

## 연어(*Oncorhynchus keta*) 정자의 미세구조와 성분화

윤종만 · 오양수\* · 김계웅\*\* · 박홍양\*\*\*

군산대학교 해양과학대학 수족병리학과

### Ultrastructures of Sperm, Gonadal Sex Differentiation in Chum Salmon(*Oncorhynchus keta*)

Yoon, J. M., Y. S. Oh\*, G. W. Kim\*\* and H. Y. Park\*\*\*

Dept. of Fish Pathology, Kunsan National University, Kunsan, Korea

#### SUMMARY

This study was carried out to investigate the ultrastructural changes of spermatozoa obtained from 20 of 3-year-old male chum salmon(*Oncorhynchus keta*) collected and analysed in middle October in 1995. The ultrastructural changes of gonad of fingerlings were examined to describe the sex differentiation of this species. The results obtained in this study were as follows :

In spermatozoa, the nucleus is dense and homogeneous. Two spheroidal mitochondria(about 350nm long) are situated in parallel between the nucleus and the axoneme. Spermatozoa mitochondria are assembled into an organized sheath surrounding the outer dense fibres and axoneme of the flagellar midpiece. The sheath flagellum is situated beneath the base of the sperm head.

The primordial germ cells of 6.8~7.2 $\mu$ m in size, which were buried under fibrous mesenchymal tissue between gut duct and notochord of larva with a total length of 2.4cm at 50 days after hatching. In juvenile of 10.5cm in total length at 70 days after hatching, the gonad was occupied by bundles of oogonia.

The dense drumstick bodies(large arrows) are observed in the nuclei of the primordial gonad and surrounding tissue cells of fingerling at 70 days after hatching. The oval Barr bodies(asterisk) are observed in the nuclei of the primordial germ cells under the mitosis(2n). Note the large mitochondria, ribosomes and rough endoplasmic reticulum in the cytoplasm. Accordingly, the fingerlings at 70 days after hatching are identified as the female(xx). In result, the gonadal sex differentiation begins from the 70 days after hatching in chum salmon.

(Key words : Chum salmon, Ultrastructures, Gonadal sex differentiation, Primordial germ cells, Drumstick body, Barr body, Mitochondria, Transmission electron microscope)

\* 수산청(Office of National Fisheries Administration)

\*\* 공주대학교 축산학과(Dept. of Animal Science, Kong-Ju National University)

\*\*\* 건국대학교 생명과학연구원 동물자원연구센터(Animal Resources Research Center, Academy of Life Science, Kon-Kuk University)

세포로 성분화되는 시기를 정확히 알아내고자 한다.

## I. 서론

남획에 의한 자원 감소와 환경오염으로 수산물의 생산량은 점차 감소 추세에 있는 반면에 수산물의 수요와 이들이 차지하는 단백질원으로서 차지하는 비율은 해마다 증가하고 있다. 정부에서는 지난 1967년도부터 동해안 남대천, 오십천, 왕피천 등 12개 하천에 연어 인공부화사업을 실시하여 왔으며, 1995년도까지 연어 치어 132백만 마리를 방류하였으며 회귀율도 매년 증가 추세에 있어서 평균 회귀율은 1.2~1.5%를 나타내고 있다(수산청 1995년도 보고서). 이처럼 산업적인 가치가 있는 연어에 대하여 생리 생태 및 유전적 연구 개발이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

외국에서 물고기의 정소 발달에 관한 연구가 많이 실행되어 왔다. Davis(1977)는 담수산 메기(*Tandanus tandanus*)의 번식주기를 이해하기 위해서 성선의 조직형태를, Van Oordt 등(1987)이 아프리카산 메기(*Clarias gariepinus*)의 성선을, Leung(1988)은 호주산 경골어류(*Lepidogalaxias salamandroides*)의 정자의 미세구조와 종분류학상 중요성에 대해서 언급했다. Bernardini 등(1990)은 아프리카산 두꺼비(*Xenopus laevis*)의 정자완성과정을, Olson과 Winfrey(1992)는 햄스터의 정자에 대해서 연구하였다.

국내에서는 어류 및 패류의 계절적 변화에 따른 성선의 발달에 관한 연구 보고로서 이스라엘 잉어(이 등, 1989), 미꾸리(윤 등, 1991), 무지개 송어(윤 등, 1991) 등에 관한 것이 있다. 어류의 초기 성분화 및 성이 결정되는 시기에 관한 연구는 Yamamoto(1969), Yamazaki(1983), Solar 등(1984) 김 등(1990), 이 등(1994), 이와 이(1996) 등이 있다.

그러나 이들 보고가 암컷에 국한된 연구이고 수컷에 대한 연구로서 어류의 정자에 관한 미세구조적 연구로는 미꾸리(윤 등, 1993), 무지개 송어(윤 등, 1994), 줄종개(김과 박, 1996), 미꾸리과(박과 김, 1996)에 관한 연구가 일부 있을 뿐이고, 냉수성어종인 연어의 수컷에 관한 연구는 그렇게 많은 편은 아닌 것으로 사료된다.

본 연구에서는 전자현미경(TEM)을 이용하여 회귀성 어류인 연어 수컷의 성숙정자의 미세구조적 특징과 연어 자어를 대상으로 부화 직후부터 정원세포나 난원

## II. 재료 및 방법

### 1. 공시동물

1995년 10월 중순에 강원도 양양 남대천에서 모천회귀하는 평균 체장이 62cm이고, 평균 생체중이 2,350g인 3~4년생 연어(*Oncorhynchus keta*) 수컷 20마리를 공시어로 이용하였다.

### 2. 정자수의 계산법

혈구계산판(Makler counting chamber, Israel)을 사용하여 연어의 정자수를 계산하였다.

### 3. 투과형 전자현미경적 방법(TEM)

정소와 자어 조직편을 pH 7.3인 0.1M phosphate buffer가 포함된 3% glutaraldehyde 용액에 고정시키고, 2시간 동안 1% osmium 용액으로 후고정시킨 다음 1시간 동안 여러가지 농도의 ethanol 용액으로 계속해서 탈수시킨다. Epon 812로 포매시킨 다음 초박절기(No. 2088, LKB, Bromma, Sweden)로 1 $\mu$ m와 50nm의 크기로 각각 초박절시킨 후 일부는 toluidine blue로 염색시켜서 광학현미경으로 관찰하였고, 나머지는 uranyl acetate와 lead citrate로 이중 염색시킨 다음 투과형 전자현미경(ESI-LEM 2000, Japan)으로 70kV의 전압 하에서 성숙정자의 두부와 중편부의 미세구조적 특징과 자어의 성선의 구조를 관찰하였다.

성분화의 시기를 더욱더 정확히 파악하기 위해서 유사핵분열이 진행 중인 자어 성선의 세포와 그 주변 체세포의 핵을 조사하여 성염색질인 바르소체(Barr body)와 복체소체(drumstick)의 존재 여부를 확인함으로써 암수의 성분화를 조사하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 성숙된 정자의 미세구조

성숙된 연어 정자는 10월 중순경에 상당히 증가하여 정소의 대부분을 차지하며 Table 1에 나타난 바와 같이 생체중당 정소의 비율인 GSI(gonadosomatic index)가 6.89%이며, 그 두부의 장축은 정자세포보다

**Table 1. Summary of properties of testis, milt and spermatozoa of chum salmon (*Oncorhynchus keta*)**

Testis			Milt		Sperm	
GSI* (%)	Appearance	Shape	Density (sperms ml <sup>-1</sup> )	Osmolarity (mOsmol kg <sup>-1</sup> )	Length of head (μm)	Motility (%)
6.89	Milky white	Long tubular	12-17 X 10 <sup>8</sup>	286-327	1.8-2.2	75

\* Gonadosomatic index



**Figs. 1-A and 1-B. Longitudinal section of a motile spermatozoon. The chromatin is sparsely condensed. Note each head and flagellum of spermatozoa. Note most of lobules are already packed with spermatozoa. Their spheroid-shaped heads have a mean width of 1.4 μm. The sperm often retains its organization into parachute-shaped clumps due to adhesion of the sperm tails and reduced spermatogenetic activity in the lobule walls. Transverse section of chum salmon sperm midpiece. The central outer dense fiber, axoneme is surrounded by the thin mitochondrial sheath in the midpiece. SZ:spermatozoa. A: × 6,900, B: × 28,000.**

약간 작은 약 2.2 μm 정도를 차지한다. Table 1에 나타난 바와 같이 핵의 크기는 약 1.8 μm로서 두부의 전체부피의 약 96% 이상을 차지하며 Fig. 1-B에 나타난 바와 같이 염색질이 약간 갈라진 형태로서 진하면서도 염색 상태를 보여준다. 이러한 정자 두부의 염색질의 변화는 성숙된 무지개 송어가 진하고 균일하게

염색되는 특징과는 다소 다른 특징을 나타내었다(윤 등, 1994).

정자의 중편부에 해당되는 위치에 미토콘드리아가 일부 존재한다. 타원형의 두부를 가진 정자핵에는 중앙부를 장축으로 해서 후방으로부터 전방쪽으로 향하여 세포질의 일부가 함몰되어 있으며, 그 앞부분에 편

모의 기부가 위치해 있다. Fig. 1-B와 Fig. 2에서와 같이 중편부는 두부후방의 돌출부로서 2개의 미토콘드리아초(MT)가 보였지만 몇 개의 미토콘드리아가 있는지를 확인할 수는 없었다.

어류와 달리 패류인 rock oyster(*Saccostrea commercialis*)의 미부에는 미토콘드리아의 수가 4개라고 Molinia와 Swan(1991)가 보고한 바 있다. Olson과 Winfrey(1992)은 포유류인 햄스터 정자의 중편부는 아주 두꺼운 미토콘드리아와 섬유질 성분이 복합 형태로 구성되어 있다고 보고하였다. 그러나 Fig. 2에 나타난 바와 같이 정자의 중편부를 살펴보면 포유동물처럼 두꺼운 미토콘드리아초에 의해서 둘러싸여 있는 상태가 아니라 얇은 미토콘드리아초로 싸여 있다. 따라서 어류의 정자가 물속으로 방출되면 수분 이상을 생존하지 못하기 때문에 가능한 한 빠른 시간 내에 수정이 이루어져야 하는 것으로 사료된다.

해수에 머물러 있는 연어 정소의 경우 미성숙 단계로서 하나의 lobule 안에 서로 다른 2단계의 정모세포가 존재하는 것으로 알려져 있다. Fig. 1-A에 나타난 바와 같이 성숙시기인 10월에 가까울수록 단계적으로 비율에 차이가 나서 완전한 성숙단계인 10월 중순에 하천으로 소상하는 개체의 정소에는 Figs. 1-A와 B에서처럼 성숙된 정자만이 존재한다. 이러한 변화는 완전한 성숙에 도달된 무지개 송어의 정소조직과 비교해 볼 때 유사한 정소의 형태적 구조를 나타내었다(윤 등, 1994).

완전한 성숙단계에 도달된 온수성 어종인 미꾸리 정소에서 비율의 차이는 있지만 5단계의 모든 정자세포가 존재한다는 윤 등(1993)의 결과와 비교해 볼 때 차이가 있다. 이것은 온수성 어종과 냉수성어종 간에 성숙 과정이 초기에는 비슷하게 정자형성이 이루어지다가 말기에는 정자형성과정이 다르게 나타난다는 것을 알 수 있다.

냉수성 어종은 온수성 어종인 미꾸리와 달리 번식계절이 상대적으로 그 시기가 짧다는 것을 알 수 있다. Table 1에 나타난 바와 같이 정액의 빛깔은 진한 우유 빛 색이며 그 농도는 ml당 약 12~17억 마리가 되며 정액의 삼투압은 286~327mOsmol로 나타났다. 이러한 결과는 무지개 송어의 정액을 연구한 윤 등(1994)의 결과와 큰 차이 없이 나타났다. 이것은 연어나 무지개 송어가 모두 냉수성 어종이면서 연어과에 속하는

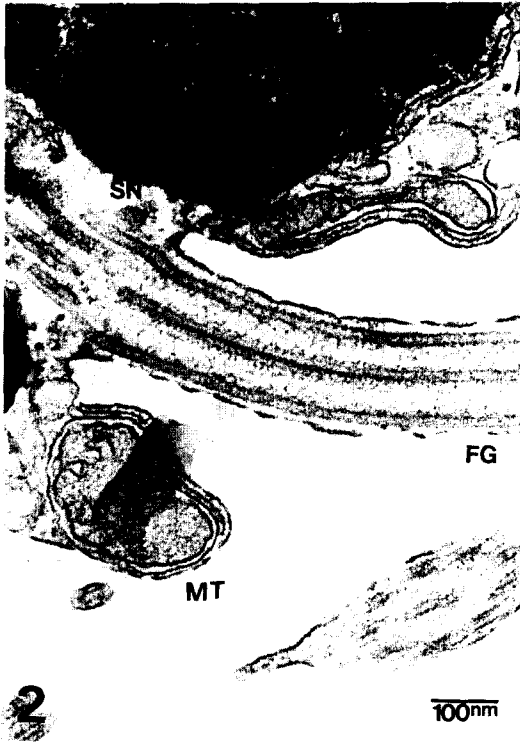
결과라 할 수 있다.

Fig. 1-B는 연어의 정자로서 두부의 형태가 타원형을 나타낸다. 이러한 형태는 냉수성 어종인 열목어, 산천어 및 다른 연어과의 두부 형태가 타원형이라 보고한 Guraya(1986)와 무지개 송어의 두부가 타원형의 형태적 구조라는 윤 등(1994)의 결과와 일치한다. 그러나 무지개 송어(윤 등, 1994)의 두부구조가 기다란 타원형인 반면에 연어는 약간 타원형의 형태적 구조를 나타내었다. 그러나 이러한 구조는 윤 등(1993)이 보고한 온수성 어종인 미꾸리의 두부가 거의 구형인 형태와 비교해 볼 때 확실한 형태적 차이를 나타내었다. 또한 성숙된 연어의 정자는 그 두부의 길이가 1.8~2.2 $\mu$ m이고, 폭은 1.4 $\mu$ m이며, 전장의 길이는 약 18~21 $\mu$ m를 나타내었다.

Fig. 1-B에서 보는 바와 같이 연어는 미꾸리 정자(윤 등, 1993), 무지개 송어(윤 등, 1994)와 마찬가지로 그 형태가 두부, 경부, 중편부 및 헤엄치는 데 필요한 미부(편모)로 구성되어 있고, 두부의 정자핵은 무지개 송어(윤 등, 1994)보다는 다소 약하게 농축되어져 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 중앙부를 장축으로 해서 후방으로부터 전방쪽으로 향한 함몰부가 있으며, 전단에 편모의 기부가 위치해 있다. 중편부는 두부 후방의 돌출부로서 일반적으로 측사구조 이외에 포유동물과는 달리 측사구조와 완전히 분리되어 있는 미토콘드리아초가 그 주변을 둘러싸고 있다. 정자의 핵이 안쪽으로 들어가 함몰되어 있는 형태로서 미토콘드리아, 중심소체 및 편모의 기저부가 내부로 삽입된 형태를 나타내는 것으로서 이것은 잉어(Saad 등, 1988), 무지개 송어(윤 등, 1994) 및 미꾸리과(박과 김, 1996) 정자의 미세구조에 대해서 연구한 각각의 결과와 비교해 볼 때 형태상에 있어서는 유사한 특징을 나타내었다. 이러한 결과는 경골어류의 공통된 특징의 하나로 사료된다.

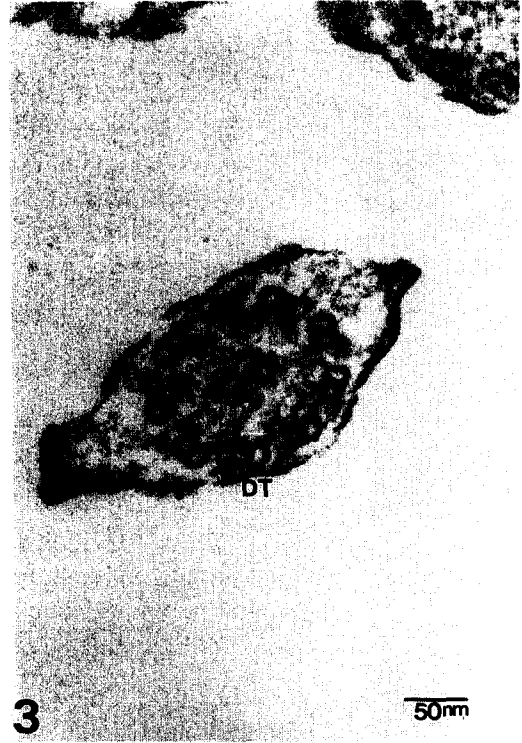
Fig. 3에서와 같이 측사는 중심부에 2개의 중심미세소관이 있고, 그 주위를 방사상으로 둘러싸고 있는 9개의 2중 미세소관이 있는 전형적인 9+2의 미세소관 배열을 보여 주었다. 미세소관을 따라 배열되어 있는 원섬유는 정확하게 파악하기가 다소 어려웠지만 A 소관은 대략 10~13 정도였고, B소관은 대략 9~11 정도로 나타났다. 신선한 연어 정자의 주부는 다른 어류



**Fig. 2.** Longitudinal section through the sperm head and middle-piece. No acrosome can be seen around the nuclei of these cells. Two of the four mitochondrial bodies are seen in the middle-piece. The two centrioles are quite separate and the central doublet of the flagellum is inserted into the base of the distal centriole. FG: flazellum, MT: mitochondria, SN: sperm nucleus.  $\times 120,000$ .

와 마찬가지로 측사 주변을 살펴보면 주부의 원형질 두께가 미부보다 훨씬 두껍게 나타났으며, 편모의 원형질막이 세로로 신장되어 형성되는 편평한 돌기물이 관찰되어 타원형의 형태를 나타내었다. 이러한 결과는 편모에 편평한 돌기물이 관찰되지 않은 온수성 어종인 줄종개의 외형적인 형태와 차이를 나타내었다(박과 김, 1996).

미부를 둘러싸고 있으면서 에너지를 생성하는 탄력 있는 미토콘드리아초가 인간과 대동물의 포유류 정자에서 볼 수 있는 것처럼 길게 존재하지 않고 연어의 경우에는 경부 부근에 짧게 존재하는 것으로 나타났다.



**Fig. 3.** Longitudinal and transverse section through the flagellar axoneme. The 9 peripheral doublet tubules are related to the central pair and sheath complex via radial spoke attachments. The axoneme on the left is viewed from base to tip as the dynein arms point in a clock-wise direction. DT: doublet tubules.  $\times 230,000$ .

이것이 인간이나 일반 대동물의 정자와 가장 큰 차이를 나타내는 것으로서 미토콘드리아초의 길이가 짧은 관계로 말미암아 포유동물의 정자에 비해서 연어 정자가 물 속에서 오랜 기간동안 생존하지 못하는 것으로 사료된다.

그러나 미꾸리나 메기 및 잉어의 정자는 이러한 미토콘드리아초가 미부에는 존재하지 않으나 두부부위에 근접해서 존재하기 때문에 무지개 송어, 산천어, 연어에 비해서 물 속에서 더 오랫동안 생존하는 것으로 사료된다. 따라서 냉동정자를 신선한 난자와 수정시켰을 때 박과 윤(1992)이 수행한 무지개 송어보다 미꾸리, 메기, 잉어에서 더 높은 수정 및 부화성적이 기대되며, 앞으로 이에 대한 더 많은 연구가 있어야 할 것

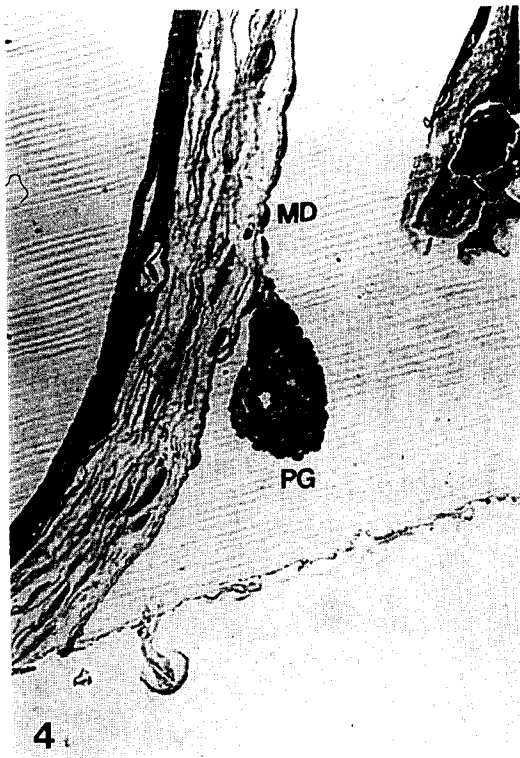


Fig. 4. light micrograph of primitive gonad (PG) on the mesonephric duct at 50 days after hatching. MD: mesonephric duct.  $\times 200$ .

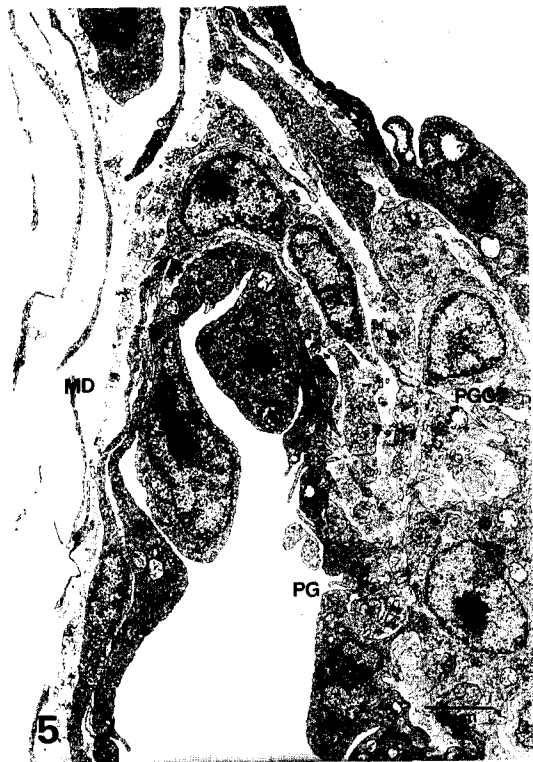


Fig. 5. Transverse section through primitive gonad(PG) on the mesonephric duct (MD) and the primordial germ cell(PGC) at 50 days after hatching.  $\times 6,900$ .

으로 생각된다.

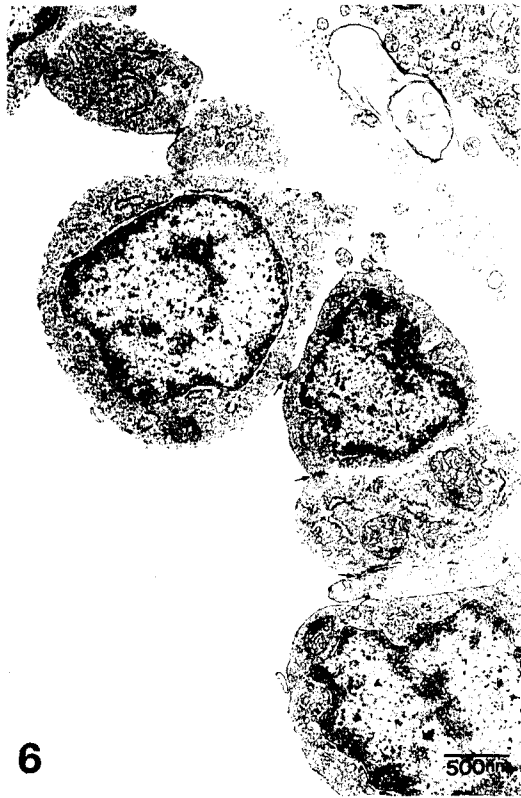
미꾸리(윤 등, 1993), 무지개 송어(윤 등, 1994), 줄종개(김과 박, 1996), 미꾸리과(박과 김, 1996)의 정자에 대해서 보고한 바와 같이 Fig. 1-B에 나타난 연어 정자의 경우 다른 포유동물의 정자(이 등, 1993)와 형태학적으로 다른 점은 첨체(acrosome)를 가지고 있지 않다는 것이다. 그 이유로는 무지개 송어의 수정시 난문의 역할에 대해서 연구한 Jamieson(1991)과 Yoon 등(1996)의 보고처럼 같은 연어과에 속하는 연어의 난자표면에도 정자가 들어가는 구멍인 난문(micropyle)이 존재하기 때문에 굳이 첨체반응이 필요하지 않은 것으로 사료된다. 앞으로 투과 및 주사형 전자현미경에 의해서 연어의 수정시 정자와 난자의 미세구조적 특징과 수정시의 역할 등을 밝혀낼 수 있을 것이다.

## 2. 성분화 결정

원시생식세포의 발생과 원시성선을 구성하는 초기의 분화과정은 부화 후 시기에 따라 다르게 나타났다(Figs. 4, 5, 6, 7).

Fig. 4는 부화 후 50일이 경과한 성선의 광선현미경으로 살펴본 조직이고, Fig. 5에 나타난 바와 같이 부화 후 50일이 경과한 성선의 조직을 살펴보면 성선의 구조는 원시생식세포로서 핵모양을 볼 때 왕성한 유사핵분열이 이루어지고 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6에 나타난 바와 같이 부화 후 60일이 경과한 성선의 조직을 살펴보면 커다란 미토콘드리아와 리보조음이 세포질 내에 널리 분포되어 있으며 핵 속에도 핵소체가 존재하는 것으로 보아 왕성한 유사핵분열이 진행 중인 것을 알 수 있다. 또한 이웃해 있는 세포들을 단단히 붙들어 주는 결합소체가 세포표면상에 반점



**Fig. 6.** Transverse section through the primordial germ cell at 60 days after hatching. Note the dense nucleolus in the nucleus, and numerous mitochondria and endoplasmic reticulum in cytoplasm. Note the desmosomes and gap junctions between the cells. N: nucleus,  $\times 23,000$ .

모양으로 존재하며 세포질의 통로가 되는 교통반이 존재하고 있다(화살표). 이러한 세포간 연결들이 존재한다는 것은 형성된 물질의 이동이 빈번하게 이루어지고 있다는 것을 나타내고 있다.

Fig. 7에 나타난 바와 같이 부화 후 70일이 경과한 성선의 조직과 그 주변에 있는 중신관의 조직세포의 핵을 살펴보면 Fig. 5와 Fig. 6에 나타난 조직과는 달리 염색이 진하게 나타나면서 말굽형과 타원형의 복채소체(화살표)가 확인되었다. 그리고 또한 유사핵분열 중인 원시생식세포의 핵에는 다른 둥근 형태의 바르소체(별표)와 유사한 형태가 나타났다(김, 1994). 생식세포에서 이러한 형태의 성염색질이 나타난 것은 이 생식세포의 핵이  $2n$ 으로 아직 미발달된 난원세포나 제



**Fig. 7.** Transverse section through the primordial germ cell at 70 days after hatching. Note the dense drumstick(black arrow) and Barr body(asterisk) in the nucleus, and numerous mitochondria and endoplasmic reticulum in cytoplasm.  $\times 6,900$ .

1난모세포로 사료된다. 세포질에는 커다란 미토콘드리아, 리보조움 및 내형질세망이 널리 분포되어 있는 것으로 보아 왕성한 유사핵분열이 계속적으로 진행 중임을 알 수 있다.

결과적으로 이 시기에 이러한 세포학적 특징을 나타내는 자어는 암컷으로 판별되고, 총 50마리의 자어중 83.5%에 해당하는 42마리에서 이러한 추세를 나타내었다. 그 이외의 자어는 수컷으로 판별되며, 부화 후 약 70일 경부터 성분화가 진행되는 것으로 사료된다. 앞으로 이러한 방법으로 부화초기에 성을 판별한 이후에 개체표지를 한 개체를 장기간 사육한 후 다시 성의 조사를 실시하여 그 일치 여부를 확인하는 작업이 있어야 할 것으로 사료된다.

#### IV. 적 요

투과형 전자현미경을 이용하여 연어(*Oncorhynchus keta*) 성숙정자의 미세구조와 자어의 성분화 시기를 확인하기 위해서 본 연구가 실시되었다.

성숙된 정자의 경우 진하고 균질한 상태의 핵질을 구성한다. 성숙된 정자의 중편부에는 크기가 약 350nm인 타원형 구조인 2개의 미토콘드리아가 핵과 축사 사이에 존재한다. 정자 중편부의 주위에는 미토콘드리아초와 외측조대원 섬유로 둘러 싸여져 있고, 9+2의 미세소관 배열을 갖는 전형적인 축사구조를 나타내었다.

부화 후 70일이 경과한 성선의 조직과 그 주변의 중신관 조직세포의 핵을 살펴보면 염색이 진하게 나타나는 복채소체(화살표)가 확인되었다. 그리고 또한 유사핵분열 중인 원시생식세포의 핵에는 다른 둥근 형태의 바르소체(별표)와 유사한 형태가 나타났다. 세포질에는 커다란 미토콘드리아, 리보솜 및 내형질세망이 널리 분포되어 있는 것으로 보아 왕성한 유사핵분열이 계속적으로 진행 중임을 알 수 있다. 결과적으로 이 시기에 나타난 자어는 암컷으로 판별되며, 연어의 경우 부화 후 약 70일 경부터 성분화가 진행된다.

#### 사 사

본 논문을 수행하는 데 필요한 연어를 제공해 주신 양양대수면 연구소의 백국기 소장님, 황영태 실장님 그리고 여러 연구원들께 깊은 감사를 드립니다.

#### V. 인용문헌

1. Bernardini, G., P. Podini, P., R. Maci, and M. Camatini. 1990. Spermiogenesis in *Xenopus laevis* : From late spermatids to spermatozoa. *Molecular Reproduction and Development*, 26: 347-355.
2. Davis, T. L. O. 1977. Reproductive biology of the freshwater catfish, *Tandanus tandanus* Mitchell, in the Gwydir river, Australia. I. Structure of the gonads. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 139-158.
3. Guraya, S. S. 1986. The cell and molecular biology of fish oogenesis. Karger, Switzerland.
4. Jamieson, B. G. M. 1991. Fish evolution and systematics : Evidence from spermatozoa. Cambridge University Press, Leung, L. K. -P. 1988. Ultrastructure of the spermatozoon of *Lepidogalaxias salamandroides* and its phylogenetic significance. *Gamete Research*, 19: 41-49.
5. Mattei, X. 1988. The flagellar apparatus of spermatozoa in fish. *Ultrastructure and evolution. Biol. Cell.*, 63: 151-158.
6. Molinia, F. C. and M. S. Swan. 1991. Effect of ethanol and methanol on the motility of *Saccostrea commercialis* sperm and sperm models. *Molecular Reproduction and Development*, 30: 241-249.
7. Olson, G. E. and V. P. Winfrey, 1992. Structural organization of surface domain of sperm mitochondria. *Molecular Reproduction and Development*, 33: 89-98.
8. Saad, A., R. Billard, M. C. Theron and M. G. Hollebecq, 1988. Short-term preservation of carp(*Cyprinus carpio*) semen. *Aquaculture*, 71: 133-150.
9. Solar, I. I., E. M. Donaldson, and G. A. Hunter. 1984. Optimization of treatment regimes for controlled sex differentiation and sterilization in wild rainbow trout(*Salmo gairdneri* Richardson) by oral administration of 17 $\alpha$ -methyltestosterone. *Aquaculture*, 42: 129-139.
10. Van Oordt, P. G. W. J., J. Peute, R. Van Den Hurk, and J. A. R. Viveen. 1987. Annual correlative changes in gonads and pituitary gonadotropes of feral African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture*, 63: 27-41.
11. Yamamoto, T. 1969. Sex differentiation. In: *Fish physiology*, Vol 3(W. S. Hoar and D. J. Randall eds). Academic Press, New York.



- pp. 117-175.
12. Yamazaki, F. 1983. Sex control and manipulation in fish. *Aquaculture*, 33: 329-354.
  13. Yoon, J. M., K. Y. Chung, D. S. Reu, I. D. Lew, S. C. Roh, and G. W. Kim, 1996. Electron microscopic observations on micropyle after sperm penetration in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *K. J. Zool.*, 39: 173-181.
  14. 김동수, 이기영, 이택렬, 1990. 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*)의 성분화에 관한 연구.
  15. 김익수, 박종영, 1996. 한국산 줄종개 *Cobitis striata* (미꾸리과)의 정소 및 정자의 구조. *한국어류학회지*, 8(1):1-8.
  16. 김한화, 1994. 기초의학유전학. pp. 262-265.
  17. 박종영, 김익수, 1996. 한국산 미꾸리과 Cobitidae(잉어목) 어류의 정자미세구조. *한국어류학회지* 8(2):74-83.
  18. 박홍양, 윤종만, 1992. 무지개 송어의 유전육종학적 연구 Ⅶ. 동결보존시킨 정자와 신선한 난모세포의 수정 및 미세구조적 변화. *한국수산학회지* 25(2):79-92.
  19. 수산청, 1995. 1995년도 수산업 동향에 관한 연차 보고서.
  20. 윤종만, 김병철, 박홍양, 1991. 한국산 미꾸리에 관한 육종변식학적 연구-Ⅱ. 미성숙과 성숙단계에서의 한국산 미꾸리의 조직학적 변화. *한국축산학회지* 33(8):552-561.
  21. 윤종만, 김계웅, 박홍양, 1991. 무지개 송어의 유전육종학적 연구 Ⅵ. 번식주기에 따른 난모세포의 발달단계. *한국어류학회지* 3(2):148-165.
  22. 윤종만, 김계웅, 노순창, 박홍양, 1993. 한국산 미꾸리에 관한 육종 변식학적 연구-V. 미꾸리의 수컷의 뇌하수체와 정소의 미세구조. *동물자원연구지* 제18집: 11-22.
  23. 윤종만, 김계웅, 박정길, 노순창, 1994. 번식주기에 따른 무지개 송어 정자 형성시 세포구조의 변화. *한국전자원미경학회지* 24(3): 55-66.
  24. 이영돈, 강법세, 이정재, 1994. 감성돔, *Acanthopagrus schlegeli*(Bleeker)의 성분화. *한국어류학회지* 6(2): 237-243.
  25. 이재현, 윤종만, 박홍양, 1989. 2-5월 사이의 이스라엘 잉어(*Cyprinus carpio*) 난모세포의 조직학적 변화 및 호르몬의 변화. *한국양식학회지* 2(1): 21-31.
  26. 이정식, 이영돈, 1996. 태생 경골어류, 망상어(*Ditrema temmincki*)의 초기 생식소 형성 및 성분화. *한국수산학회지* 29(1): 35-43.
  27. 이정훈, 손성원, 毛利孝之, 白石哲, 1993. 한국산 관박쥐(*Rhinolophus ferrumequinum korai*)의 응성생식 pattern에 관한 연구-1. 세정관상피의 주기 및 정소의 조직변화. *한국동물학회지* 36(1): 36-50.
- (접수일자 : 1997. 9. 5. / 채택일자 : 1997. 9. 22.)