

25th INTERNATIONAL BIOLOGY OLYMPIAD

5 – 13 July, 2014

INDONESIA



PRACTICAL TEST 3

실험시험

ANIMAL ANATOMY, PHYSIOLOGY, AND SYSTEMATICS

동물해부학, 생리학 및 분류학

Total points: 93.5 (총점 93.5)

Duration: 90 minutes (시간: 90 분)

COUNTRY : 국가명	
STUDENT: 학생번호	

Dear Participants 학생 여러분

1. In this test, you have been given the following three tasks:
본 시험은 다음 3 가지 과제로 구성되어 있다
Part A. Acute Response of Fish Larvae to Changes in Salinity (12 points)
(염도변화에 관련된 물고기 치어의 급성반응)
Part B. Calculation of LC_{50} (19.5 points) (반치사농도 측정하기)
Part C. Classification of Prawns (62 points) (새우류의 분류)
2. Use the **Answer Sheet**, which is provided separately, to answer all the questions.
별도로 제공된 답안지에 답안을 작성하십시오.
3. The answers written in the **Question Paper** will **NOT** be evaluated. 문제지에 적힌 답안은 채점하지 않음에 유의하십시오.
4. Write your answers legibly in ink 볼펜으로 명료하게 답안을 작성하십시오.
5. Please make sure that you have received all the materials and equipment listed for each task. **If any of these items are missing, please raise your hand immediately.**
각 과제 당 목록에 제시된 재료와 장비를 모두 수령했는지 확인하십시오. 만약 목록 중 한 가지라도 누락된 것이 있다면 손을 드십시오.
6. Stop answering and put down your pen **immediately** when the bell rings.
벨이 울리면 시험을 즉각 중지하고 펜을 내려놓으십시오.
7. At the end of the test, place the **Answer Sheet** and **Question Paper** in the envelope provided. Our Assistants will collect the envelope from you. 시험이 종료되면, 답안지와 문제지를 주어진 봉투에 넣으십시오. 감독관이 봉투를 걷을 것입니다.
8. **Note:** You are provided with a magnifier glass with lamp, and a desk lamp. Make sure both lamps are working prior to the test.
주의사항: 여러분들에게는 램프가 부착된 확대경과 데스크 램프를 하나씩 제공합니다. 두 램프가 작동하는지 우선 확인하십시오.
9. You may work on these tasks in any order. Each task is independent of each other.
각 과제는 서로 독립적으로 구성되어 있다. 따라서 어떤 순서로 과제를 수행하여도 상관없습니다.
10. You may use your question paper as note to do math work
문제지의 빈 공간을 이용해 계산해도 무방합니다.

Materials and Equipment 재료와 장비

Materials 재료	Quantity	Unit
Prawns in tray (트레이에 있는 새우)	6	specimens
Equipment 장비	Quantity	Unit
Dissecting kit (해부키트)	1	Set 세트
Magnifier glass with lamp (램프부착된 확대경)	1	set
Desk lamp (데스크램프)	1	set
Pencil (연필)	1	Piece 개
Tissue paper (티슈)	1	Box 통
Tablecloth (식탁보)	1	piece
Gloves (글로브)	1	piece
Mask (마스크)	1	Sheet 장
Ruler (자)	1	Piece
Calculator (계산기)	1	Piece
Sharpener (연필깎기)	1	piece
Label (라벨)		

Part A

Acute Response of Fish Larvae to Rapid Changes in Salinity (12 points)

급격한 염도변화에 대한 물고기 치어의 급성 반응 (12 점)

Introduction 도입설명

In Indonesia, the salt concentration in brackish areas is strongly affected by the season. While heavy rain at headwaters and watersheds lower salt concentration during the rainy season, the lower water volumes during the dry season increase salt concentration.

인도네시아의 반해수지역(brackish area)의 염도(salinity)는 계절에 따라 크게 변동한다. 우기(Rainy season) 동안 상류와 중류 유역의 높은 강수량은 반해수지역 물의 염도를 낮추는 반면, 건기엔 염도가 증가하는 양상을 보인다.

Fish larvae are highly sensitive to changes in salinity of their environment, to which they can respond by osmoregulation if salinity remains within their **tolerance level**. When fish encounter salinity levels outside the tolerance level (either lower or higher), osmoregulation mechanisms fail and salt becomes toxic for these fish. The goal of this experiment is to assess how larvae of milkfish (*Chanos chanos* Lacepede) respond to rapid changes in salinity.

물고기의 치어는 주위환경의 염도변화에 매우 민감하다. 만일 염도의 변화 정도가 이들이 견뎌낼 수 있는 수준일 경우, 물고기는 삼투조절반응을 통해 염도 변화를 극복할 수 있다. 하지만 염도가 이들이 생리적으로 견뎌낼 수 있는 내성한계(tolerance level)를 벗어날 경우 (높거나, 그보다 낮거나), 삼투조절에 관여하는 기작들은 제대로 작동할 수 없으며, 염분은 물고기에게 치명적인 결과를 가져오게 된다. 본 실험의 목적은 "젓빛물고기(Milkfish, *Chanos chanos*)"가 주변 환경(물)의 급격한 염도변화에 어떻게 반응하는지를 조사하는데 있다.



Experimental procedure 실험절차

To determine the mortality of fish larvae as a result of rapid change in salinity, 10 fish larvae were each transferred from 0.4 M solution to different concentrations of salt and the number of fish that died in 5 minutes were recorded. The table below shows the results of three replicates of the experiment.

급격한 염도의 변화로 인해 야기되는 물고기 치어의 사망률을 측정하기 위해, 0.4M 소금용액으로부터 아래 표에 제시된 바와 같이 각기 다른 농도의 소금물에 물고기 치어를 10 마리씩 넣었다. 5 분 경과 후 이들의 사망한 개체 수를 기록하였다. 아래 표는 3 반복으로 수행된 실험의 결과를 보여주고 있다.

Salinity 염도	Number of dead fish larvae 사망한 물고기 수			Position of dead fish larvae in the tubes 사망한 물고기가 시험관에서 발견된 장소 (물고기 수)		
	Replicate 1	Replicate 2	Replicate 3	Surface	Middle	Bottom
	반복수 1	반복수 2	반복수 3	표면	중간부	바닥
2 M	9	10	8	26	1	0
1.6 M	7	6	9	18	3	1
1.2 M	5	5	6	12	4	0
0.8 M	2	3	2	1	5	1
0.4 M	1	2	0	0	2	1
0 M	4	3	3	0	1	9

Data Analysis 데이터 분석

Question 1.1 Plot the average mortality rate ("M") as a function of the salt concentration ("S") as a line graph in the **Answer Sheet (6 points)**

문제 1.2 염도("S"으로 표시)에 따른 평균 사망률(%,"M"으로 표시)의 변화 추이를 답안지에 선그래프(line graph) 형태로 작성하시오 (6 점).

Question 1.2 Mark on the graph the concentration that caused mortality of 50% of the fish larvae (2 points).

문제 1.2. 물고기 치어 개체군의 사망률 50%를 유발하는 염도(농도)를 그래프에 표시하시오(2 점)

Question 1.3 What is the most probable cause of death for the majority of fish that died in this experiment? (2 points)

문제 1.3 본 실험과정에서 물고기를 사망하게 한 원인으로 가장 타당한 것은?

A. Compared to the solutions, the fish are hypertonic and thus suffer from water entering their tissues.

물고기는 용액에 비해 고장성(hypertonic)이다. 따라서 조직 안으로 물이 침투한다.

B. High concentrations of salt increase the viscosity of water, and hence increase the energy demand of the fish for movement and respiration.

높은 염도는 물의 점성(viscosity)을 증가시키며, 이로 인해 물고기가 물 속에서 이동하고 호흡하는데 필요한 에너지의 양이 증가한다.

C. High concentrations of salt reduce the oxygen available to the fish.

높은 염도는 물고기가 사용할 수 있는 산소의 양을 감소시킨다.

D. The fish suffer from anoxia due to damages in the gill tissues, caused by the high difference in water potential between their bodies and the environment.

물고기의 몸과 환경 간의 수분퍼텐셜(water potential)의 차이로 인한 아가미 손상은 물고기에게 치명적인 무산소증(anoxia)을 가져온다.

Question 1.4 In this experiment, what is the most probable cause for the dead fish to float in the water with high salt concentration? (2 points)

문제 1.4 이 실험의 고농도 염도조건에서, 사망한 물고기가 수면 위로 떠오르게 된 원인으로 가장 유력한 것은 무엇인가? (2 점)

A. Their body weight is reduced because water diffuses from their tissues.

몸의 조직에서 수분이 확산되어 나가기 때문에 체중이 가벼워진다.

- B. Their body density is reduced because the tissues fluids are more dilute than the surrounding salt solution.

조직액의 농도가 주위 소금물에 비해 훨씬 낮기 때문에 몸의 밀도가 줄어든다.

- C. Gas accumulates inside their bodies as a result of decomposition.

부패로 인해 가스가 몸에 들어찼기 때문이다.

- D. They lose control over their swim bladders.

부레에 대한 통제력을 상실한다.

Part B:

Calculation of LC₅₀ (19.5 points) 반치사농도 계산 (19.5 점)

Introduction 도입

Indonesian aquaculture in brackish areas benefits from the natural inflow of fresh water from nearby rivers. Recently, these cultures have come under threat from various chemicals such as insecticides washed into the rivers. A common method to assess the toxicity of such substances is to determine the concentration at which 50% of the tested animals die. The corresponding concentration is named "lethal concentration 50%" or LC₅₀.

인도네시아의 기수지역(민물과 바닷물이 섞이는 지역, brackish area)에서 이루어지는 양식업(aquaculture)은 주변 하천으로부터 유입되는 민물에 의해 큰 영향을 받는다. 최근 기수지역의 양식 어종은 하천으로부터 흘러 들어오는 살충제 등과 같은 다양한 화학물질에 의해 위협받고 있다. 이러한 화학물질의 독성을 측정하는 가장 일반적인 방법은 실험동물(물고기)들을 독성물질에 노출시킨 후, 이들 중 절반(50%)을 죽게 만드는 치사농도를 동정하는 것인데, 이 시점의 농도를 반치사농도(lethal concentration 50%, LC₅₀)라 한다.

The table below shows the results of such an experiment to assess the toxicity of a common insecticide for fish larva. Determine the LC₅₀ of this insecticide for the fish larvae.

아래 표는 특정 살충제를 물에 투여한 후, 투여 농도에 따른 물고기 치어의 총 사망 수를 측정한 실험결과이다. 물고기 치어의 반치사농도 LC₅₀ 값을 구하시오.

No 번호	Concentration [μM] 살충제 농도	Tested Animals 총 실험동물 개체 수	Number of Dead Animals 사망 개체 수
1	10.2	50	44
2	7.7	50	42
3	6.5	50	35
4	5.1	46	24
5	4.4	50	22
6	3.8	50	16
7	3.2	50	11
8	2.6	50	6

Probit Analysis 프로빗 분석

A powerful way to estimate LC_{50} from such data is Probit (Probability Unit) analysis based on linear regression. The basic idea is to model relationship between the \log_{10} concentration of the insecticide (x) and the probit conversion value of mortality rate (y) as a linear function of the form $y = a + bx$. To ensure the relationship is approximately linear, the mortality rates are first transformed into probits, defined as the position of the value in the cumulative distribution of a standard normal. You can conduct this transformation on Finney's table (Finney, 1952) (Table 1). As an example on how to use this table consider a mortality rate of 17%, for which the corresponding probits of -0.95 is indicated in row "10" and column "7". The probit of a mortality rate of 50% is 0.00.

반치사농도(LC_{50})를 추정하기 위해 쓰이는 방법 중 가장 유력한 방법은 선형회귀에 기반한 프로빗 분석 (Probit, Probability Unit)을 수행하는 것이다. 기본적으로 프로빗 분석은

살충제농도를 지수로로그화한 수치 (\log_{10} 살충제농도)와 사망률을 프로빗 값(probit conversion value)으로 변환한 값을 각각 x 축과 y 축으로 지정하고, 이 둘 간의 직선적인 정비례 관계를 " $y=a+bx$ "의 일차 방정식으로 모형화하는 절차를 거친다. 두 변수 간의 관계를 직선형태로 나타내기 위해서는 우선 사망률(mortality rate)을 프로빗(probit units) 형태로 변환시켜야 한다. 여기서 프로빗은 표준정규분포의 누적곡선을 통해 얻어지며, 아래 제시된 "피니표 (Finney's table)"를 통해 그 값을 얻을 수 있다. 가령 예를 들자면, 사망률 17%의 프로빗 값은 -0.95 인데, Table 1 의 맨 왼쪽 열의 "10"과 맨 위쪽 줄의 "7"이 만나는 곳에 이 값이 표시되어 있다. 반치사농도에 해당되는 사망률 50%의 프로빗 값은 0.00 이다.

Table 1. Finney's table 피니표: 해당 사망률(%)을 프로빗으로 전환한 값.

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		-2.33	-2.05	-1.88	-1.75	-1.64	-1.55	-1.48	-1.41	-1.34
10	-1.28	-1.23	-1.18	-1.13	-1.08	-1.04	-0.99	-0.95	-0.92	-0.88
20	-0.84	-0.81	-0.77	-0.74	-0.71	-0.67	-0.64	-0.61	-0.58	-0.55
30	-0.52	-0.5	-0.47	-0.45	-0.41	-0.39	-0.36	-0.33	-0.31	-0.28
40	-0.25	-0.23	-0.2	-0.18	-0.15	-0.13	-0.1	-0.08	-0.05	-0.03
50	0.00	0.03	0.05	0.08	0.1	0.13	0.15	0.18	0.2	0.23
60	0.25	0.28	0.31	0.33	0.36	0.39	0.41	0.44	0.47	0.5
70	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74	0.77	0.81
80	0.84	0.88	0.92	0.95	0.99	1.04	1.08	1.13	1.18	1.23
90	1.28	1.34	1.41	1.48	1.55	1.64	1.75	1.88	2.05	2.33

Question 2.1 For data points 2, 4 and 7, transform the concentrations with \log_{10} , calculate the mortality rates and transform them to probits. Report your results in the table in the **Answer Sheet (4.5 points)**.

Note: Use a precision of two digits after the decimal point for all calculations in this task. Except for calculation of mortality rate where no decimal required for calculation result.

문제 2.1 위 관측번호 2,4,7 번에서 관측된 살충제 농도의 로그값 (\log_{10})을 구하시오. 또한 해당 농도에서의 물고기의 사망률(%)을 계산하고, 이를 프로빗 값으로 변환시킨 값을 답안지의 표 안에 쓰시오. (4.5 점)

주의사항: 사망률(정수로 표시)을 제외한 모든 값은 소수점 둘째자리까지 구하시오.

Slope **b** and intercept **a** of a linear equation can be estimated from the *n* data points using the least squares approach as:

x와 y값 사이의 회귀직선($y=a+bx$)의 기울기(b)와 절편(a) 추정값은 최소제곱법(least square method)을 이용해서 n개의 관측치로부터 계산할 수 있다.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad a = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i \right)$$

Question 2.2 Calculate x_i^2 and $x_i y_i$ for data points 2, 4 and 7 and report your results in the table in the **Answer Sheet (3 points)**.

문제 2.2 위 관측번호 2,4,7번에서 관측된 자료를 이용하여, x_i^2 , $x_i y_i$ 값을 계산하고, 이를 답안지에 기입하시오. (3점)

Question 2.3 Calculate all required sums **(4 points)**.

문제 2.3 각 측정값의 총합을 계산하시오. (4점)

Question 2.4 Use the equations provided above to estimate both slope and intercept **(4 points)**.

문제 2.4 위에 제시된 식을 이용하여 회귀직선의 기울기(b)와 절편(a)을 계산하시오. (4점)

Question 2.5 Use your estimates of the slope and intercept to estimate the LC_{50} concentration of this insecticide for the fish larvae. Report your result in μM **(4 points)**

문제 2.5 위 과정을 통해 추정된 회귀직선의 기울기와 절편을 이용하여, 살충제의 반치사농도(LC₅₀)를 추정하시오. 추정된 반치사농도는 μM 단위로 답안지에 기입하시오. (4 점)

Part C (62 points)

Classification of Prawns 새우의 분류

Introduction (도입)

Indonesia is one of the main producers of prawns with many small to large scale aquacultures along the long coastline. Due to differences in environmental conditions along the coast, different prawn species are cultured in various locations. The goal of this task is to identify specimens of Indonesia's famous prawn species and to study their phylogenetic relationships based on morphological characters. You may use the magnifying glass, dissecting kit, forceps and the needle provided.

인도네시아는 주요 새우 양식국이며, 해안선을 따라 크고 작은 새우 양식이 광범위하게 수행되고 있다. 지역 간 환경조건 차이로 인해, 각기 다른 새우종이 다양한 지역에 양식되고 있다. 본 과제의 목적은 인도네시아에서 널리 알려진 새우종의 표본을 동정하고, 형태에 근거하여 이들 종들 간의 계통학적 유연관계를 규명하는데 있다. 여러분에게 제공된 확대경, 해부키트, 핀셋, 바늘을 이용하여 본 과제를 수행하시오.

Note: Damage to the specimens will not lead to point subtraction. Some specimen may be from the same species.

주의사항: 표본을 손상하였을 경우에도 감점되지 않으며, 어떤 표본들은 동일종일 수도 있다.

Identification Key for Prawns 새우 동정키

Note: A dash “-” in b indicates the absence of the pattern described in a.

주의사항: a 항에 제시된 형태적 특성이 없는 경우, b 항에 “-”로 표시되었다

1. a. Second pereopod bigger and longer than the other pereopods 제 2 보족이 다른 보족에 비해 크고 길다. (2)
b. - (4)
2. a. Antennal scale anterior margin strongly produced forward at or near mid-line 촉각인편의 앞쪽 가장자리가 전방 혹은 중앙선쪽 근처로 돌출되어있다. *Macrobrachium rosenbergii*
b. - (3)
3. a. Thoracic sternite 4 with distinct median suture 제 4 가슴판에 명확한 중앙융합선 존재함. *Macrobrachium australiense*
b. - *Macrobrachium koomboolomba*
4. a. Rostrum with ventral teeth 주둥이의 복면 쪽에 톱날모양의 돌기 존재함. (12)
b. - (5)
5. a. Telson with fixed subapical spines 꼬리마디(telson) 끝부위 직전에 가시모양 돌기 (subapical spine) 존재 (6)
b. - (9)
6. a. Telson with 1 pair of fixed subapical spines 꼬리마디(telson) 끝부위 직전에 가시모양 돌기 1 쌍 존재 (7)
b. Telson with 3 pairs of fixed subapical spines 꼬리마디(telson) 끝부위 직전에 가시모양 돌기 3 쌍 존재 (11)
7. a. Maxilliped 3 and pereopod 2 with spine on inside of basis 제 2 보족과 제 3 턱다리의 기저부 안쪽에 가시모양의 돌기 존재. *Metapenaeopsis barbata*
b. - (8)
8. a. Carapace with longitudinal suture (seam) 두흉갑에 세로방향의 융합선 존재. (10)
b. - *Penaeopsis eduardoi*

-
9. a. Pereiopod 5 with exopod
제 5 보족에 바깥다리 존재. *Trachypenaeus curvirostris*
- b. - *Metapenaeus monoceros*
10. a. Rostrum as long as peduncle of antennule and antennal scale
주둥이(rostrum)는 촉각인편(antennal scale)과
작은더듬이(antennule)의 자루(peduncle)와 길이가
비슷함. *Parapenaeus australiensis*
- b. Rostrum shorter than peduncle of antennule and antennal scale
주둥이(rostrum)는 촉각인편(antennal scale)과
작은더듬이(antennule)의 자루(peduncle)에 비해 짧음. *Parapenaeus sextuberculatus*
11. a. Rostrum with 4-6 dorsal teeth
등쪽에 4-6 개의 치아(톱날모양의 돌기)를 가진 주둥이
존재. *Funchalia villosa*
- b. Rostrum with 10-13 dorsal teeth
등쪽에 10-13 개의 치아(톱날모양의 돌기)를 가진
주둥이 존재. *Funchalia woodwardi*
12. a. The height of the gastro-orbital carina is at least half of the
height of the carapace at the same location
등일 위치에서 위궤도용골돌기의 높이는 적어도 두흉갑
높이의 절반 정도임. (13)
- b. - *Penaeus merguensis*
13. a. Rostrum with 6-7 dorsal teeth and 3 ventral teeth
등쪽 치아(톱날모양의 돌기) 6-7 개와 배쪽
치아(톱날모양의 돌기) 3 개를 가진 주둥이가 존재함. *Penaeus monodon*
- b. Rostrum with 8-9 dorsal teeth and 2 ventral teeth
등쪽 치아 (톱날모양의 돌기) 8-9 개와 배쪽
치아(톱날모양의 돌기) 2 개를 가진 주둥이가 존재함. *Litopenaeus vannamei*

Compiling Character and Similarity Matrices 형태형질 조사 및 유사성 행렬 작성

In this task, you reconstruct the phylogenetic relationships among the six prawn specimens from morphological characters. You will first need to compile a character matrix, which is a list of the presence or absence of the morphological characters, listed below, for each specimen. Use the figure provided under Question 3.1 to identify the required morphological characters.

본 과제에서 여러분은 형태학적 특징을 근간으로 여러분에게 주어진 6 마리의 새우 표본의 계통학적 유연관계를 재구성할 계획이다. 우선 여러분은 각 해당 표본의 형태적 형질(아래목록)의 존재 유무에 따라 이들의 형질자료행렬(character matrix)을 작성해야 한다. 문제 3.1 에 제시된 그림을 이용하여 아래 제시된 형태적 형질들을 동정하시오.

Number (번호)	Description (설명)
----------------	------------------

- | | |
|---|---|
| 1 | Second pereopod bigger and longer than the other pereopods
제 2 보족이 다른 보족들에 비해 크거나 길다. |
| 2 | Distinct median tubercle on ocular peduncle
눈자루에 명확한 중앙결절이 있다. |
| 3 | Upper antennular flagellum subequal to lower one, attached to apex of third antennular segment
작은더듬이편모의 상향부와 하향부 길이가 거의 비슷하며, 제 3 작은더듬이체절에 붙어있다. |
| 4 | Antennal scale anterior margin strongly produced forward at or near mid-line
촉각인편의 앞쪽 가장자리가 앞쪽 혹은 중앙선쪽으로 많이 돌출되어 있다. |
| 5 | The height of the gastro-orbital carina is at least half of the height of the carapace at the same location
동일 위치에서 위궤도용골돌기의 높이는 두흉갑의 높이에 비해 최소 절반 정도이다. |
| 6 | Rostrum with ventral teeth
배쪽에 톱날모양의 돌기를 가지는 주둥이가 존재한다. |
| 7 | Blade of rostrum high, broadly triangular in shape
주둥이의 모양이 넓은(두터운) 삼각형 모양이다. |
| 8 | Telson with one pair of fixed subapical spines. 꼬리마디의 끝쪽에 가시모양 돌기 1 쌍 존재. |

- 9 Adrostral carina and groove extending as far as, or slightly ahead of epigastric tooth
부리부근 용골돌기와 홈이 배위쪽 용골돌기보다 살짝 앞쪽으로 확장되어 있거나 비슷하다.
- 10 In adult males, dactyle of third maxilliped half (0.5 to 0.6 times) as long as propodus
수컷 성체의 경우, 제 3 턱다리의 발가락은 전절에 비해 절반 정도(0.5-0.6 배)이다.
- 11 Pereiopod 5 without exopod and telson without fixed subapical spines
제 5 보족에 바깥다리가 없으며, 꼬리마디에의 끝자락 바로아래에는 가시돌기가 없다.
- 12 Body white yellowish, yellow reddish with black or green spots
몸에는 옅은 노란색이거나, 검거나 녹색 점들이 있는 붉은 빛이 도는 노란색이다.
- 13 Rostrum with 6-9 dorsal teeth and 2-3 ventral teeth
등쪽에는 6-9 개, 배쪽에는 2-3 개의 톱날 모양의 돌기를 가지는 주둥이
- 14 The movable finger of the chela has very short and fine spinules
집게발에서 움직이는 발가락에는 매우 짧고 가지런한 미세가시돌기가 존재한다.
- 15 Fifth pereiopod without an exopod
제 5 보족에 바깥다리가 없다.

Question 3.2 Compile the character matrix in the **Answer Sheet**. Use “1” for presence and “—” for absence (**22.5 points**).

문제 3.2 답안지의 형질자료행렬(character matrix)를 채우시오. 해당 형질이 존재하면 “1”로, 없으면 “—”로 표시하십시오 (22.5 점).

Reconstructing phylogenetic relationships using UPGMA (UPGMA 를 이용한 계통관계 재구성)

UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) is considered the simplest method for reconstructing phylogenetic trees with assumption the data provide has constant rate of evolution. In this method, the pair of clusters with the shortest distance is combined into a higher-order cluster at each iteration. To illustrate this concept, consider the number of character differences between the Taxa A, B, C and D.

형질의 진화속도가 일정하다는 전제 하에서 “**산술평균을 이용한 비가중쌍체분석법 (UPGMA, Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean)**”은 계통수를 재구성하는데 있어 가장 간단한 방법으로 알려져 있다. 거리가 가장 서로 가까운 한 쌍의 무리(cluster)는

상위단계의 무리로 통합되며, 이러한 과정은 매번 반복된다. 이와 같은 개념을 설명하기 위해서, 다음 분류군 A, B, C, D의 형질차이 수는 다음과 같다.

	A			
A	0			
B	6	0		
C	7	8	0	
D	8	9	4	0

Iteration 1: The pair of clusters with the smallest distance is the pair C and D, which is thus combined into a higher-order cluster (C,D). The **relative age** of the newly formed cluster is computed as half the distance between the two original clusters. In this case, the relative age of the cluster is 2.

반복 1: 이 중 거리가 가장 가까운 한 쌍의 무리(cluster)는 C와 D이며, 이 둘은 상위 단계의 무리로 통합된다. 이렇게 새로 생성된 무리의 '상대적 연령(relative age)'은 두 분류군 (C와 D)간의 거리를 반으로 나눈값으로 설정한다. 이 경우 새로이 생성된 무리의 상대 연령은 2이다.

Next, a new matrix of all distances is generated by computing the distance between clusters as the average distance between all taxa from one cluster to all taxa of the other cluster. The distance between Cluster A and Cluster (C,D), for instance, is computed as the average between $d(A,C)$ and $d(A,D)$, where $d(x,y)$ is a notation to indicate the distance between Clusters x and y .

다음, 새로운 거리행렬은 무리들 간의 거리를 계산함으로써 생성된다. 무리들 간의 거리는 한 무리(예: cluster C,D)에 속한 모든 분류군과 또 다른 무리에 속한 모든 분류군들 간 거리의 평균값으로 계산된다. 가령 '무리 A(cluster A)'와 '무리 C, D (cluster C, D)'의 거리는 A와 C 사이의 거리 $[d(A,C)]$ 와 A와 D 사이의 거리 $[d(A,D)]$ 의 평균값이다. 여기서 두 무리 x 와 y 간의 거리는 $d(x,y)$ 로 표시된다.

	A		
A	0		
B	6	0	
(C,D)	7.5	8.5	0

Iteration 2: The pair of clusters with the smallest distance is now the pair of A and B, which is thus combined into a higher-level cluster (A,B) with a relative age of 3.

반복 2: 현재 거리가 가장 가까운 한 쌍은 A 와 B 인 것으로 나타났으며, 따라서 이 두 분류군은 상대연령이 3 인 상위무리로 통합되었다.

Again, a new matrix is constructed by calculating all distances as indicated above. The distance $d((A,B),(C,D))$ is defined as the average between $d(A,C)$, $d(A,D)$, $d(B,C)$ and $d(B,D)$.

앞서 설명한 방식대로 모든 거리가 계산되었으며, 이를 바탕으로 새로운 거리행렬이 작성되었다. 거리 $d((A,B), (C,D))$ 는 $d(A,C)$, $d(A,D)$, $d(B,C)$, 및 $d(B,D)$ 의 평균값이다.

	(A,B)	
(A,B)	0	(C,D)
(C,D)	8	0

Iteration 3: In the last iteration, the two remaining taxa are combined into the new cluster $((A,B),(C,D))$ and the relative age of this cluster is 4.

반복 3: 마지막 반복의 경우 나머지 두 분류군은 새로운 무리 $((A,B),(C,D))$ 로 통합되었으며, 이 무리의 상대연령은 4 이다.

Question 3.3 Calculate the distance matrix based on the character matrix provided at Table 2. The distance between two specimens is defined as the number of characters at which the two specimens show different character states (one present and the other absent) **(7.5 points)**.

문제 3.3 표 2 에 명시된 형질자료행렬을 바탕으로 거리행렬을 계산하시오. 두 표본 사이의 거리는 두 표본 간 서로 다른 형질값 ("1"과 "—")을 갖는 형질들의 총 수이다.

Table 2. 표 2

Character 형질	I	II	III	IV	V	VI
1	-	-	-	1	-	-
2	-	-	-	-	1	-
3	-	-	-	1	-	-
4	-	-	1	-	-	1
5	-	-	-	1	-	-
6	1	-	1	-	1	1

7	1	-	1	-	1	1
8	1	-	1	-	-	1
9	-	1	-	-	-	-
10	-	-	1	-	-	1
11	-	1	-	-	-	-
12	1	-	-	-	1	-
13	-	-	-	1	-	-
14	-	-	-	1	-	-
15	-	1	-	-	1	-
16	1	1	1	-	1	1
17	-	1	1	1	-	1
18	1	-	1	1	1	1
19	-	1	-	-	-	-
20	1	-	-	-	1	-

Question 3.4 Resolve the phylogenetic relationships of all six specimens (I-VI), showed at table 2, iteratively using the UPGMA method and based on the distance matrix you compiled above. Make sure to report the names of the clusters using the specimen codes I through VI **(12 points)**.

문제 3.4 UPGMA 법을 반복적으로 이용하여 표 2 에 제시된 6 개 표본 (I-VI)의 계통적 유연관계를 규명하시오. 무리(cluster)의 이름을 표본번호 I, II, III, IV, V, VI 를 이용하여 나타내시오. (12 점)

Question 3.5 Draw a phylogenetic tree (dendrogram) based on the UPGMA results. Indicate the relative length of each branch by writing the correct number next to it **(5 points)**.

문제 3.5 위 UPGMA 결과를 바탕으로 계통수를 작성하시오. 각 분지(branch)의 상대길이(relative length)를 분지 옆에 숫자로 표시하시오.(5 점)