때 에너지 전달이 극대화되는 공명의 원리를 에너지 관점에서 서술하도록 유도합니다. 또한, 주어진 수식을 분석하여 진자의 주기에 영향을 주는 변인(길이, 중력 가속도)과 영향을 주지 않는 변인(질량)을 구분하는 변인 통제 능력을 측정하며, 최종적으로 중력이 다른 환경에서의 주기 변화를 계산하게 함으로써 물리 법칙의 보편성과 수리적 문제 해결 능력을 종합적으로 평가하고자 합니다. [난이도 : 중, 중, 상]

4. [모범답안]

공명(resonance) : 외력의 주기가 시스템의 고유 주기와 같을 때, 각 밀기 순간마다 계속 같은 방향(운동 방향)으로 힘이 작용하여 운동 에너지가 누적적으로 증가함.

- 그네가 앞으로 움직이는 순간에 앞으로 밀면 힘과 속도의 방향이 같아 양의 일을 함. 한 주기마다 매번 같은 타이밍에 힘이 작용하면 에너지가 계속 축적되어 진폭이 커진다.
- 반면 외력 주기가 고유 주기와 다르면, 어떤 순간엔 힘이 운동을 돕고 어떤 순간엔 방해해 평균적으로 에너지 전달이 적음 → 진폭이 크게 증가하지 않음.

5. [모범답안]

식 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 에서 질량은 상관이 없으므로 이론적으로 몸무게가 2배여도 주기는 불변.

실제의 미세한 차이 원인 (추론):

- 공식의 L은 "회전축(매달린 점)부터 질량 중심까지의 거리"를 의미. 어른이 타면 어른의 질량 중심 위치가 어린이보다 약간 높음(어른 체격이 크므로)
→ 유효 L이 작아짐 → 유효 주기가 미세하게 짧아질 수 있음.
- 보조 요인 : 공기 저항, 그네 줄의 질량 비율 등.

6. [모범답안]

달에서 $g = 1.6 \text{ m/s}^2$:

$$T_{\text{달}} = 2\pi\sqrt{\frac{2.45}{1.6}} = 2 \times 3.14 \times \sqrt{1.53} \approx 6.28 \times 1.24 \approx 7.77(\text{초})$$

지구 주기 3.14초 대비 비율:

$$\frac{T_{\text{달}}}{T_{\text{지구}}} = \sqrt{\frac{g_{\text{지구}}}{g_{\text{달}}}} = \sqrt{\frac{9.8}{1.6}} \approx \sqrt{6.125} \approx 2.47$$

달에서 주기는 약 2.47배 느려짐.

7~10. 출제의도

물질의 성질 중 '기체의 용해도'를 실생활과 실험 데이터 분석에 연결한 통합 사고형 문항입니다. 본 문항은 온도와 압력, 그리고 물리적 충격이 기체의 용해도에 미치는 영향을 실험을 통해 탐구하고, 측정된 데이터의 정량적 관계를 해석하는 능력을 평가하기 위해 설계되었습니다. 단순히 "온도가 높을수록 기체의 용해도가 낮아진다"는 지식을 확인하는 것에 그치지 않고, 실제 용해도 데이터와 실험 결과 수치를 비교하여 타당성을 검토하는 비판적 사고력을 측정하고자 합니다. 또한, 실험 과정에서 발생할 수 있는 오차를 인식하고 이를 보완할 수 있는 대안을 제시하는 탐구 설계 능력을 평가하며, '멘토스 실험'과 같은 구체적인 사례에 대해 과학적 가설을 설정하고 검증 과정을 설계하게 함으로써 문제 해결 과정을 종합적으로 수행할 수 있는지를 확인하는 데 중점을 둡니다. [난이도 : 중, 하, 중, 상]

7. [모범답안]

(가) 5°C에서 용해도가 높아 CO₂가 많이 녹아 있지만, 동시에 녹은 상태를 그대로 유지하려는 경향이 강함 → 개봉 시에도 천천히 방출 → 적은 기체(15 mL).

반대로 (다) 25°C에서는 용해도가 낮아 과포화 상태에 가까워, 개봉 시 빠르게 방출 → 약 60 mL.

약 4배 차이는 실제 CO₂ 용해도의 5°C 대비 25°C 차이(약 1.8~2배 수준)보다 큼. 이는 용해도 차이만이 아니라 방출 속도의 온도 의존성도 함께 작용했음을 시사.(온도가 높으면 분자 운동 에너지 증가로 탈출 속도도 증가)

8. [모범답안]

흔들기 효과의 미시적 원리

- 흔들면 액체 내에 미세한 기포가 수천 개 생성됨.
- 각 기포는 이미 존재하는 기체 공간이므로, 용해된 CO₂가 액체에서 기포로 훨씬 쉽게 빠져나올 수 있는 통로 역할을 한다.
- 또한 흔들기 자체가 운동 에너지를 가해 CO₂ 분자가 용해 결합을 깨고 나오는 것을 촉진한다.
- 결과 : 흔들지 않은 음료에서는 표면에서만 천천히 방출되지만, 흔들면 전체 부피에서 동시에 다발적 방출한다.

9. [모범답안]

오차 원인 2가지와 개선 방안

- 오차 1 : 흔들기의 강도·시간이 개별 실험마다 다를 수 있음 (인간 손의 불균일).

개선 : 기계적 진동기(자석 스테러) 사용, 주파수·시간 동일화.

- 오차 2 : 뚜껑 개봉 속도가 실험마다 다르면 기체 방출 속도에 영향.

개선 : 개봉 기구를 자동화(전동 드라이버·타이머 설정)하거나, 동일한 사람이 초시계로 측정 후 평균값 사용.

10. [모범답안]

멘토스 분수 현상 가설 2가지

- 가설 1 (표면적): 멘토스 표면이 거칠어 미세한 핵(nucleation site)을 다량 제공
→ 기포 생성 폭발적 증가 → 빠른 기체 방출.

- 가설 2 (계면 활성제 역할) : 멘토스의 성분(특히 아라비아검이나 젤라틴) 중 일부가 물의 표면장력을 낮춰 기포가 쉽게 성장·탈출하도록 함.

검증 실험 (가설 1을 검증하는 예)

- 조건 A : 표면이 매끄러운 설탕 1개(멘토스와 같은 무게)를 탄산음료에 투입
- 조건 B : 표면이 거친 멘토스 1개를 탄산음료에 투입
- 조건 C : 표면이 매우 거칠지만 화학 성분은 단순한 물질을 투입
(예 : 모래로 겉을 코팅한 유리구슬)

통제 변인 : 탄산음료 종류·온도·양, 실온, 투입 즉시 10초간 방출 부피 측정

독립 변인 : 표면 성질 (매끄러움/거침/거칠지만 화학 성분 다름)

종속 변인 : 10초간 방출되는 기체·거품 부피

예상 결과 해석

- C(거친 표면+단순 성분)이 A보다 크게 많은 기체를 방출하면 → 가설 1(표면적)이 주원인
- C가 A와 비슷한 수준이고 B만 많다면 → 가설 2(계면 활성화)가 주원인

11~15. 출제의도

생명과학의 핵심 원리인 유전과 면역을 실생활 사례 및 반려동물 지식과 결합한 통합적 사고 문항입니다. 본 문항은 사람의 ABO 혈액형 유전 원리를 멘델의 유전 법칙 및 복대립 유전의 개념으로 이해하고, 이를 타 종(개, 고양이)의 혈액형 체계와 비교 분석함으로써 유전적 다양성과 면역 반응의 원리를 심층적으로 탐구하기 위해 설계되었습니다. 가족 가계도 분석을 통해 유전자형을 추론하는 논리적 사고력을 측정하고, 인간과 동물의 수혈 시 발생하는 면역 반응의 차이를 항원-항체 반응의 형성 과정 관점에서 해석하는 능력을 평가하고자 합니다. 또한, 혈액형과 관련된 대중적 속설을 '상관관계와 인과관계'의 오류 및 과학적 용어의 정확성 측면에서 비판적으로 검토하게 함으로써 과학적 의사소통 능력과 정보 리터러시를 종합적으로 측정하는 데 중점이 있습니다. [난이도 : 하, 중, 중, 상, 상]

11. [모범답안]

(1)① 자녀가 AB형과 O형을 모두 포함 → 부모는 각각 I^A , I^B , i 대립유전자 중 특정 조합을 가져야 함.

- 희수 (O형, 유전자형 ii)이 태어나려면 부모 둘 다 i 대립유전자를 보유해야 함
→ 아빠와 엄마 모두 i 를 1개씩 갖고 있음.
- 아빠 A형에 i 보유 → 유전자형 $I^A i$
- 엄마 B형에 i 보유 → 유전자형 $I^B i$

검증 : 부모 $I^A i \times I^B i$ 교배 시 자녀 유전자형은

$\{I^A I^B, I^A i, I^B i, ii\}$ 각 1/4 확률 = {AB, A, B, O}.

영재(AB)와 희수(O)가 모두 가능.

12. [모범답안]

ABO 혈액형의 두 법칙 적용

- 멘델의 분리 법칙 : 부모는 두 대립유전자 중 하나만 생식세포에 전달
→ 아빠 I^A 또는 i / 엄마 I^B 또는 i .
- 공우성(codominance): I^A 와 I^B 는 서로에 대해 우성(둘 다 표현형에 드러남)
→ 영재처럼 둘 다 물려받으면 두 항원이 모두 발현하여 AB형.
- 한편 i 는 I^A , I^B 에 대해 열성 → 희수처럼 ii 유전자형이면 A·B 항원이 모두 없는 O형.
- 두 현상이 동시에 성립하므로, 같은 부모에게서 AB와 O가 모두 나오는 것은 유전학적으로 정상.

13. [모범답안]

고양이에서 O형 부재의 유전학적 의미

- 인간 ABO에서 i (O 대립유전자)는 I^A , I^B 의 열성이며, 항원을 생산하지 않는 기능 상실형 변이.
- 고양이에서 O형이 없다는 것은 i 에 해당하는 기능 상실 대립유전자가 진화 과정에서 고정되지 않았거나 치명적으로 작용했음을 시사.
- 대립유전자 풀(gene pool)의 차이 - 인간 진화 과정에서 i 변이가 유지된 반면, 고양이에선 A, B 대립유전자만 유지.(또는 고양이 B 대립유전자는 인간 O와 기능적으로 다름.)

14. [모범답안]

첫 수혈 시 위험성의 차이

- 인간 : 태어날 때부터 반대 혈액형에 대한 자연항체(예: A형이면 항-B 항체)가 혈장에 존재
→ 첫 수혈 직후 즉시 공격. 위험.
- 개 : 태어날 때 DEA 1.1 음성인 개는 DEA 1.1 양성 항원에 대한 항체를 처음부터 보유하지 않음. 그러나 1차로 양성 혈액을 수혈받으면 면역이 반응하여 항체를 생성. 그 후 2차 수혈 시 항체가 공격. → 1차는 비교적 안전하지만 2차부터는 위험.
- 이 차이는 자연면역 vs 후천성(획득) 면역의 형성 시점 차이에서 유래.

15. [모범답안]

가짜 주장 반박 2가지

- 반박 1 - 인과와 상관의 혼동 (Causation vs Correlation)
"O형 = 모기에 더 자주 물림"이 사실이라 하더라도, 이는 O형 유전자가 직접 모기를 끌어 들인다는 인과의 증거가 아님. 모기는 주로 호기의 CO_2 , 체온, 피부의 젖산·암모니아에 유인됨. O형 사람의 체질·활동량·땀 구성이 평균적으로 다르다면 그것이 실제 원인일 수 있음. 실제 연구들은 통계적으로 혼재된 결과를 보여주며, 일부 실험에서 O형이 약간 더 선호된다는 보고는 있으나 효과 크기가 작고 메커니즘도 불명확. 대조군 설계가 충분치 않은 편의 표본이 다수. "모기 기피제를 더 많이 써야 한다"는 실용적 결론은 과장.

■ 반박 2 - 'sweet blood' 표현의 과학적 부정확성

모기는 혈액의 포도당 농도(당도)를 외부에서 감지할 수 없음. 모기가 피부 표면에서 인식하는 것은 호기·땀·체취 성분이며, 혈관 속 혈액의 "달콤함"은 물리적으로 접근 불가 정보. 혈액의 당 농도는 혈당(글루코스)으로 ABO 혈액형과 직접적 관련이 없음. 당뇨병 환자의 혈당이 높다고 모기가 더 꼬인다는 과학적 증거도 부족.

16~18. 출제의도

조석 현상과 천체의 배치는 중학교 과학 '지구와 달의 운동' 단원을 바탕으로, 관측 데이터 분석과 물리적 원리 추론을 결합한 통합 사고형 문항입니다. 본 문항은 조석 현상이 발생하는 천체 역학적 원리를 달의 위상 변화와 연계하여 파악하고, 실제 관측 자료(데이터)를 해석하여 과학적 법칙을 도출하는 능력을 평가하기 위해 설계되었습니다. 구체적으로는 한 달 주기 내에서 나타나는 사리와 조금의 수위 변화를 달의 위상과 연결하여 설명하도록 유도함으로써 천체 배치가 지구에 미치는 영향을 시각화할 수 있는지를 확인합니다. 또한, 일일 조석 주기의 발생 원인을 지구의 자전과 달의 인력 관점에서 서술하게 하며, 특히 태양과 달의 기여도 차이를 단순한 '질량'이 아닌 '거리와 인력 차이(기조력)'라는 물리적 개념을 통해 정성적으로 비교·분석하는 고차원적 비판적 사고 능력을 측정하고자 합니다. [난이도 : 중, 하, 상]

16. [모범답안]

- 조수 간만의 차가 큰 날 : 1일(삭, 7.6 m), 15일(망, 7.8 m), 29일(삭 근처, 7.4 m).
공통 점: 삭 또는 망 (태양-지구-달이 거의 일직선 상에 위치).
- 간만의 차가 작은 날: 8일(상현, 3.0 m), 22일(하현, 2.8 m).
공통점 : 반달(태양-지구-달이 직각을 이룸).

천체 배치 조건

- 사리 : 태양과 달이 지구에서 볼 때 같은 쪽(삭) 또는 반대쪽(망). 두 천체의 인력에 의한 조석 효과가 같은 방향으로 합쳐져 최대.
- 조금 : 태양과 달이 지구에서 볼 때 90° 방향(상현·하현). 조석 효과가 서로 수직하게 상쇄되어 최소.

17. [모범답안]

하루 2회 조석의 원인

- 지구의 달 방향 쪽(근점) : 달의 인력이 강해 바닷물이 달 쪽으로 끌려가 밀물.
- 지구의 달 반대쪽(원점) : 달의 인력이 약해, 지구 중심부가 바닷물보다 더 강하게 끌림 → 상대적으로 바닷물이 뒤처짐 → 역시 밀물(반대편으로 부풀어 오름).
- 따라서 지구 양쪽에 두 개의 밀물 영역이 존재. → 자전하면서 한 지점이 두 영역을 각각 지나감 → 하루에 2번 밀물·썰물.

"달 쪽만 끌린다"는 설명의 한계 : 그러면 하루에 1번만 밀물이 일어나야 함.
 실제 2번 발생은 인력의 차이가 근점과 원점 모두에 부풀림을 만든다는 사실로만 설명됨.

18. [모범답안]

주장은 타당하지 않음. 태양 인력의 절대 크기는 달보다 크지만, 조석에 기여하는 것은 인력의 공간적 차이(기울기)이므로 별도의 분석 필요.

근거

(a) 지구의 바다에 생기는 조석 효과는 "천체의 인력이 지구 양쪽 끝에서 얼마나 다르게 작용하는가"에 의해 결정됨. 지구 지름이 $D = \text{약 } 12,800 \text{ km}$.

(b) 거리 비율 비교

- 지구-달 거리 : 약 38만 km ($38\text{만} \div 12,800 \approx 30\text{배}$)
- 지구-태양 거리 : 약 1.5억 km ($1.5\text{억} \div 12,800 \approx 11,700\text{배}$)
- 지구 지름은 달과의 거리에 비해 상대적으로 꽤 큼(3%), 태양과의 거리에 비해서는 매우 작음 (0.01% 미만).

물리적으로는 조석력이 거리의 3제곱에 반비례하므로 : 달 조석 $\propto M_{\text{달}} / r_{\text{달}}^3$ 이고,

태양 조석 $\propto M_{\text{태양}} / r_{\text{태양}}^3$

태양 질량은 달의 2,700만 배이지만,

$(r_{\text{태양}}/r_{\text{달}})^3 = (150,000,000/380,000)^3 \approx (395)^3 \approx 6,200\text{만}$.

따라서 태양 조석 \div 달 조석 $\approx 2,700\text{만} / 6,200\text{만} \approx 0.44$.

이는 표면 데이터의 '달 : 태양 = 11 : 5' 비율과 비슷함($5/11 \approx 0.45$).

- 결론 : 인력의 절대 크기는 태양이 크지만, 조석에는 거리의 3제곱 효과가 작용하여 달의 영향이 태양보다 약 2배 크다. 따라서 주장은 타당하지 않음.

19~21. 출제의도

화학 반응에서의 양적 관계를 실험 데이터와 연결하여 분석하는 탐구형 문항입니다. 본 문항은 염화나트륨과 질산 은의 양금 생성 반응 실험을 통해 화학 반응 시 반응물과 생성물 사이에는 일정한 질량비가 성립한다는 일정 성분비 법칙을 증명하고, 실험 데이터의 변칙성을 과학적으로 해석하는 능력을 평가하기 위해 설계되었습니다. 실험 결과로 주어진 수치를 바탕으로 반응물 간의 질량비를 산출하고 이를 이론적 계수비와 비교함으로써 정량적 계산 능력을 확인합니다. 또한, 특정 반응물이 먼저 소모되어 반응이 완결되는 한계 반응물(한정 시약)의 개념을 적용하여 생성물의 양이 제한되는 이유를 논리적으로 설명하도록 유도합니다. 마지막으로, 실험 오차로 인해 법칙이 위배된 것처럼 보이는 상황에 대해 비판적 반박을 제시하게 함으로써 과학적 탐구의 타당성을 검토하고 오차 원인을 분석하는 종합적인 과학적 사고력을 측정하고자 합니다. [난이도 : 중, 중, 상]

19. [모범답안]

① 이론값

반응식 $\text{NaCl} + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{AgCl} + \text{NaNO}_3$ 는 몰비 1 : 1.

NaCl 1몰(58.5 g)에 대해 AgNO₃ 1몰(170 g)이 반응.

이론 질량비 NaCl : AgNO₃ = 58.5 : 170 = 1 : 2.91

② 실험값 (시험관 I, II)

- 시험관 I : NaCl 0.585 g, AgNO₃ 0.680 g → 양금 0.574 g.
 $0.680 / 170 = 0.00400$ 몰 (AgNO₃)
 0.00400 몰 × 143.5 = 0.574 g (이론 AgCl 생성량)
AgCl 이론 = 0.574 g, 실제 = 0.574 g → 완전 일치. AgNO₃가 한정 시약.
- 시험관 II : NaCl 0.585 g, AgNO₃ 1.360 g → 양금 1.148 g.
 0.00800 몰 × 143.5 = 1.148 g . AgNO₃가 한정 시약.
- 실험 질량비가 이론과 일치 → 실험값 = 이론값 = 1 : 2.91.

20. [모범답안]

NaCl 0.585 g = 0.01 mol. 이와 완전 반응할 AgNO₃ = 0.01 × 170 = 1.70 g.

시험관 III에서 AgNO₃ = 1.70 g → NaCl과 AgNO₃가 정확히 모두 소모

시험관 IV에서 AgNO₃ = 2.55 g (= 1.70 g + 0.85 g 여분).

NaCl이 한정 시약이 되어, 반응할 NaCl이 남아 있지 않음.

생성되는 AgCl = 0.01 mol × 143.5 g/mol = 1.435 g으로 III과 IV가 일치.

한정 시약 개념 : 두 반응물 중 먼저 소진되는 쪽이 한정 시약이며, 생성물의 양은 한정 시약에 의해 결정됨. 시험관 III 이전(I, II)에서는 AgNO₃가 한정 시약 → 생성물이 AgNO₃ 양에 비례. 시험관 III 이후(IV)에서는 NaCl이 한정 시약 → 생성물이 NaCl 양으로 고정.

21. [모범답안]

반박 핵심 : 일정 성분비 법칙은 자연의 근본 법칙으로, 실험에서 법칙이 깨진 것처럼 보이더라도 거의 모든 경우 실험 오차가 원인. B조의 1.48 g은 이론값 1.435 g 대비 약 3% 초과 - 측정 오차 범위 내. 법칙 자체가 틀렸다고 결론 내리는 것은 과학적 추론의 기본 오류.

오차 원인 (a) - 양금 회수·건조 불완전

- 여과 후 양금을 건조할 때 물분자나 부속 용질(NaNO₃)이 양금 표면에 미량 남아 있으면 측정 질량이 실제 AgCl보다 조금 큼.
- 개선 방안 : 여과 후 증류수로 2~3회 세척하여 NaNO₃와 미반응 AgNO₃를 제거. 이후 일정 온도(105°C)에서 충분한 시간(≥2시간) 건조하여 수분 완전 제거.
연속된 두 측정값이 일치할 때까지 건조-측정 반복.

오차 원인 (b) - AgNO₃ 수용액 농도의 오차

- 제조 시 저울 오차·용해 과정 손실 등으로 실제 AgNO₃ 질량이 목표값과 약간 다를 수 있음.
- 그러나 NaCl이 여전히 한정 시약이므로 양금 증가는 이론상 없어야 함. 실제로 양금 증가가 관측된다면 원인은 (a) 회수 불완전 또는 ⑥ NaCl이 처음 예정보다 많이 들어갔던 경우.
- 개선 방안 : 전자저울(0.001 g 단위)로 용질 질량 직접 측정 후 제조. 제조 직후 은거울 반응 등으로 농도 검증.
- 결론 : B조의 결과(1.48 g)는 법칙이 깨진 것이 아니라 회수·건조 또는 제조 과정의 오차로 인해 3% 초과 측정된 것으로 해석해야 함. 일정 성분비 법칙은 여전히 성립.

22~24. 출제의도

식물의 생리 작용을 물리적 변인인 빛의 세기와 연결하여 정량적으로 분석하는 통합 탐구 문항입니다. 본 문항은 빛의 세기가 광합성 속도에 미치는 영향을 실험을 통해 확인하고, 수집된 데이터를 수리적으로 해석하여 과학적 원리를 도출하는 능력을 평가하기 위해 설계되었습니다. 단순히 빛의 세기와 광합성량의 비례 관계를 파악하는 것을 넘어, 빛의 세기를 나타내는 '거리의 제곱에 반비례'하는 물리적 특성을 데이터에 적용하여 분석하는 정량적 사고력을 측정하고자 합니다. 또한, 교과서적 이론(광포화점)과 실제 실험 결과 사이의 차이를 발견하고, 그 원인을 과학적으로 추론하며, 실험 설계 상의 오류를 수정하고 보완하는 과정을 통해 비판적 사고력과 과학적 탐구 설계 능력을 종합적으로 평가하는 데 중점을 둡니다. [난이도 : 상, 중, 중]

22. [모범답안]

표 분석

$$d=10, I=100\%, V=18.0 \rightarrow V/I = 0.180$$

$$d=20, I=25\%, V=12.5 \rightarrow V/I = 0.500$$

$$d=30, I=11.1\%, V=8.2 \rightarrow V/I = 0.739$$

$$d=40, I=6.25\%, V=4.8 \rightarrow V/I = 0.768$$

$$d=50, I=4\%, V=2.0 \rightarrow V/I = 0.500$$

- $V \propto 1/d$ 라면 $V_{10} / V_{20} = 2$ 여야 하나 실제 $18/12.5 = 1.44$.
 $V \propto 1/d^2$ 이라면 4여야 하나 1.44. 모두 불일치.
- V가 빛 세기 I에 단순 비례하지 않음. V/I 값이 거리가 멀어질수록 상승하다가 다시 감소 → 빛 세기가 클 때는 다른 요인이 제한하고 있음.

결론 : V는 빛 세기 I에 대해 포화 경향을 보이지 않음 - 대신 V/I가 감소하는 방향. 거리가 가까워질수록 단위 빛당 효율이 낮아짐. 이는 광합성이 빛 외 다른 요인에 의해 제한되고 있음을 시사.

23. [모범답안]

포화 미관찰 원인 2가지 이상

- 원인 1 - CO₂ 제한 : 탄산수소나트륨 수용액의 CO₂ 공급량이 고정되어 있어, 빛이 충분히 강해도 CO₂가 부족해 광합성이 더 이상 증가하지 못함. 단, 이 경우 포화가 관찰되어야 함. 포화가 관찰되지 않고 빛 세기에 덜 비례하는 현상은 CO₂만으로 설명 부족.
- 원인 2 - 온도 상승 : LED가 가까울수록 시험관 온도가 상승. 온도 상승이 광합성 효소 최적 온도를 넘어가면 속도 저하. → V/I 저하 관찰과 일치.
- 원인 3 - 엽록체의 한계 : 엽록소·효소 양이 한정적이며, 단위 시간당 처리 가능한 광자 수에 상한이 있음. 강한 빛에서는 광억제 발생 가능.
- 원인 4 - 측정 한계 : 10 cm 거리의 빛 세기가 절대적으로 충분히 강하지 않아 교과서의 '포화' 영역에 도달하지 못했을 가능성.

24. [모범답안]

오차 원인 2가지와 개선

- 원인 (a) - LED 열 전도 : LED가 가까울수록 시험관이 가열되어 온도 변인 통제 실패. 광합성 속도는 온도에 민감.
개선 : LED와 시험관 사이에 물을 채운 유리판(열 필터)을 두어 빛만 통과시키고 열을 차단. 또는 항온수조에서 실험.
- 원인 (b) - 기체 부피 측정의 부정확: 처음 10분과 마지막 10분에 포집된 기체 부피가 약간 다름(초기에는 장치 내 공기 포화 전이라 낮게 측정).
개선 : 실험 시작 전 5분간 예비 광합성(보정 시간)을 두어 장치 안정화 후 측정 시작. 3회 반복 후 평균값 사용.

LED 거리를 가깝게 할 때 주의점

- 온도 상승을 엄격히 통제해야 함 (위 개선 (a) 적용 필수).
빛이 강해질수록 온도 상승이 더 커져, 광합성 속도 저하 효과와 뒤섞일 수 있음.
- 추가로 엽록소 광억제 가능성도 고려해야 하므로, 극단적으로 가까운 거리(5cm 이하)에서는 시험관을 주기적으로 가려주는 간헐 조명 실험이 대안.

25~28. 출제의도

'전기와 자기' 및 '에너지' 단원을 기반으로, 실생활의 기술 혁신 사례를 물리적 원리와 결합하여 분석하는 통합 사고형 문항입니다. 본 문항은 일상 속 전등 교체 사례를 통해 에너지 전환과 보존 법칙을 이해하고, 각 광원의 물리적 작동 원리에 따른 에너지 효율 차이를 정량적·정성적으로 비교 분석하는 능력을 평가하기 위해 설계되었습니다. 단순히 소비 전력을 비교하는 것에 그치지 않고, 발열량 데이터를 통해 빛 에너지 전환 효율을 역산하는 수리적 해석 능력을 측정합니다. 또한 반도체의 에너지 갭과 광원 기술의 발전사(청색 LED의 중요성 등)를 연결하여 기술의 사회적 확산 과정을 과학적 근거로 설명하도록 유도합니다. 마지막으로, 전력량 계산 및 에너지 보존 법칙을 활용한 환경적 이점 분석, 그리고 "난방 효율"과 같은 실생활 속의 창의적 주장에 대한 비판적 논리 구성을 통해 과학적 소양과 문제 해결 역량을 종합적으로 측정하고자 합니다. [난이도 : 하, 중, 중, 상]

25. [모범답안]

빛 전환 비율 = 100% - 발열 비율

- 백열전구 : 100 - 95 = 5%
- 형광등 : 100 - 75 = 25%
- LED : 100 - 25 = 75%

효율 순 : LED (75%) > 형광등 (25%) > 백열전구 (5%)

26. [모범답안]

백열전구의 "제조 난이도 관점"

- 백열전구는 원리가 단순 : 금속 필라멘트에 전류를 흘려 충분한 온도(약 2800°C)까지 가열하면 흑체 복사로 자연스럽게 빛을 냄. 텅스텐 필라멘트 + 진공(또는 불활성 기체) 봉입만으로 제조 가능.
- 19세기 말(에디슨 1879년) 기술 수준에서도 생산이 가능했던 이유.

LED의 뒤늦은 보급

- LED는 반도체 소자. 전자의 에너지 준위(band gap)를 정밀하게 조절하여 원하는 파장의 빛을 내도록 설계해야 함. 특히 가시광 전 영역을 만들려면 빨강(장파장)부터 파랑(단파장)까지 모두 필요.
- 빨강·녹색 LED는 20세기 중반부터 가능했으나, 파랑 LED는 질화갈륨(GaN) 결정 성장 극도로 어려워 1990년대 중반에야 가능해짐 (나카무라 슈지, 2014 노벨물리학상).
- 파랑 LED가 있어야 파랑 + 빨강 + 녹색 = 백색광 또는 파랑 LED + 노란색 형광체 = 백색이 가능. 따라서 21세기 초부터 백색 LED 조명이 상용화.

27. [모범답안](2)① 하루 절약 전력량 계산

$$\Delta P = (36 \text{ W} - 10 \text{ W}) \times 10 \text{ 개} = 260 \text{ W}$$

$$\text{하루 전력량} = 260 \text{ W} \times 24 \text{ h} = 6240 \text{ Wh} = 6.24 \text{ kWh/일}$$

여름철 이중 효과

- 에너지 보존 : 형광등에서 버려지는 열($36 \times 0.75 \times 10 = 270 \text{ W}$)은 실내 온도 상승에 기여.
- 이 추가된 열을 제거하려면 냉방기가 추가 에너지를 소비해야 함. 일반 에어컨 COP(성능계수) ≈ 3 이면, 270 W 열 제거에 약 90 W 전기 추가 필요.
- 반면 LED는 발열 $10 \times 0.25 = 2.5 \text{ W}$ 에 불과 → 냉방 부하 대폭 감소.
- 순 절약량 = 조명 직접 절약 + 냉방 절약. 여름에는 조명 절약분의 약 30% 이상 추가 이익.

28. [모범답안]

주장은 부분적으로만 타당, 전반적으로는 부적절.

부분 타당 측면

겨울에 난방이 필요한 공간이고, 전기 난방을 별도로 쓰고 있다면, 백열전구가 내는 열이 방을 데워주어 실제로는 전기 난방 부담을 줄일 수 있음. 이 측면에서 일부 에너지가 재활용됨.

부적절 측면 (반박)

- (a) 여름/환절기 무용 : 연중 난방이 필요한 기간은 일부이며, 여름·봄·가을에는 열이 오히려 해가 됨.
- (b) 전기 난방 효율 대비: 현대 주택 대부분은 가스 난방 또는 히트펌프(COP=3) 사용. 전기를 100% 열로 변환하는 것보다 가스 난방이 kWh당 비용이 1/3 수준, 히트펌프는 같은 전기로 3배 열. 백열전구의 "열 재활용"은 원시적 전기 난방과 같은 비효율.
- (c) 조명 배치의 문제: 백열전구는 천장에 설치 → 발생한 열은 천장에 고이기 쉽고, 사람이 있는 바닥 영역은 실제로 덜 따뜻함. 난방 효율이 구조적으로 낮음.
- (d) 이산화탄소 배출: 한국 전력 1kWh는 평균 약 0.4kg CO₂ 배출. 백열전구가 조명 대비 12배 이상 전기를 쓰므로 온실가스 관점에서도 불리.

결론 : "100% 효율" 주장은 극히 제한된 상황에서만 성립하며, 현대 주택·기후·난방 기술을 고려하면 백열전구의 고에너지 소비는 전반적으로 비효율적·비친환경적.