KAIST형 모의 면접·구술고사

물리학

PHYSICS

쿨롱 힘의 합성 · 축전기와 절연 파괴

※ 면접위원(감독관)의 “시작” 신호가 있기 전에는 절대로 문제지를 펼치지 마십시오. ※

수험번호		**성 명**	
모집단위		**고사실**	
입실 시각	시 분	**감독관 확인**	(서명)

■ 시험 구성

문항	주제	준비·답변	배점
문제 1	정육각형 틀 위의 전하 배치와 알짜 전기력	10분 · 8분	5점
문제 2	부피가 고정된 평행판 축전기와 유전체	10분 · 8분	5점
계	출제 범위: 물리학 Ⅰ · 물리학 Ⅱ	준비 20분 · 답변 문항당 8분 내외	**10점**

■ 수험생 유의사항

1. 휴대전화·스마트워치 등 모든 전자기기는 전원을 끈 뒤 감독관에게 제출하십시오. 소지 사실이 확인되면 **부정행위**로 간주되어 해당 전형 지원이 무효 처리됩니다.
2. 문제지는 표지 포함 총 **3쪽**입니다. “시작” 신호 후 쪽수와 인쇄 상태를 먼저 확인하고, 이상이 있으면 즉시 손을 들어 알리십시오.
3. 준비 시간(20분) 동안 문제지 여백과 배부된 메모지에 풀이를 정리할 수 있습니다. 계산기·참고 서적·본인 필기구 이외의 물품은 사용할 수 없습니다.
4. 면접실에서는 문제지와 메모지를 지참하고, 면접위원의 질문 순서에 따라 **근거를 들어 구술**로 답하십시오. 최종 결과만 말하는 답변은 배점의 일부만 인정됩니다.
5. 면접위원은 답변 도중 추가 질문을 할 수 있으며, 이는 감점 요소가 아니라 평가 절차의 일부입니다.
6. 문제지·메모지는 면접 종료 후 **전량 회수**됩니다. 문항 내용을 기록·촬영·유출하는 행위는 부정행위로 처리됩니다.
7. 문항에 이상이 있다고 판단되더라도 임의로 조건을 바꾸지 말고, 본인이 세운 가정을 명확히 밝힌 뒤 답하십시오.
8. 면접 종료 신호 후에는 답변을 계속할 수 없습니다. 시간 배분에 유의하십시오.

문항 코드 KAIST형 · PHYSICS-24 **제작** 2026. 9. **봉인 상태 확인** 개봉 흔적이 있으면 배부 전 감독관에게 알리십시오.

본 문항은 KAIST 면접 및 구술고사 공개 문항 형식에 맞추어 자체 제작한 **비공식 창작 모의문항**입니다. KAIST의 공식 또는 예상 문항이 아니며, 특정 대학의 실제 시험 문항을 옮긴 것이 아닙니다.

문제 1 전하 배치와 알짜 전기력의 최대·최소

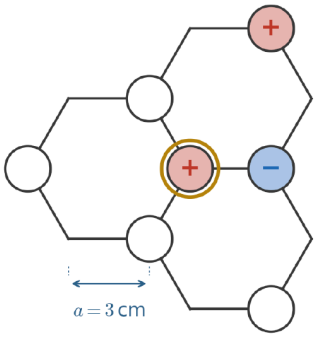
물리학 II | 쿨롱 법칙, 전기력의 벡터 합성, 대칭성, 전위와 전기 퍼텐셜 에너지 | 준비 10분 · 답변 8분 | 5점

문항 및 제시문

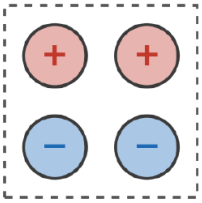
[그림 1]과 같이 한 변의 길이가 $a = 3$ cm인 정육각형 세 개가 한 꼭짓점 O에서 만나는 틀이 있다. 전하가 놓일 수 있는 자리는 O를 포함하여 모두 7개이며, O에는 이미 양(+)전하 하나가 고정되어 있다. O를 원점으로 하고 오른쪽을 $0°$, 반시계 방향을 양의 각으로 잡으면 나머지 여섯 자리는 다음과 같다.

- O에서 거리 a인 자리 세 곳: $0°$, $120°$, $240°$
- O에서 거리 $2a$인 자리 세 곳: $60°$, $180°$, $300°$

이 가운데 $0°$ 자리(거리 a)에는 음(−)전하가, $60°$ 자리(거리 $2a$)에는 양(+)전하가 이미 놓여 있다. 남은 네 자리 $120°$, $240°$(거리 a)와 $180°$, $300°$(거리 $2a$)에 [그림 2]의 양(+)전하 2개와 음(−)전하 2개를 하나씩 모두 배치한다.



[그림 1] 정육각형 세 개로 이루어진 틀. 금색 테두리가 가운데 양전하 O이고, 빈 동그라미가 남은 네 자리이다.



[그림 2] 네 자리에 배치할 전하 — 양(+) 2개, 음(−) 2개.

모든 전하는 점전하로 보고 전하량의 크기는 $Q = 1 \times 10^{-6}$ C로 같으며, 배치한 뒤에는 모두 제자리에 고정된다. 쿨롱 상수는 $k = 9 \times 10^{9}$ N·m²/C²이고, 두 점전하 사이의 전기력의 크기는 $F = kQ^2/r^2$이다. 같은 부호끼리는 밀고 다른 부호끼리는 당긴다.

(1) 거리가 a인 자리의 전하와 거리가 $2a$인 자리의 전하가 각각 O의 전하에 작용하는 전기력의 크기 F_a, F_{2a}를 구하시오. 또 어떤 자리의 전하가 양이냐 음이냐에 따라 O가 받는 힘의 방향이 어떻게 정해지는지 밝히시오. **[1점]**

(2) 크기가 같고 방향이 서로 $120°$씩 벌어진 세 힘의 합은 0임을 보이고, 그중 한 힘만 방향이 $180°$ 뒤집힌 경우 세 힘의 합의 크기와 방향을 구하시오. **[1점]**

(3) O의 전하가 받는 알짜 전기력의 크기가 **최대**가 되는 배치와 **최소**가 되는 배치를 각각 찾아 어느 자리에 어떤 부호를 놓는지 밝히고, 그때 알짜힘의 크기를 각각 구하시오. 최대인 경우에는 방향도 구하시오. **[2점]**

(4) 가능한 여섯 가지 배치에서 알짜 전기력의 크기가 가질 수 있는 값을 모두 구하시오. 또 최대 배치와 최소 배치에서 O에 놓인 전하의 전기 퍼텐셜 에너지를 각각 구하고, '알짜힘이 0인 배치'가 곧 '에너지가 가장 낮은 안정한 배치'인지 판단하시오. **[1점]**

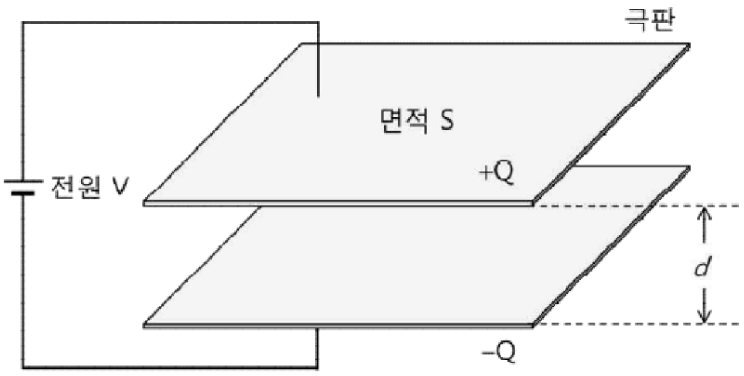
메모란 (풀이 정리용 · 채점 대상 아님)

문제 2 부피가 고정된 평행판 축전기

물리학 II | 평행판 축전기의 전기 용량, 유전체와 분극, 절연 파괴, 전하 보존, 축전기의 에너지 | 준비 10분 · 답변 8분 | 5점

문항 및 제시문

두 도체 극판을 평행하게 놓고 그 사이를 유전 상수 $\kappa = 9$인 유전체로 빈틈없이 채워 [그림 3]과 같은 평행판 축전기를 만든다. 극판의 면적 S와 극판 사이의 간격 d는 자유롭게 바꿀 수 있으나, **두 극판 사이의 부피는 반드시** $\Omega = Sd = 1.25 \times 10^{-7}$ m^3 **으로 일정하게 유지해야 한다.**



[그림 3] 면적이 S, 간격이 d인 평행판 축전기. 유전체는 두 극판 사이를 빈틈없이 채우고 있다.

극판의 가장자리 효과는 무시하여 극판 사이의 전기장은 균일하다고 보고, 유전체를 채운 평행판 축전기의 전기 용량은 $C = \kappa\varepsilon_0 S/d$이다. 유전체가 채워진 극판 사이의 전기장의 세기는 절연 파괴 때문에 $E_{\max} = 1 \times 10^6$ V/m를 넘을 수 없다. 이 축전기는 전압이 $V = 1$ V인 전원에 연결하여 쓴다. 진공의 유전율은 $\varepsilon_0 = 8.8 \times 10^{-12}$ F/m이다.

(1) 부피 조건 $Sd = \Omega$를 써서 전기 용량 C를 $\kappa, \varepsilon_0, \Omega, d$로 나타내고, C를 크게 하려면 d를 어떻게 해야 하는지 밝히시오. **[1점]**

(2) 절연 파괴 조건에서 쓸 수 있는 가장 작은 간격 d와 그때의 면적 S를 구하시오. **[1점]**

(3) (2)에서 정한 축전기의 최대 전기 용량 $C_{\max}$와, 이를 1 V 전원에 연결해 완전히 충전했을 때 극판에 저장되는 전하량 $Q_{\max}$를 구하시오. 이어서 전원 연결을 끊은 뒤 유전체를 빼내어 극판 사이가 진공이 되었을 때 전기 용량과 두 극판 사이의 전위차가 각각 어떻게 변하는지 구하고, 그 까닭을 유전체의 분극으로 설명하시오. **[2점]**

(4) (3)에서 유전체를 빼내는 동안 축전기에 저장된 에너지가 얼마나 달라지는지 구하고, 그 차이가 어디에서 왔는지 밝히시오. 또 유전체를 빼낸 뒤 극판 사이의 전기장의 세기를 구하여, 공기의 절연 파괴 전기장 약 3×10^6 V/m와 견주어 어떤 일이 일어날지 논하시오. **[1점]**

메모란 (풀이 정리용 · 채점 대상 아님)

면접위원용 자료

물리학 제 24 회 — 출제 의도 · 채점 기준 · 예시 답안

수험생에게 배부하지 마십시오. 이 부분은 문항정보(일반정보·출제 근거·문항 해설·채점 기준·예시 답안·추가 질문)를 담고 있으며, 면접 후 문항 검토와 피드백에 사용합니다.

[모의 면접 문항정보 — 물리학 제 24 회 · 문제 1]

1. 일반정보

유형	□ 논술고사 ■ 면접 및 구술고사 □ 선다형고사
전형명	KAIST형 자체 제작 모의 면접
계열(과목) / 문항번호	물리학 / 문제 1
출제 범위 (과목명)	물리학 II
핵심 개념 및 용어	쿨롱 법칙 $F = kQ^2/r^2$, 전기력의 벡터 합성, 3중 회전 대칭, 전위 $V = kQ/r$의 중첩, 전기 퍼텐셜 에너지
예상 소요 시간	준비 10분 · 답변 8분

2. 출제 의도

· 1-(1) 두 종류의 거리를 스스로 읽어 내고 $1/r^2$ 의존성에서 $F_{2a} = F_a/4$임을 계산할 수 있는지 평가한다.
· 1-(2) 경우의 수를 일일이 더하기 전에 $\mathbf{120^\circ}$ **대칭**이라는 구조를 먼저 간파하여 세 힘의 합이 0 또는 $2F$ 두 가지뿐임을 보일 수 있는지 평가한다.
· 1-(3) (2)의 결과를 두 묶음(거리 a 세 개, 거리 $2a$ 세 개)에 각각 적용하고, 두 합벡터의 방향이 겹칠 조건을 따져 최대·최소 배치를 특정할 수 있는지 평가한다.
· 1-(4) 가능한 값을 빠짐없이 열거하고, 힘이 0인 것과 에너지가 최소인 것이 서로 다른 조건임을 구분할 수 있는지 평가한다.

3. 출제 근거

가) 적용 교육과정 및 학습내용 성취 기준

문항	교육과정	학습내용 성취 기준
(1)(3)	물리학 II — 전자기장	쿨롱 법칙을 이용하여 여러 점전하가 만드는 전기력을 벡터로 합성할 수 있다.
(2)(3)	물리학 I · II — 역학과 에너지	여러 힘의 합성과 평형을 대칭성을 이용하여 분석할 수 있다.
(4)	물리학 II — 전자기장	점전하가 만드는 전위를 중첩하여 전기 퍼텐셜 에너지를 구할 수 있다.

나) 자료 출처

참고 자료	해당 내용
고등학교 물리학 II	전자기장 — 쿨롱 법칙, 전기장과 전위, 전기 퍼텐셜 에너지
고등학교 물리학 I	역학과 에너지 — 힘의 합성과 평형

4. 문항 해설

(1) $F_a = kQ^2/a^2 = (9\times10^9)(10^{-6})^2/(0.03)^2 = 10$ N이고 $F_{2a} = F_a/4 = 2.5$ N이다. 자리의 각이 θ일 때 그 자리가 양전하면 척력이므로 O가 받는 힘의 방향은 $\theta + 180^\circ$, 음전하면 인력이므로 θ이다. (2) 세 단위벡터가 120°씩 벌어지면 합이 0이고, 한 힘만 뒤집으면 합은 $2F$이며 방향은 뒤집힌 그 힘의 방향이다. (3) 거리 a인 세 자리의 힘의 방향은 각각 $\{0^\circ, 180^\circ\}$, $\{120^\circ, 300^\circ\}$, $\{240^\circ, 60^\circ\}$ 중 하나이므로 세 방향은 반드시 120° 대칭이거나 그중 하나가 뒤집힌 꼴이다. 따라서 근거리 합은 0 또는 크기 $2F_a = 20$ N, 원거리 합은 0 또는 크기 $2F_{2a} = 5$ N이다. 0° 자리가 음전하(힘 0°)이므로 근거리 합의 방향 후보는 0°, 60°, 300°이고, 60° 자리가 양전하(힘 240°)이므로 원거리 합의 방향 후보는 180°, 240°, 300°이다. 겹치는 방향은 300° 하나뿐이며 그때 $F_{\max} = 20 + 5 = 25$ N, 방향은 -60°이다. 두 합이 모두 0인 배치에서 $F_{\min} = 0$이다. (4) 나머지 네 배치에서는 두 합벡터가 120°를 이루어 $\sqrt{20^2 + 5^2 - 2\cdot20\cdot5\cdot(1/2)} = 5\sqrt{13} \approx 18.0$ N이다. 전위는 최대 배치에서 $-kQ/(2a) = -1.5\times10^5$ V, 최소 배치에서 $-1.5kQ/a = -4.5\times10^5$ V이므로 퍼텐셜 에너지는 각각 -0.15 J, -0.45 J이다.

5. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	$F_a = 10$ N, $F_{2a} = 2.5$ N을 구하고 부호에 따른 힘의 방향 규칙을 밝힌 경우	1
(2)	$120°$ 대칭 세 힘의 합이 0임을 보이고, 하나가 뒤집힌 경우의 합이 크기 $2F$·방향은 뒤집힌 힘의 방향임을 보인 경우	1
(3)	근거리·원거리 합이 각각 0 또는 20 N, 5 N임을 보이고 두 방향이 겹치는 배치를 특정한 경우 (1점) / $F_{\max} = 25$ N(방향 $-60°$)과 $F_{\min} = 0$을 배치와 함께 제시한 경우 (1점)	2
(4)	가능한 값이 25 N, $5\sqrt{13}$ N, 0 세 가지임을 밝히고 두 배치의 퍼텐셜 에너지를 비교하여 판단한 경우	1

6. 예시 답안

(1) 두 종류의 거리와 힘의 방향 규칙

$$F_a = \frac{kQ^2}{a^2} = \frac{(9\times10^{9})(1\times10^{-6})^2}{(0.03)^2} = \frac{9\times10^{-3}}{9\times10^{-4}} = 10 \ \text{N},$$

$$F_a = 10 \ \text{N}, \qquad F_{2a} = \frac{kQ^2}{(2a)^2} = \frac{F_a}{4} = 2.5 \ \text{N}.$$

방향 규칙: 어떤 자리가 O에서 보아 θ 방향에 있을 때, 그 자리에 **양전하**가 있으면 같은 부호끼리 밀어내므로 O가 받는 힘은 $\theta + 180°$ 방향이고, **음전하**가 있으면 끌어당기므로 θ 방향이다.

(2) $120°$ 대칭인 세 힘의 합

크기가 모두 F이고 방향이 $\theta, \theta+120°, \theta+240°$인 세 힘을 성분으로 더하면

$$\sum \cos = \cos\theta + \cos(\theta+120°) + \cos(\theta+240°) = 0, \quad \sum \sin = 0$$

이므로 합은 0이다 (세 벡터가 정삼각형을 이루어 닫힌다). 세 힘 중 하나, 예컨대 θ 방향의 힘만 $\theta+180°$로 뒤집으면 합은 원래의 0에서 그 힘을 두 번 뺀 것과 같다.

$$\boldsymbol{F}_{\text{합}} = \mathbf{0} - 2\boldsymbol{F}_{\theta} = 2F(\text{방향 } \theta+180°).$$

즉 **크기는 $2F$이고 방향은 뒤집힌 그 힘의 방향**이다. 따라서 세 힘의 합은 언제나 0 또는 $2F$ 둘 중 하나이다.

(3) 알짜힘이 최대·최소가 되는 배치

거리 a인 세 자리 $0°, 120°, 240°$가 O에 주는 힘의 방향은 부호에 따라 각각 $\{0°, 180°\}, \{120°, 300°\}, \{240°, 60°\}$ 중 하나이다. 어느 쪽을 골라도 세 방향은 $120°$ 대칭이거나 그중 하나만 뒤집힌 꼴이므로 (2)에 따라

$$|\boldsymbol{F}_{\text{근거리}}| = 0 \quad \text{또는} \quad 2F_a = 20 \ \text{N}, \qquad |\boldsymbol{F}_{\text{원거리}}| = 0 \quad \text{또는} \quad 2F_{2a} = 5 \ \text{N}.$$

$0°$ 자리는 음전하로 고정되어 힘의 방향이 $0°$이므로, 근거리 합이 0이 아니라면 그 방향은 $0°, 60°, 300°$ 중 하나이다. $60°$ 자리는 양전하로 고정되어 힘의 방향이 $240°$이므로, 원거리 합의 방향은 $180°, 240°, 300°$ 중 하나이다. 두 집합이 겹치는 방향은 $300°$뿐이다.

최대 배치: $120°$ 자리 = 양(+), $240°$ 자리 = 음(−), $180°$ 자리 = 양(+), $300°$ 자리 = 음(−). 양 2개·음 2개 조건을 만족한다.

이때 성분을 더하면 $F_x = 12.5$ N, $F_y = -12.5\sqrt{3}$ N이므로

답

$$F_{\max} = \sqrt{12.5^2 + \left(12.5\sqrt{3}\right)^2} = 2\times12.5 = 25 \ \text{N}, \quad \text{방향 } -60°(\text{오른쪽 아래}).$$

반대로 근거리 세 힘의 방향이 $0°, 120°, 240°$가 되고 원거리 세 힘의 방향이 $240°, 0°, 120°$가 되면 두 합이 모두 0이다. 그러려면 $120°, 240°$ 자리는 음(−), $180°, 300°$ 자리는 양(+)이어야 하고 이 역시 양 2·음 2를 만족한다.

답 **최소 배치**: $120° \cdot 240°$ = 음(−), $180° \cdot 300°$ = 양(+). 이때 $F_{\min} = 0$.

(4) 가능한 값의 전부와 에너지로 본 안정성

남은 네 자리에 양 2·음 2를 넣는 방법은 ${}_4C_2 = 6$가지이다. 위의 두 가지를 뺀 네 가지에서는 두 합벡터가 모두 0이 아니면서 서로 $120°$를 이루므로

$$F = \sqrt{20^2 + 5^2 + 2 \cdot 20 \cdot 5 \cdot \cos 120°} = \sqrt{400 + 25 - 100} = \sqrt{325} = 5\sqrt{13} \approx 18.0 \ \text{N}.$$

가능한 알짜힘의 크기: 25 N, $5\sqrt{13} \approx 18.0$ N (4**가지**), 0.

전위는 스칼라이므로 그대로 더하면 된다. $kQ/a = 3 \times 10^5$ V이므로

- 최대 배치: $V_O = (kQ/a)(-1+1-1) + (kQ/(2a))(1+1-1) = -kQ/(2a) = -1.5 \times 10^5$ V
- 최소 배치: $V_O = (kQ/a)(-1-1-1) + (kQ/(2a))(1+1+1) = -1.5kQ/a = -4.5 \times 10^5$ V

답

$$U_{\text{최대배치}} = QV_O = -0.15 \ \text{J}, \quad U_{\text{최소배치}} = -0.45 \ \text{J}.$$

알짜힘이 0인 배치가 퍼텐셜 에너지도 더 낮다.

> 다만 '힘이 0'과 '안정'은 같은 말이 아니다. 최소 배치에서 O의 전하를 조금 옮기면 다시 제자리로 되돌리는 복원력이 생기지 않는다. 정지한 점전하들만으로는 전기력만으로 안정한 평형을 만들 수 없기 때문이며(언쇼 정리), 이 배치는 힘이 0인 **안장점**에 해당한다. 위 비교는 여섯 배치 사이의 에너지 비교일 뿐 O의 위치에 대한 안정성과는 다른 문제이다.

7. 면접 추가 질문 및 검토 의견

· 추가 질문: "남은 네 자리에 양 3개·음 1개를 넣는다면 알짜힘이 가질 수 있는 값은 어떻게 달라지는가?" (근거리·원거리 합이 각각 0 또는 $2F$라는 구조는 그대로이므로 같은 세 값만 나온다)
· 추가 질문: "한 변의 길이를 a에서 $2a$로 늘리면 $F_{\max}$는 어떻게 되는가?" ($1/4$배인 6.25 N)
· 검토 의견: (3)에서 여섯 배치를 일일이 성분 계산하려다 시간을 다 쓰는 경우가 가장 많다. (2)의 대칭 논증을 먼저 쓰도록 "세 힘의 방향이 몇 가지로 제한되는가"를 묻는다. 거리 $2a$인 자리를 a로 착각해 $F_{2a} = F_a$로 두는 실수도 잦으므로 그림에서 정육각형의 긴 대각선을 짚게 한다.

[모의 면접 문항정보 — 물리학 제 24 회 · 문제 2]

1. 일반정보

유형	□ 논술고사 ■ 면접 및 구술고사 □ 선다형고사
전형명	KAIST형 자체 제작 모의 면접
계열(과목) / 문항번호	물리학 / 문제 2
출제 범위 (과목명)	물리학 II
핵심 개념 및 용어	전기 용량 $C=\kappa\varepsilon_0 S/d$, 유전체와 분극, 절연 파괴 전기장, 전하 보존 $Q=$ 일정, 축전기의 에너지 $U=Q^2/(2C)$
예상 소요 시간	준비 10분 · 답변 8분

2. 출제 의도

· 2-(1) 부피가 고정이라는 구속 조건을 써서 두 변수 S, d를 하나로 줄이고 $C\propto 1/d^2$임을 끌어낼 수 있는지 평가한다.
· 2-(2) '전기 용량을 키우려면 d를 줄여야 한다'는 결론과 '전기장이 상한을 넘을 수 없다'는 제약을 결합하여 최적점을 찾을 수 있는지 평가한다.
· 2-(3) 전원을 끊은 계에서 보존되는 양이 전하임을 알고, 유전체 제거를 C의 변화로 옮겨 전위차를 계산하며 그 미시적 까닭을 분극으로 설명할 수 있는지 평가한다.
· 2-(4) 에너지 수지를 통해 '누가 일을 했는가'를 묻고, 새로 생긴 전기장이 처음의 설계 조건을 깨뜨림을 스스로 점검할 수 있는지 평가한다.

3. 출제 근거

가) 적용 교육과정 및 학습내용 성취 기준

문항	교육과정	학습내용 성취 기준
(1)(2)	물리학 II — 전자기장	평행판 축전기의 전기 용량이 극판의 면적과 간격, 유전체에 따라 달라짐을 설명할 수 있다.
(2)(4)	물리학 II — 전자기장	균일한 전기장과 전위차의 관계 $V=Ed$를 이용하여 문제를 해결할 수 있다.
(3)(4)	물리학 II — 전자기장	축전기에 저장된 전하와 에너지를 구하고 유전체의 분극을 설명할 수 있다.

나) 자료 출처

참고 자료	해당 내용
고등학교 물리학 II	전자기장 — 전기 용량, 유전체와 분극, 축전기에 저장되는 에너지
고등학교 물리학 I	전기와 자기 — 전기장과 전위차

4. 문항 해설

(1) $S=\Omega/d$를 $C=\kappa\varepsilon_0 S/d$에 넣으면 $C=\kappa\varepsilon_0\Omega/d^2$이므로 d가 작을수록 C가 커진다. (2) 균일한 전기장이므로 $E=V/d\le E_{\max}$에서 $d\ge V/E_{\max}=1/10^6=1\times10^{-6}$ m이고, 가장 작은 값 $d=1\times10^{-6}$ m를 택하면 $S=\Omega/d=(1.25\times10^{-7})/(1\times10^{-6})=0.125$ m²이다. (3) $C_{\max}=\kappa\varepsilon_0\Omega/d^2=9\times(8.8\times10^{-12})\times(1.25\times10^{-7})/10^{-12}=9.9\times10^{-6}$ F $=9.9$ μF이고 $Q_{\max}=C_{\max}V=9.9$ μC이다. 전원을 끊으면 극판은 고립되어 Q가 보존된다. 유전체를 빼면 κ가 $9\to1$이 되므로 $C'=C_{\max}/9=1.1$ μF로 $1/9$배가 되고, $V'=Q/C'=9$ V로 9배가 된다. 분극으로 생긴 유전체 표면의 유도 전하가 알짜 전기장을 $1/\kappa$로 줄여 주고 있었는데 그것이 사라지기 때문이다. (4) $U=Q^2/(2C_{\max})=4.95$ μJ, $U'=Q^2/(2C')=44.55$ μJ로 9배가 되며 증가분 39.6 μJ은 전기장이 유전체를 안으로 끌어당기는 힘을 이기고 유전체를 빼내는 데 외부가 해 준 일이다. 이때 극판 사이 전기장은 $E'=V'/d=9\times10^6$ V/m로 공기의 절연 파괴 전기장 약 3×10^6 V/m를 크게 넘으므로 실제로는 방전이 일어난다.

5. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	$C=\kappa\varepsilon_0\Omega/d^2$을 유도하고 d를 줄여야 함을 밝힌 경우	1
(2)	$E=V/d\le E_{\max}$에서 $d=1\times10^{-6}$ m, $S=0.125$ m²를 구한 경우	1
(3)	$C_{\max}=9.9$ μF, $Q_{\max}=9.9$ μC을 구한 경우 (1점) / 전하 보존을 근거로 $C'=1.1$ μF(1/9배), $V'=9$ V(9배)를 구하고 분극으로 설명한 경우 (1점)	2
(4)	$U'-U=39.6$ μJ이 외부가 한 일임을 밝히고 $E'=9\times10^6$ V/m가 공기의 절연 파괴 전기장을 넘음을 지적한 경우	1

6. 예시 답안

(1) 부피 조건 아래의 전기 용량

부피가 $\Omega=Sd$로 고정되어 있으므로 $S=\Omega/d$이다. 이를 전기 용량 식에 넣으면

$$C=\frac{\kappa\varepsilon_0 S}{d}=\frac{\kappa\varepsilon_0\Omega}{d^2}.$$

$\kappa,\varepsilon_0,\Omega$가 모두 상수이므로 $C\propto 1/d^2$이다. 즉 **간격 d를 작게 할수록** 전기 용량이 커진다. 간격을 줄이면 같은 부피를 지키기 위해 면적이 $1/d$로 늘어나는데, 전기 용량은 면적에 비례하고 간격에 반비례하므로 두 효과가 겹쳐 $1/d^2$이 된다.

(2) 절연 파괴 조건에서 정해지는 d와 S

극판 사이의 전기장이 균일하므로 $V=Ed$, 곧 $E=V/d$이다. 절연 파괴 조건은

$$E=\frac{V}{d}\le E_{\max}\quad\Longrightarrow\quad d\ge\frac{V}{E_{\max}}=\frac{1}{1\times10^6}=1\times10^{-6}\ \text{m}\,.$$

(1)에서 d는 작을수록 좋으므로 허용되는 가장 작은 값을 택한다.

$$d=1\times10^{-6}\ \text{m},\qquad S=\frac{\Omega}{d}=\frac{1.25\times10^{-7}}{1\times10^{-6}}=0.125\ \text{m}^2.$$

(3) 최대 전기 용량·전하량과 유전체를 뺀 뒤의 변화

$$C_{\max}=\frac{\kappa\varepsilon_0\Omega}{d^2}=\frac{9\times8.8\times10^{-12}\times1.25\times10^{-7}}{1\times10^{-12}}=9.9\times10^{-6}\ \text{F}\,.$$

$$C_{\max}=9.9\ \ \mu\text{F},\qquad Q_{\max}=C_{\max}V=9.9\times10^{-6}\times1=9.9\ \ \mu\text{C}\,.$$

전원 연결을 끊으면 두 극판은 전기적으로 고립되므로 **전하량 $Q=9.9$ μC은 변하지 않는다.** 유전체를 빼내면 유전율이 $\kappa\varepsilon_0\to\varepsilon_0$으로 바뀌므로

$$C'=\frac{\varepsilon_0 S}{d}=\frac{C_{\max}}{\kappa}=\frac{9.9\ \ \mu\text{F}}{9}=1.1\ \ \mu\text{F},\qquad V'=\frac{Q}{C'}=\frac{9.9\times10^{-6}}{1.1\times10^{-6}}=9\ \ \text{V}\,.$$

답 전기 용량은 $1/9$배인 1.1 μF로 줄고, 전위차는 9배인 9 V로 커진다.

까닭(분극): 유전체가 들어 있을 때는 전기장 속에서 유전체가 분극되어 극판 쪽 표면에 반대 부호의 유도 전하가 생긴다. 이 유도 전하가 극판의 자유 전하가 만드는 전기장을 일부 상쇄하여 알짜 전기장을 $1/\kappa$배로 줄여 준다. 유전체를 빼면 상쇄해 주던 유도 전하가 사라지므로, 같은 Q에 대해 전기장이 $\kappa=9$배가 되고 $V=Ed$에서 전위차도 9배가 된다.

(4) 에너지 수지와 절연 파괴 점검

전하가 보존되므로 에너지는 $U=Q^2/(2C)$로 비교하는 것이 편하다.

$$U=\frac{Q^2}{2C_{\max}}=\frac{(9.9\times10^{-6})^2}{2\times9.9\times10^{-6}}=4.95\ \ \mu\text{J},\quad U'=\frac{Q^2}{2C'}=9U=44.55\ \ \mu\text{J}\ .$$

$$U'-U=44.55-4.95=39.6\ \ \mu\text{J}\quad(=8U).$$

에너지는 저절로 늘지 않는다. 극판 사이의 전기장은 분극된 유전체를 안쪽으로 끌어당기므로, 유전체를 빼내려면 그 힘을 이기며 바깥으로 당겨야 한다.

답 늘어난 39.6 μJ은 전부 **유전체를 빼내는 사람이 해 준 일**이다.

유전체를 빼낸 뒤의 전기장은

$$E'=\frac{V'}{d}=\frac{9}{1\times10^{-6}}=9\times10^{6}\ \ \text{V/m}$$

로 처음의 10^6 V/m의 9배이다. 이 값은 공기의 절연 파괴 전기장 약 3×10^6 V/m를 크게 넘으므로, 실제로는 극판 사이에서 방전이 일어나 전하가 중화되고 위의 9 V는 유지되지 못한다.

> 처음의 상한 10^6 V/m는 **유전체를 채운 상태**의 절연 파괴 조건이었다는 점에 주의한다. 유전체는 전기 용량을 키울 뿐 아니라 공기보다 높은 절연 파괴 전기장을 제공하여 더 좁은 간격을 가능하게 해 주며, 그래서 실제 축전기에서 유전체는 '빼도 되는 부속'이 아니다.

7. 면접 추가 질문 및 검토 의견

· 추가 질문: "전원을 연결한 채로 유전체를 빼내면 무엇이 보존되고 답은 어떻게 달라지는가?" ($V=1$ V가 고정되어 $Q'=1.1$ μC으로 줄고 U는 $4.95\to0.55$ μJ로 감소하며, 전지가 전하를 되받아 8.8 μJ을 회수한다. 외부가 한 일은 $+4.4$ μJ로 부호가 반대가 아님에 주의)
· 추가 질문: "유전체를 두께의 절반만 빼내면 전기 용량은 얼마가 되는가?" (두 축전기의 직렬 합성)
· 검토 의견: (2)에서 'd를 줄일수록 좋다'만 보고 절연 파괴 조건을 쓰지 않아 최적점을 못 찾는 경우가 가장 많다. "d를 반으로 줄이면 전기장은 어떻게 되는가"를 먼저 묻는다. (3)에서 전원을 끊었는데도 V가 1 V로 유지된다고 답하는 실수가 잦으므로, 고립된 극판에서 보존되는 양이 무엇인지 확인시킨다.

PARTNER SERVICE

써봄 AI 논술 첨삭 서비스

말로 준비한 답, 글로 써 보면 빈틈이 보인다.

구술 답안을 글로 정리해 올리면, AI가 평가 기준에 따라 채점하고 상세한 피드백을 준다.

4개 영역 점수

논리구조 · 근거타당성 · 주장명확성 · 언어표현을 영역별 점수로 제공한다.

상세 피드백

강점, 개선점, 구체적 제안사항을 함께 짚어 준다.

간편한 업로드

PDF · DOCX · TXT 파일을 지원하고, 최대 10편까지 일괄 처리한다.

리포트 저장

첨삭 결과 리포트를 PDF로 내려받아 다시 볼 수 있다.

이 모의고사와 함께 쓰는 법

① 문항마다 내 답변을 한 편의 글로 정리한다. 결론 → 근거 → 검증 순서로 쓴다.

② writegrow.net 에 답안을 올려 영역별 점수와 피드백을 받는다.

③ 예시답안과 비교해 빠진 논리 단계를 채우고, 다시 써서 점수 변화를 확인한다.

회원가입 시 3회 무료 분석

Google Gemini 기반 AI가 논술문을 자동 분석한다.

writegrow.net