논술(자연계)

논제 1: 수학 (필수)

(가)

세 점 $O(0,0)$, $P(a,b)$, $Q(c,d)$가 삼각형을 이룰 때, 행렬 $\begin{pmatrix} a & c \\ b & d \end{pmatrix}$의 행렬식 $ad-bc$의 절댓값은 점 $O(0,0)$, $P(a,b)$, $Q(c,d)$, $R(a+c,b+d)$을 꼭짓점으로 하는 평행사변형의 넓이이다.

(나)

원 C는 부등식 $y \geq \frac{1}{2}x^2$의 영역에 있고 곡선 $y=\frac{1}{2}x^2$과는 점 $A(1,\frac{1}{2})$에서만 만난다.

(다)

점 $A(1,\frac{1}{2})$에서 곡선 $y=\frac{1}{2}x^2$에 수직인 직선과 점 $B(t,\frac{1}{2}t^2)$에서 곡선 $y=\frac{1}{2}x^2$에 수직인 직선이 만나는 점을 D라 한다. (단, $t \neq 1$이다.)

◎ 제시문을 읽고 아래 물음에 답하시오.

(a) 제시문 (가)에서 점 $S(a-c,b-d)$에 대하여 $\triangle ORS$의 넓이와 $\triangle OPQ$의 넓이의 비를 구하시오.

(b) 제시문 (가)에서 점 P의 좌표가 $(a,b)=(15,20)$이고 점 $Q(c,d)$는 직선 OP 위에 있지 않은 임의의 점이라 할 때, $\triangle OPQ$의 넓이의 최솟값을 구하시오. (단, c와 d는 자연수이다.)

(c) 제시문 (나)에서 원 C의 반지름의 범위를 구하시오.

(d) 제시문 (다)에서 점 D의 좌표를 구하시오.

(e) 제시문 (다)에서 $2 \leq t \leq 4$일 때 선분 BD가 쓸고 지나가는 영역의 넓이를 구하시오.

논제 2: 물리 (선택)

(가)

그림 1과 같이 동일한 질량 m을 갖는 세 물체(A, B, C)가 실에 연결되어 있다. 경우 (i)에서는 물체 A와 물체 B가 탁자 위에 있고, 탁자의 모서리에 설치된 도르래를 지나 아래쪽으로 연결된 실을 통해 물체 C가 아래로 매달려 있다. 실과 도르래의 질량은 무시하고 중력가속도는 g로 나타낸다. 경우 (ii)에서는 물체 A가 탁자 위에 있고 물체 B와 물체 C가 실을 통해 아래로 매달려 있다. 시간 t = 0일 때 움직이지 않도록 물체 A를 잡고 있던 손을 놓아 물체들이 움직이게 하였다.

(나)

물체가 수평한 면 위에 놓여 있을 때 면은 물체에 수직항력을 작용한다. 물체는 수직방향으로 움직이지 않으므로 수직항력의 크기는 물체의 무게와 같고 방향은 중력의 방향과 반대이다. 한편, 물체와 면 사이에는 물체의 움직임을 방해하는 힘이 존재할 수 있는데, 이러한 힘을 마찰력이라고 한다. 만약 물체가 면에 접촉한 상태로 움직이고 있으면 마찰력은 움직임의 반대방향으로 작용하고 그 크기는 물체에 가해지는 수직항력에 비례한다.

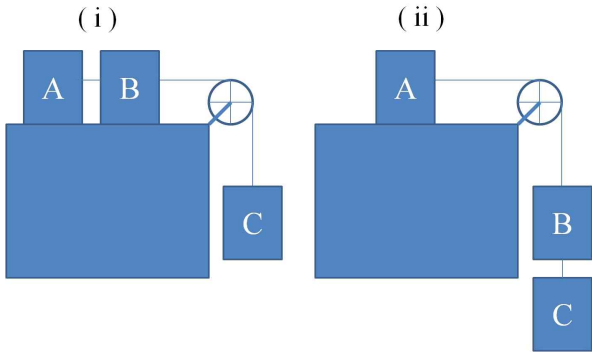


그림 1. 제시문 (가)와 (나)의 장치

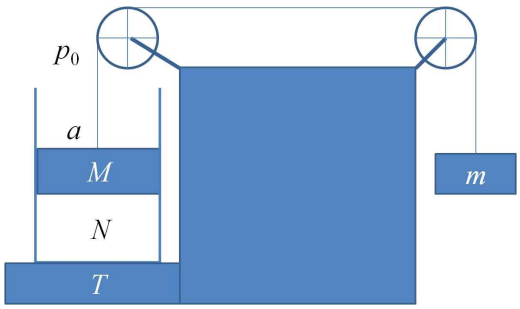


그림 2. 제시문 (다)의 장치

(다)

그림 2와 같이 수평면의 양쪽 모서리에 질량이 없는 도르래가 각각 고정되어 있다. 두 도르래 위에 질량이 없는 실을 걸치고, 그 한쪽 끝을 이상 기체 분자 N개가 담긴 실린더의 피스톤 위에 연결하였다. 이 피스톤의 단면적은 a이고 질량은 M이며 피스톤과 실린더 사이의 마찰력은 없다. 실의 다른 쪽 끝에 질량이 m인 추를 연결하고 가만히 놓으면 오랜 시간이 지난 후에 역학적 평형과 열평형에 도달한다. 실린더 외부의 대기압은 p_0이고 중력가속도는 g이며, 모든 과정에서 실린더 내부의 기체 분자 개수는 변화하지 않는다.

◎ 제시문 (가, 나)를 읽고 아래 물음에 답하시오.

(a) 그림 1의 실험에서 탁자와 물체 사이에 마찰력이 없다고 가정하자. (i)과 (ii)에서 물체들이 움직일 때, 물체 A의 가속도를 구하는 방법을 각각 제시하고, 그 값들을 구하시오.

(b) (a)에서와 같이 움직일 때 도르래 위의 실에 걸리는 장력의 크기를 (i)과 (ii)의 경우에 대해 비교하고, 두 값의 차이에 대하여 논술하시오.

(c) 이제 그림 1의 실험에서 탁자와 물체 사이에 제시문 (나)에 기술된 마찰력이 존재한다고 하자. 물체들이 중력에 의해 움직이는 상태에서 도르래 위의 실에 걸리는 장력의 크기를 (i)과 (ii)의 경우에 대해 비교하고, 두 값의 차이에 대하여 논술하시오.

◎ 제시문 (다)를 읽고 아래 물음에 답하시오.

(d) 그림 2에서 피스톤에 가해지는 힘의 크기와 방향을 모두 찾고, 그 역학적 평형을 이용해 실린더 안의 기체 압력 P를 제시문 (다)에 주어진 양으로 나타내시오.

(e) 장치가 열평형과 역학적 평형에 도달한 후, 실린더에 연결된 열원의 온도 T를 천천히 변화시켜서 피스톤이 거리 y만큼 상승하도록 하였다. 이 과정에서 실린더 안의 이상 기체가 한 일에 대하여 논술하시오.

논제 3: 화학 (선택)

(가)

우리는 일상생활에서 수많은 화학 물질을 접하게 되는데, 이러한 화학 물질의 성질과 반응에 대하여 잘 이해하는 것은 비단 생활의 편리함뿐만 아니라 안전에도 중요하다. 특히 갑작스럽게 많은 양의 기체가 발생하는 반응이나 열이 발생하는 반응에 대해 잘 알고 있으면 안전사고를 미연에 방지할 수 있다.

(나)

$NaHCO_3$의 화학식을 가지는 베이킹소다(탄산 수소 나트륨)는 아세트산(CH_3COOH)과 격렬히 반응하여 CH_3COONa와 물(H_2O)과 어떤 기체 분자 A를 생성한다. 베이킹소다는 열에 약하여 50°C 이상에서 Na_2CO_3와 물(H_2O)과 기체 분자 A로 분해된다.

(다)

1887년 스웨덴의 화학자 아레니우스는 수용액에서 수소 이온(H^+)을 내놓는 물질을 산(acid), 수산화 이온(OH^-)을 내놓는 물질을 염기(base)라고 정의하였다. 아레니우스 정의에 의해 산은 물에 녹으면 양이온인 H^+과 음이온으로 이온화되고, 염기가 물에 녹으면 양이온과 음이온인 OH^-으로 이온화된다. 그러나 이러한 정의는 수용액에서 일어나는 반응에만 적용되는 한계가 있다. 한편 1923년 덴마크의 브뢴스테드와 영국의 로우리는 산-염기의 새로운 개념을 제안하였다. 이들의 정의에 의하면 수용액 상태에서 H^+을 내놓는 물질을 산이라 하고, H^+을 받을 수 있는 물질을 염기라고 정의하였다. 이후 1923년에 미국의 화학자 루이스는 산-염기에 대해 보다 일반적인 개념을 제안하였다. 루이스의 정의에 의하면 비공유 전자쌍을 받는 물질을 산이라고 하고, 비공유 전자쌍을 제공하는 물질을 염기라고 한다.

(라)

일반적으로 산과 염기를 반응시키면 산과 염기의 성질이 사라지는데, 이것은 산과 염기가 반응하여 물과 염이 생성되기 때문이다. 이러한 반응을 중화반응이라고 하는데, 이때 물은 산의 수소 이온과 염기의 수산화 이온의 결합으로 생성된다. 또한 강산과 약염기가 만나면 약한 산성을 띠는 염이 형성되고, 약산과 강염기가 만나면 약한 염기성을 띠는 염이 형성된다.

◎ 제시문을 읽고 아래 물음에 답하시오.

(a) 위에서 언급된 기체 분자 A의 화학식을 쓰시오.

(b) 베이킹소다 열분해 반응의 화학반응식을 쓰시오. (반응의 계수를 정확히 표기하시오.)

(c) 생석회 CaO는 위에서 언급된 기체 분자 A와 반응하여 고체 상태인 분자 B를 만든다. 이 반응의 화학반응식을 쓰시오. 이 반응이 정반응으로 잘 일어나도록 하려면 어떠한 반응 조건을 채택해야 하는지 논술하시오.

(d) 베이킹소다는 말 그대로 빵을 만들 때 쓰이는 재료이다. 베이킹소다가 빵을 굽는 과정에서의 역할에 대해 논술하시오.

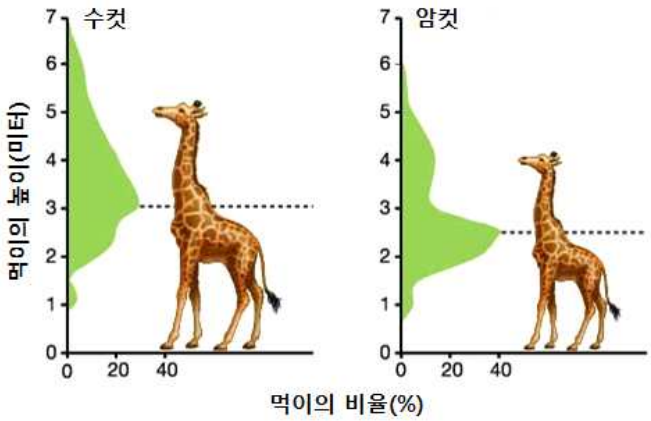
(e) 베이킹소다가 산성을 띠는지 염기성을 띠는지 판별하고, 그 근거에 대하여 논술하시오.

(f) 빵 반죽에 베이킹소다와 더불어 레몬즙과 같이 신맛이 나는 재료를 함께 첨가하면 빵의 맛이 좋아진다. 그 이유가 무엇인지 추론하시오.

논제 4: 생명과학 (선택)

(가)

기린의 목은 왜 길까? 아프리카 탄자니아의 세렝게티 초원에서 서식하는 기린은 주로 나뭇잎과 작은 가지를 먹이로 하지만 풀도 먹는 초식 동물이다. 높은 곳에 있는 나뭇잎을 먹기에 매우 적합한 기린이지만, 물을 마시는 모습은 우스꽝스럽다. 앞발을 좌우로 벌리고, 벌어진 앞다리를 더욱 구부려야 물을 마실 수 있다. 기린의 목은 높은 곳의 나뭇잎을 먹기에 편리하도록 진화되었을 것이다. 처음 기린 중에는 목이 짧은 것과 긴 것이 있었을 것이다. 목이 짧은 기린은 먹이 경쟁에 패해 목이 긴 기린만 자연선택으로 남아 있게 되었다고 다윈은 <종의 기원>에서 설명하고 있다. 기린의 목이 긴 이유를 설명하기 위한 다윈의 가설을 검증하기 위해서 기린이 선호하는 먹이의 높이를 측정하였다(아래 그림).



(나)

기린은 얼핏 온순해 보이지만 수컷끼리의 싸움은 엄청나게 격렬하다. 성숙한 수컷들은 무리의 암컷을 독점적으로 차지하기 위해서 격렬한 싸움을 벌인다. 수컷끼리는 기다란 목으로 상대의 가슴을 강타한다. 이러한 수컷 경쟁에서 목은 무기로 작용한다. 따라서 목이 긴 기린은 목이 짧은 기린을 제압할 수 있게 되고 무리의 암컷들을 차지하게 된다.

(다)

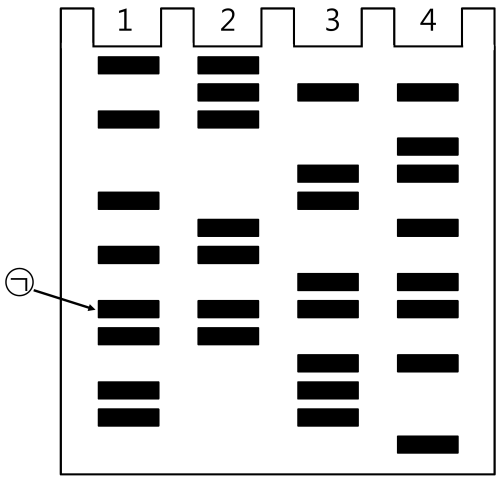
90℃의 뜨거운 온천수에 서식하는 세균이 있다. 이러한 세균은 열에 대한 저항성이 큰 DNA 중합효소를 이용하여 DNA를 복제한다. 이를 이용하여 원하는 유전자의 DNA를 증폭시키는 중합효소 연쇄반응(PCR) 기술이 개발되었다.

(라)

과학수사에서 DNA(유전자) 감식결과는 중요한 증거로 사용된다. 머리카락 한 올, 담배꽁초에 묻은 타액, 피부세포 한 점, 한 방울의 피만 있어도 개개인의 신원을 여지없이 밝혀낸다. 일란성 쌍둥이를 제외하고는 지문과 같이 유전자정보가 서로 다르기 때문이다. DNA 감식의 위력은 종종 화제를 뿌리곤 한다. 미국 독립선언문을 작성한 토머스 제퍼슨 대통령의 사생아 논란은 지난 200년 동안 끊이지 않았는데 Y 염색체에 대한 유전자 감식 결과 친자로 입증되었다. 또한 프랑스의 샹송가수 이브 몽땅이 죽은 후 그의 딸이라며 재산상속을 주장하는 여인이 있었으나 유전자 감식을 통해 부녀관계가 아님이 증명됐다.

(마)

아래 그림은 친자확인을 위한 DNA 지문 검사 결과의 한 예이다. 전기영동의 각 열은 한 사람의 DNA 를 4 쌍의 프라이머를 이용하여 증폭한 결과이다.



◎ 제시문에 근거하여 아래 물음에 답하시오.

(a) 제시문 (가)의 그림은 기린의 목이 긴 이유에 대한 다윈의 가설을 뒷받침 하는지를 논술하시오.

(b) 중합효소 연쇄반응에서 열 저항성 DNA 중합효소를 사용하는 이유를 설명하시오.

(c) 제시문 (마)에서 1번의 모친이 2번이라고 할 때 1번의 부친이 될 수 있는 사람은 몇 번인지 설명하시오. 또, 동일한 프라이머 쌍을 이용하였는데 서로 다른 크기와 수의 DNA 조각들을 얻게 된 이유를 설명하시오.

(d) 제시문 (마)의 ㉠은 모친과 부친 중 어느 쪽으로부터 유전된 것인지 설명하시오.

(e) 기린의 긴 목이 수컷 경쟁을 통한 진화의 결과인지 알아보기 위하여 세렝게티 초원에서 실험을 실시하고자 한다. 제시문 (다) ~ (마)에 근거하여 가능한 실험방법을 제시하시오.

논제 5: 지구과학 (선택)

지구계는 지권, 수권, 기권, 생물권, 그리고 지구 기권 밖의 권역인 외권으로 이루어져 있다. 이러한 지구계의 각 권역은 서로 유기적으로 영향을 주고받는다. 따라서 한 권역에서 어떠한 현상이 일어나는 경우, 그러한 변화는 연쇄적으로 다른 권역들에게 영향을 주게 되며, 이와 같은 과정을 지구계 각 권역의 상호작용이라고 한다.

오늘날 지구의 표면은 각 권역의 상호작용에 의하여 끊임없이 변화하고 있다. 눈 덮인 높은 산의 정상부터 드넓은 평원까지 지구의 지형은 판의 이동과 충돌에 의한 조구조적 융기작용, 지권과 기권의 상호작용에 의한 풍화 및 침식작용, 그리고 퇴적물의 운반과 퇴적작용 등이 상호작용하여 천천히 변화한다.

물은 지구계 내에서 수권, 기권, 지권, 생물권 사이를 끊임없이 순환하면서 지구 표면의 변화작용에 크게 기여한다. 현재 지구의 수권에서 가장 중요한 물 저장소 중 하나는 기후 순환에 의하여 증가하거나 감소하는 빙하이다. 빙하는 수백에서 수천 년에 걸쳐 눈이 두껍게 쌓이면서 압축작용을 받아 만들어진다. 이러한 얼음덩어리는 움직이지 않는 것처럼 보이지만, 사실은 매우 느린 속도로 움직이고 있기 때문에 “강처럼 흘러가는 얼음”이라는 의미로 빙하(氷河)라고 한다.

빙하를 시추하여 얻은 얼음에 들어있는 물 분자의 산소 동위 원소비($^{18}O/^{16}O$)를 측정하여 과거의 기후 변화를 밝혀낼 수 있다. 동위 원소란 같은 수의 양성자와 전자를 가지지만 중성자의 수가 다른 경우로, 원자번호는 같지만 원자량은 다른 것을 의미한다. 자연에는 ^{16}O, ^{17}O, 및 ^{18}O 세 가지의 산소 동위 원소가 존재한다. 이 중 약 99.8%는 ^{16}O로 존재한다.

지구의 역사에 있었던 수많은 기후 변화는 지권에 기록된 퇴적층의 퇴적물과 화석, 생물권에 기록된 나무의 나이테, 그리고 수권의 빙하 시추코어 등을 연구하여 유추할 수 있다. 예를 들면, 산호는 오늘날 열대 및 아열대의 얕은 바다에 주로 살기 때문에, 이러한 산호 화석이 발견되는 지층은 과거 적도 부근의 얕은 바다에서 퇴적되었음을 알 수 있다. 이와 비슷하게 나무의 나이테를 관찰하는 경우, 동심원상의 나이테가 조밀하게 형성된 부분은 과거 나무의 성장이 느린 시기를 지시하며, 이는 당시 온도가 낮아지거나 강우량이 적어진 사건과 연결할 수 있다.

◎ 제시문을 읽고 아래 질문에 답하시오.

(a) 연중 온도가 항상 영하인 지역의 빙하를 여러 곳에서 시추했다. 시추 위치에 따라 빙하의 최하부에 물이 존재하는 곳과 없는 곳을 관찰하였다. 이러한 차이가 왜 나타나는지 설명하시오.

(b) 빙하기 때 바닷물의 산소 동위 원소비($^{18}O/^{16}O$)는 유공충과 같이 방해석이나 아라고나이트 등의 탄산칼슘($CaCO_3$) 광물로 껍데기를 형성하는 생물 화석을 분석하여 얻는다. 빙하기 동안 바닷물의 산소 동위 원소비($^{18}O/^{16}O$)가 간빙기 때와 어떻게 다를지를 설명하시오.

(c) 봄철에 특히 자주 발생하는 황사는 강한 편서풍을 타고 우리나라 상공을 거쳐 일본, 태평양, 멀리는 북아메리카 대륙까지 날아가기도 한다. 이러한 황사는 발원지에 저기압이 위치할 때 주로 발생하는데, 황사의 발생이 계절과 기압 배치에 따라 어떻게 영향을 받는지 설명하시오.

(d) 약 1만 8000년 전 마지막 빙하기가 끝나던 무렵 오늘날의 서해(황해) 지역은 모두 육지였다. 간빙기에 접어들면서 해수면이 상승하여 오늘날의 서해가 형성되기 시작했으며, 현재 서해의 최대 수심은 약 90미터이다. 이러한 서해를 왜 "황해(黃海; Yellow Sea)"라고도 부르는지 제시문에 근거하여 설명하시오.

(e) 임진왜란 5년차인 1597년 10월 25일, 충무공 이순신 장군은 서해와 남해를 잇는 울돌목 해협의 조력 에너지를 이용하여 일본 함대를 크게 무찔렀다. 조력 에너지는 달과 태양의 인력이 지구에 작용하여 생기며, 태양보다 지구에 더 가깝게 위치한 달의 영향이 더 크게 작용하여 밀물과 썰물이 만들어진다. 울돌목에 해류가 생기는 원인을 설명하시오.