



자연계열

01 논술문제

■ 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

(가) 방사성 원소는 α 붕괴 또는 β 붕괴라는 과정을 통해 다른 안정한 원소로 변하므로, 처음 원소의 양은 시간이 경과함에 따라 감소하게 된다. 방사성 원소가 붕괴를 시작하여 처음 양의 절반이 되기까지 걸리는 시간을 그 원소의 반감기라고 한다. 모든 방사성 원소는 고유의 반감기를 가지고 있다. 어떤 방사성 원소의 반감기는 수백만 분의 일초밖에 안되지만 어떤 원소는 수억 년이 넘는 것도 있다. 방사성 원소의 반감기는 원소의 양에 관계없이 원소의 종류에 따라 일정하다. 또한 반감기는 방사성 원소를 다른 원소와 결합시켜 화합물을 만들더라도 변하지 않는다. 방사성 원소의 처음 개수를 N_0 , 반감기를 T 라고 할 때, 시간 t 만큼 경과한 후에 남아 있는 방사성 원소의 개수 N 과 붕괴를 통해 생성된 원소의 개수 P 는 아래의 식(1), (2)로 계산된다.

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} \quad (1)$$

$$P = N_0 - N \quad (2)$$

대표적인 방사성 물질인 우라늄은 원소기호 U, 원자번호 92인 은회색의 금속 원소이다. 우라늄 가운데 자연에 가장 많이 존재하는 우라늄은 원자량이 238인 ^{238}U 이며 전체 우라늄의 약 99%를 차지한다. 그 다음이 원자력 발전소의 원료와 핵폭탄 제조에 많이 쓰이는 ^{235}U 이며 전체 우라늄의 약 0.7%를 차지한다. 방사성 붕괴 과정을 거쳐 우라늄은 납(Pb)으로 변하는데, ^{238}U 은 원자량이 206인 ^{206}Pb 으로 변하고 그 반감기는 약 45억년이다. ^{235}U 는 ^{207}Pb 로 변하는데, 그 반감기는 약 7억년이다.

(나) 방사성 원소가 시간이 지남에 따라 일정한 비율로 다른 안정한 원소로 붕괴되는 현상을 이용해서 연대를 측정하는 것을 '동위 원소 연대 측정법'이라고 한다. 방사성 원소의 붕괴는 주위의 압력이나 온도에 관계없이 매우 규칙적으로 일어나기 때문에, 방사성 원소의 반감기를 알면 남아있는 방사성 원소의 양과 붕괴로 인해 생성된 원소의 양의 비율을 이용하여 연대를 측정할 수 있다. 그 예로서, 우라늄의 방사성 붕괴를 이용하여 연대를 측정하는 방법을 '우라늄-납 연대 측정법'이라고 한다. 우라늄을 함유하고 있는 다양한 광석 중에서 우라늄-납 연대 측정법의 시료로 사용되는 것은 주로 지르코늄 광석인데, 다른 암석과 달리 지르코늄 광석은 자연 상태에서 그 내부에 납을 거의 함유하지 않는다는 특징이 있다.

(다) 생물 집단에서 일어나는 유전과 진화 현상을 응용하여 주어진 조건을 만족하는 최적의 해를 찾아내는 방법을 유전 알고리즘이라고 하며, 다양한 분야의 문제 해결에 적용되고 있다. 예를 들어, 조건을 만족하는 최적의 유전자 조합을 찾아야 하는 다음의 상황을 생각해 보자.

어느 생물 집단에서 형질 발현에 관여하는 유전자가 여섯 개이고, 각 유전자가 발현되는 경우를 1, 발현되지 않는 경우를 0으로 표시한다. 즉, 이 생물 집단에 속한 어느 개체의 유전자 조합이 [010100]이면 2번, 4번 유전자만 발현된 경우를 의미한다. 각 유전자는 아래 표와 같은 생체 균형 지수를 가지고 있는데, 발현된 유전자의 생체 균형 지수의 합이 100인 개체가 이 생물 집단에서 가장 건강하고, 100에서 멀어질수록 허약해진다. 또한 발현된 유전자의 수가 많을수록 수명이 길어진다.

유전자 번호	1	2	3	4	5	6
생체 균형 지수	30	15	40	10	30	5

각 개체의 유전자 조합에 따라 다음과 같이 점수가 계산된다.

- 별점 = 발현된 유전자의 생체 균형 지수의 합과 100의 차이
- 가산점 = 발현된 유전자의 수 × 3
- 총점 = 가산점 - 별점

이 경우, 총점이 최대가 되는 유전자 조합을 얻기 위해 다음과 같은 알고리즘을 사용할 수 있다. 아래의 표와 같이 임의의 유전자 조합을 작성하여 부모 개체 A, B로 삼는다. 부모인 A와 B를 이용하여 자손 세 개체를 만들되, 첫째와 둘째는 아래의 표와 같은 방법으로 부모의 유전자를 각각 절반씩 물려받고, 셋째는 부모 중 총점이 높은 개체의 유전자를 그대로 물려받는다. 동일 세대 자손들 중 총점이 가장 높은 두 개체가 다시 부모가 되어 자손을 생성하며, 아래의 표에서는 1세대 자손 중 총점이 높은 둘째와 셋째가 다시 새로운 부모가 되어 2세대 자손을 생성한다.

	유전자 번호						생체 균형 지수의 합	별점	발현된 유전자의 수	가산점	총점
	1	2	3	4	5	6					
A	1	0	1	0	1	1	105	5	4	12	+7
B	0	1	1	1	0	0	65	35	3	9	-26
1세대 자손											
첫째	1	0	1	1	0	0	80	20	3	9	-11
둘째	0	1	1	0	1	1	90	10	4	12	+2
셋째	1	0	1	0	1	1	105	5	4	12	+7

(다) 생물체를 구성하는 모든 세포는 핵을 가지고 있으며, 핵에는 생명활동에 필요한 정보를 가진 염색체가 들어있다. 전자현미경으로 염색체의 구조를 살펴보면 실모양의 구조물이 마치 실타래처럼 복잡하게 얽혀있다. 염색체는 DNA와 단백질로 이루어져 있으며 DNA가 바로 유전자의 본체이다. 사람은 부모에게서 각각 23개의 염색체를 물려받아 모두 23쌍의 염색체를 가지게 된다. 유전병은 정상적인 유전자에 돌연변이가 발생함으로써 일어나는 질병이다.

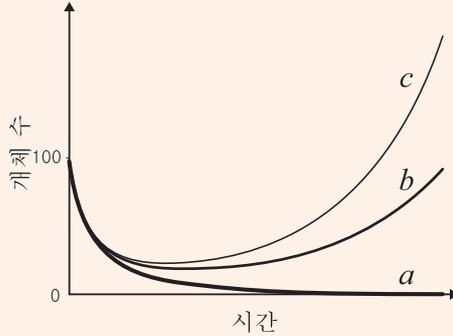
생명체의 발생단계에서 나타나는 유전자 돌연변이는 치명적이다. 외부요인에 의해 DNA가 변환되거나 절단되면 돌연변이가 발생하는데, 정상적이었던 사람의 경우에도 방사성 물질에 과다하게 노출되면 유전자에 돌연변이가 일어나 정상적인 단백질을 만들지 못하게 되며, 이로 인해 비정상적인 단백질을 갖게 된 세포들은 암세포로 변하기도 한다. 때로는 돌연변이가 생존에 도움을 주는 경우도 있다. 어떤 종류의 살모넬라균은 생장에 필요한 히스티딘을 합성하지 못하므로 외부에서 히스티딘을 공급해 주지 않으면 살지 못한다. 그러나 방사성 물질에 노출되어 돌연변이가 발생하면, 이 살모넬라균은 히스티딘을 만들어 낼 수 있는 능력이 생겨 독자적인 생존이 가능해진다. 또한, 방사성 물질에 많이 노출될수록 유전자에 돌연변이가 발생할 확률이 높아진다.

[문제 1]

물질 A가 있어야만 살 수 있는 단세포 미생물이 있다. 아래 그림은 이 미생물을 배양액 a, b, c에서 배양하면서 시간

에 따른 개체 수의 변화를 나타낸 그래프이다. 단, 배양액 a , b , c 는 다음과 같은 조건을 만족한다.

- 모든 배양액의 부피는 동일하며, 물질 A가 포함되어 있지 않다.
- 배양액에는 방사성 원소인 R의 산화물인 RO_2 또는 R_2O_3 가 포함될 수 있으나, 동시에 포함되어 있지는 않다.



위 그래프와 제시문 (가), (라)에 근거하여 배양액 a , b , c 각각의 배양 조건을 추론하시오. [20점]

[문제 2]

우라늄-납 연대 측정법을 이용하여 연대를 측정할 때 지르코늄 광석이 아닌 다른 광석을 시료로 사용할 경우 발생하게 될 문제점을 제시문 (가), (나)에 근거하여 논리적으로 설명하시오. [15점]

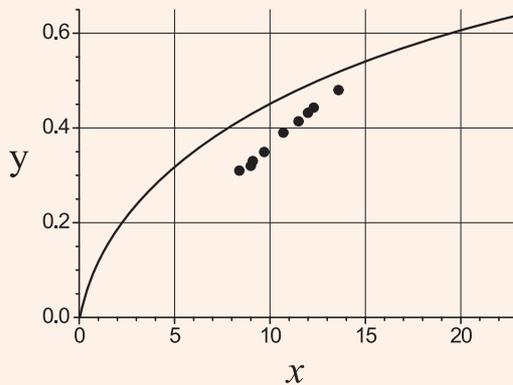
[문제 3]

우라늄을 포함하고 있는 지르코늄 광석은 우라늄에서 나오는 방사능으로 인해 그 내부의 구조가 손상되고, 방사성 붕괴로 생성된 납이 내부의 다른 지점으로 이동하거나 아예 광석에서 소실되기도 한다. 이로 인해 우라늄-납 연대 측정 결과에 오차가 발생하는데, 혼합되어 존재하는 ^{238}U 과 ^{235}U 를 구분하여 측정하는 방법을 사용하면 이 오차를 보정할 수 있다. 다음은 이 측정법을 사용한 예이다.

아프리카에서 발견된 지르코늄 광석 덩어리의 여러 부분에서 시료를 채취한 후, 각 시료에서 다음과 같이 정의된 x , y 를 측정하였다.

$$x = \frac{^{207}\text{Pb 원소의 개수}}{^{235}\text{U 원소의 개수}}, \quad y = \frac{^{206}\text{Pb 원소의 개수}}{^{238}\text{U 원소의 개수}}$$

측정된 결과를 x y 좌표 위의 점으로 표시하였더니 아래 그림과 같이 나타났다. 함께 그려진 곡선은 납의 손실이 전혀 없다고 가정할 경우의 이상적인 그래프이다.



위의 결과와 제시문 (가), (나)에 근거하여, 시료로 사용된 지르코늄 광석의 생성 연대를 추정하고 그 과정을 논리적으로 설명하시오. [25점]

[문제 4]

적재정량이 100kg인 화물차를 이용하여 다음과 같은 여섯 개의 물품을 옮기려고 한다. 100kg보다 무겁거나 가벼우면 벌점(= 무게차이×1점)을 받고, 많은 물품을 싣고 갈수록 가산점(= 물품 수×10점)을 받는다.

물품 번호	1	2	3	4	5	6
무게(kg)	30	20	50	10	40	8

제시문 (다)에서 설명한 알고리즘을 사용하여 최적의 물품 조합을 찾기 위해, 싣고 갈 물품의 조합을 유전자 조합의 방식으로 표현하기로 하자. 예를 들어, [110000]은 물품 1과 물품 2만 싣고 가는 경우를 나타낸다. 부모의 유전자에 해당하는 물품의 조합을 [001101]과 [111100]이라고 할 때, 3세대에서 얻어지는 최적의 물품 조합을 추론하시오. [20점]

[문제 5]

제시문 (다)의 알고리즘에서, 셋째와 유전자의 조합이 동일하나 2번 유전자에만 돌연변이가 발생하여 0은 1로, 1은 0으로 바뀌는 넷째가 매 세대마다 추가적으로 생성된다고 가정하자. 이러한 방식으로 [문제 4]를 다시 수행하였을 때, 3세대에서 얻어지는 최적의 물품 조합을 추론하고, 이 결과를 통해 알 수 있는 돌연변이의 역할을 제시문 (라)에 근거하여 논리적으로 설명하시오. [20점]

02 평가목표 및 출제의도

[문제 1]

생명유지에 필수적인 생체구성 요소를 돌연변이에 의해 만들어낼 수 있는 미생물을 이용해 방사성 물질에 의한 돌연변이가 미생물의 성장에 어떻게 영향을 미치는지를 추정하는 문제이다. 문제해결을 위해서는 제시된 그래프를 이해하는 능력과 주어진 두 개의 제시문을 통해 방사성 물질과 방사성 물질에 의해 유발되는 돌연변이의 특성을 종합하는 능력이 필요하다. 또한, 성장환경을 추정하기 위해서는 제시문과 문제 지문에서 수집된 정보들을 통합하고 분석하는 과학적 사고력이 필요하다. 학생들은 그래프의 성장조건을 만족하는 다양한 성장환경을 제시할 수 있기 때문에 논리적 사고력과 창의성도 평가의 대상이 된다.

[문제 2] [문제3]

이 문항들은 제시문 (가), (나)에 주어진 방사성 붕괴의 내용을 읽고 이해한 후, 실제로 방사성 원소가 유용하게 사용되고 있는 동위 원소 연대 측정에 적용하여 바른 논리적 전개를 통해 답안을 추론하는 문제이다. 제시문과 문항의 소재로 사용된 방사성 원소는 최근 발생한 일본의 지진과 이로 인한 방사능 누출 사고로 인해 학생들에게 매우 친밀한 소재이며, 본 문제는 난이도 있는 수리적 계산을 요하지 않으며, 제시문에 설명된 내용을 정확히 이해하는 것과 제시된 그래프의 의미를 정확히 파악하여 논리를 전개하는 것이 풀이의 핵심이다.

[문제4]

조합 문제에 대해서 최적의 조합을 찾는 방법을 벡터를 사용하여 표현하고, 연산하는 방법에 대한 이해를 묻는 문제이다. 제시문에 설명된 유전 알고리즘 과정을 따라가면서 벡터 표현과 연산 방법을 적용하고, 이 과정의 반복을 통하여 최적의

조합을 찾을 수 있음을 이해한다. 이는 조심성 있는 문제풀이와 정확한 수학적 논리력이 요구된다.

[문제 5]

조합의 벡터 표현법에서 새로운 연산(돌연변이)에 대해서 이해하고, 제시문에 설명된 연산 방법에 따라 새로운 조합을 만드는 이해 능력을 묻는 문제이다. 생물학적인 돌연변이와 비교하여 이 유전 알고리즘의 반복과정에서 돌연변이가 가지는 수학적 역할에 대해서 이해를 할 수 있는 논리력이 요구된다.

03 예시답안

[문제 1]

- a 배양액에서 배양된 미생물은 시간이 경과함에 따라 모두 죽었기 때문에 a 배양액에는 방사성 물질이 포함되어 있지 않았다.
- b와 c 배양액에서는 미생물들이 점차적으로 생존할 수 있었기 때문에 방사성 물질의 산화물인 RO_2 또는 R_2O_3 가 배양액에 함유되어 있었을 것이다. 그러나 배양액 b에서 보다 많은 미생물이 생존했기 때문에 배양액 b에는 RO_2 가, 배양액 c에는 R_2O_3 가 포함되어 있을 것이다.
- 방출하는 방사선의 양이 적다하더라도 RO_2 가 R_2O_3 보다 2배 이상 많이 배양액에 함유되었다면 더 많이 돌연변이를 일으킬 수 있다. 따라서 배양액 c에 RO_2 가 들어가 있어도 그 양이 (또는 농도가) R_2O_3 보다 2배 이상이라면 배양액 b에는 R_2O_3 가, 배양액 c에는 RO_2 가 포함되어 있었을 것이다.

[문제 2]

- 제시문 (가)에서 우라늄은 종류에 따라 45억년 또는 7억년의 반감기를 가지고 납으로 변한다.
- 제시문 (나)에서 언급된 바와 같이, 제시문 (가)의 식 (1)과 식 (2)을 이용하면, 초기 우라늄의 양 N_0 와 무관하게 현재 우라늄과 납의 비율을 통해 생성 연대를 추정할 수 있음을 알 수 있다. 이를 수식으로 표현한다면 다음과 같다.

$$\frac{\text{납의 양}}{\text{우라늄의 양}} = \frac{N_0(1 - 2^{-\frac{t}{T}})}{N_0 2^{-\frac{t}{T}}} = 2^{\frac{t}{T}} - 1$$

- ▶ 지르코늄 광석을 사용하면, 제시문 (나)의 설명과 같이 자연 상태에서 내부에 납을 함유하지 않으므로 지르코늄 광석의 납은 모두 우라늄의 붕괴를 통해 생성된 것으로 추정할 수 있다. 따라서 위의 식을 적용하면 정확한 연대 t 를 얻을 수 있다.
- ▶ 그러나 지르코늄 광석이 아닌 다른 광석을 사용한다면, 우라늄의 붕괴에 의한 납 뿐 아니라 본래 자연 상태의 납이 존재했을 가능성이 있으므로 측정된 납의 양을 위의 식에 대입하여 정확한 연대를 얻을 수 없으며 시료는 실제보다 더 오래된 것으로 측정될 것이다.

[문제 3]

- **만일 납의 손실이 없었다면**, 제시문 (가)에 주어진 반감기와 식 (1), 식(2)를 사용하여 문제에 제시된 x , y 를 다음과 같이 식으로 표현할 수 있다. 단, t 의 단위는 억년이며, N_1 , N_2 는 각각 ^{235}U 와 ^{238}U 의 초기 양이다.

$$x = \frac{N_1(1 - 2^{-\frac{t}{7}})}{N_1 2^{-\frac{t}{7}}} = 2^{\frac{t}{7}} - 1, \quad y = \frac{N_2(1 - 2^{-\frac{t}{45}})}{N_2 2^{-\frac{t}{45}}} = 2^{\frac{t}{45}} - 1$$

- 만일 납의 손실이 없었다면, 측정 결과는 위의 식을 이용해 그려지는 이상적인 그래프 상의 한 점으로 나타났을 것이다.
- 만일 납이 손실되었다면, x 와 y 는 그 정의에 의해 값이 각각 작아질 것이다.
- 문제에서 ^{235}U 와 ^{238}U 이 혼합되어 존재한다고 하였으므로 방사성 붕괴에 의해 만들어진 ^{207}Pb 과 ^{206}Pb 도 혼합되어 존재한다. 그러므로 납이 손실되었다면 ^{207}Pb 과 ^{206}Pb 가 손실되는 비율은 같을 것이라고 추정할 수 있다.
- 따라서 납이 손실되었다면, x 와 y 는 같은 비율로 줄어들 것이고 이상적인 그래프 상에 있던 (x, y) 점은 납이 손실된 양에 따라 원점을 향하는 직선 방향으로 이동할 것이다. --- (A)
- 측정된 점이 다양하게 분포하는 것을 보면 각각의 시료들에서 납이 손실되었고 손실된 양이 서로 다를 수 있다. --- (B)
- 위의 (A), (B)를 토대로 판단해 보면, 측정된 점을 따라 만든 직선과 이상적인 그래프가 만나는 점이 시료로 사용된 지르코늄 광석의 생성 연대를 나타냄을 추정할 수 있다.
- 그래프를 보면 점을 연결한 직선과 이상적인 그래프가 만나는 점은 대략 $x = 15$ 이다. 위에서 제시된 식을 사용하면 다음과 같이 연대를 추정할 수 있다.

$$2^{\frac{t}{7}} - 1 = 15, \quad 2^{\frac{t}{7}} = 16, \quad \frac{t}{7} = 4$$

$$\therefore t = 28 \text{ (억년)}$$

- 만일 만나는 점의 y 좌표 $y = 0.55$ 를 넣고 식을 전개할 경우 수치적인 답을 얻기가 어려우나 아래와 같이 전개할 수 있다.

$$2^{\frac{t}{45}} - 1 = 0.55, \quad 2^{\frac{t}{45}} = 1.55, \quad \frac{t}{45} = \log_2 1.55$$

$$\therefore t = 45 \log_2 1.55 \approx 28 \text{ (억년)}$$

[문제 4]

- 문제에서 부모가 A[001101]와 B[111100]가 주어졌다.
- 1세대 자손의 첫째는 B의 앞 3개 유전자와 A의 뒤 3개 유전자를 조합하여 [111101]이 되며, 둘째는 A의 앞 3개 유전자와 B의 뒤 3개 유전자를 조합하여 [001100]이 된다. 이 때 첫째와 둘째의 순서가 바뀌어도 무방하다.
- 부모 A와 B의 총점을 계산하여 이 중 총점이 높은 B의 유전자를 셋째가 그대로 물려받아 [111100]이 된다.
- 1세대 자손들의 총점을 계산하여 총점이 높은 두 개체, 여기서는 첫째[111101]와 셋째[111100]를 새로운 부모로 선택한다.
- 2세대와 3세대 자손들에 대해서 위 과정을 반복하여 아래와 같은 표를 만들 수 있다.
- 아래 표에 의하면 최적의 물품 조합은 [111101]이 된다.

유전자 번호	1	2	3	4	5	6	무게	별점	물품수	가산점	총점	선택여부
부모A	0	0	1	1	0	1	68	-32	3	30	-2	
부모B	1	1	1	1	0	0	110	-10	4	40	30	
1세대	1	1	1	1	0	1	118	-18	5	50	32	선택
	0	0	1	1	0	0	60	-40	2	20	-20	
	1	1	1	1	0	0	110	-10	4	40	30	선택
2세대	1	1	1	1	0	0	110	-10	4	40	30	
	1	1	1	1	0	1	118	-18	5	50	32	선택
	1	1	1	1	0	1	118	-18	5	50	32	선택
3세대	1	1	1	1	0	1	118	-18	5	50	32	최적
	1	1	1	1	0	1	118	-18	5	50	32	최적
	1	1	1	1	0	1	118	-18	5	50	32	최적

[문제 5]

- 문제에서 부모가 A[001101]와 B[111100]가 주어졌다.
- 1세대 자손의 첫째는 B의 앞 3개 유전자와 A의 뒤 3개 유전자를 조합하여 [111101]이 되며, 둘째는 A의 앞 3개 유전자와 B의 뒤 3개 유전자를 조합하여 [001100]이 된다. 이 때 첫째와 둘째의 순서가 바뀌어도 무방하다.
- 부모 A와 B의 총점을 계산하여 이 중 총점이 높은 B의 유전자를 셋째가 그대로 물려받아 [111100]이 된다.
- 넷째는 셋째와 유전자의 조합이 동일하나 두 번째 유전자 1이 0으로 바뀌어 [101100]이 된다. <--- 이 부분만이 문제4의 과정과 다른 부분이다.
- 1세대 자손들의 총점을 계산하여 총점이 높은 두 개체, 여기서는 첫째[111101]와 셋째[111100]를 새로운 부모로 선택한다.
- 2세대와 3세대 자손들에 대해서 위 과정을 반복하여 아래와 같은 표를 만들 수 있다.
- 아래 표에 의하면 최적의 물품 조합은 [101101]이 된다.

유전자 번호	1	2	3	4	5	6	무게	별점	물품수	가산점	총점	선택여부
부모A	0	0	1	1	0	1	68	-32	3	30	-2	
부모B	1	1	1	1	0	0	110	-10	4	40	30	
1세대	1	1	1	1	0	1	118	-18	5	50	32	선택
	0	0	1	1	0	0	60	-40	2	20	-20	
	1	1	1	1	0	0	110	-10	4	40	30	선택
	1	0	1	1	0	0	90	-10	3	30	20	
2세대	1	1	1	1	0	0	110	-10	4	40	30	
	1	1	1	1	0	1	118	-18	5	50	32	선택
	1	1	1	1	0	1	118	-18	5	50	32	
	1	0	1	1	0	1	98	-2	4	40	38	선택
3세대	1	0	1	1	0	1	98	-2	4	40	38	최적
	1	1	1	1	0	1	118	-18	5	50	32	
	1	0	1	1	0	1	98	-2	4	40	38	최적
	1	1	1	1	0	1	118	-18	5	50	32	

■ 들연변이

- 이 문제에서 찾은 최적 조합의 총점은 38로 문제4에서 찾은 최적 조합은 총점32보다 높았다. 제시문 (라)에서 설명한 바와 같이 돌연변이가 발생하면 기존에 없었던 새로운 능력이 생길 수 있는데, 이 문제에서는 유전자에 돌연변이가 발생하여 부모의 유전자 조합으로 나올 수 없는 새로운 유전자 조합을 가지는 개체가 생성되었다.
- 이 돌연변이 개체 중에는 다른 개체보다 더 높은 총점을 만들 수 있는 우수한 개체가 있었고, 이는 다음 세대에 유전되어 우수한 개체들을 더 많이 만들어 내었다.

04 채점기준

[문제 1] 20점 만점

- a 에서는 방사성 물질이 포함되지 않았다고 하면 5점
- b 에서는 RO_2 가 포함되어 있었다고 하면 5점
- c 에서는 R_2O_3 가 포함되어 있었다고 하면 5점
- c에 RO_2 가 들어가 있어도 그 양이 (또는 농도가) R_2O_3 보다 2배 이상이라면 배양액 b에는 R_2O_3 가, 배양액 c에는 RO_2 가 포함되어 있다고 서술하면 5점

[문제 2] 15점 만점

- 우라늄 연대 측정의 원리를 이해하고 식 (1), (2)를 이용하여 설명했으면 5점
- 지르코늄 광석이 자연 상태에서 납을 거의 함유하지 않는다는 점이 중요함을 지적하면 5점
- 다른 광석을 사용하면 자연 상태에서 존재하는 납으로 인해 더 오래된 것처럼 측정됨을 지적하면 5점 (오차가 생기는 것만을 지적하면 3점)

[문제 3] 25점 만점

- 납이 손실되면 실제 값에 비해, 가 각각 줄어들음을 설명했으면 5점
- 시료들에서 납이 손실되었고 납이 손실된 양(혹은 비율)이 각각 다르기 때문에 측정된 점이 다양하게 분포한다는 점을 바르게 설명했으면 5점
- 측정 결과 점들이 직선 형태로 나타난 이유가 “납이 손실될 때 ^{207}Pb 과 ^{206}Pb 가 동일한 비율로 손실되기 때문”임을 지적했으면 5점
- 점들을 연결한 직선과 이론 그래프가 만나는 지점이 실제 측정 연대에 해당하는 점임을 지적하면 5점
- 좌표 또는 좌표 계산을 통해 $t = 28$ (억 년)으로 추정했으면 5점 (20억 년~40억 년 사이 값이면 정답 인정)

그 외에 가능한 답안

- 측정점들을 평균내거나 대략적인 중간 값을 이용해서 연대를 추정하였고, 정답의 영역 안에 들어오면 5점
- 제시된 답안의 논리전개와 다르게 나름대로의 근거와 논리체계를 세워 답을 작성했다면 수준에 따라 5점 ~ 10점

문제 4] 20점 만점

- 1세대의 유전자 조합을 바르게 구했으면, 5점
- 1세대의 총점을 바르게 구했으면, 3점
- 1세대에서 부모 두 개체를 바르게 선택했으면, 2점

- 2세대의 조합과 총점을 바르게 구했으면, 3점
- 2세대에서 부모 두 개체를 바르게 선택했으면, 2점
- 3세대를 바르게 구했으면, 3점
- 최적의 조합을 바르게 제시하였으면, 2점

문제 5] 20점 만점

- 1세대의 유전자 조합과 총점을 바르게 구했으면, 5점
- 2세대의 유전자 조합과 총점을 바르게 구했으면, 2점
- 3세대의 유전자 조합과 총점을 바르게 구했으면, 2점
- 최적의 조합을 바르게 제시하였으면, 1점
- 부모 유전자의 조합으로 만들어 질 수 없는 유전자 조합을 가지는 돌연변이 발생에 대해서 언급을 하면, 5점
- 돌연변이 개체 (중 일부)가 다른 개체보다 우수하였다(총점이 높았다)는 것을 언급하면, 3점
- 우수한 돌연변이 개체의 유전자가 다음 세대에서 우세한(지배적인) 개체가 되었다는 것을 언급하면, 2점

