논 술
(자연계)

※ 주의사항 : 논제 1은 필수로 풀고 논제 2, 3, 4, 5 중 한 문제를 선택해서 답안을 작성하시오.

논제 1 : 수학 (필수)

(가)

그림 1과 같이 좌표공간에서 두 평면 $z=a$와 $z=b$ 사이에 있는 입체 A를 평면 $z=z_0$으로 자른 단면의 넓이가 $S(z_0)$일 때, A의 부피는

$$V_A = \int_a^b S(z)dz$$

이다. 그림 2에서 입체 B는 그림 1의 입체 A를 z축 방향으로 k배 늘여서 얻어진다. 입체 B의 부피를 V_B라 한다.

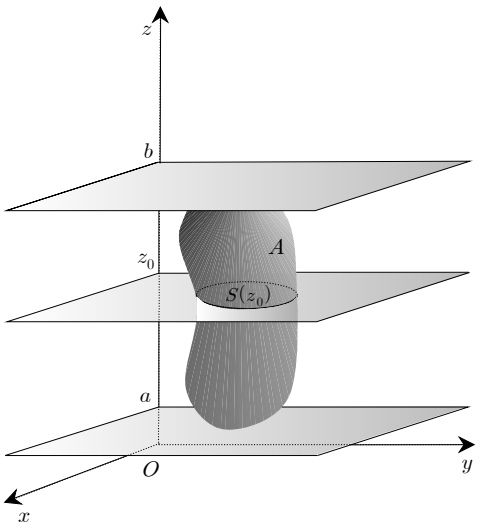


그림 1.

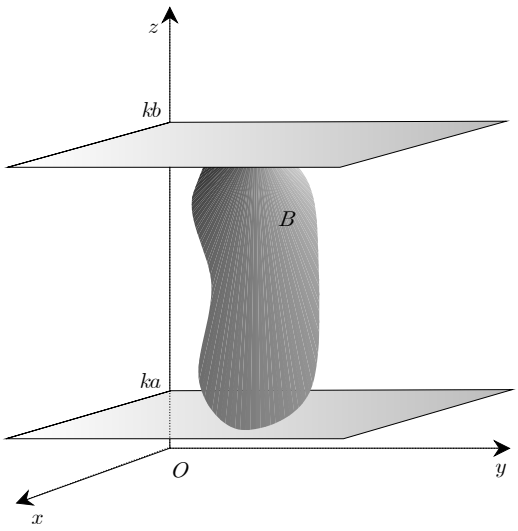


그림 2.

(나)

그림 3과 같이 반지름이 1인 구가 평면 α와 점 O에서 접한다. 점 O를 포함하고 평면 α와 수직이 아닌 평면 β가 평면 α와 이루는 예각을 ϕ라 한다.

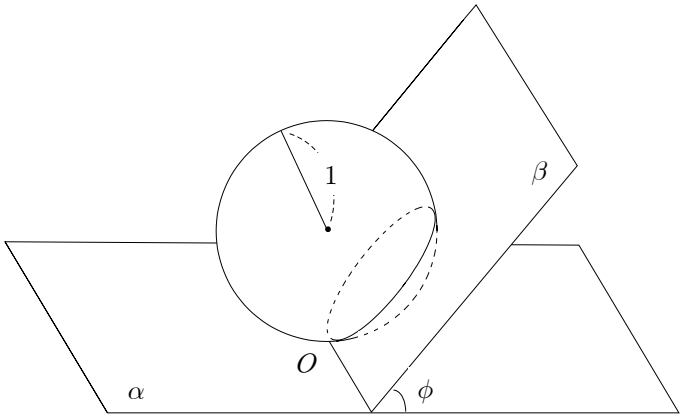


그림 3.

(다)

좌표공간에서 zx평면 위의 타원 $x^2+\frac{(z-2)^2}{4}=1$을 z축 둘레로 회전하여 얻어진 곡면으로 둘러싸인 입체를 C라 한다. 원점을 포함하고 zx평면과 수직이 아닌 평면 γ가 zx평면과 이루는 예각을 θ라 한다.

논제 1 (필수)

(a) 치환적분을 이용하여 제시문 (가)에서 V_A와 V_B의 관계식을 구하시오.

(b) 제시문 (나)에서 평면 β에 의해 잘린 구의 두 영역 중 작은 영역의 부피 $U(\phi)$를 구하시오.

(c) 제시문 (다)에서 평면 γ에 의해 나눠지는 C의 두 영역 중 작은 영역의 부피를 $W(\theta)$라 하자. 극한

$$\lim_{\theta\to 0+}\theta^a W(\theta)$$

가 수렴할 때, 실수 a와 극한값을 구하시오.

논제 2 : 물리 (선택)

물체가 가질 수 있는 에너지는 운동에너지, 위치에너지, 열에너지 등이 있으며, 한 형태의 에너지는 다른 형태의 에너지로 변환이 가능하고 외부에서 힘이 가해지지 않는 고립된 계에서 에너지의 합은 보존된다. 그림 1과 같이 질량이 M인 물체가 초기속력 v로 미끄럼 운동을 하여 반경이 R인 원형 틀을 따라 반시계 방향으로 원운동을 한 후 $x=d$에 위치한 벽면과 완전 탄성 충돌을 하는 운동을 생각하자. $x=0$인 지점의 왼쪽 영역에서는 물체와 표면 사이의 마찰력이 없고, 오른쪽 영역에서는 물체와 표면 사이의 운동 마찰계수가 μ_k로 주어진다. 물체는 벽면과 완전 탄성 충돌 후 반경 R인 원형 틀을 따라 시계방향으로 원운동 한다. 물체에 가해지는 중력 가속도는 g로 일정하고, 물체는 원형 틀에서 떨어지지 않고 최대 한 번 회전한 후 원형 틀을 빠져나온다.

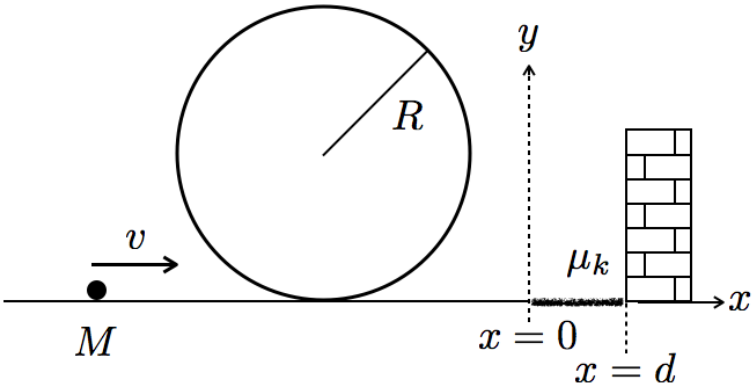


그림 1. 질량 M인 물체가 원형 틀을 따라 한 바퀴 회전 후 벽면과 완전 탄성 충돌함

논제 2 (선택)

(a) 초기속력 v를 가진 물체가 반경 R인 원형 틀을 반시계 방향으로 떨어지지 않고 한 바퀴를 회전할 때 초기속력의 최솟값 $v_{\min}$을 설명하시오.

(b) 물체가 벽면과 완전 탄성 충돌 후 반경 R인 원형 틀을 시계방향으로 돌아 최고점에서 속력이 0이 되게 하는 초기속력 v_c를 구하시오.

(c) 물체의 초기속력 v가 (a)와 (b)에서 구한 초기속력 사이의 값(즉, $v_{\min} < v < v_c$)으로 주어질 때 물체는 원형 틀과 벽면 사이를 왕복 운동한다. 물체가 n번째 왕복 운동을 할 때 원형 틀로 올라간 높이 h_n을 구하시오.

(d) (c)에서 $g = 10\,\mathrm{m/s^2}$, $\mu_k = 0.1$, $R = 2\,\mathrm{m}$, $d = 1\,\mathrm{m}$로 주어질 때 물체는 원형 틀과 벽면 사이를 최대 몇 번 왕복 운동하는지 논술하시오.

논제 3 : 화학 (선택)

(가)

나노입자란 수천에서 수십만 개의 원자로 이루어진, 1 nm(나노미터, 1 nm = 10^{-9} m)부터 100 nm까지의 지름을 가지는 입자를 일컫는다. 나노입자는 자신의 형태 및 조성에는 변화가 없으나 화합물의 변환 반응을 촉진시키는 촉매로서의 역할 등 다양한 응용성을 보여준다. 나노입자는 입자의 표면에 존재하는 표면원자와 입자의 내부에 존재하는 내부원자로 구성된다. 백금(Pt) 나노입자는 에텐(CH_2CH_2)과 수소 (H_2) 간의 반응에 촉매로서 작용하여 에테인(CH_3CH_3)을 형성할 수 있는데, 아래 그림 1과 같이 백금 나노입자의 표면원자들은 에텐과 수소의 흡착 및 이들의 변환에 관여함을 알 수 있다.

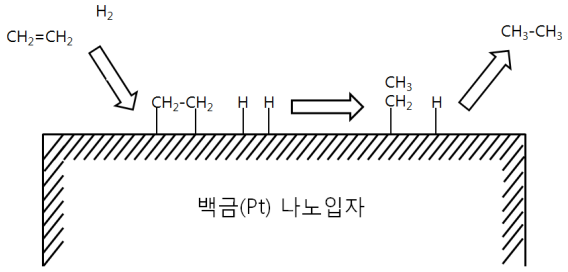


그림 1.

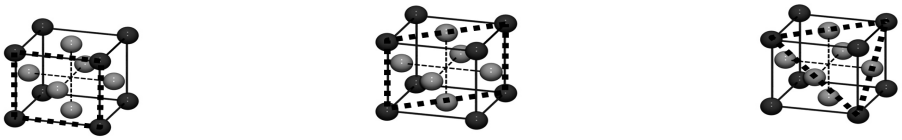
(나)

물방울은 무중력 상태의 공간에서 완벽한 구형을 이루는데, 이는 물방울 표면에 존재하는 물 분자의 개수를 최소화하려는 경향 때문이다. 이러한 현상은 물방울의 표면에 위치한 한 개의 물 분자보다 물방울의 내부에 존재하는 한 개의 물 분자가 이룰 수 있는 수소결합의 개수가 훨씬 많으므로, 물방울 내부 물 분자의 에너지가 물방울 표면 물 분자보다 더욱 안정하기 때문이다.

(다)

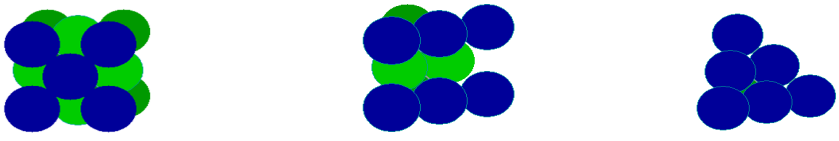
백금 나노입자는 면심입방격자(face-centered cubic) 결정구조를 가진다. 백금 나노입자는 결정을 자르는 방향에 따라 아래와 같은 다양한 표면 원자 배치를 지니게 된다 (그림 2~4 참조).

그림 2. 면심입방격자의 절단 (절단 방향은 굵은 점선으로 표시됨)



A B C

그림 3. 얻어지는 표면 원자 (진하게 표시된 원자들) 배치의 확대도



A B C

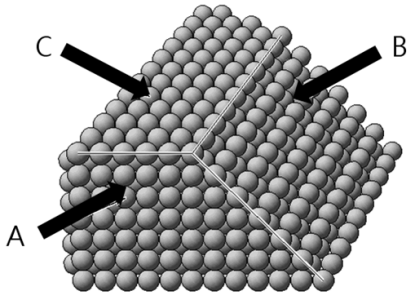


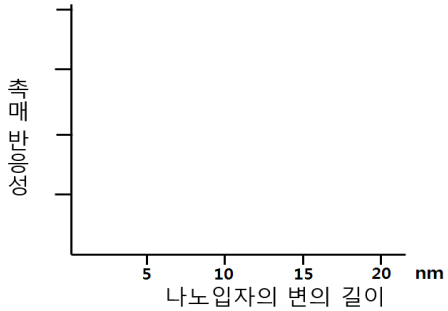
그림 4. 나노입자의 다양한 면

(라)

산(acid)에 의해 촉진되는 금속의 부식반응(corrosion)은 전형적인 산화-환원 반응이다. 이러한 부식 반응은 금속 내부보다 금속의 표면에서 먼저 일어나게 된다.

논제 3 (선택)

(a) 나노촉매의 반응성은 화학반응의 생성물의 양에 비례한다. 한 변의 길이가 1 cm인 정육면체 형태를 가지는 세 개의 백금 덩어리를 잘게 쪼개어 각각 한 변의 길이가 5 nm, 10 nm, 20 nm로 균일한 크기의 정육면체 나노입자들로 이루어진 세 종류의 나노촉매 가루를 만들었다. 이들 나노촉매의 반응성과 나노촉매 입자 크기와의 상관관계를 아래의 그래프 형태로 나타내고 그 이유를 자세히 설명하시오(제시문 (가) 참조). 나노입자들은 서로 접합되어 있지 않으며 나노입자의 모든 면은 노출되어 있다고 가정하시오.



(b) 나노입자의 표면 원자의 에너지는 인접한 원자의 개수와 밀접한 관계를 가지고 있다. 일반적으로 촉매 표면원자의 에너지 상태가 불안정할수록 촉매의 반응성이 증가하는 경향성이 나타난다. 제시문 (나)에 근거하여 제시문 (다)의 A, B, C 표면구조 중 촉매반응성이 가장 높은 구조를 예측하고 이유를 설명하시오.

(c) 화학자들은 정육면체나 구형의 나노입자 이외에도 다양한 형태와 표면 원자배치를 지니는 촉매 나노입자를 형성하는 연구를 하고 있다. 화학자들이 촉매 나노입자의 반응성을 향상시키기 위하여 취할 수 있는 전략을 두 가지 이상 구체적으로 제시하고 그 이유를 자세히 설명하시오.

(d) 금(Au^{3+}) 이온 용액에 첨가된 은(Ag) 나노입자는 용액속의 금 이온과 반응을 하여 새로운 형태와 조성을 지니는 나노입자를 형성할 수 있다. 이 산화-환원 반응의 알짜 반응식을 쓰고 표준전지전위를 구하시오. 제시문 (가)와 (라)를 참조하여, 얻어지는 새로운 나노입자의 형태와 조성을 예측하고 이유를 설명하시오.

$Ag^{+}(aq) + e^{-} \rightarrow Ag(s)$ 표준환원 전위 ($E°$) = 0.80 V
$Au^{3+}(aq) + 3e^{-} \rightarrow Au(s)$ 표준환원 전위 ($E°$) = 1.42 V

논제 4 : 생물 (선택)

(가)

종 분화(speciation)는 단일 종(species)의 생명체가 둘 이상의 종으로 나뉘는 것을 말한다. 그 과정은 유전자에 돌연변이가 축적되어 생긴 유전적 차이에서 시작하여 자연선택을 통해 완결된다. 종의 개념을 체계화한 린네가 제안한 개념과 달리 현대 생물학에서의 종의 개념은 생식적으로 독립된 상태를 말한다.

하나의 종에 속하는 생명체들은 비슷한 형질과 생활형을 가지며, 자손의 생식 능력도 정상이다. 그러나 두 집단이 유성생식을 통해 더 이상 유전자를 서로 교환할 수 없는 상태가 되면 이 집단들은 생식적으로 격리되었다고 말한다. 이렇게 격리된 두 집단의 구성원은 짝짓기를 하더라도 불임성의 후손이 생기기 때문에 두 집단사이의 유전 정보의 교환은 차단된다. 종 분화를 설명하는 모델에는 여러 가지가 있으나 가장 보편적인 모델은 이소적 종 분화(allopatric speciation) 모델이다. 종 분화가 많이 일어날수록 종 다양성(diversity)을 증가시키는데 도움을 준다.

(나)

지구상의 모든 생명체의 기본 단위는 세포이다. 생물 종에 상관없이 모든 세포의 기본 구조와 기능은 거의 같다. 특히 세균(bacteria)과 원생생물(protist)은 작은 단세포 생명체라는 특성은 같지만 서로 다른 분류군에 속한다. 원생생물은 세균에 비해 더 정교한 세포 구조를 갖고 있기 때문에 진화적으로 더 고등한 형태로 볼 수 있다.

진핵 생명체에서 구획을 나누어 서로 다른 기능을 하도록 하는 것은 다양한 생명 활동을 하는데 효율적이다. 세포내에 구획을 나누는 것은 진화 과정에서 세포 소기관의 형성과 직결된다. 이 세포 소기관들은 분업화된 기능(예: 에너지의 전환, 물질의 합성과 수송 및 저장, 유전 정보의 보관)을 담당한다. 이렇듯 세포내에서 각각의 기능을 담당할 지역을 생체막으로 둘러쌓아 구획화하는 것은 진핵생명체가 가진 핵심적 기능이며 자연선택될 가능성을 높이는 효과를 가진다.

(다)

딕티오스텔리움(*Dictyostellium*)은 세균을 먹이로 하는 세균성 점균류이다(그림 1). 이 생명체는 점액 아메바형의 개체로 주로 생활한다. 먹이가 풍족한 환경 하에서 딕티오스텔리움은 독립된 세포로 살아간다. 그러나 먹이가 부족하게 되면 아메바형 여러 개가 모여서 이동체라는 덩어리를 만든다. 끈적한 벌레의 모양을 한 이동체는 기어 다닐 수 있다. 이 이동체는 다핵성 거대 세포질인 변형체성 점균류와 겉모양은 비슷하지만 각 세포가 자신의 원형질막을 가지고 각자의 개별성을 유지하는 점이 다르다. 이동체는 기어 다니다가 정지한 다음, 자실체를 만들고 포자를 형성한다. 떨어진 포자는 환경이 좋아지면 발아하여 점액 아메바형이 된다. 놀라운 사실은 딕티오스텔리움이 이동 중에 발견한 세균을 모두 먹는 것이 아니라 그 중 일부를 자실체 안에 가지고 있다가 포자를 뿌릴 때 함께 뿌린다는 것이다. 이 행동은 포자가 뿌려진 자리에 세균 군집을 파종하는 효과를 갖으며, 그 자리에 먹이로 사용할 세균이 부족한 상황을 극복하는데 도움을 준다. 하등 생명체에서 이런 '원시 농업'적 행동이 발견되는 것은 진화의 과정에서 매우 특별한 의미를 지닌다.

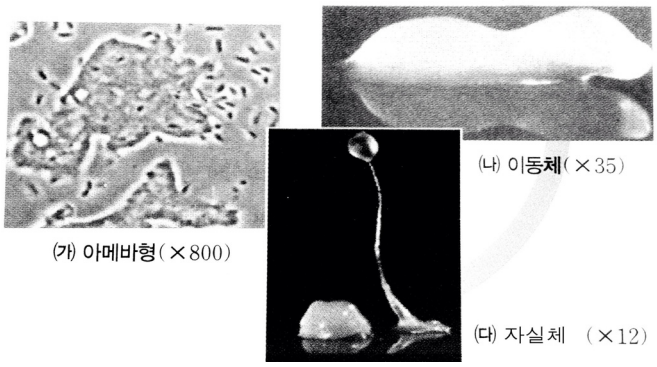


그림 1. 세포성 점균류인 딕티오스텔리움의 생활사
(생물교과서에서 발췌)

(라)

재조합 DNA는 복잡한 과정을 거쳐서 만들게 된다(그림 2). 생체 내에 미량으로 존재하는 DNA를 DNA 중합효소를 이용한 PCR 방법으로 증폭하는데, 일반적으로는 오차 없이 상보적 DNA 절편을 복제하기 위해 정확도가 높은 중합효소를 사용하지만 필요에 따라서는 정확도가 낮은 효소를 이용하기도 한다. 증폭된 DNA와 운반체(벡터)를 제한효소를 이용하여 특정부위를 절단한 후에 증폭된 유전자를 DNA 연결효소(리가아제)를 이용하여 플라스미드나 박테리오파지(세균을 숙주로 하는 바이러스)와 같은 운반체에 삽입한다. 구축된 재조합 DNA를 대장균과 같은 숙주에 도입하여 유전자를 복제하거나 단백질을 발현시키는데 사용한다. 이때 재조합된 단일 DNA 조각의 증폭군을 DNA 클론이라고 하며, 다수의 클론의 집합을 라이브러리라고 한다. DNA 라이브러리는 생명체가 보이는 다양성의 한 형태로 항체를 만드는 인체 DNA도 이러한 특징을 갖는다.

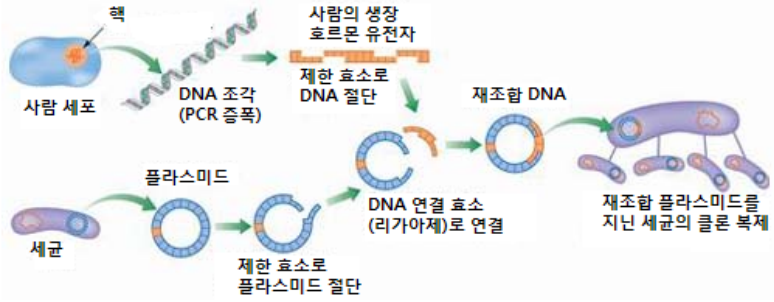


그림 2. 재조합 DNA를 만드는 과정 (생물교과서에서 발췌)

(마)

생명과학자들은 생명체의 다양성을 이용하여 유용한 생명공학 기법을 개발하기도 한다. 일부 박테리오파지는 표면에 단백질을 발현하는데, 인간이 그 단백질의 특정부위에 의도적으로 다양성(diversity)을 도입할 수가 있다. 즉 다양한 DNA 절편 라이브러리를 그 발현될 파지 유전자의 중간에 재조합 DNA 기법을 이용하여 삽입한다. 이 파지바이러스들을 세균에 감염시키면 표면에 수많은 돌연변이 단백질들이 붙어있는 파지들이 만들어진다. 이후 인간이 원하는 표적단백질과 선택적으로 결합하는 성질을 가지는 표면단백질을 소유한 파지를 선별해 내는 과정을 여러 번 거치게 된다. 최종적으로 선별된 파지들에 들어있는 DNA 절편들의 염기서열을 분석하면 궁극적으로 표적단백질과 선택적으로 결합하는 펩티드의 정보를 얻을 수 있다. 이러한 기법을 파지 디스플레이(phage display)라고 한다.

논제 4 (선택)

(a) 제시문 (가)와 제시문 (나)를 읽고 개체 수준과 세포 수준에서 진화의 원동력이 지닌 유사점에 대해서 설명하시오.

(b) 제시문 (다)의 딕티오스텔리움이 보이는 재조직화 현상은 린네의 종 분류 체계 대신 현대 분류 체계를 적용하게 된 사례이다. 어떤 측면에서 린네의 분류 체계와 부합하지 않는지 설명하시오.

(c) 제시문 (나)와 제시문 (다)를 읽고 딕티오스텔리움이 조직화를 통해 보이는 전략적 제휴가 진화생물학에서 어떤 의문을 던지는지 기술하고, 이 '원시 농업'적 행동과 유사한 사례를 이용하여 진화과정에서의 이익에 대해서 설명하시오.

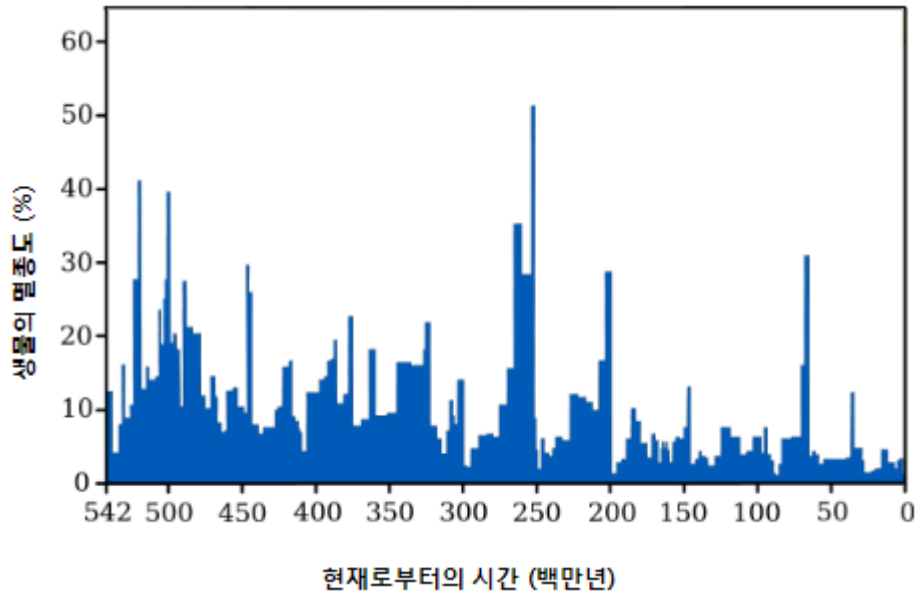
(d) 인간이 시험관내에서 원하는 유전자 산물을 의도적으로 얻어내는 방법을 방향적 진화(directed evolution)이라고 한다. 제시문 (라)와 제시문 (마)를 근거로 방향적 진화 실험방법을 디자인해 보고, 방향적 진화가 생명체의 진화에 비해 갖는 이점에 대해서 설명하시오.

(e) 인체 면역체계의 항원-항체 반응도 생명활동을 유지하기 위한 다양성 및 선택성의 사례라고 할 수 있다. 제시문 (마)의 파지 디스플레이의 기법과 항원-항체 반응간의 유사점에 대해서 설명하시오.

논제 5 : 지구과학 (선택)

(가)

생물의 대규모 멸종사건에 의한 종다양성의 급격한 감소가 지구 역사상 여러 번 일어났다. 그림 1은 지질시대 별 생물(속 단위)의 멸종도(%)를 나타낸다. 이러한 멸종사건은 지층에 남아있는 여러 기록을 종합함으로써 알아낸다.



(나)

약 2억5천2백만 년 전인 고생대 페름기와 중생대 트라이아스기 경계 시기에서 일어난 대규모 멸종은 지구 역사상 최대의 규모였는데, 이를 "End-Permian Mass Extinction(EPME)"이라 부른다. 이때, 해양 동물종의 약 80-96%와 육지 무척추 동물종의 약 70%가 갑자기 멸종하였다.

(다)

최근 지구과학자들은 EPME의 원인과 결과 및 멸종 사건 이후의 지구생태계 회복과정을 밝히기 위하여 고생대~중생대 초에 생성된 퇴적암에 대한 광범위한 연구를 진행하였다. 중국 남부 메이샨 지역에서의 자세한 연구결과가 최근에 발표되었는데, 주요 연구결과는 그림 2와 같다.

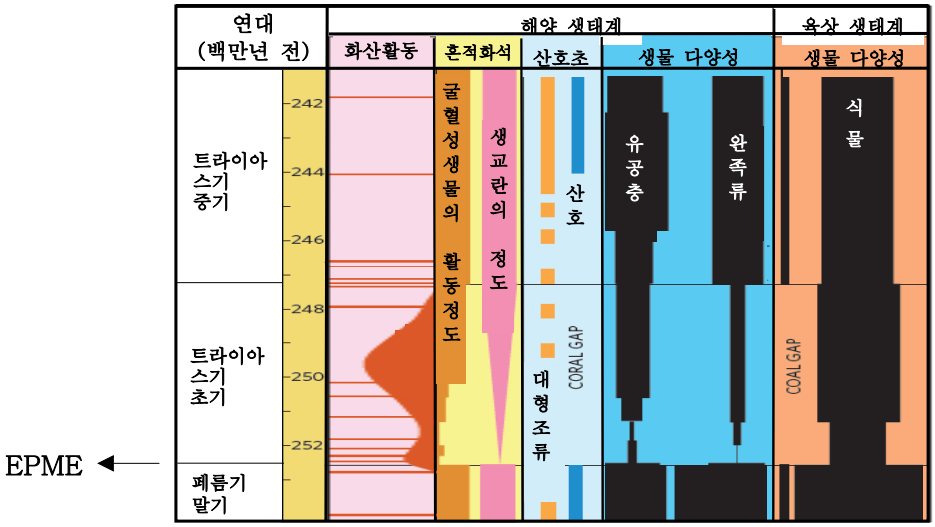


그림 2. 페름기 말기부터 트라이아스 중기 사이의 지구환경과 생태계 변화. 막대의 폭은 상대적 크기를 나타냄 (출처: Nature Geoscience 2012)

논제 5 (선택)

(a) EPME를 야기한 중요한 원인은 초대륙 판게아에서의 대규모 화산활동, 특히 시베리아에서의 맨틀의 용융에서 기인한 대규모 현무암질 화산활동(mega plume)으로 해석된다. 시베리아 화산활동은 대량의 화산가스를 배출하고 인접한 석탄층에 열변성을 야기하여 대기 조성을 급격히 변화시킴으로써, 결국은 수권의 변화를 촉발한 것으로 보인다. 대기와 수권 환경에 어떤 변화가 일어났을지 원인과 결과에 대하여 논리적으로 설명하시오.

(b) 그림 2에서 보면, EPME 사건 시 종다양성의 급격한 감소가 뚜렷하다. 특히, 해양환경에서는 해저에서 굴을 파고 사는(굴혈성) 생물들의 흔적화석이 갑자기 줄어들며, 석회질 조류, 산호, 유공충 등의 멸종이 뚜렷하다. 이러한 현상의 이유를 해양 환경의 변화와 관련하여 논리적으로 설명하시오.

(c) 또한, 그림 2는 EPME 사건 이후에 육지 식물종의 다양성도 급격히 감소하였고, 특히 이 때 형성된 석탄층이 없음(coal gap)을 보여준다. 이러한 육지 식물상의 변화가 일어난 이유를 논리적으로 추론하시오.

(d) 대규모 멸종사건에서 운이 좋게도 살아남은 일부 생물들은 초기에는 종다양성과 개체수가 급격히 감소하였지만 시간이 지나면서 점차 회복되어 중생대 초기의 우점종이 되었다. 이러한 해양 무척추동물의 예를 하나 드시오.

(e) EPME 사건은 오늘날 전지구적으로 발생하고 있는 지구온난화가 초래할 지구생태계 변화에 대해 많은 시사점을 주고 있다. EPME 사건과 지구온난화 간의 유사점과 차이점, 그리고 시사점을 설명하시오.