

갈겨니 (*Zacco temmincki*)의 進化에 관한 研究 Ⅳ. 遺傳的  
變異, 形態比較 및 人工交配

梁 瑞 榮·閔 婁 淑  
(仁荷大學校 生物學科)

Evolutionary Study on the Dark Chub (*Zacco temmincki*) Ⅳ. Genetic  
Variation, Morphology and Artificial Hybridization

Suh Yung Yang and Mi Sook Min  
(Department of Biology, Inha University)  
(1987. 7. 14. 접수)

---

ABSTRACT

Isozyme analysis, morphometric comparison, and artificial hybridization test were performed to elucidate the patterns of genic variation, morphological differentiation, genetic incompatibility, and a probable path in speciation between two MDH allelotypes (MM type and MS type) of the Dark Chub *Zacco temmincki*, a fresh water fish inhabiting in Korean waters.

The degree of genic variation of MS type ( $\bar{H}_b = .023$ ,  $\bar{H}_c = .021$ ) was twofold higher than that of MM type ( $\bar{H}_b = .013$ ,  $\bar{H}_c = .014$ ) but both allelotypes were far less than the average genic variation of fresh water fish in general.

The average genetic similarities among 7 populations of MM type and 6 populations of MS type were  $\bar{S} = .947$  and  $\bar{S} = .966$  respectively, whereas the value between two allelotypes was  $\bar{S} = .853$ .

Presumed divergent time of two allelotypes was estimated to be about 700 thousand years ago.

Discriminant function analysis based on 18 morphometric characters of 302 specimens representing 12 populations revealed no morphological difference between two allelotypes.

Artificial hybridization test indicates that there is an obvious genetic incompatibility between two allelotypes and therefore it is assumed that isolating mechanism is completed.

## 緒 論

種 形成機作은 여러가지 복합요인에 의한 결과로 그 機作이 種에 따라 다양하나 일반적으로 地理的 隔離 후 장기간에 걸친 自然選擇의 결과로 遺傳的 차이의 누적에 의한 隔離機作(isolating mechanism)이 형성되어 種 分化가 일어난다고 볼 수 있다(Dobzhanski, 1940, 1941; Mayr, 1963).

種 分化機作을 구명하기 위해서는 대상 種에 대한 정확한 종분류가 선행되어야 한다. 그러나 현재까지의 여러 분류군에 대한 종분류가 주로 形態形質에 의한 분류방식에 의존해 왔고 따라서 형태적으로 유사한 姉妹種(sibling species)에 대한 종분류는 난점이 되어 왔다. 근년에 이르러 形態分析과 더불어 核型分析 및 電氣泳動法에 의한 遺傳的 分析이 수행되면서 姉妹種에 대한 난제가 해결되고 있다(Johnson *et al.*, 1972; 梁 등, 1981).

한국산 1차 담수어로 잉어科(Cyprinidae)에 속하는 갈겨니(*Zacco temmincki*)는 압록강 이남의 서·남해안 및 동해로 유입되는 하천과 도서지방의 일부에 분포하며 일본과 대만 등지에도 분포하는 種이다(內田, 1939; 宮地 등, 1976; 鄭, 1977; 崔 등, 1984).

梁 등(1984)은 갈겨니가 속해 있는 피라미亞科(Danionidae)의 種間 類緣關係 및 遺傳的 變異에 관하여 보고한 바 있다. 또한 梁 등(1987)은 남한의 갈겨니 집단을 電氣泳動法으로 分析한 결과 여러 同位酵素중에서 supernatant malate dehydrogenase(S-MDH)에 2 type (MM type, MS type)이 존재하며 Mdh와 Peptidase(Pept)의 연관성에 대해 논의하였고 이들 Mdh type의 地理的 分布 및 季節的 變異에 대하여 보고한 바 있다.

이 등(1986)은 갈겨니 2 type의 核型을 分析한 결과 이들 사이에 뚜렷한 차이가 있음을 밝힌 바 있다.

본 연구의 목적은 갈겨니 MM type과 MS type의 2 allelotype간의 형태적 차이 유무를 정밀분석하고 電氣泳動法과 人工交配實驗을 통한 遺傳的 變異 및 類緣關係를 밝히므로서 2 allelotype의 種分化 關係를 구명하고자 하였다.

## 材料 및 方法

본 연구에 사용한 실험재료는 1985년 4월~1987년 6월 사이에 田(1980), 崔 등(1984), 梁 등(1987)의 보고를 기준으로 하여 投網과 誘引魚網을 사용, 전국 17개 지역에서 총 524개체를 채집하였다. 이 중 13개 지역 222개체는 電氣泳動을 통한 遺傳子 分析에, 12개 지역 302개체는 形態測定에 사용하였다. 채집지역, 채집일 및 집단의 크기는 Table 1, Fig. 1과 같다.

### 1. 遺傳子 分析

遺傳子 分析을 위한 電氣泳動에 사용한 재료는 채집 즉시 dry ice(-70°C)에 急冷凍시켜 실험실로 운반한 후 筋肉을 적출하여 4°C에서 筋肉과 증류수의 비율을 1:0.8(V/V)로 하여 glass homogenizer(Braun Co.)로 磨碎한 후 Sorvall RC-5B 遠心分離機를 이용 49,000g (20,000rpm)로 30분간 低溫遠心分離하여 상층액을 얻고 이 상층액을 電氣泳動 시료로 사용하였다.

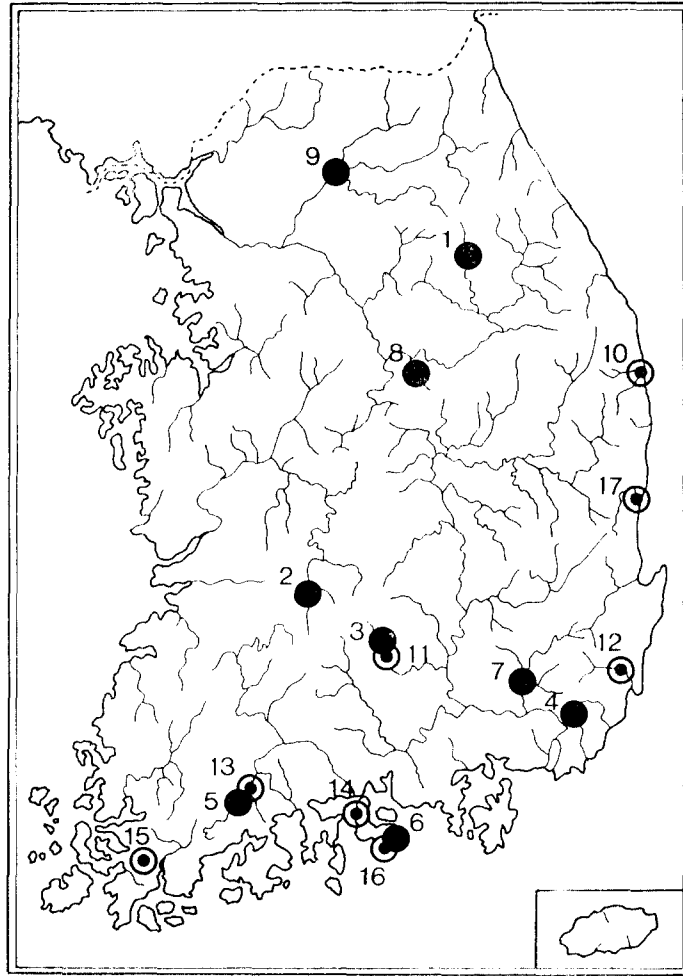


Fig. 1. Map of the sample localities.

- MS type 1: Pongpyōng, 2: Maryōng, 3: Kōchang, 4: Yangsan, 5: Naksu-ri, 6: Tongchōn-ri, 7: Miryang, 8: Chechōn, 9: Kapyōng
- ⊙ MM type 10: Ulchin, 11: Kōchang, 12: Obok-ri, 13: Songgwangsa, 14: Sōsang-ri, 15: Haenam, 16: Tongchōn-ri, 17: Yōngdōk.

電氣泳動은 Selander *et al.*, (1971) 및 梁 등(1984)의 방법에 따라 horizontal starch gel electrophoresis를 실시하였다. 이때 starch는 Sigma starch S-4501)를 사용하여 12% 농도의 gel을 사용하였다. 電氣泳動 방법 및 조건은 Table 2와 같다.

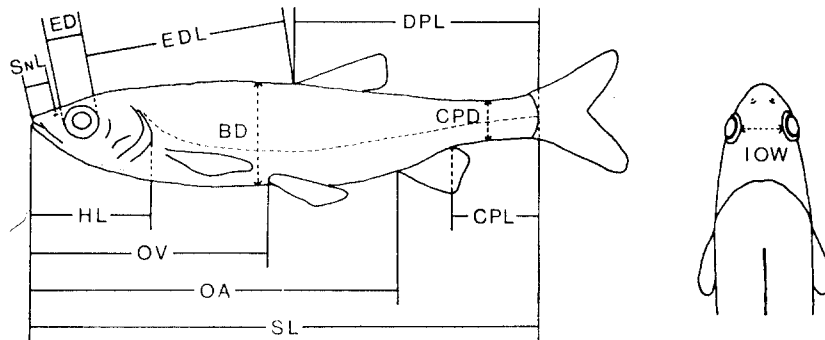
電氣泳動후 얻어진 각 酵素 및 蛋白質의 pattern을 이용하여 遺傳子 頻度(allele frequency), 平均 多型形 頻度(% polymorphism) 및 異形接合子頻度(heterozygosity)값을 구하여 각 집단 간 遺傳的 變異 정도를 조사하였고(Selander, 1976), 遺傳子 頻度を 토대로하여 遺傳的 近緣值(S)(Rogers, 1972), 遺傳的 差異值(D)(Nei, 1972)를 구하고 S값을 이용하여 dendrogram을 작성하였으며 Nei(1975)의 방법에 따라 分化年代를 推算하였다.

**Table 1.** Sample size and collection localities between two allelotypes of *Zacco temmincki*.

| Sample code | Localities                               | No. of specimens for |                      | Collection date |
|-------------|--|----------------------|----------------------|-----------------|
|             |  | Morpho-<br>metry     | Electro-<br>phoresis |                 |
| MS type     |  |                      |                      |                 |
| 1.          | Pongpyöng, Pyöngchang-gun, Kangwönd-do   | 15                   | 18                   | July 31, 1986   |
| 2.          | Maryöng, Chinan-gun, Chöllabuk-do        | 28                   | 19                   | July 29, 1986   |
| 3.          | Köchang, Köchang-gun, Kyöngsangnam-do    | 35                   | 19                   | July 30, 1986   |
| 4.          | Sangbuk, Yangsan-gun, Kyöngsangnam-do    | —                    | 20                   | July 27, 1986   |
| 5.          | Naksu-ri, Sungju-gun, Chöllanam-do       | 25                   | 15                   | July 29, 1986   |
| 6.          | Tongchön-ri, Namhae-gun, Kyöngsangnam-do | —                    | 13                   | July 28, 1986   |
| 7.          | Puk, Kapyöng-gun, Kyönggi-do             | 23                   | —                    | July 27, 1986   |
| 8.          | Songge, Chechön-shi, Chungchöngbuk-do    | 34                   | —                    | Aug. 5, 1986    |
| 9.          | Sannae, Miryang-gun, Kyöngsangnam-do     | 23                   | —                    | July 30, 1986   |
| MM type     |  |                      |                      |                 |
| 10.         | Ulchin, Ulchin-gun, Kyöngsangbuk-do      | 21                   | 20                   | Sep. 12, 1986   |
| 11.         | Ungyang, Köchang-gun, Kyöngsangnam-do    | 15                   | 19                   | July 25, 1986   |
| 12.         | Obok-ri, Ulchu-gun, Kyöngsangnam-do      | —                    | 15                   | Apr. 23, 1985   |
| 13.         | Songkwangsa, Sungju-gun, Chöllanam-do    | 29                   | 18                   | July 30, 1986   |
| 14.         | Sösang-ri, Namhae-gun, Kyöngsangnam-do   | 32                   | 20                   | Aug. 3, 1986    |
| 15.         | Samsan, Haenam-gun, Chöllanam-do         | —                    | 15                   | July 25, 1986   |
| 16.         | Tongchön-ri, Namhae-gun, Kyöngsangnam-do | —                    | 11                   | July 28, 1986   |
| 17.         | Yöngdök, Yöngdök-gun, Kyöngsangbuk-do    | 22                   | —                    | July 31, 1986   |

**Table 2.** Buffer systems and stains for electrophoresis.

| Buffer   | Isozyme   | Volt & Time |
|--|---|-------------|
| Continuous tris citrate II<br>(T.C. II), pH: 8.0 | <i><math>\alpha</math></i> Glycerophosphate dehydrogenase( <i>a Gpd</i> ) | 100V 3 hrs  |
|  | Isocitrate dehydrogenase( <i>Idh</i> )                                    |             |
|  | Lactate dehydrogenase( <i>Ldh</i> )                                       |             |
|  | Malate dehydrogenase( <i>Mdh</i> )  |             |
|  | Mannose phosphate isomerase( <i>Mpi</i> )                                 |             |
|  | Phosphoglucomutase( <i>Pgm</i> )  |             |
| Discontinuous tris citrate<br>(Poulik), pH: 8.2  | Aconitase( <i>Aco</i> )   | 200 V 3 hrs |
|  | Alcohol dehydrogenase( <i>Adh</i> )                                       |             |
|  | Indophenol oxydase( <i>Ipo</i> )  |             |
|  | Xanthine dehydrogenase( <i>Xdh</i> )                                      |             |
| Lithium hydroxide<br>(LiOH), pH: 8.1             | General protein( <i>Gp</i> )  | 300 V 3 hrs |
|  | Glutamic oxaloacetate transaminase( <i>Got-1</i> )                        |             |
|  | Peptidase( <i>Pept</i> )  |             |
|  | Phosphoglucose isomerase( <i>Pgi</i> )                                    |             |
| Tris maleic EDTA<br>(T.M.), pH: 7.4              | Esterase( <i>Est</i> )  | 100 V 4 hrs |
|  | Fumerase( <i>Fum</i> )  |             |
|  | Glutamic oxaloacetate transaminase( <i>Got-2</i> )                        |             |
|  | 6-Phosphogluconate dehydrogenase( <i>6Pgd</i> )                           |             |



**Fig. 2.** Schematic drawing showing the main parts of the body measured. Abbreviations are as follows. BD: body depth, CPD: caudal peduncle depth, CPL: caudal peduncle length, DPL: length from origin of dorsal fin to base of caudal fin, ED: eye diameter, EDL: length from origin of dorsal fin to hind part of eye, HL: head length, IOW: inter orbital width, OA: origin of anal fin length, OV: origin of ventral fin length, SL: standard length, SnL: snout length.

## 2. 形態分析

각 개체들에 대한 형태관찰은 Hubbs and Lagler(1964)의 방법을 변형하여 Fig. 2. 와 같이 魚體의 12가지 부위를 0.1mm 단위의 dial caliper를 사용, 측정하였고 anal fin ray (AF), dorsal fin ray (DF), ventral fin ray (VF)의 수를 計測하였고 側線(lateral line: LL)은 해부 현미경을 이용하여 計測하였다.

각 측정치를 이용하여 SL/HL, SL/BD, SL/CPD, SL/CPL, CPL/CPD, HL/ED, DPL/EDL, SL/OA, SL/OV, BD/CPD, CPL/HL, CPD/HL, HL/IOW, HL/SnL의 비 및 L.L. DF, AF, VF의 수 등 18가지 형질을 이용 각 집단간 형태적 차이를 조사하였고 각 形質測定值를 이용하여 discriminant function analysis(Sneath and Sokal, 1973)를 SPSS-X program을 이용 電算處理 하였다.

## 3. 人工受精

人工受精에 사용한 개체들은 경남 남해 서상리 집단(MM type), 동천리 집단(MM type, MS type) 그리고 강원도 봉평 집단(MS type)에서 채집하여 실험하였다.

채집된 개체들은 채집지역과 性別로 분리, 自然條件하에서 수정시켰고 雌·雄生殖巢의 成熟度を 높이기 위하여 human gonadotropin (I 659, Japan)을 생체의 무게 1g당 0.1 I.U.를 腹腔내 주사하였다. 受精은 生殖巢가 성숙된 암컷의 腹腔에 가벼운 압력을 가하여 成熟卵을 받은후 동일한 방법으로 수컷에서 얻은 精子를 부드러운 붓을 이용 成熟卵과 균일하게 혼합 受精시킨 후 發生시켰다.

人工受精에 사용된 개체는 번호를 붙이고 dry ice에 急冷凍시켜 실험실로 운반, Mdh type을 확인하였다.

## 結 果

### 1. 遺傳子 分析

갈겨니(*Zacco temmincki*) supernatant MDH isozyme의 MS type과 MM type 사이의 遺傳的 變異 및 近緣關係를 밝히기 위하여 MS type 6개 집단 104개체와 MM type 7개 집단 118



개체를 대상으로 電氣泳動을 실시하여 18종류의 酵素 및 蛋白質에서 총 27개의 遺傳子를 檢出하였고 각 遺傳子에 대한 遺傳子 頻度を 구하였다(Table 3).

遺傳子 頻度중 *Mdh*의 경우 최근 Yang and Min(1987)은 supernatant MDH에 遺傳子 重複(gene duplication) 현상을 보고한 바 있는데 이에 따라 *Mdh-1*, *Mdh-2*는 supernatant MDH이며 *Mdh-3*는 mitochondrial MDH이다.

27개 遺傳子중 *Aco*, *Adh*, *Est-2*, *Gp-1*, *Gp-2*, *Gp-3*, *Ipo*, *Ldh-1*, *Ldh-2*, *Mdh-1*, *Mdh-3* 및 *Xdh*의 12개 遺傳子(44%)는 2 allelotype간에 전혀 차이가 없이 monomorphic 하였고 나머지 15개 遺傳子(56%)는 집단간에 遺傳的 變異가 있었다.

變異를 나타낸 15개 遺傳子중 *Mdh-2*와 *Fum*는 2 allelotype 사이에 뚜렷한 차이가 있었다. 즉 MS type은 *Mdh-2<sup>b</sup>*, *Mdh-2<sup>c</sup>*의 因子를 갖고 있는 반면 MM type은 모두 *Mdh-2<sup>a</sup>* 因子로 monomorphic하였다. 또한 MM type은 *Fum<sup>a</sup>* 因子를, MS type은 *Fum<sup>b</sup>* 因子를 갖고 있으며 가장 집단 MS type은 *Fum<sup>b</sup>*와 *Fum<sup>c</sup>* 因子가 함께 발견되었다. *Pept-1*의 경우 같거나 MS type 전체 6개 집단이 *Pept-1<sup>b</sup>* 因子를 갖고 있고 보통 MS 집단 1개체만이 *Pept-1<sup>a</sup>* 因子를 hetero 상태로 가지고 있었다. MM type은 *Pept-1<sup>c</sup>* 因子가 7개 집단중 5개 집단에서 monomorphic 하였으나 오복리 집단은 *Pept-1<sup>b</sup>*와 *Pept-1<sup>c</sup>* 因子가 동시에 발견되었고 해남 집단은 *Pept-1<sup>b</sup>* 因子만을 共有하는 것으로 나타나 MM type 같거나와 차이를 나타내고 있었다.

나머지 遺傳子중 *Got-1*, *Pept-2*, *6Pgd-1*, *6Pgd-2*, *Pgm* 및 *Pgi-2*는 MS type에서만, *a Gpd*, *Idh*, *Pgi-1*은 MM type 집단에서만 약간의 變異를 나타내었다.

같거나 2 allelotype간의 遺傳的 變異정도를 살펴본 결과는 Table 4와 같다. 13개 집단의 각 遺傳子당 平均 對立因子數는  $\bar{A}=1.10$ 이었고 平均 多型形 頻度は  $\bar{P}=0.10$ 으로 他 魚類群

**Table 4.** Mean number of alleles per locus, % polymorphism and heterozygosity between two allelotypes among 13 populations of *Zacco temminckii*.

|                     | Number of specimen (N) | Mean No. of alleles per locus(A) | % of loci polymorphic (P) | Mean heterozygosity(H)         |                                 |
|---------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
|                     |                        |                                  |                           | Direct count (H <sub>D</sub> ) | By gene freq. (H <sub>G</sub> ) |
| MS type             |                        |                                  |                           |                                |                                 |
| 1. Pongpyöng        | 18                     | 1.1                              | 11.1                      | 0.006                          | 0.006                           |
| 2. Maryöng          | 19                     | 1.3                              | 25.9                      | 0.047                          | 0.048                           |
| 3. Köchang(MS)      | 19                     | 1.2                              | 18.5                      | 0.025                          | 0.024                           |
| 4. Yangsan          | 20                     | 1.0                              | 3.7                       | 0.011                          | 0.010                           |
| 5. Naksu-ri         | 15                     | 1.0                              | 22.2                      | 0.049                          | 0.036                           |
| 6. Tongchön-ri(MS)  | 13                     | 1.1                              | 0.0                       | 0.000                          | 0.000                           |
| MM type             |                        |                                  |                           |                                |                                 |
| 10. Ulchin          | 20                     | 1.1                              | 7.4                       | 0.013                          | 0.015                           |
| 11. Köchang(MM)     | 19                     | 1.1                              | 11.1                      | 0.019                          | 0.020                           |
| 12. Obok-ri         | 15                     | 1.1                              | 11.1                      | 0.035                          | 0.039                           |
| 13. Songgwangsa     | 18                     | 1.1                              | 11.1                      | 0.010                          | 0.010                           |
| 14. Sösang-ri       | 20                     | 1.0                              | 3.7                       | 0.011                          | 0.010                           |
| 15. Haenam          | 15                     | 1.0                              | 3.7                       | 0.002                          | 0.002                           |
| 16. Tongchön-ri(MM) | 11                     | 1.0                              | 0.0                       | 0.000                          | 0.000                           |

의 값에 비해 낮게 나타났다. 異型接合子 頻度(H)는 직접 관찰된 異型接合子 頻度( $H_D$ )와 遺傳子 頻도에 의한 異型接合子 豫測頻度( $H_G$ )(梁, 1983)를 算出하였다. 전체 조사집단중 동천리 집단(6, 16)은 2 type 모두에서 變異가 전혀 없었으며, 2 allelotype간의 平均 異型接合子 頻도는 MS type 집단의 경우  $\bar{H}_D=.023$ ,  $\bar{H}_G=.021$ 로, MM type 집단은  $\bar{H}_D=.013$ ,  $\bar{H}_G=.014$ 로서 MS type 집단이 MM type 보다 약 2배 정도 變異가 높게 나타났다.

Table 3의 遺傳子 頻도를 이용하여 Rogers(1972)의 遺傳的 近緣值(S)와 Nei(1972)의 遺傳的 差異值(D)를 구한 결과는 Table 5와 같다.

MS type 중 봉평과 동천리 집단 사이가  $S=.997$ 로서 가장 近緣關係가 가깝게 나타났고, MS type 6개 집단의 平均 近緣值는  $\bar{S}=.966$ 이었고 MM type 7개 집단의 平均 近緣值는  $\bar{S}=.947$ 로 역시 가깝게 나타났으나, MS type과 MM type간의 平均 遺傳的 近緣值는  $\bar{S}=.853$ 으로 뚜렷한 차이를 보였다.

Table 5의 값을 이용하여 dendrogram을 작성한 결과 같거나 MM type과 MS type이 2 group으로 나뉘며 2 allelotype간에 구별이 되었다(Fig. 3).

平均 遺傳的 差異值값은 2 type간에  $\bar{D}=.145$ 였으며 Nei(1975)의 공식에 따라 2 allelotype간의 種 分化年代를 推算한 결과 약 70萬年전에 分化된 것으로 추정되었다.

## 2. 形態 分析

같거나 2 allelotype 총 12개 집단 302개체를 대상으로 18개 形質을 분석한 결과는 Table 6과 같다.

18개 形質중 fin ray 수는 전 집단에서 동일하였고 나머지 形質은 집단에 따라 약간의 차

**Table 5.** Genetic relationships between two allelotypes among 13 populations of *Zacco temmincki*. Rogers' coefficients of genetic similarity(S) were given above the diagonal, and Nei's distances(D) were given below.

|                     | MS type |      |      |      |      |      | MM type |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|---------|------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|------|------|
|                     | 1       | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 10      | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   |
| MS type             |         |      |      |      |      |      |         |      |      |      |      |      |      |
| 1. Pongpyŏng        |         | .962 | .984 | .991 | .937 | .997 | .842    | .086 | .885 | .847 | .823 | .887 | .813 |
| 2. Maryŏng          | .016    | —    | .960 | .959 | .964 | .961 | .860    | .878 | .856 | .870 | .847 | .907 | .832 |
| 3. Kŏchang(MS)      | .001    | .016 | —    | .988 | .935 | .987 | .838    | .858 | .854 | .845 | .821 | .885 | .809 |
| 4. Yangsan          | .001    | .016 | .001 | —    | .933 | .994 | .838    | .856 | .851 | .843 | .819 | .885 | .809 |
| 5. Naksu-ri         | .046    | .009 | .045 | .047 | —    | .938 | .877    | .873 | .846 | .882 | .860 | .921 | .848 |
| 6. Tongchŏn-ri(MS)  | .000    | .016 | .001 | .001 | .046 | —    | .844    | .862 | .857 | .849 | .824 | .890 | .815 |
| MM type             |         |      |      |      |      |      |         |      |      |      |      |      |      |
| 10. Ulchin          | .162    | .123 | .160 | .165 | .112 | .163 | —       | .978 | .923 | .989 | .964 | .953 | .964 |
| 11. Kŏchang(MM)     | .138    | .116 | .136 | .141 | .116 | .139 | .005    | —    | .930 | .983 | .959 | .951 | .949 |
| 12. Obok-ri         | .135    | .129 | .132 | .137 | .139 | .136 | .053    | .054 | —    | .918 | .891 | .922 | .919 |
| 13. Songgwangsa     | .158    | .120 | .156 | .161 | .111 | .159 | .001    | .003 | .063 | —    | .971 | .959 | .962 |
| 14. Sŏsang-ri       | .186    | .141 | .182 | .189 | .133 | .187 | .023    | .025 | .089 | .018 | —    | .934 | .935 |
| 15. Haenam          | .116    | .078 | .112 | .117 | .069 | .115 | .039    | .041 | .061 | .038 | .060 | —    | .925 |
| 16. Tongchŏn-ri(MM) | .204    | .164 | .202 | .207 | .153 | .205 | .033    | .060 | .066 | .034 | .060 | .077 | —    |



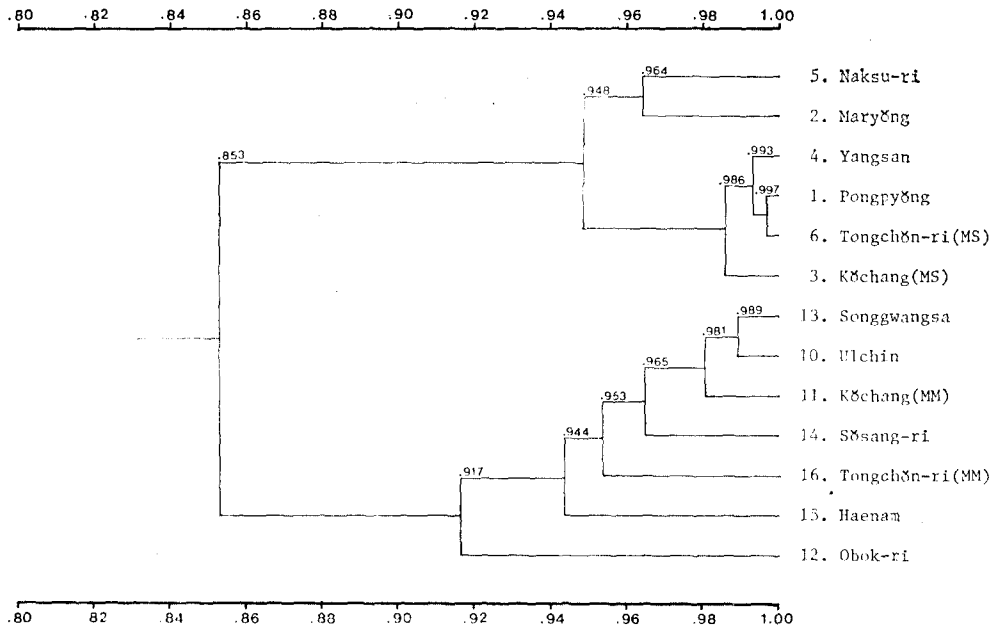


Fig. 3. Dendrogram based on Rogers' coefficients of genetic similarity(S).

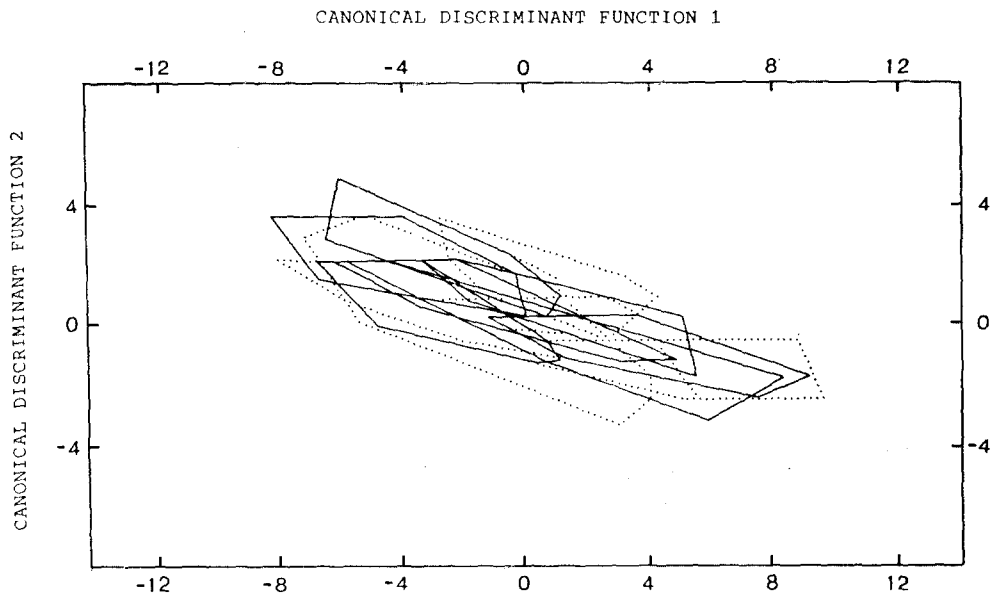


Fig. 4. Discriminant function analysis between two allelotypes among 12 populations of *Zacco temminckii*.  
 —:MS type, .....: MM type.

Table 6. Comparison of body proportions, scale and fin ray counts between two allootypes among 12 populations of *Zacco temminckii*.

| MS type         | SL/ HL       |              | SL/ BD        |              | SL/ CPD      |              | SL/ CPL      |              | CPL/ CPD        |              | HL/ EDL      |              | DPL/ OA      |              | SL/ OV       |   | SL/ BD/ CPL/ HL |    | HL/ IOW |  | HL/ SnL |  | LL | DF | AF | PF |
|-----------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---|-----------------|----|---------|--|---------|--|----|----|----|----|
|                 | SL/ HL       | SL/ BD       | SL/ CPD       | SL/ CPL      | CPL/ CPD     | CPL/ EDL     | DPL/ OA      | SL/ OV       | SL/ BD/ CPL/ HL | HL/ IOW      | HL/ SnL      | LL           | DF           | AF           | PF           |   |                 |    |         |  |         |  |    |    |    |    |
| 1. Pongpyöng    | 3.94<br>±.12 | 4.33<br>±.16 | 10.64<br>±.20 | 4.71<br>±.11 | 2.26<br>±.12 | 3.86<br>±.04 | 1.42<br>±.03 | 1.50<br>±.05 | 2.08<br>±.11    | 2.46<br>±.11 | 0.84<br>±.05 | 0.37<br>±.02 | 2.91<br>±.11 | 4.37<br>±.17 | 48.3<br>±1.3 | 8 | 11              | 15 |         |  |         |  |    |    |    |    |
| 2. Maryöng      | 3.90<br>±.06 | 4.46<br>±.18 | 11.01<br>±.35 | 4.37<br>±.14 | 2.52<br>±.11 | 3.02<br>±.19 | 1.56<br>±.12 | 1.54<br>±.02 | 2.13<br>±.03    | 2.47<br>±.09 | 0.89<br>±.03 | 0.36<br>±.01 | 3.23<br>±.21 | 4.68<br>±.22 | 51.3<br>±1.5 | 8 | 11              | 15 |         |  |         |  |    |    |    |    |
| 3. Köchang(MS)  | 3.99<br>±.08 | 4.75<br>±.24 | 10.41<br>±.33 | 4.37<br>±.12 | 2.39<br>±.11 | 3.25<br>±.23 | 1.56<br>±.05 | 1.55<br>±.03 | 2.16<br>±.04    | 2.20<br>±.09 | 0.91<br>±.03 | 0.38<br>±.01 | 3.22<br>±.22 | 4.80<br>±.10 | 50.8<br>±1.6 | 8 | 11              | 15 |         |  |         |  |    |    |    |    |
| 5. Naksu-ri     | 3.75<br>±.01 | 4.57<br>±.14 | 10.64<br>±.34 | 4.57<br>±.15 | 2.33<br>±.13 | 2.99<br>±.18 | 1.50<br>±.05 | 1.50<br>±.02 | 2.06<br>±.04    | 2.33<br>±.07 | 0.82<br>±.03 | 0.35<br>±.01 | 3.14<br>±.11 | 4.98<br>±.24 | 50.1<br>±2.2 | 8 | 11              | 15 |         |  |         |  |    |    |    |    |
| 7. Kapyöng      | 3.81<br>±.11 | 4.31<br>±.12 | 10.26<br>±.38 | 4.74<br>±.18 | 2.17<br>±.09 | 3.49<br>±.22 | 1.39<br>±.07 | 1.49<br>±.04 | 2.06<br>±.05    | 2.38<br>±.07 | 0.80<br>±.03 | 0.37<br>±.01 | 2.96<br>±.12 | 4.61<br>±.23 | 48.0<br>±1.7 | 8 | 11              | 15 |         |  |         |  |    |    |    |    |
| 8. Chechön      | 4.00<br>±.10 | 4.15<br>±.16 | 10.32<br>±.33 | 4.43<br>±.13 | 2.33<br>±.11 | 3.31<br>±.16 | 1.51<br>±.06 | 1.53<br>±.03 | 2.13<br>±.03    | 2.49<br>±.09 | 0.90<br>±.03 | 0.39<br>±.02 | 3.22<br>±.13 | 4.59<br>±.21 | 48.6<br>±1.6 | 8 | 11              | 15 |         |  |         |  |    |    |    |    |
| 9. Miryang      | 3.81<br>±.07 | 4.68<br>±.17 | 11.11<br>±.44 | 4.44<br>±.12 | 2.49<br>±.13 | 3.02<br>±.15 | 1.51<br>±.05 | 1.53<br>±.03 | 2.13<br>±.04    | 2.36<br>±.07 | 0.86<br>±.03 | 0.34<br>±.01 | 3.30<br>±.24 | 5.20<br>±.15 | 50.3<br>±1.4 | 8 | 11              | 15 |         |  |         |  |    |    |    |    |
| MM type         |              |              |               |              |              |              |              |              |                 |              |              |              |              |              |              |   |                 |    |         |  |         |  |    |    |    |    |
| 10. Ulechin     | 3.80<br>±.07 | 4.84<br>±.15 | 11.46<br>±.44 | 4.61<br>±.17 | 2.49<br>±.12 | 3.45<br>±.29 | 1.44<br>±.04 | 1.50<br>±.02 | 2.05<br>±.15    | 2.37<br>±.10 | 0.82<br>±.03 | 0.33<br>±.01 | 2.98<br>±.13 | 4.84<br>±.28 | 51.0<br>±1.6 | 8 | 11              | 15 |         |  |         |  |    |    |    |    |
| 11. Köchang(MM) | 4.02<br>±.16 | 4.01<br>±.22 | 10.24<br>±.72 | 5.05<br>±.25 | 2.03<br>±.12 | 3.58<br>±.28 | 1.51<br>±.05 | 1.54<br>±.06 | 2.09<br>±.10    | 2.56<br>±.09 | 0.80<br>±.03 | 0.40<br>±.02 | 2.93<br>±.10 | 4.43<br>±.17 | 51.2<br>±2.0 | 8 | 11              | 15 |         |  |         |  |    |    |    |    |
| 13. Songgwangsa | 3.98<br>±0.8 | 4.35<br>±.30 | 10.32<br>±.61 | 4.48<br>±.20 | 2.31<br>±.19 | 3.31<br>±.34 | 1.53<br>±.06 | 1.52<br>±.04 | 2.08<br>±.05    | 2.38<br>±.09 | 0.89<br>±.05 | 0.39<br>±.02 | 3.01<br>±.22 | 4.44<br>±.28 | 49.2<br>±1.3 | 8 | 11              | 15 |         |  |         |  |    |    |    |    |
| 14. Sösang-ri   | 3.74<br>±.13 | 3.92<br>±.36 | 9.52<br>±.51  | 4.48<br>±.20 | 2.13<br>±.12 | 3.21<br>±.25 | 1.52<br>±.10 | 1.50<br>±.03 | 2.05<br>±.05    | 2.44<br>±.13 | 0.84<br>±.03 | 0.39<br>±.02 | 2.85<br>±.13 | 4.51<br>±.12 | 50.3<br>±1.6 | 8 | 11              | 15 |         |  |         |  |    |    |    |    |
| 17. Yöngdök     | 3.98<br>±.09 | 4.25<br>±.13 | 10.22<br>±.22 | 4.57<br>±.10 | 2.24<br>±.07 | 3.62<br>±.19 | 1.46<br>±.05 | 1.49<br>±.02 | 2.10<br>±.03    | 2.41<br>±.06 | 0.87<br>±.03 | 0.39<br>±.01 | 2.90<br>±.13 | 4.92<br>±.25 | 50.4<br>±1.1 | 8 | 11              | 15 |         |  |         |  |    |    |    |    |

**Table 7.** Artificial hybridization tests of two allelotypes of *Zacco temmincki*.

| ♀          | ♂        | No. of eggs inseminated | Mortality rate  |                   |                 | Remarks   |
|------------|----------|-------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|---|
| 1. MS (a)* | × MS (a) | 300                     | 15hr<br>0(0%)   | 40hr<br>32(11%)   | 48hr<br>6(13%)  | lost during experiment                          |
| 2. MS (c)  | × MS (c) | 360                     |                 | 91(25%)           |                 | hatched after 56 hrs at 25°C                    |
| 3. MS (a)  | × MM (b) | 500                     | 7hr<br>14(3%)   | 24hr<br>64(16%)   | 48hr<br>94(34%) | 73hr<br>all(100%)                               |
| 4. MS (a)  | × MM (b) | 106                     | 15hr<br>16(15%) | 39hr<br>37(50%)   | 48hr<br>35(83%) | lost during experiment                          |
| 5. MM (b)  | × MS (a) | 400                     | 3hr<br>15(4%)   | 53hr<br>241(64%)  |                 | lost during experiment                          |
| 6. MM (b)  | × MS (a) | ?                       | 2hr<br>8        | 53hr<br>all(100%) |                 |   |
| 7. MS (a)  | × MM (b) | 193                     |                 | 412(74%)          |                 | hatched after 91 hrs and all died after 10 days |

\* a: Tongchön-ri, b: Sösang-ri, c: Pongpyöng.

이는 있었으나 有意한 차이를 찾아 볼 수 없었다.

각 形質의 比를 Sneath and Sokal(1973)의 方法으로 SPSS-X program을 이용 discriminant function analysis를 電算處理하여 function 1과 function 2의 값을 plot한 결과 MS type 7개 집단과 MM type 5개 집단 전체가 완전히 중복되어 有意한 차이를 찾아 볼 수 없었다 (Fig. 4).

### 3. 人工受精

2 allelotype간의 生殖 可能性 與否를 조사하기 위하여 人工受精을 실시한 결과는 Table 7과 같다.

동일 MS type간의 交配인 1의 경우 受精후 15시간후의 胚의 致死率은 0%로 發生이 순조롭게 진행되었으며 40시간, 48시간 경과후의 致死率은 11%, 13%로 약간씩 증가하였다. 동일 type 交配인 붕평 집단 2의 경우도 受精후 56시간 이후부터 부화하기 시작하여 75%의 부화율(hatching rate)을 나타내었다. 한편 hetero type간의 交配인 3의 경우, 受精후 7시간 경과서 3%의 致死率에서 24시간, 48시간 경과후에는 16%에서 34%로 증가하였으며 72시간 후에는 100%의 致死率을 나타내었다. 4, 5의 경우는 전 發生과정의 追적이 불가능 하였으나 受精후 시간이 경과함에 따라 致死率이 급격히 증가하고 있으며 6의 경우도 3의 경우와 같이 100%의 致死率을 나타내었다. 그러나 7의 경우는 부화율이 낮기는 하였으나 극히 일부는 부화가 되었고 부화후 10일 까지 생존 가능하였다.

## 考 察

갈겨니(*Zacco temmincki*)는 잉어科(Cyprinidae)의 1차 담수어류로서 한반도, 일본 및 중국의 여러 河川에 分布하는 종이다(內田 1939; 宮地 등, 1976; 鄭, 1977; 田, 1980). 한국산 갈겨니는 supernatant MDH에 MS heterozygote type과 MM homozygote type인 갈겨니만 발견되고 SS homozygote type은 전혀 발견되지 않고 있다. 또한 MDH가 MS type 같

겨니는 *Pept-1*에서 MM homozygote 상태로 나타나며 MM type 같겨니는 *Pept-1*이 SS homozygote로 발현이 되며 잡종 type은 전혀 나타나고 있지 않다. 같겨니 2 type의 同棲的地域에서도 2 type 만이 나타나며 잡종 type은 나타나지 않고 있다(梁 등, 1987).

이들 2 allelotype에 대한 遺傳的 分析결과(Table 3) 變異를 나타낸 遺傳子중 *Mdh-2*와 *Fum*는 2 allelotype 사이에 완전한 차이가 있었다. 2 type의 同棲的 地域인 남해 동천리 집단인 경우 *Mdh-2*, *Fum*, *Pept-1*, *Pgi-1* 등 4개 遺傳子가 2 type간에 완전히 다른 遺傳子로서 hetero type들은 전혀 발견되지 않는 것으로 보아 2 allelotype 사이에 완전한 生殖的 隔離가 형성되었다고 여겨진다.

자연 집단의 遺傳的 變異정도는 집단의 크기, 환경조건에 따른 서식처의 안정성, 여러 종류의 自然選擇의 작용, 집단의 mating pattern 등 다양한 요인에 의해 좌우된다. 전체 같겨니 집단의 平均 遺傳的 變異정도는  $\bar{A}=1.10$ ,  $\bar{P}=1.10$ ,  $\bar{H}_D=.018$ ,  $\bar{H}_G=.017$ 로서 이 값은 일반 척추동물의 遺傳的 變異보다 낮은 값이었고 他 魚類群의 平均値에 비해서도 낮은 값이었다(Avise and Selander, 1972; Avise and Smith, 1974; Selander, 1976; Buth and Burr, 1978; Patton and Yang, 1977; Nevo and Yang, 1979; Zimmerman *et al.*, 1980; Ferguson, 1980; Ayala, 1982; Sites and Greenbaum, 1982; 梁, 1983).

2 allelotype간의 平均 異型接合子 頻度를 비교해 볼 때 MS type의 경우  $\bar{H}_D=.023$ ,  $\bar{H}_G=.021$ 로서 MM type의  $\bar{H}_D=.013$ ,  $\bar{H}_G=.014$  보다 2배 정도 變異가 높게 나타났다. 이는 梁 등(1987)의 같겨니 2 type의 分布에서도 밝혀진 바와 같이 같겨니 MM type 집단은 주로 동해안의 급격하고 짧은 수계에 서식하며 MS type에 비해 上流性 山間溪谷에 分布하는 점으로 미루어 보아 수계에 따른 生態的 條件의 차이 및 棲息空間의 狹小 등에 따른 집단의 크기와 관계가 있다고 여겨지며(Soule, 1976) Galapagos finch(Yang and Patton, 1981)와 洞窟性魚類인 *Astyanax mexicanus*(Avise and Selander, 1972)의 경우와 같은 결과라 사료된다.

어류에서 遺傳的 重複(gene duplication) 현상이 PGI(phosphoglucose isomerase), MDH(malate dehydrogenase) 등에서 보고된 바 있는데(Bailey *et al.*, 1970; Whitt, 1970; Avise and Selander, 1972; Avise and Kitto, 1973) 같겨니의 supernatant MDH (*Mdh-1*, *Mdh-2*)에서도 遺傳子 重複현상을 나타내고 있어, supernatant MDH중 *Mdh-2*는 *Mdh-1*의 遺傳子 重複에 의한 결과라고 여기며 *Mdh-2<sup>a</sup>* 및 *Mdh-2<sup>b</sup>* 因子가 형성되었으리라 추측된다(Yang and Min, 1987).

같겨니 집단의 遺傳的 近緣關係는 MS type 6개 집단과 MM type 7개 집단의 平均 近緣値가 각각  $\bar{S}=.996$ ,  $\bar{S}=.947$ 로 가깝게 나타나 他 生物群의 동종내 집단간 近緣値와 유사하였다(Johnson *et al.*, 1972; Avise, 1975; 閔·梁, 1986). 그러나 같겨니 2 allelotype간의 遺傳的 近緣値는  $\bar{S}=.853$ 으로 차이를 나타내었다.

2 type 사이의 平均 遺傳的 差異値는  $\bar{D}=1.145(.078-.207)$ 로서, 이 값을 이용하여 Nei (1975)의 공식에 의하여 分化年代를 推算한 결과 약 70萬年前에 分化되었다고 推測된다.

이는 피라미亞科(Danioninae)에서 피라미(*Zacco platypus*)와 같겨니가 약 100萬年前에 分化된 후(梁 등, 1984), 같겨니 2 allelotype이 최근에 分化된 것으로 사료된다. 특히 電氣泳動像에서 같겨니 MS type이 피라미의 *Mdh*와 동일한 이동도를 갖고 있어 구별을 할 수 없는 점으로 미루어 보아 피라미에서 같겨니 MS type이 먼저 分化되고 그 후에 上流性 環境(溫度, 酸素溶存量, 水流 등)에 適應된 MM type이 2次的으로 分化된 것이라 여겨진다.

形態分析에서 18가지 形態形質의 比와 計數値를 비교 분석한 결과, 조사된 12개 집단사이에 有意한 차이가 없었고 discriminant function analysis 결과(Fig. 4) 전체 갈겨니 집단이 완전히 중복되어 形態的 差異를 보이지 않았다.

일반적으로 姉妹種사이에는 形態的으로 매우 유사하여 정밀 분석이 필요하며(Lynch *et al.*, 1977; Mayr, 1969), 따라서 이점을 고려하여 갈겨니 2 type의 경우 앞으로 보다 많은 形態形質을 이용한 정밀 분석을 요한다.

이 등(1986)은 갈겨니 2 allelotype의 核型分析에서 2 type의 染色體數는  $2n=48$ 로 같으나 染色體 造成에서는 뚜렷한 차이가 있다고 하였다.

갈겨니 2 allelotype간에 形態的 差異는 보이지 않으나 遺傳的인 差異( $\bar{S}=.853$ ,  $\bar{D}=.145$ )나 核型的 差異를 보이는 것은 무척추동물인 *Drosophila* group(Ayala *et al.*, 1970; Yang *et al.*, 1972), 양서류인 한국산 청개구리 *Hyla japonica*와 *H. suweonensis*(梁 등 1981), 도롱뇽인 *Pseudoeurycea smithi*와 *P. unguidentis*(Lynch *et al.*, 1977)의 경우와 類似하다 하겠다.

또한 갈겨니 2 allelotype간의 遺傳的 差異值( $\bar{D}=.145$ )가 중간 어류의 평균값(Siciliano *et al.*, 1973)과 姉妹種의 평균값(Nei, 1975; Ayala, 1982; Guttman and Karlin, 1986)에 비해 매우 낮은 값으로, Pleistocene 시기에 分化된 것으로 보고된 한국산 도롱뇽 *Hynobius leechii*(梁 등, 1982)와 담수어류인 *Moroco lagowskii*와 *M. oxycephalus* 2종의 分化時期(閔·梁, 1986)보다 갈겨니 2 type의 分化는 후기에 이루어진 것으로 사료된다.

Table 7의 交配 실험결과에서와 같이 homo allelotype간의 交配는 發生 도중 胚의 致死率이 낮으며 부화가 가능하였고, hetero allelotype간의 交配는 胚의 致死率이 매우 높으며 한 가지 경우에서 부화까지는 되었으나 후에 모두 사망한 것으로 나타났다. 그러나 갈겨니 MS type과 MM type이 同棲的인 자연집단 상태에서 잡종 type 개체들이 나타나지 않는 것과 isozyme이나 核型的 差異 등으로 보아 갈겨니 2type간에는 生殖的 隔離機作(isolating mechanism)이 형성된 것으로 사료된다. 본 실험 결과로는 premating isolation mechanism인가 postmating isolation mechanism인가는 확인할 수 없으며 이 점은 앞으로 구명해야 할 과제라 여긴다.

## 結 論

한국산 담수어류인 갈겨니(*Zacco temmincki*)의 supernatant MDH는 2 type(MM type, MS type)이 밝혀졌으며 이들간의 잡종 type은 존재하지 않는다. 이 2 allelotype에 대한 種 分化 여부를 구명하기 위하여 MM type 7개 집단, MS type 6개 집단을 대상으로 遺傳的 變異, 形態分析 및 人工受精 實驗을 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 2 allelotype에 따른 遺傳的 變異는 MS type이  $\bar{H}_D=.023$ ,  $\bar{H}_G=.021$ 로 MM type의  $\bar{H}_D=.013$ ,  $\bar{H}_G=.014$  보다 2배 정도 遺傳的 變異가 높았으나 2 type은 공히 平均 他 魚類의 遺傳的 變異에 비해 매우 낮았다.

2. MM type과 MS type 갈겨니의 집단내 平均 近緣值는 각각  $\bar{S}=.947$ ,  $\bar{S}=.966$ 으로 매우 가깝게 나타났으나 2 allelotype간 遺傳的 近緣值는  $\bar{S}=.853$ 으로 차이를 보이며 2 allelotype의 分化年代를 推算한 결과 약 70萬年전에 分化 되었다고 여겨진다.

3. 갈겨니 2 allelotype 12개 집단 302개체를 대상으로 18개의 外部 形態形質을 분석한 결

과 2 type 사이에 형태적 차이점을 발견하지 못하였다.

4. 2 alleletype간 人工受精에 의한 交配 및 isozyme의 차이, 核型의 차이 등으로 보아 2 type 사이에 isolating mechanism이 형성된 것으로 사료된다.

#### REFERENCES

- Avise, J.C., 1975. Systematic value of electrophoretic data. *Syst. Zool.* **23**:465-481.
- Avise, J.C. and R.K. Selander, 1972. Evolutionary genetics of cave-dwelling fishes of the genus *Astyanax*. *Evolution* **26**:1-19.
- Avise, J.C. and G.B. Kitto, 1973. Phosphoglucose isomerase gene duplication in the bony fishes: An evolutionary history. *Biochem. Genet.* **8**:113-132.
- Avise, J.C. and M.H. Smith, 1974. Biochemical genetics of sunfish. I. Geographic variation and subspecific intergradation in the bluegill, *Lepomis macrochirus*. *Evolution* **28**:42-56.
- Ayala, F.J., 1982a. The genetic structure of species. *In*: Perspectives on Evolution (R. Milkman, ed.). Sunderland, Massachusetts, Sinauer Assoc. Inc., pp.60-82.
- Ayala, F.J., 1982b. Gradualism versus punctualism in speciation: Reproductive isolation, morphology, genetics. *In*: Mechanisms of Speciation (C. Barigozzi, ed.). Alan R. Liss, Inc., New York, pp.51-66.
- Ayala, F.J., C.A. Mourao, S. Perez-Salas, R. Richmond, and T. Dobzhansky, 1970. Enzyme variability in the *Drosophila willistoni* group, I. Genetic differentiation among sibling species. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* **67**:225-232.
- Bailey, G.S., A.C. Wilson, J.E. Halver, and C.L. Johnson, 1970. Multiple forms of supernatant malate dehydrogenase in salmonid fishes. *J. Biol. Chem.* **245**:5927-5940.
- Buth, D.G. and B.M. Burr, 1978. Isozyme variability in cyprinid genus *Camptostoma*. *Copeia* **1978**:298-311.
- 崔基哲, 田祥麟, 全益秀, 1984: 韓國產 淡水魚 分布圖. 韓國淡水生物學研究所. 8.
- 鄭文基, 1977: 韓國魚圖譜. 一志社, 188-189.
- 田祥麟, 1980: 韓國產淡水魚의 分布에 關하여. 中央大學校 大學院 博士學位請求論文, 7-90.
- Johnson, W.E., R.K. Selander, M.H. Smith, and Y.J. Kim, 1972. Biochemical genetics of sibling species the cotton rat (*Sigmodon*). *Studies in Genetics VII*. Univ. Texas Publ. **7213**:297-305.
- 이혜영 · 조경우 · 양서영, 1986. 갈겨니 (*Zacco temmincki*)의 進化에 關한 研究. II. 갈겨니 2型의 核型 分析, 동물학회지 **29**:208-214.
- Lynch, J.F., S.Y. Yang, and T.J. Papenfuss, 1977. Studies of neotropical salamanders of the genus *Pseudoeurycea*, I: Systematic status of *Pseudoeurycea unguidentis*. *Herpetologica* **33**:46-52.
- Mayr, E., 1963. Animal Species and Evolution. Harvard Univ. Press' 110-135.
- Mayr, E., 1969. Principles of Systematic Zoology. McGraw-Hill, New York.
- 閔鏞淑 · 梁瑞榮, 1986. 韓國產 머들치屬(genus *Moroco*) 魚類 2種의 分類 · 分布 및 地理的 變異에 關하여, 한국동물분류학회지, **2**, 1:63-78.
- 宮地傳三郎 · 川那部浩哉 · 水野信彦, 1976. 原色日本淡水魚類圖鑑, 保育社. 135-137.
- Nei, M., 1972. Gentic distance between populations. *Amer. Nat.* **106**:283-292.
- Nei, M., 1975. Molecular Population Genetics and Evolution. North-Holland Publ. Co., Amsterdam, Netherlands.

- Nevo, E. and S.Y. Yang, 1979. Genetic diversity and climatic determinants of tree frogs in Israel. *Oecologia*(Berl) **41**:47-63.
- Patton, J.L. and S.Y. Yang, 1977. Genetic variation in *Thomomys bottae* pocket gophers: Macrogeographic patterns. *Evolution* **31**:697-720.
- Rogers, J.S., 1972. Measure of genetic similarity and genetic distance. *Studies in Genetics VII*. Univ. Texas Publ. **7213**:145-153.
- Selander, R.K., 1976. Genic variation in natural populations. *In*: Molecular Evolution (F.J. Ayala, ed.). Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, pp. 21-45.
- Selander, R.K., M.H. Smith, S.Y. Yang, W.E. Johnson, and J.B. Gentry, 1971. Biochemical polymorphism and systematics in the genus *Peromyscus*. I. Variation in the old-field mouse (*Peromyscus polionotus*). *Studies in Genetics VII*. Univ. Texas Publ. **7103**:49-90.
- Siciliano, M.J., D.A. Wright, S.L. George, and C.R. Shaw, 1973. Inter- and intra-specific genetic distances among teleosts. Proc. *17th Int. Cong. Zool.*, Monte Carlo, Monaco. 5:1-24.
- Sites, J.W., Jr. and I.F. Greenbaum, 1982. Chromosome evolution in the iguanid lizard *Sceloporus grammicus*. II. allozyme variation. *Evolution* **37**:54-65.
- Sneath, P.H.A. and R.R. Sokal, 1973. Numerical Taxonomy. W.H. Freeman and Co., San Francisco.
- Soule, M., 1976. Allozyme variation: Its determinants in space and time. *In*: Molecular Evolution (F.J. Ayala, ed.). Sunderland, Massachusetts, Sinauer Assoc. Inc., pp. 60-77.
- 內田惠太郎, 1939. 朝鮮魚類誌 第1卷 系頸類, 內頸類. 朝鮮總督府水產試驗場報告, **6**:268-350.
- 梁瑞榮, 1983. 남자루亞科 數種의 遺傳的 變異에 關하여, 全北大學校 生物學研究所 研究年報, **4**:11-19.
- Yang, S.Y., L.L. Wheeler, and I.R. Bock, 1972. IX. Isozyme variation and phylogenetic relationships in *Drosophila bipectinata* species complex. *Studies in Genetics VII*. Univ. Texas Publ. **7213**:213-227.
- Yang, S.Y. and J.L. Patton, 1981. Genic variability and differentiation in the Galapagos finches. *Auk* **98**:230-242.
- 梁瑞榮·朴炳相·孫洪鍾, 1981. 韓國產 청개구리屬(Genus *Hyla*)의 種間比較. 仁荷大學校 基礎科學研究所 論文集 **2**:75-83.
- 梁瑞榮·金英眞·孫洪鍾, 1982. 도롱뇽(*Hynobius leechii*)의 地理的 變異에 關한 研究, 仁荷大學校 基礎科學研究所 論文集 **3**:135-139.
- 梁瑞榮·田祥麟·朱日永·金載治, 1984. 피라미亞科 4種의 遺傳的 變異 및 種間類緣關係에 對하여, 仁荷大學校 基礎科學研究所 論文集, **5**:111-118.
- 梁瑞榮·閔媛淑·金英眞, 1987. 갈겨니(*Zacco temmincki*)의 進化에 關한 研究 I. 갈겨니 2型의 地理的 分布 및 季節的 變異에 關하여, 한국동물학회지(심사중)
- Yang, S.Y. and M.S. Min, 1987. Evolutionary study on the Dark Chub(*Zacco temmincki*) VI. Gene duplication of supernatant MDH. *Kor. J. Genetics* (submitted).
- Zimmerman, E.G., R.L. Merritt, and M.C. Wooten, 1980. Genetic variation and ecology of stoneroller minnows. *Biochem. Syst. Ecol.* **8**:447-453.